



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAHRAMANMARAŞ KILAVUZLU SULAMA
PROJESİ BELPİNAR TÜNELİNDE KULLANILAN
PASA BASINÇLI TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN
(EPB-TBM) KAZI PERFORMANS ANALİZİ**

SAMİME OSMANOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAHRAMANMARAŞ KILAVUZLU SULAMA
PROJESİ BELPİNAR TÜNELİNDE KULLANILAN
PASA BASINÇLI TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN
(EPB-TBM) KAZI PERFORMANS ANALİZİ**

SAMİME OSMANOĞLU

Bu tez,
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Samime OSMANOĞLU tarafından hazırlanan “KAHRAMANMARAŞ KILAVUZLU SULAMA PROJESİ BELPINAR TÜNELİNDE KULLANILAN PASA BASINÇLI TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN (EPB-TBM) KAZI PERFORMANS ANALİZİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 09/07/2018 tarihinde oy birliği ile Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ahmet ÖZBEK (DANIŞMAN)
Jeoloji Mühendisliği
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali KURT (ÜYE)
Çevre Mühendisliği
Mersin Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Orhan Erdal AKAY (ÜYE)
Makine Mühendisliği
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Samime OSMANOĞLU



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:2017/2-18 YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**KAHRAMANMARAŞ KILAVUZLU SULAMA PROJESİ BELPİNAR
TÜNELİNDE KULLANILAN PASA BASINÇLI TÜNEL AÇMA MAKİNESİNİN
(EPB-TBM) KAZI PERFORMANS ANALİZİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

SAMİME OSMANOĞLU

ÖZET

Kahramanmaraş Kılavuzlu Sulaması Projesi'nde sulama kanalı hattı üzerinde tünel kazısı için kullanılan pasa basınçlı tünel açma makinesinin (EPB/TBM) kazı performans analizi yapılmıştır. EPB/TBM'in teknik özellikleri ve kazı sistemi detaylı olarak anlatılmıştır. Güzergah üzerinde bulunan birimlerin jeoteknik ve jeolojik özellikleri incelenmiştir. Tamamlanan tünele ait günlük raporlarda verilen kazı ilerleme parametrelerinin yapılan sayısal hesaplamalarla korelasyonu yapılmıştır. Tünel hattında belirli mesafelerde sondaj numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı oranı ile kayaçların kazılabilirliği tahmin edilmiştir. TBM'in kazı performansında makine ve kayacın özellikleri önemlidir ve bu faktörler zamanı etkilemektedir. Bu çalışmanın ana amacı makine ve kayaç özelliklerinin TBM'in kazı performansına etkileri incelenmiştir. Tünel açma makinesine ait tork, itme kuvveti, ilerleme hızı ve RPM parametrelerinden yararlanarak penetrasyon ve SE değerleri hesaplanmıştır. Makine parametreleri arasında tork-penetrasyon, itme kuvveti-penetrasyon ve SE-penetrasyon değerleri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. TBM çalışması sırasında karşılaşılan arıza ve duraklamalar nedenleri sınıflandırılmış ve makine kullanım oranı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Belpınar Tüneli, Tünel Açma Makinesi, Performans Analizi, Spesifik Enerji.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz / 2018

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÖZBEK

Sayfa sayısı: 101

**EXCAVATION PERFORMANCE ANALYSIS OF EARTH PRESSURE BALANCE
TUNNEL BORING MACHINE (EPB-TBM) USED IN BELPINAR TUNNEL IN
KAHRAMANMARAŞ KILAVUZLU IRRIGATION PROJECT
(M.Sc. THESIS)**

SAMİME OSMANOĞLU

ABSTRACT

Excavation performance analysis of earth pressure balance tunneling machine (EPB / TBM) used for tunnel excavation on irrigation canal line was conducted in Kahramanmaraş Kılavuzlu Watering Project. The technical characteristics of the EPB / TBM and the excavation system are explained in detail. The geotechnical and geological characteristics of the units on the route have been examined. The excavation progress parameters given in the daily reports of the completed tunnel were correlated with the numerical calculations. The excavability of rocks was estimated with the uniaxial compressive strength and the tensile strength ratio on the drilling samples at certain distances in the tunnel line. Machine and rock characteristics are important in TBM's excavation performance, and these factors influence time. The main purpose of this study is to investigate the effects of machine and rock properties on excavation performance of TBM. The penetration and SE values were calculated using the torque, thrust, feedrate and rpm parameters of the tunnel boring machine. Torque-penetration, thrust-penetration and SE-penetration values were compared and interpreted between machine parameters. Causes of failures and pauses during TBM operation are classified and machine utilization rate is determined.

Key words: Belpınar Tunnel, Tunnel Boring Machine, Performance Analysis, Specific Energy.

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering, July / 2018

Supervisor: Doç. Dr. Ahmet ÖZBEK

Page Numbers: 101

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐması sűresince engin bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıĐım ve çalıŐmamın her aŐamasında saĐladıĐı bilimsel katkılardan dolayı Doç. Dr. Ahmet ŐZBEK'e, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandıĐım tűm bűlűm hocalarıma, tűm çalıŐmalarım sűresince deĐerli gűrűŐ ve fikirlerini benimle paylaŐan Jeoloji Műhendisi Onur KANSU'ya teŐekkűr ederim.

Bu alıŐma için 2017/2-18 YLS nolu proje kapsamında maddi destek saĐlayan KahramanmaraŐ Sűtű İmam Őniversitesi Bilimsel AraŐtırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne,

Son olarak, bu gűnlere gelmemde her tűrlű maddi ve manevi desteklerini gűrdűĐűm aileme ve tezimin her aŐamasında yanımda olan, en bűyűk destekçim sevgili eŐim AraŐ. Gűr. Serhat OSMANOĐLU'na sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| ÖZET | İ |
| ABSTRACT | İİ |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER..... | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vi |
| TABLolar DİZİNİ..... | ix |
| 1.GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 3 |
| 2.1. Araştırma Alanı ile İlgili Yapılan Çalışmalar | 3 |
| 2.2. Araştırma Konusu İle İlgili Çalışmalar | 5 |
| 3. TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ | 8 |
| 3.1. Tünel Açma Makinelerinin Tarihsel Gelişimi..... | 8 |
| 3.2. TBM Tipleri..... | 15 |
| 3.2.1. Gripper (pabuçlu) TBM'ler..... | 16 |
| 3.2.2. Kalkanlı TBM'ler | 18 |
| 3.2.3. Kapalı yüzeyli TBM'ler..... | 20 |
| 3.2.4. Mikro makineler | 22 |
| 3.3. TBM'i Oluşturan Ekipmanlar ve Çalışma Sistemi..... | 23 |
| 3.3.1. Kazı sistemi..... | 23 |
| 3.3.2. İtme ve tutunma sistemi | 23 |
| 3.3.3. Pasa toplama ve taşıma sistemi..... | 23 |
| 3.3.4. Destek/tahkimat sistemi | 24 |
| 4. MATERYAL VE METOD | 24 |
| 4.1. Materyal..... | 25 |
| 4.2. Metod..... | 25 |
| 4.2.1. Arazi çalışması..... | 25 |
| 4.2.2. Büro çalışması..... | 26 |
| 4.2.3. Değerlendirme ve tez yazım aşaması..... | 26 |
| 4.2.4. Kaya kütlesi sınıflama sistemleri | 26 |
| 4.2.4.1. RMR sınıflama sistemi | 27 |
| 4.2.4.2. Q sınıflama sistemi | 33 |
| 4.2.4.3. Hoek-Brown yenilme kriteri..... | 38 |

| | |
|---|------|
| 4.2.5. Kazı yönteminin seçimi | 39 |
| 4.2.6. TBM kazı parametreleri ve değerlendirme yöntemi | 42 |
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI | 46 |
| 5.1. Belpınar (T-2) Tüneli | 46 |
| 5.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi | 48 |
| 5.2.1. Bedinan formasyonu | 48 |
| 5.2.2. Karadağ kireçtaşı | 49 |
| 5.2.3. Hatay (Kızıldağ) ofiyoliti | 49 |
| 5.2.4. Kuvaterner çökelleri | 50 |
| 5.3. Belpınar Tünelinin Mühendislik Jeolojisi | 52 |
| 5.3.1. Temel sondaj kuyuları | 53 |
| 5.3.2. Fiziksel deneyler | 57 |
| 5.3.3. İnceleme alanındaki kayaçların jeomekanik özellikleri | 58 |
| 5.3.4. Belpınar Tüneli RMR ve Q sınıflaması | 64 |
| 5.4. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi | 67 |
| 5.5. Belpınar Tünelinde Kullanılan EPB/TBM'in Özellikleri | 69 |
| 5.6. Belpınar Tünelinde Kullanılan TBM'in Kazı Performans Analizi | 72 |
| 5.6.1. Günlük ilerleme oranı | 72 |
| 5.6.2. Haftalık ilerleme oranı | 75 |
| 5.6.3. Aylık ilerleme oranı | 76 |
| 5.6.4. Kazı parametrelerinin değerlendirilmesi | 80 |
| 5.6.5. Penetrasyona bağlı değişimler | 90 |
| 5.6.5.1. SE-penetrasyon | 90 |
| 5.6.5.2. İtme kuvveti-penetrasyon | 92 |
| 5.6.5.3. Tork- penetrasyon | 93 |
| 5.7. Makineden Faydalanma Oranı ve Duraklamaların Analizi | 94 |
| 5. SONUÇLAR | 98 |
| KAYNAKLAR | 101 |
| ÖZGEÇMİŞ | 1016 |
| EKLER | 1018 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|------------------------|
| Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası | 1 |
| Şekil 3.1. H.-J. Maus tarafından geliştirilen tünel açma makinesi, Mont Cenis tüneli..... | 8 |
| Şekil 3.2. C. Wilson tarafından geliştirilen ilk tünel açma makinesi, Hoosac tüneli..... | 9 |
| Şekil 3.3. C. Wilson tarafından daha da geliştirilmiş TBM..... | 10 |
| Şekil 3.4. E. Talbot'un geliştirdiği tünel açma makinesi..... | 10 |
| Şekil 3.5. Cooke ve Hunter tarafından geliştirilen tünel açma makinesi..... | 11 |
| Şekil 3.6. Beaumont tarafından geliştirilen su tüneline kullanılan tünel açma makinesi | 12 |
| Şekil 3.7. Beaumont tarafından geliştirilen tünel açma makinesi..... | 12 |
| Şekil 3.8. Schmidt tarafından geliştirilen galeri açma makinesi "Eiserner Bergmann" .. | 13 |
| Şekil 3.9. Whitaker tarafından geliştirilen tünel açma makinesi | 13 |
| Şekil 3.10. Robbins tarafından geliştirilen tünel açma makineleri | 14 |
| Şekil 3.11. Tünel açma makinelerinin ilk Avrupa gelişmeleri | 14 |
| Şekil 3.12. Kalkanlı tünel açma makinesi..... | 15 |
| Şekil 3.13. TBM tipleri | 16 |
| Şekil 3.14. Gripper tip TBM | 17 |
| Şekil 3.15. Açık tip TBM..... | 17 |
| Şekil 3.16. Çatı Kalkanlı TBM | 17 |
| Şekil 3.17. Çatı kalkanlı ve yan ayaklı TBM..... | 18 |
| Şekil 3.18. Kesici kafa kalkanlı TBM..... | 18 |
| Şekil 3.19. Kalkanlı TBM..... | 19 |
| Şekil 3.20. Tek kalkanlı TBM..... | 19 |
| Şekil 3.21. Çift kalkanlı TBM..... | 20 |
| Şekil 3.22. Pasa basınçlı EPB/TBM | 21 |
| Şekil 3.23. Çamur basınçlı TBM | 21 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.24. Mixshiel TBM | 22 |
| Şekil 3.25. Mikro TBM..... | 22 |
| Şekil 3.26. TBM'in çalışma sistemleri | 24 |
| Şekil 4.1. RMR girdi parametreleri ve değerlendirmesi | 28 |
| Şekil 4.2. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde tek eksenli sıkışma dayanımı için puan beklirleme grafiği..... | 30 |
| Şekil 4.3. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde RQD için puan beklirleme grafiği ... | 30 |
| Şekil 4.4. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde süreksizlik aralığı için puan beklirleme grafiği..... | 31 |
| Şekil 4.5. Düzeltilmiş RMR sınıflaması işlem şeması..... | 33 |
| Şekil 4.6. Q ve eşdeğer boyut (De) arasındaki ilişki..... | 38 |
| Şekil 5.1. Tünel güzergahının uydu görüntüsü | 47 |
| Şekil 5.2. Tünel giriş/TBM çıkış portalı | 47 |
| Şekil 5.3. TBM'le açılan Belpınar Tüneli'nin tip kesiti | 48 |
| Şekil 5.4. Çalışma alanının ve yakın çevresinin jeoloji haritası | 51 |
| Şekil 5.5. Belpınar Tüneli mühendislik jeolojisi haritası..... | 55 |
| Şekil 5.6. Tünel güzergahının enine jeolojik kesiti..... | 56 |
| Şekil 5.7. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-1 parametreleri | 59 |
| Şekil 5.8. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-2 parametreleri | 60 |
| Şekil 5.9. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-3 parametreleri | 61 |
| Şekil 5.10. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-4 parametreleri | 62 |
| Şekil 5.11. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-5 parametreleri | 63 |
| Şekil 5.12. Projede kullanılan EPB/TBM..... | 70 |
| Şekil 5.13. EPB/TBM'in yakından görünümü..... | 70 |
| Şekil 5.14. 0+000- 2+000 km arası günlük ilerleme oranları | 73 |
| Şekil 5.15. 2+000- 5+450 km arası günlük ilerleme oranları | 74 |
| Şekil 5.16. En iyi günlük ilerlemenin olduğu güne ait TBM kullanım oranı yüzdellik dağılım grafiği | 74 |

| | |
|---|----|
| Şekil 5.17. 0+000- 2+000 km arası haftalık ilerleme oranları | 75 |
| Şekil 5.18. 2+000- 5+450 km arası haftalık ilerleme oranları | 76 |
| Şekil 5.19. En iyi ilerlemenin olduğu hafta TBM kullanım oranı yüzdeler dağılımı | 76 |
| Şekil 5.20. 0+000- 2+000 km arası aylık ilerleme oranları | 77 |
| Şekil 5.21. 2+000- 5+450 km arası aylık ilerleme oranları | 78 |
| Şekil 5.22. En iyi ilerlemenin olduğu aya ait TBM kullanım oranı yüzdeler dağılımı..... | 78 |
| Şekil 5.23. 0+000- 2+000 km arası ortalama ilerleme hızı..... | 82 |
| Şekil 5.24. 2+000- 5+450 km arası ortalama ilerleme hızı..... | 83 |
| Şekil 5.25. 0+000 – 2+000 km arası ring numarasına bağlı tork değişimi | 85 |
| Şekil 5.26. 2+000 – 5+450 km arası ring numarasına bağlı tork değişimi | 86 |
| Şekil 5.27. 0+000 – 2+000 km arası ring numarasına bağlı itme kuvveti değişimi | 87 |
| Şekil 5.28. 2+000 – 5+450 km arası ring numarasına bağlı itme kuvveti değişimi | 88 |
| Şekil 5.29. 0+000 – 2+000 km arası ring numarasına bağlı penetrasyon değişimi | 89 |
| Şekil 5.30. 2+000 – 5+450 km arası ring numarasına bağlı penetrasyon değişimi | 90 |
| Şekil 5.31. 0+000 – 2+000 km arası SE-penetrasyon korelasyonu | 92 |
| Şekil 5.32. 2+000 – 5+450 km arası SE-penetrasyon korelasyonu | 92 |
| Şekil 5.33. 0+000 – 2+000 km arası itme kuvveti-penetrasyon korelasyonu..... | 93 |
| Şekil 5.34. 2+000 – 5+450 km arası itme kuvveti-penetrasyon korelasyonu..... | 94 |
| Şekil 5.35. 0+000 – 2+000 km arası tork-penetrasyon korelasyonu | 94 |
| Şekil 5.36. 2+000 – 5+450 km arası tork-penetrasyon korelasyonu | 95 |
| Şekil 5.37. TBM kullanım oranı grafiği..... | 96 |
| Şekil 5.38. Arıza ve duraklama analizi grafiği | 97 |
| Şekil 5.39. Tünelde gelen su girişi..... | 98 |
| Şekil 5.40. Kazı aşamasında aşınmış bir disk..... | 98 |

TABLolar DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|------------------------|
| Tablo 4.1. RMR girdi parametreleri ve değerlendirmesi | 28 |
| Tablo 4.2. Süreksizlik koşulunun puanlandırılması için önerilen kılavuz | 31 |
| Tablo 4.3. Süreksizliklerin doğrultu ve dalımının tünel açımına etkileri..... | 32 |
| Tablo 4.4. Süreksizliklerin konumu için değer düzeltme..... | 32 |
| Tablo 4.5. Toplam değerlendirmeden kaya sınıfının belirlenmesi ve nicelik anlamları | 32 |
| Tablo 4.6. Q sisteminin girdi parametreleri ve değerleri | 34 |
| Tablo 4.7. TBM kazı performansını etkileyen etmenler | 41 |
| Tablo 4.8. Vardiya raporuna ait kazı parametreleri | 44 |
| Tablo 4.9. Km 65+098 ile km 75+548 arasında sondaj noktalarına karşılık gelen değerler | 45 |
| Tablo 5.1. Fiziksel deney sonuçları..... | 57 |
| Tablo 5.2. Mekanik deney sonuçları | 65 |
| Tablo 5.3. Temel sondaj kuyularının RMR sınıflaması | 66 |
| Tablo 5.4. Temel sondaj kuyularının Q sınıflaması | 67 |
| Tablo 5.5. Kılavuzlu Sulama Projesi kapsamında kullanılan TBM'e ait teknik bilgiler | 68 |
| Tablo 5.6. Farklı tünellerde kullanılan EPB/TBM'lerin en iyi günlük ilerleme oranları | 71 |
| Tablo 5.7. Km 65+098 ile km 75+548 arasında sondaj noktalarına karşılık gelen ortalama değerler | 80 |
| Tablo 5.8. TBM faydalanma oranına ait süreler | 96 |
| Tablo 5.9. Duraklama ve arıza nedenlerinin süreleri | 97 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-------------|---|
| EPB | : Earth Pressure Balance |
| TBM | : Tunnel Boring Machine |
| DSİ | : Devlet Su İşleri |
| SE | : Spesifik Enerji |
| RQD | : Kaya Kütle Kalitesi |
| RMR | : Rock Mass Rating (Kaya Kütle Oranı) |
| Q | : Kaya Kütle Sınıflaması |
| RSR | : Rock Structure Rating (Kaya Yapısı Oranı) |
| GSI | : Jeolojik Dayanım İndeksi |
| SRF | : Gerilim Değişim Faktörü |
| TSK | : Temel Sondaj Kuyusu |
| YASS | : Yeraltı Su Seviyesi |
| NGI | : Norwegian Geotechnical Institute |
| MS | : Mikrosoft |
| km | : Kilometre |
| m | : Metre |
| mm | : Milimetre |
| dk | : Dakika |
| ha | : Hektar |

1.GİRİŞ

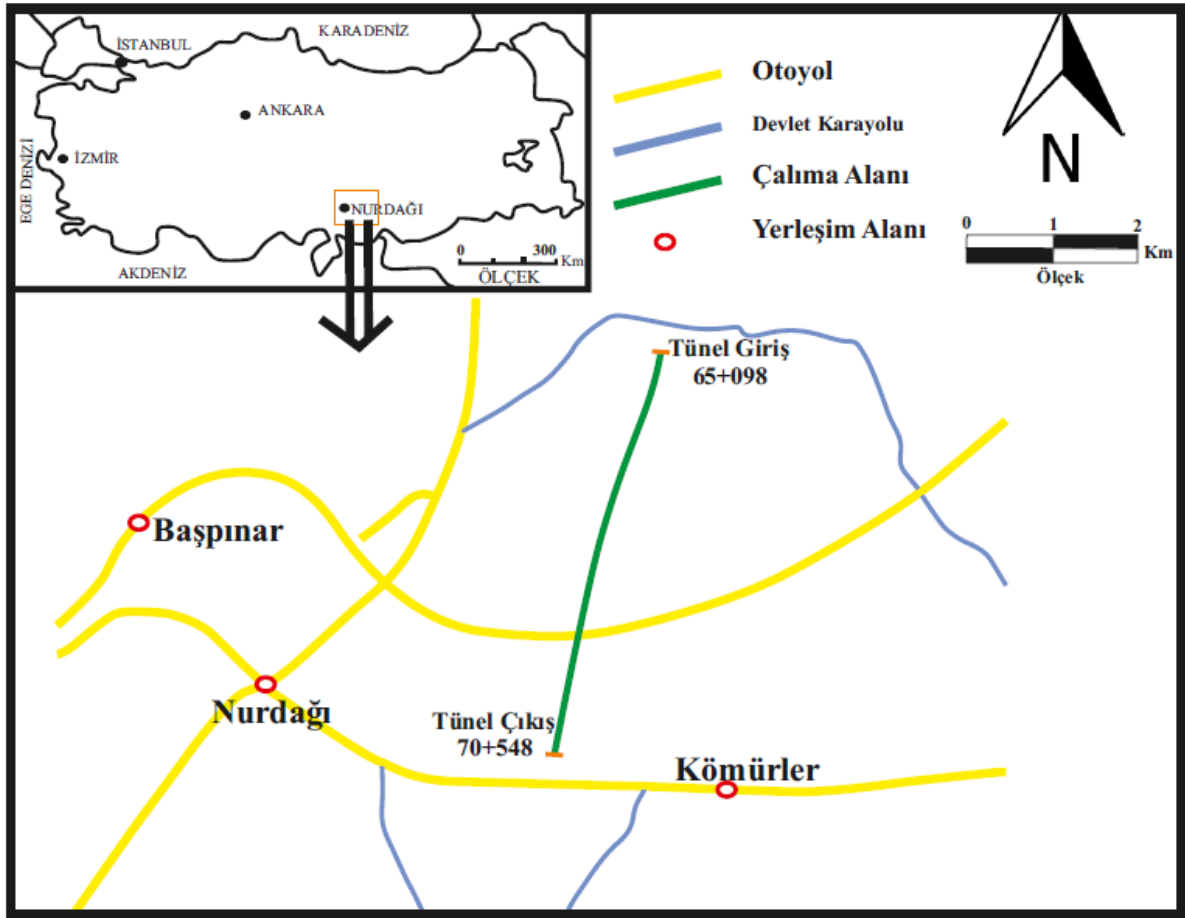
Tünelcilikte geçmişten günümüze kadar birçok farklı kazı yöntemi kullanılmakta olup, son yıllarda yoğun olarak kullanılan konveksiyonel yöntem yerini daha çok mekanize kazı yöntemine bırakmıştır. Bu yöntemlerden yarım kesit ve tam kesit tünel açma makineleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Tünel açma makinelerinin (TBM) yatırım maliyeti yüksek olsa da, istenilmeyen yeraltı hareketlerini önleme kabiliyeti, daha sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması, çalışan işçi sayısının az olmasıyla işçi maliyetini azaltması gibi nedenlerle günümüzde tercih edilen kazı makineleri haline gelmiştir. Sert, orta sert, yumuşak ve akıcı birimler için ayrı ayrı tasarlanan kafa dizaynları ve keski tipleri, makineyi dengeleme sistemleri, tahkimat sistemleri, çıkarılan pasayı taşıma sistemleri, çeşitli yönlerden farklılıklar göstermektedir. Açılacak tünelin geçtiği güzergah jeolojisinin önceden tespiti, kullanılacak makinenin seçiminde en önemli faktörlerden biri olmaktadır.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı kapsamında bulunan ve kanalın km: 65+098 ile km: 70+548 arasında yer alan 2 nolu tünel (Tünel-2/Belpınar Tüneli) 5.450 m uzunluğa ve 6.82 m genişliğe sahiptir. Tünel güzergahı Gaziantep ilinin kuzeybatısında bulunan Nurdağı ilçesi sınırları içerisinde Emir Musa Dağı üzerinde yer almaktadır (Şekil 1.1.).

Bu tez çalışmasının konusu, pasa basınçlı tünel açma makinesinin (EPB-TBM) kazı performans analizini içermektedir. EPB/TBM'ler çalışma esnasında yeraltı sularının yarattığı basınç durumuna göre kazılan noktalara hava ve zemin basıncı vererek hem içeriye su gelmesini engelleyen, hem de boşalan toprağın yerine su dolmasıyla zeminde muhtemel çökme olaylarının meydana gelmesini önlemek için tasarlanmış hidrolik mekanizmalar ile çalışan makinelerdir.

Tez kapsamında ilk olarak tünel güzergahının jeolojisi ve proje kapsamında kullanılan EPB/TBM'in özellikleri verilmiştir. Geçilen tünel güzergahı boyunca kazı çalışması Senomaniyen-Kampaniyen yaşlı Hatay (Kızıldağ) ofiyolitlerine ait peridotit ve serpantin birimleri içerisinde yapılmıştır. Genel anlamda EPB/TBM'in tarihsel gelişim süreci ve çalışma prensipleri üzerinde durulmuştur. Konuya ilişkin tünel açma makinesinin geçtiği güzergahın sondaj ve laboratuvar testlerine dayalı jeolojik ve jeoteknik özellikleri verilmiştir. Proje kapsamında günlük tutulan vardiya raporlarından alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılarak sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sayısal grafiklerle korelasyonlar yapıp tünel güzergahında geçilen birimle kazı performans ilişkisi ortaya konmuş ve yorumlanmıştır.

DSİ'nin (1999) yaptığı jeoteknik etüt raporuna göre TBM'le geçilen tünel üzerinde toplam 6 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj loglarına göre kayacın basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü belirlenmiştir. Kayacın kazılabilirliği olan basınç dayanımının çekme dayanımına oranı belirlenmiştir. Tünel açma makinesine ait tork (kNm), itme kuvveti (kN), ilerleme hızı (mm/dk) ve rpm (dev/dk) parametrelerinden yararlanarak penetrasyon (mm/dev) ve SE (kWh/m³) değerleri hesaplanmıştır. Makine parametreleri arasında tork-penetrasyon, itme kuvveti-penetrasyon ve SE-penetrasyon değerleri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma alanında önceden yapılmış jeolojik çalışmalar ile TBM performans tahmini konusunda yapılmış çalışmaların daha iyi anlatılabilmesi amacıyla önceki çalışmalar kısmı genel jeoloji çalışmaları ve TBM performans çalışmaları olarak iki alt başlıkta toplanmıştır.

2.1. Araştırma Alanı İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Çoğulu (1975), “Hatay Ultramafitlerinin Jeolojisi ve Petrolojisi” adlı çalışmasında Hatay ofiyolitleri içinde ultrabazik kayalar diğer bazik kayalara nazaran daha fazla olduğu ve bu ofiyolitlerin okyanus dibine yerleşme yaşının Üst Kretase olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca Hatay'daki ultrabaziklerin çok kökenli bir kayaç grubundan meydana geldiğini, Tektonitlerin yer mantosundan ileri gelen ekaylar olduğu ve manto içinde diyapir tarzında yükselmeleri sırasında yeni yapısal özellikler kazandıklarını belirtmiştir.

Yalçın (1980), tarafından yapılan çalışmada ofiyolit topluluğu kayalarının yerleşme yaş ve mekanizmaları ile çevre kayalarla olan ilişkilerini araştırmıştır. Kızıldağ ofiyolitinin yapılan harita alanında Miyosen yaşlı Kızıldere formasyonu ile ve daha güneyde Üst Mestrihtiyen yaşlı birimlerle örtüldüğünden, yerleşmesi Üst Mestrihtiyen öncesi olduğu, altındaki birimlerden sağlanan en genç yaşın Kampaniyen olmasından dolayı, kesin yerleşme yaşı Kampaniyen sonrası Üst Mestrihtiyen öncesi olması gerektiğini belirtmiştir.

Pişkin ve diğ., (1984), Kızıldağ ofiyolitinin farklı birimleri kısaca tanımlanmış ve yapılan gözlemler masifin jeolojik evrim çerçevesi içerisinde tartışılmıştır. Mikroyapısal olarak yapılan çalışma neticesine göre, bu kayaların üst kısımlarda iri taneli porfiroklastik doku ve alt kısımlarda ince taneli porfiroklastik doku sergilendiği ileri sürülmüştür.

Teleki ve Erendil (1986), tarafından yapılan çalışmada Kızıldağ (Hatay) ofiyolitinin Amanos dağlarının güneyinde tektonit peridotitlerden başlayıp, tabakalı ve izotrop gabroları izleyerek dayk ve volkanik karmaşıklarına kadar uzanan sürekli bir ofiyolit istifi yüzeyletiği belirtilmiştir. Nadir toprak ve iz element içerikleri olağan okyanusal değerlerden çok daha düşük olduğu belirlenip, Kızıldağ ofiyolitinin, önceden tüketilmiş bir manto üzerinde gelişmiş, birkaç küçük magma odası içeren yavaş bir yayılma merkezinde üretilmiş olduğu öne sürülmektedir.

Lytwyn ve Casey (1993), Türkiye'nin güneyindeki Hatay (Kızıldağ) ofiyolitinin jeokimyasal ve petrolojik incelemelerine bakarak, volkanik ve yapraklı daykların, ada-yayı toleyitleri ve bazaltik andezitlerden, bir dalma-batma bölgesi ortamında oluşan geçişli

boninitipit lavlarına kadar birbirinden farklı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Jeokimyasal modelleme yaparak, Hatay'ın hem yapraklı dayk hem de yastık bazalt kesitlerinde bulunan bileşimlerinin, tek başına fraksiyonel kristalleşme ile ilişkili olamayacağını, ancak her bir birimde farklı kompozisyonların çoklu parental magmalarına ihtiyaç duyduğunu ifade etmektedirler.

Dilek ve Thy (1998), Kızıldağ ofiyolitinin, Neo-Tetis'in okyanusal kabuğunun bir kalıntısı olduğunu ve deniz tabanının yayılmasında iyi korunmuş magmatik ve tektonik yapılar gösterdiğini belirtmişlerdir. Kızıldağ ofiyolitinin, NW-uzanımlı Tahtaköprü fayı ile ayrılan iki farklı masiflerden: ana masif yapının, güneydoğuda normal faya bağlı plütonik dizi ile yapısal bir grabende tabakalı dayk kompleksi ile bitişik bir serpantinleşmiş peridotit göbeğinden oluştuğunu belirtmişlerdir.

Bağcı ve diğ., (2008), Kızıldağ (Hatay) ofiyolitinin, güney Türkiye'de en iyi korunmuş Neotetis okyanusal litosfer kalıntılarından birisi olduğunu tabandan tavana doğru manto tektonitleri, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi, plajiyogranitler ve volkaniklerle (düşük-K toleyitler ve boninitler) temsil edildiğini açıklamışlardır. Kızıldağ ofiyolitindeki boninitik ve ada yayı toleyitik magmatizmasının mekansal ve zamansal ilişkilerinin, Geç Kretase'de Neotetis okyanusunun güney kolundaki yay-önü tektonik ortamında eşzamanlı olarak aktif olduklarını ifade etmektedirler.

Parlak ve diğ., (2009), yaptıkları çalışmada Kızıldağ ofiyolitinin, güney Türkiye'de en iyi korunmuş Neotetis okyanusal litosfer kalıntılarından birisi olup tabandan tavana doğru manto tektonitleri, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi, plajiyogranitler ve volkaniklerle temsil edildiğini söylemişlerdir. Kızıldağ (Hatay) ofiyolitinin okyanusal kabuk kayaçlarını oluşturan iki ana magmanın varlığını işaret etmişlerdir. Bunlar; I. Grup izotrop gabro ve levha dayklarını oluşturan adayayı toleyitik serisi ve II. Grup izotrop gabrolar, levha daykları ve Sakalavitleri oluşturan düşük-Ti boninitik seridir.

Karaoğlan ve diğ., (2013), Türkiye'deki Kızıldağ (Hatay) ofiyolitinin, güney Neotetis okyanusunun kalıntılarını temsil ettiğini ve Meastrihtiyen'de Neotetis okyanusu üzerinden güneye doğru yerleştiğini savunmuşlardır. Kızıldağ ofiyolitinin kristalleşme yaşını ve süresini gösteren U-Pb ve Sm-Nd jeokronoloji yöntemi kullanmışlar ve U – Pb yöntemine göre, bir plajiyogranit için 91.7 ± 1.9 My, gabro için 91.6 ± 3.8 My olduğunu belirtmişlerdir. Kümülatif gabroda Sm-Nd yöntemine göre 95.3 ± 6.9 My olduğu belirlenmiştir.

Usta ve diğ., (2015), tarafından yapılan çalışmada Amanos dağlarındaki ofiyolitik kayaların iki aşamadan meydana geldiğini, Amanoslar'da nap ve klipler halinde büyük alanları kaplayan Kızıldağ (Hatay) ofiyolitinin Tekirova ofiyolitleri ile benzerlikler arz ettiğini

belirlemişlerdir. Toros kuşağı boyunca ofiyolitik kayalarda bütünlük sağlama ve adlamada karmaşanın kaldırılması adına “ofiyolitik karışık ve ofiyolit” kütlelerinden oluşan okyanus kabuğu ürünlerini yeniden tanımlanarak Tekirova ofiyolit napı adı ile adlandırmışlardır.

2.2. Araştırma Konusu İle İlgili Çalışmalar

Graham (1976), kayacın basınç dayanımını dikkate alarak Robbins marka tam cepheli tünel açma makineleri üzerinde çalışmış ve kendi adını taşıyan bir yaklaşım geliştirmiştir.

Farmer and Glossop (1980), ortalama kesme kuvveti ve bir devirdeki ilerleme miktarının tahmini için kayacın çekme ve basınç dayanımlarını dikkate alarak bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Bamford (1984), tarafından yerinde toplanan makine ve kaya özelliklerine bağlı olarak bir yaklaşım geliştirilmiştir. Net ilerleme hızı ve keski tüketimini yüksek korelasyon katsayısı ile tahmin edebilmektedir.

Lislerud (1988), Trondheim Üniversitesi Norveç Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen yaklaşımda bir keskiye gelen kuvvet tahmini için; kayaçların dayanımı, kırılgenlik, aşındırıcılık ve çatlak yapısı ile makine özelliklerini (keski yapısı, keski çapı, keski arası mesafe, tork ve devir sayısı) dikkate alarak korelasyon yapmıştır.

Rostami ve Özdemir (1993), yaptıkları çalışmada gerçek boyutlu bir keski ile kaya bloğunun kesilmesi ve gerekli spesifik enerjinin hesaplanması esasına dayanan önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Teorik olarak net ilerleme hızına, makine kesme gücü ve optimum spesifik enerji değerlerinden ulaşılabilmektedir.

Barton (1999), ampirik modeli; delme-patlatma yöntemiyle açılan tüneller için geliştirilen Q sınıflama sistemine kayaç ile makine özelliklerini de katarak QTBM olarak adlandırılan bir sistem geliştirmiştir, bu model tam cepheli tünel açma makinelerinin performansını geliştirmek için kullanılmaktadır.

Feridunoğlu (2001), yaptığı çalışmada Tarabya atık su tüneli inşasında kullanılan tam cepheli tünel açma makinesinin performans tahmini yaparak makine performansını etkileyen parametreleri irdelemiştir.

Bieniawski ve diğ., (2007), tarafından yapılan çalışmada RMR kaya kütle sınıflaması ile TBM performansı ilişkilendirilmiştir. Bu amaçla RMR kaya kütle sınıflama sistemi ile ilerleme hız tahminini amaçlayan bir formül önermişlerdir.

Bilgin ve diğ., (2008), TBM performans tahmini için tam boyutlu doğrusal kazı setinin kullanımı üzerine detaylı çalışmalar yapmış ve elde edilen verileri araziden elde edilen verilerle karşılaştırmışlardır.

Yağız (2008), tarafından yapılan çalışmada, Amerika'da bulunan 7500 metre uzunluğundaki tünel verileriyle TBM'de ölçülen penetrasyon oranı ve kaya özellikleri (tek eksenli basınç direnci, Brezilyan çekme dayanımı, kırılgenlik/tokluk, zayıflık düzlemleri arasındaki mesafe ve kaya kütlesi içinde süreksizliklerin yönelimi) kullanılarak, hem TBM performansına kaya kütle özelliklerinin etkisi değerlendirilmiş, hem de TBM performans tahmini için yeni bir ampirik eşitlik önermiştir.

Balci (2009), çok kırıklı formasyonlarda kullanılan TBM'lerin performansı üzerine çalışarak arazi ve laboratuvarından elde edilen verilerin detaylı karşılaştırmasını yapmıştır.

Doğruoğlu (2009), tarafından yapılan çalışmada TBM ile tünel kazımı sırasında yüzeyde meydana gelebilecek deformasyonların sonlu elemanlar yöntemi ve numerik hesaplarla tahmin yapmıştır.

Gong ve Zhao (2009), tarafından yapılan çalışmada Singapurda bulunan TBM tünelleri için kayaların parçalanabilirliği ile TBM performansı ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Bunun için tek eksenli basınç direnci ve hacimsel eklem sayısı kullanılmış, sonuçlar sayısal veriler ile irdelemeye çalışmışlardır.

Hassanpour ve diğ., (2009), yaptıkları çalışmada jeolojik ve jeoteknik bilgi ve TBM parametreleri kullanılarak CSM, NTNU ve QTBM yöntemleri ile tahmin modelleri kullanılarak tahmin edilen makine performansı ile gerçekleşen ilerlemeler karşılaştırılmıştır. Ayrıca kaya kütle özellikleri, TBM performans parametreleri ile korelasyonu sonucunda ampirik yöntemler geliştirmişlerdir.

Arioğlu (2010), tarafından yapılan çalışmada, kaya kütle özellikleri ve arazi penetrasyon indeksi (FPI) kullanılarak TBM performans tahmini yapmıştır.

Hamidi ve diğ., (2010), tarafından İran'ın batısında bulunan Zagros tüneline inceleyerek yaptıkları 'RMR Sistemini Kullanarak Set Kaya TBM Performansı Tahmini' isimli çalışmalarında RMR sistemiyle daha önceden yapılan TBM performans analizi çalışmalarını irdelemişlerdir. Elde ettikleri verilerle (RMR) sistemi kullanılarak TBM performansı için uygun bir ampirik öngörü modeli oluşturmuşlardır.

Dayanç (2011), yaptığı çalışmada, Microsoft Excel tabanlı çalışan 'Crystall Ball' programı kullanarak deterministik tahmin yaklaşımlarıyla risk analizi yapmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ile görsel hale getirilerek yorumlamıştır. Ayrıca, risk analizi ile stokastik

olarak bulunan performans değerleri, deterministik yöntemle bulunan değerler ve arazide gerçekleşen değerleriyle karşılaştırmıştır.

Bilgin ve diğ.,(2012), geçilen formasyonların ortalama basınç dayanımı değerinden spesifik enerji gereksinimini tahmin eden bir eşitlik elde etmişlerdir. Ayrıca yaklaşımlarında RQD değerindeki değişim oranlarına dayanarak spesifik enerjinin oransal değişimi hakkında detaylı yorumlar yapmışlardır.

Tüysüz (2012), İstanbul’da açılacak metro tünellerinde TBM (tünel açma makinesi) performansını tahmin etmek için yeni bir yaklaşım geliştirmiştir.

Cingöz (2013), tarafından yapılan çalışmada, NATM ve TBM yöntemlerinin deneysel olarak maliyet ve süre kriterleri açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

Abık (2014), tarafından yapılan çalışmada, tünel kazılarında kaynaklanan yüzey ve yeraltı deformasyonlarının jeolojik ortam koşulları ile ilişkisi irdelenmiş, bölgede daha önce yapılmış jeolojik çalışmalar ile korelasyon yapılmış ve ortamın ön jeolojik modeli ortaya konulmuştur. Phase2D Programı kullanılarak sayısal modelleme çalışmaları ile ileri değerlendirmeler yapılmıştır.

omaklı (2015), tarafından yapılan çalışmada, tam boyutlu doğrusal kazı seti (LCM) ve küçük boyutlu doğrusal kazı setinin (SLCM) gözlemlenen dezavantajları minimize edecek ve yeni bir taşınabilir doğrusal kazı deney seti (PLCM) geliştirmesi ve bu deney seti kullanılarak yeni bir TBM performans tahmin modelinin geliştirilmesi üzerine çalışmıştır.

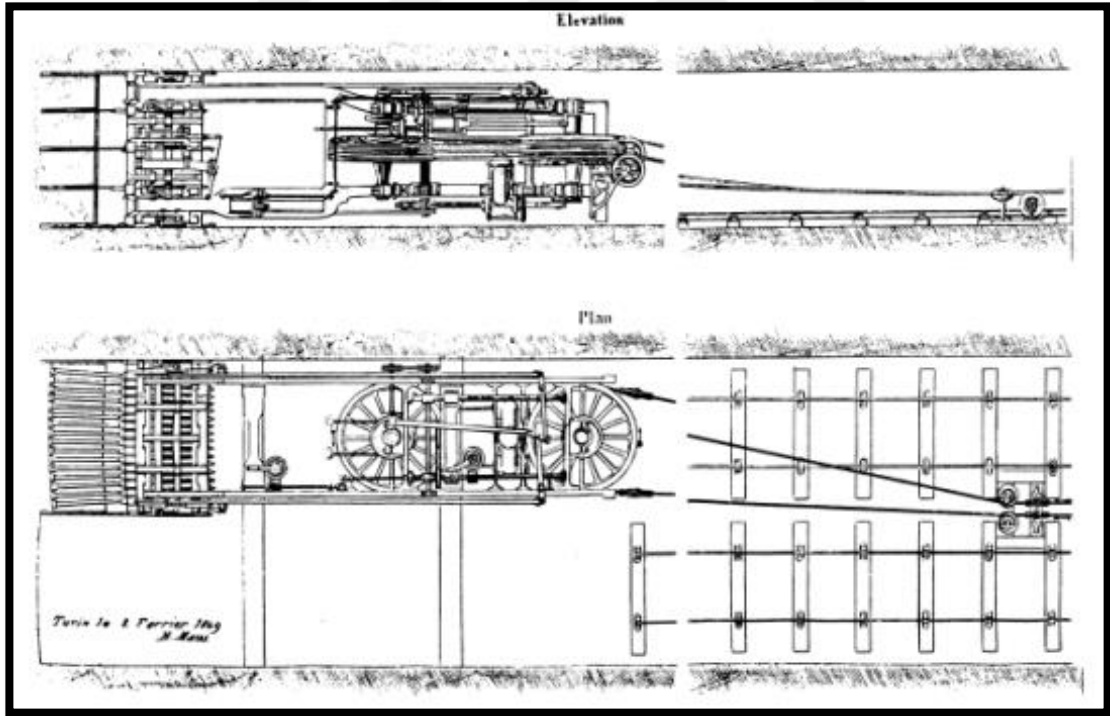
Hassanpour ve diğ., (2016), tarafından yapılan çalışmada, Glass Tünelinde tek kalkanlı TBM’le yapılan kazıda, şiltler etrafındaki ilişkili yükleri ve yüzey basıncını tahmin etmek ve analiz etmek için FLAC^{3D} programında 3D sayısal modellemesi yapılarak, oluşturulan kontur diyagramlarının yorumlanması yapılmıştır.

3. TÜNEL AÇMA MAKİNELERİ

3.1. Tünel Açma Makinelerinin Tarihsel Gelişimi

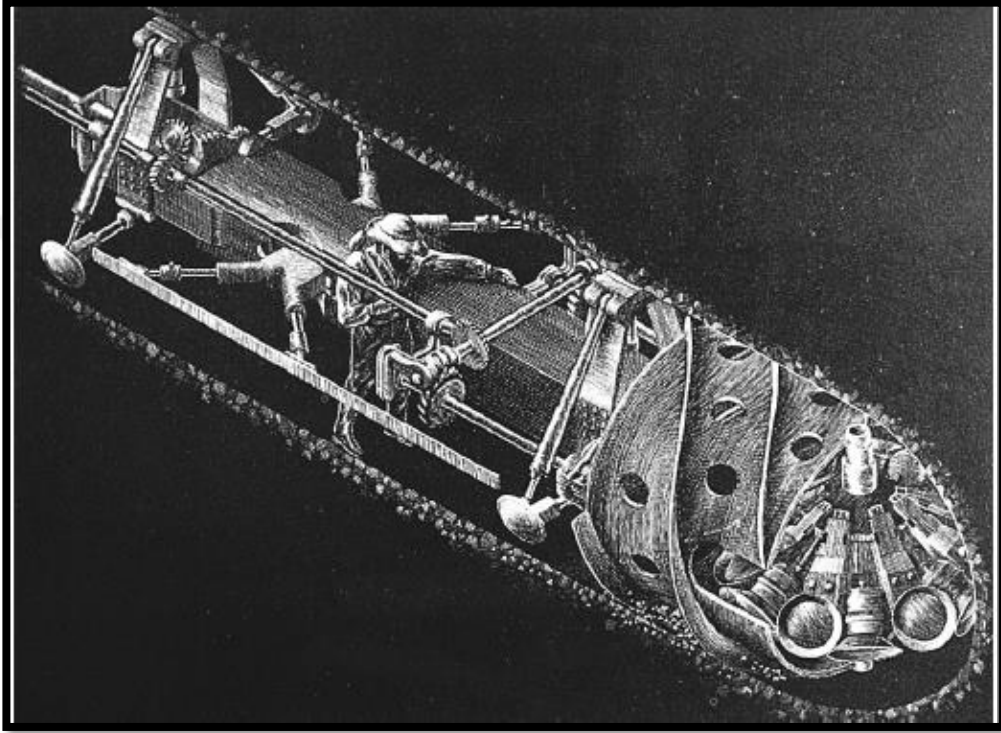
Tünelcilik, demiryolu ağı inşaatıyla birlikte 19. yüzyılın başında sanayileşme döneminde hızla gelişmiştir. Kaya ortamlarında kazı işlemi delme ve patlatma yöntemiyle yapılmıştır. Bu nedenle tünelciliğin ilk aşaması, patlayıcılarla delik delen matkapların geliştirilmesi olmuştur (Maidl, 1966).

İlk tünel açma makinesinin tarihsel gelişimi, keşif tünellerinin Beaumont tarafından geliştirilen makineler kullanılarak açılmaya başlamıştır ve bu makineler gerçek anlamdaki TBM'ler olmayıp tam yüzeyli kazı yapamamaktadır. Daha çok tünel duvarı ve çevresindeki boşluğu açarak kalan kısım makinenin geri çekilerek patlayıcılar ile açılmasıyla sağlanmıştır. Bu çalışma şekli Belçikalı mühendis Henri Josep Maus'un Mount Cenis tüneli için 1846'da inşa ettiği ve tasarladığı makinenin temel prensibini oluşturmaktaydı (Şekil 3.1).



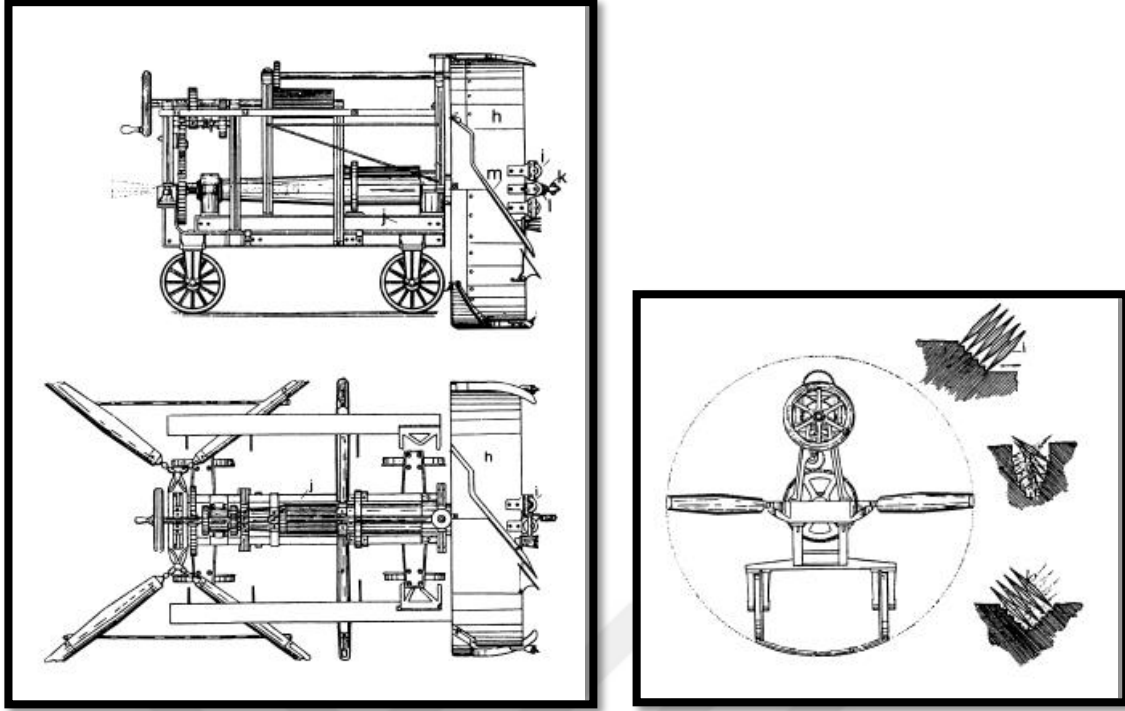
Şekil 3.1. H.J. Maus tarafından geliştirilen tünel açma makinesi, Mont Cenis tüneli (Maidl, 2008)

Amerikan bilim adamı Charles Wilson, 1851'de bir tünel açma makinesi (ekil 3.2) gelitirmi ve bu makine, modern anlamda bir TBM'in tüm özelliklerine sahip olup, tüneli delerek işleyen ilk makine olarak sınıflandırılma olanağına sahiptir. Wilson'un geliştirdiği makine 1853'te çeşitli testlere tabi tutulmuş ve Hoosac tünelinde yaklaşık 3 metre ilerledikten sonra, disk kesicileriyle ilgili sorunlar nedeniyle, delme ve patlatma yöntemiyle kazı yapılmıştır.



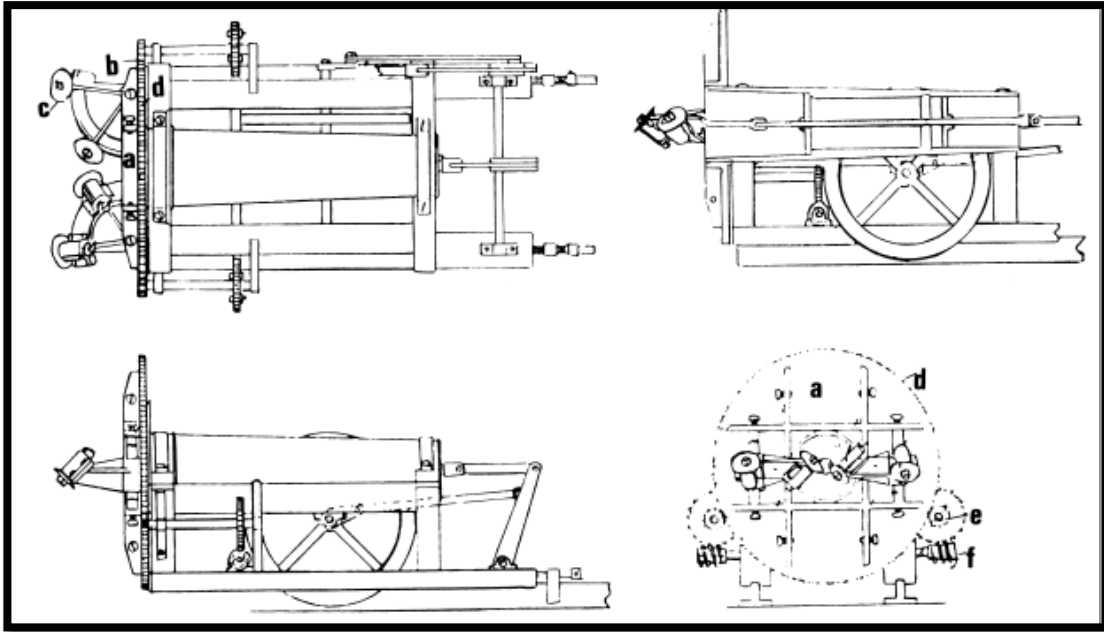
Şekil 3.2. C. Wilson tarafından geliştirilen ilk tünel açma makinesi, Hoosac tüneli (Maidl, 2008)

Hoosac tünelinde TBM ile ilgili deneyimlerinden sonra Wilson, 1875 yılında makinenin yeni bir versiyonunu geliştirmiştir (ekil 3.3). Bu versiyon tamamen yeni bir kesici kafa tasarımına dayanmaktadır; kafa üzerinde sadece harici bir halka ve halka üzerinde merkezi bir delik bulunmaktadır. Makine maksimum kesme derinliğine ulaştıktan sonra, kalan malzemenin patlayıcılar kullanılarak gevetilmektedir. Avantajı, tam bir kazı profili almaktır.



Şekil 3.3. C. Wilson tarafından daha da geliştirilmiş TBM (Maidl, 2008)

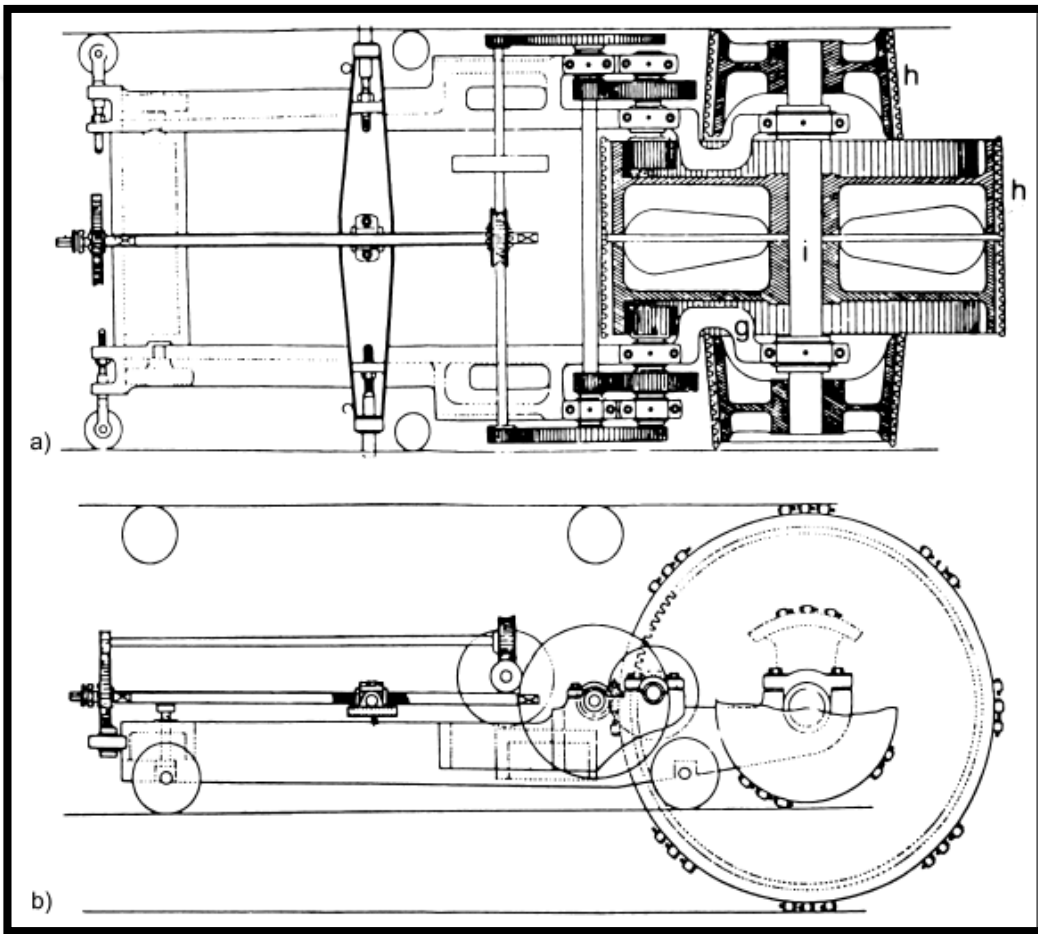
Aynı yıl Wilson'un Hoosac tünelineki ilk makinasını araştıran American Ebenezer Talbot, 1853 yılında yeni bir tünel açma makinesi geliştirmiştir. Fakat bu makinenin yapısı, Wilson'dan farklı olarak kesici kafada bulunan kollar üzerinde bir çift disk kesicilere sahiptir (Şekil 3.4).



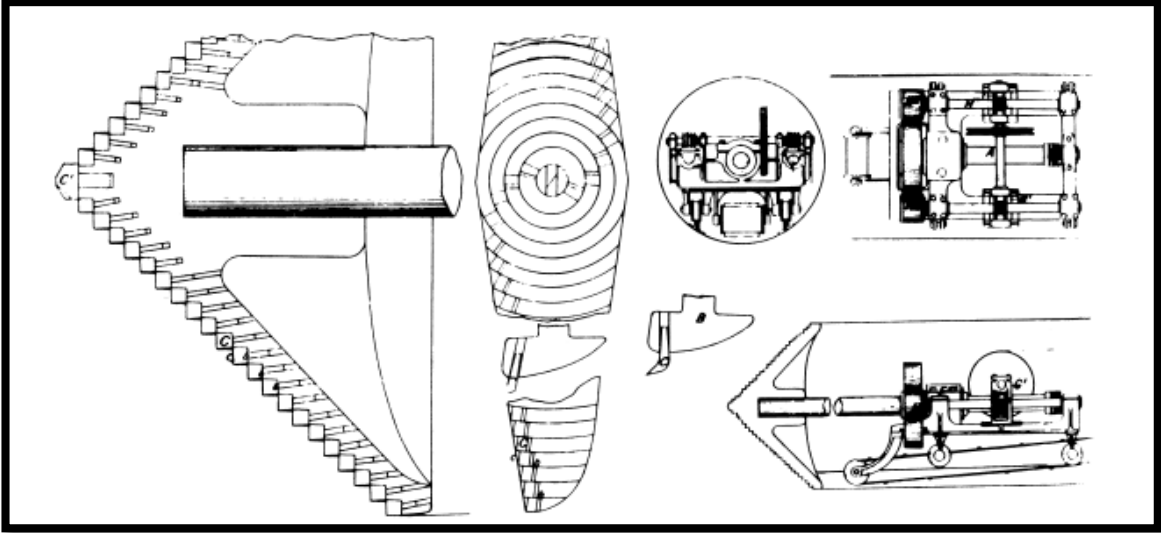
Şekil 3.4. E. Talbot'un geliştirdiği tünel açma makinesi (Maidl, 2008)

Cooke ve Hunter (Galler), 1866'da tamamen yeni bir sistem önermişlerdir. Tünel merkez çizgisi etrafında dönen bir kesici kafanın arkasında üç silindir bulunmaktadır ve orta silindir en büyük çapa sahiptir. (Şekil 3.5).

Frederick EB Beaumont, 1863 yılında, kesicilerle donatılmış bir tünel açma makinesi geliştirmiş ve bu makine bir su tüneli inşaatında kullanılmıştır (Şekil 3.6). Makinenin alt iskeleti, pasayı dışarı atma ve kesici kafa tahrik ünitesini taşıyacak şekilde donanımla oluşturulmuştur. Bu nedenle makineyi tünel duvarlarından destek almadan kesici kafayı ileri itme ilk kez mümkün olmuştur. Bu sistem, yüksek kesme basıncı oluşturmaktadır ve hala modern makinelerde bu prensip kullanılmaktadır.

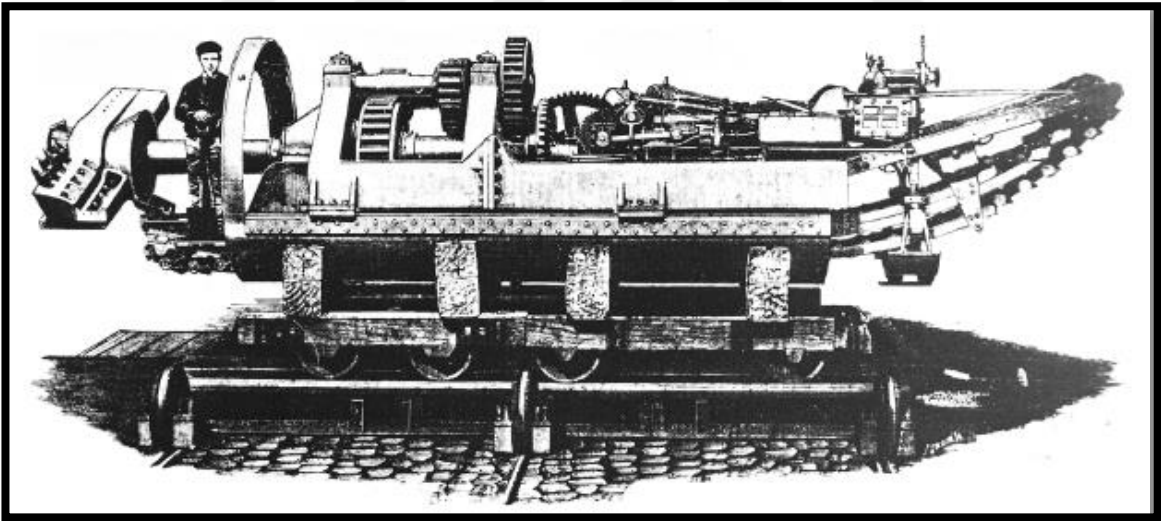


Şekil 3.5. Cooke ve Hunter tarafından geliştirilen tünel açma makinesi (Maidl, 2008)



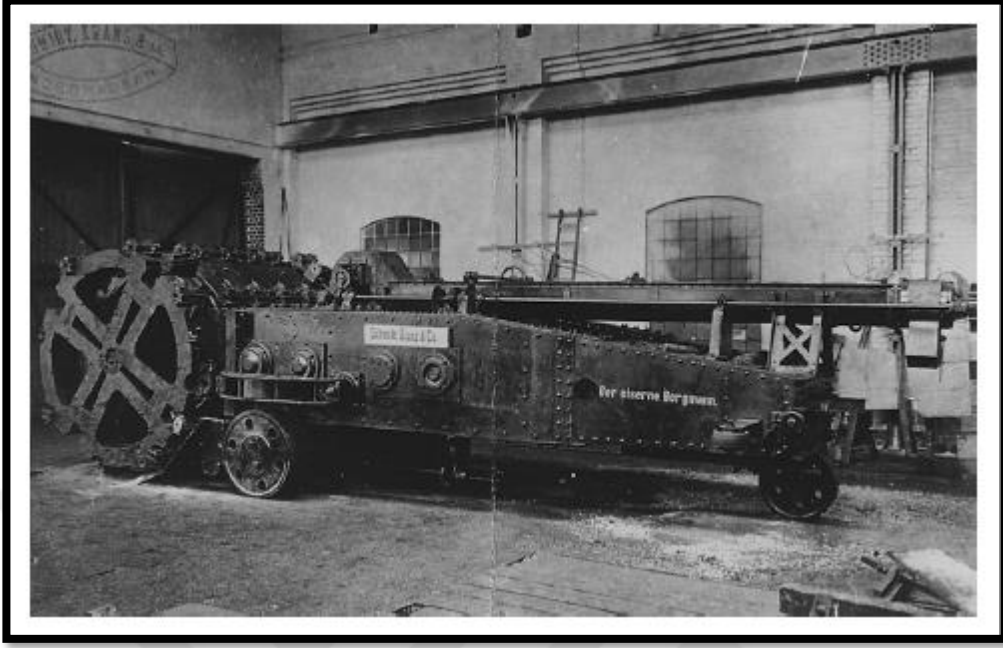
Şekil 3.6. Beaumont tarafından geliştirilen su tüneline kullanılan tünел açma makinesi (Maidl, 2008)

Beaumont, 1881'de Kanal Tünelini (Channel Tunnel) inşa etmek için yeni bir tünел açma makinesi geliştirmiş ve makineyle günlük maksimum ilerleme oranı 25 metreye ulaşmış olup o zaman için önemli bir başarı elde edilmiştir (Şekil 3.7).



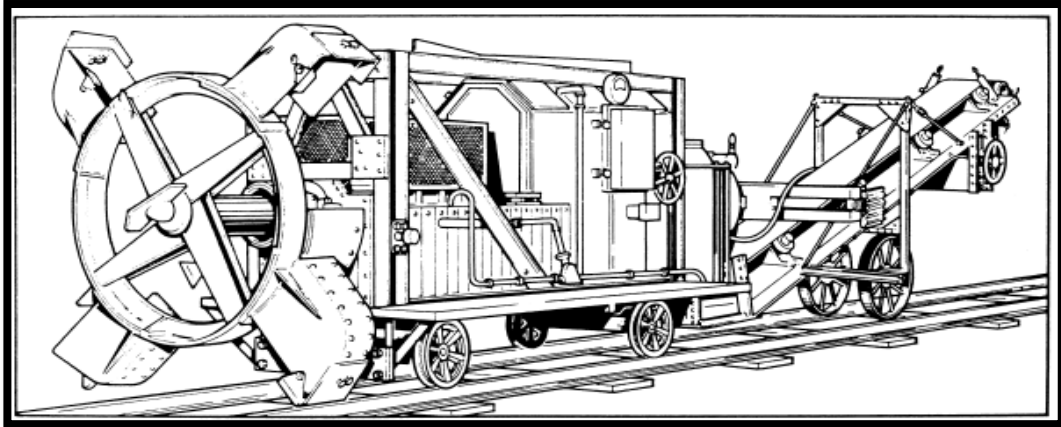
Şekil 3.7. Beaumont tarafından geliştirilen tünел açma makinesi (Maidl, 2008)

Sonraki yıllarda uzun bir süre tünел açma makineleriyle ilgili çalışmalar yapılmamış, fakat bu makineler zemin koşullarında yapılan kazılarda başarılı bir şekilde kullanılmıştır. 1916/1917'den itibaren Schmidt tarafından "Eiserner Bergmann" olarak adlandırılan tünел açma makinesinin ilk versiyonunda, bir kesici tekerlek üzerine çelik kesicilerle donatılmış bir döner silindir geliştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Schmidt tarafından geliştirilen galeri açma makinesi "Eiserner Bergmann"(Maidl, 2008)

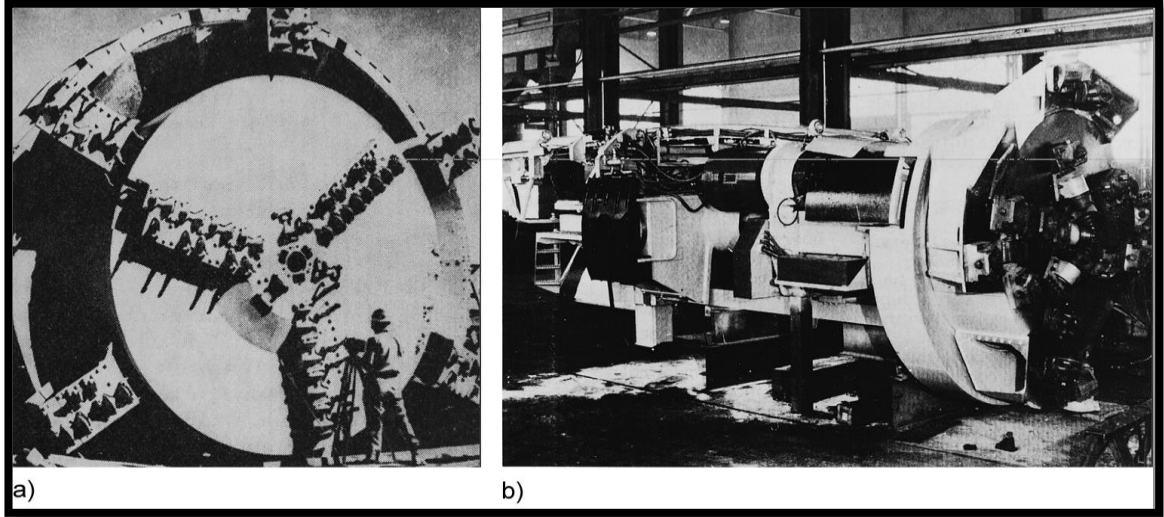
1931'den itibaren Shmidt, yeni nesil galeri açma makinesi geliştirmiş ve makine, kazı nakliyesi, destek nakliyesi, kablo taşıyıcı ve yükleme bandı gibi ana bileşenlerden oluşmaktadır. Uygulamada makine, araştırma yapmak için kullanılmıştır. 1920'lerde Kanal Tüneli (Channel Tunnel) için Whittaker tarafından geliştirilen TBM benzerliği dikkat çekmektedir (Şekil 3.9). Bu makine, Folkestone yakınlarında bir deneme aşamasında ortalama 2,7 m/s ilerleme hızı sağlamıştır.



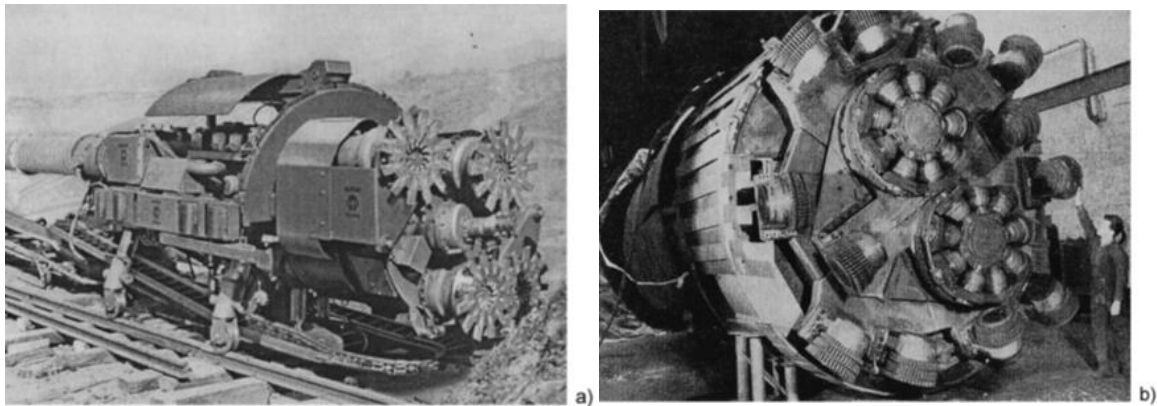
Şekil 3.9. Whitaker tarafından geliştirilen tünel açma makinesi (Maidl, 2008)

1950'li yıllardan sonra maden mühendisi James S. Robbins tarafından açık tip Gripper TBM geliştirilmiştir. Toronto'daki Humber kanalizasyon tüneline kullanılan bu TBM ile kumtaşı, kireçtaşı ve kilde 30 m/s'ye kadar olan ilerleme sağlanmıştır (Şekil 3.10).

Avusturyalı mühendis Wohlmeyer Avusturyadaki kömür madeni işletmeciliğinde kullanılan alttan kazı yapabilen bir teknoloji geliştirmiştir. Fakat bu teknoloji tutmamış ve kesici kafa, üç adet ters dönen halkaya bölünmüştür (Şekil 3.11). Bu teknoloji ile TBM'in kesici kafasının ön ve arka bölümlere ayrılması ve tünel kenarlarına dört büyük hidrolik baskı oluşturularak ilerleme silindirleriyle kesici kafanın harekete geçişi sağlanmıştır. Ve bu modern çalışma yöntemi şimdilerde double shield makinelerde de görülmektedir.

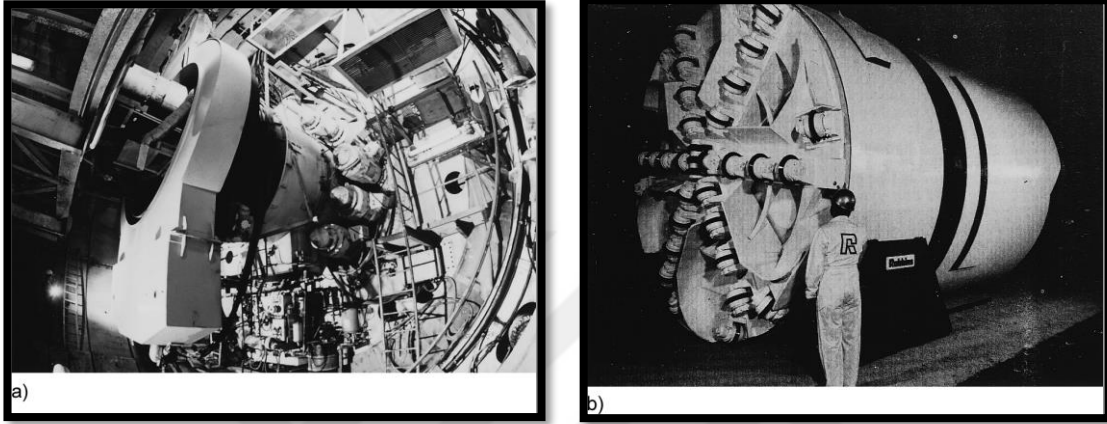


Şekil 3.10. Robbins tarafından geliştirilen tünel açma makineleri (Stack, 1995)
a) İlk Robbins TBM
b) İlk modern Gripper TBM, Humber Nehri kanalizasyon tüneli



Şekil 3.11. Tünel açma makinelerinin ilk Avrupa gelişmeleri (Maidl, 2008) a) Wohlmeyer galeri kesme makinası b) Kömür madenciliği endüstrisinde faaliyet gösteren tünel açma makinesi

1980 yılında ilk olarak geniş kesit alanına sahip Robbins'in gripper makinesi tek kalkanlı TBM'e dönüştürülmesi sağlanmıştır (Şekil 3.12). Aynı zamanda, Carlo Grandori, çift kalkanlı TBM kavramını geliştirmiş ve bunu Robbins'le birlikte İtalya'da Sila basınçlı tünelin inşası için uygulamaya koymuşlardır (Şekil 3.12). Bu makinenin geliştirilmesinin ana amacı, daha önce uygun jeolojik koşullarda çok etkili olduğunu kanıtlayan TBM'i heterojen kaya koşullarında daha esnek hale getirmektir.

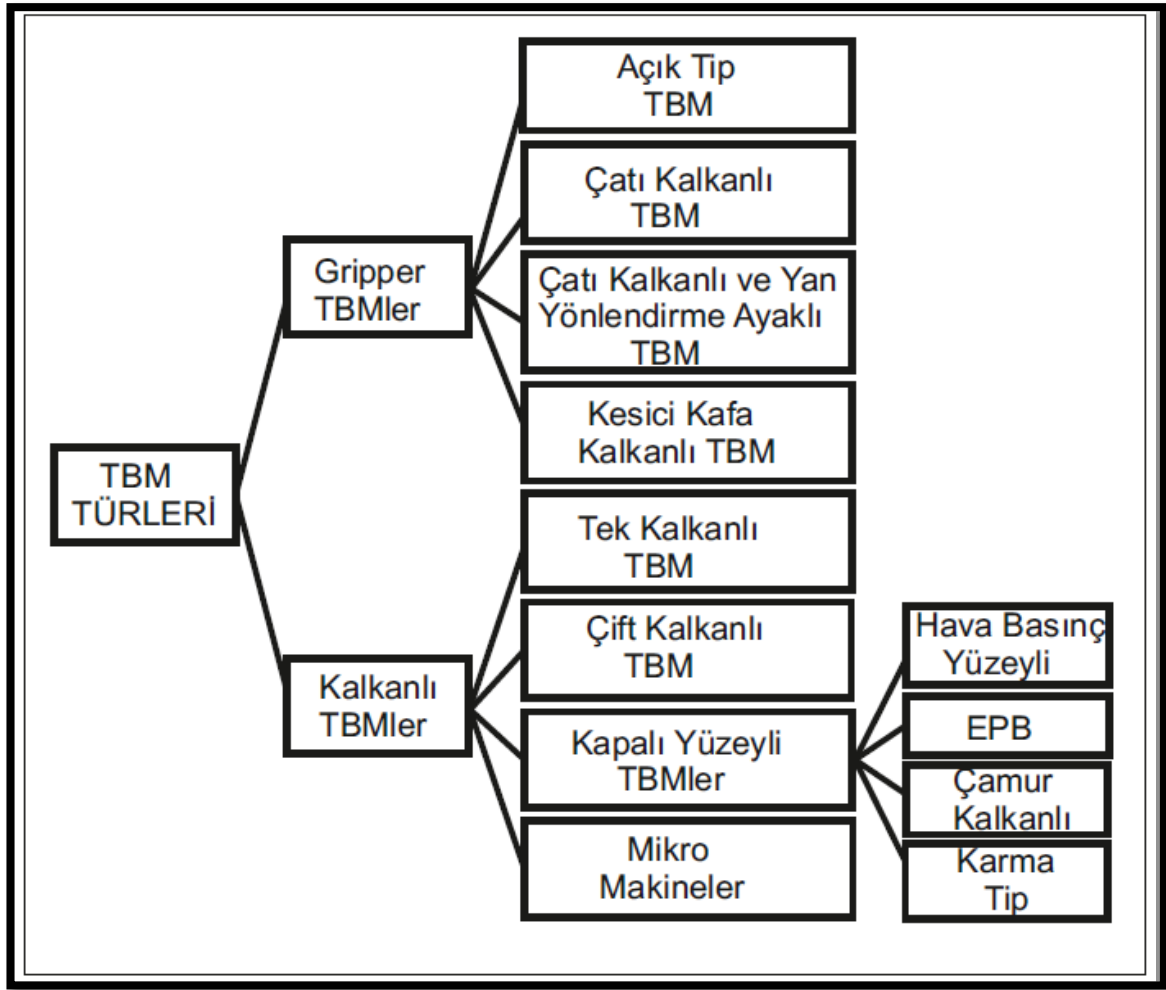


Şekil 3.12. Kalkanlı tünel açma makinesi (Maidl, 2008) a) Tek kalkanlı TBM, Gubrist tüneli b) Çift kalkanlı TBM, Sila basınç tüneli

3.2. TBM Tipleri

Tünel açma makineleri, kesici kafalı, itme silindirleri, artikülasyon silindirleri, gripper'lar (tutucu ayaklar), kesici kafa motorları, hidrolik ve elektrikli ekipman taşıyan yedek raylar, konveyörler ve havalandırma sistemi gibi çeşitli mekanik ve elektrikli parçalardan oluşmaktadır (Daub, 1997).

Uzmanlar ve imalatçılar bu makineler için, makine üzerindeki ekipman çeşitliliğine göre farklı isimler vermektedirler ve bu makineleri farklı zemin koşullarında önermektedirler. Bu makineler Şekil 3.13'de makine parçalarına göre sıralanmıştır.



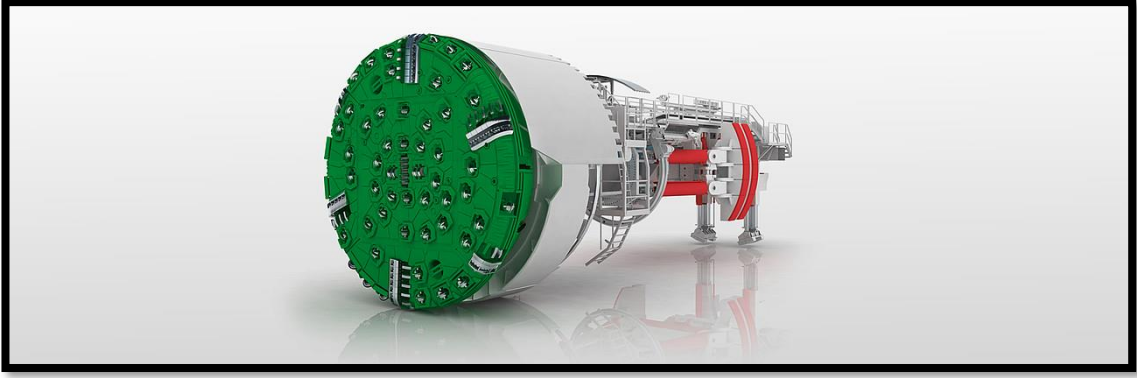
Şekil 3.13. TBM tipleri (Duab, 1997)

3.2.1. Gripper (Pabuçlu) TBM'ler

Gripper TBM makineleri (Şekil 3.14.) genellikle sert kaya koşullarında, nihai bir kalkan gerektirmeden ve örneğin aşırı yüksek bir yük nedeniyle bir takım deformasyonlar ve gerilme koşulları içeren projelerde kullanılır.

Gripper TBM'ler, tahkimatın kesici kafanın arkasında kurulmasından dolayı gruplandırılır. Destek sistemi, gerilme ve deformasyonların kontrollü bir şekilde azalmasına olanak tanıyacak şekilde esnek hale getirilebilir. Nihai bir kaplama gerektirmeyen projelerde ve iyi jeolojik koşullar altında, bu makine, kalkanlı TBM'lerle açılan tünellere kıyasla ekonomik bir tünel olabilir. (Maidl ve diğ., 2008).

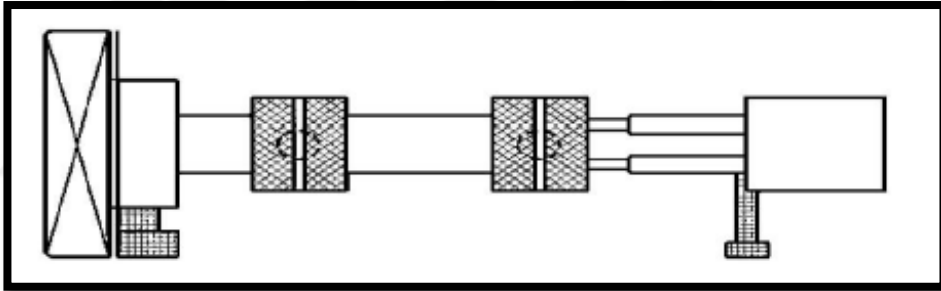
Gripper TBM'ler 4 ana kategoriye ayrılır; açık tip TBM, çatı kalkanlı TBM, çatı kalkanlı ve yan ayaklı TBM ve kesici kafa kalkanlı TBM'dir.



Şekil 3.14. Gripper tip TBM (Url-1).

a) Açık Tip TBM

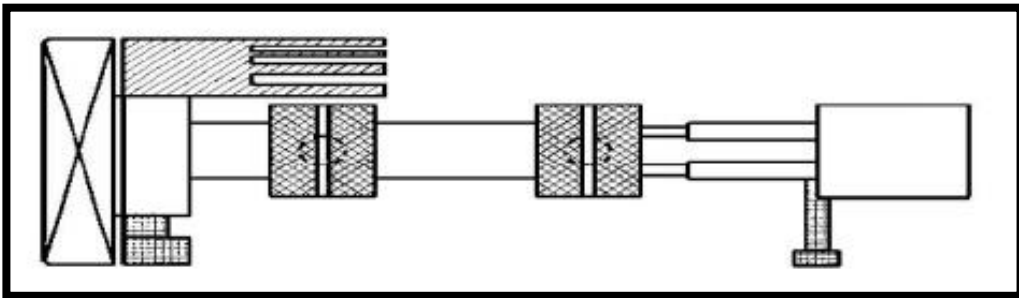
Açık tip TBM, operatörler ve makineler için yedekleme konusunda herhangi bir destek gerektirmeyen makinelerdir (Şekil 3.15.). Bu tür makineler daha çok kısa süreli delme işleminde ve iyi zemin koşullarında kullanılır (Maidl ve diğ., 2008).



Şekil 3.15. Açık Tip TBM (Maidl ve diğ., 2008)

b) Çatı Kalkanlı TBM

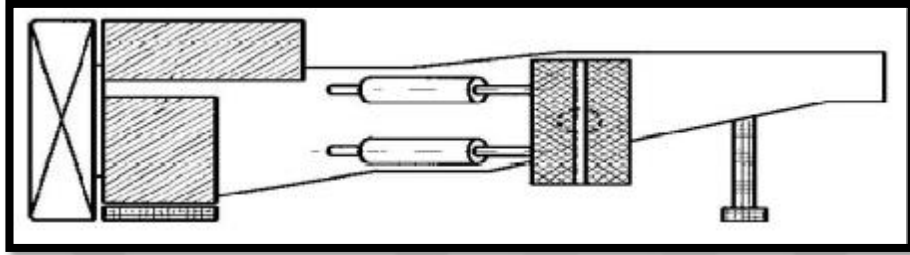
Çatı kalkanlı TBM'in inşa edilmesi, açık tip TBM'in kurulumuna tekabül etmektedir. Makine kazı sırasında kaya düşmelerine karşı, kesici kafanın arka kısmında makineyi koruyucu kalkan bulundurur (Şekil 3.16) (Maidl ve diğ., 2008).



Şekil 3.16. Çatı Kalkanlı TBM (Maidl ve diğ., 2008)

c) Çatı Kalkanlı ve Yan Ayaklı TBM

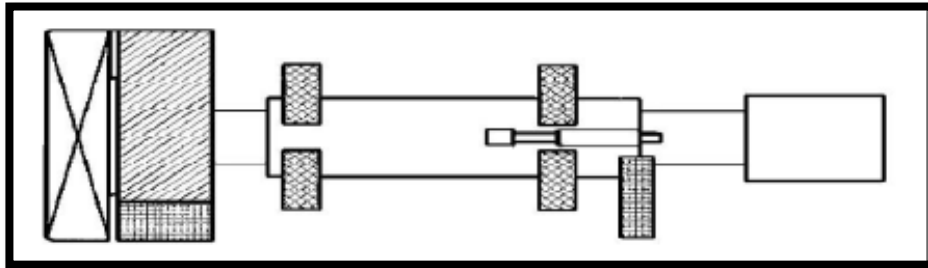
Makinede bulunan yan ayaklar, koruma fonksiyonuna ek olarak, makineyi hareket ettirirken ve kazı sırasında ön yüzeyi destekleme özelliğine sahiptir. Yan yüzeyler, tünel duvarlarından radyal olarak geçilebilir (Şekil 3.17) (Maidl ve diğ., 2008).



Şekil 3.17. Çatı Kalkanlı ve Yan Ayaklı TBM (Maidl ve diğ., 2008)

d) Kesici Kafa Kalkanlı TBM

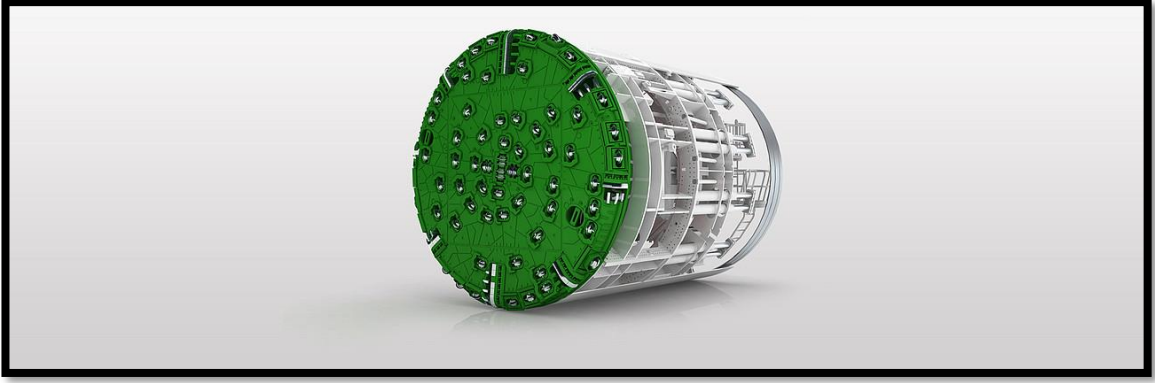
Çoğunlukla kırıklı yapıya sahip kaya koşullarında kullanılan bu tür makinelerde, kalkan yalnızca kesici kafanın arkasındaki destek operatörleri için kullanılır (Şekil 3.18). Makineyi hareket ettirirken, kısa kalkan silindiri öne doğru bir destek oluşturur (Maidl ve diğ., 2008).



Şekil 3.18. Kesici Kafa Kalkanlı TBM (Maidl ve diğ., 2008)

3.2.2. Kalkanlı TBM'ler

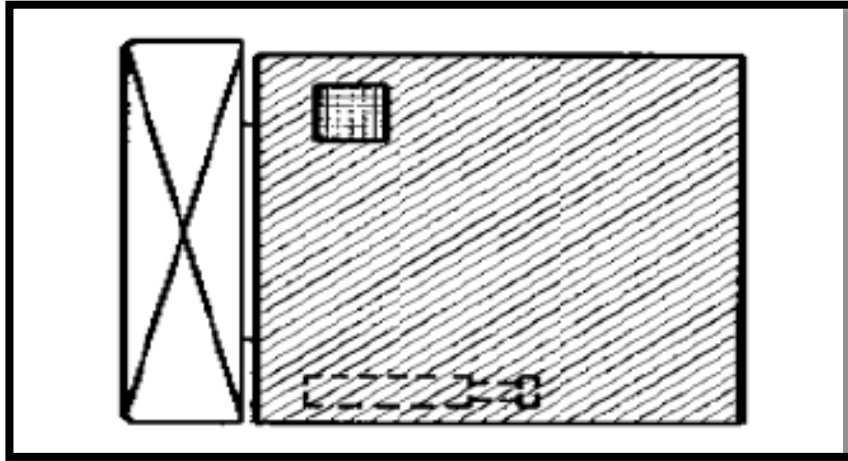
Bu tür makineler kırıklı-çatlaklı alanlarda ve stabil olmayan jeolojik koşullarda kullanılmaktadır. Bu tür durumlarda, kalkan, kesici kafanın hemen arkasında ve segment kenarlarına itilerek itme kuvveti oluşturur (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Kalkanlı TBM

a) Tek Kalkanlı TBM

Tek kalkanlı TBM'ler (Şekil 3.20) normalde, projenin çoğunun veya büyük bir bölümünün jeolojik olarak normal kaya koşullarıyla geçildiği veya tünel hattı boyunca fay zonu gibi olumsuz koşulların beklendiği durumda kullanılır. Tek kalkanlı TBM'nin kalkanı normal olarak çift kalkanlıdan daha kısadır. Jeolojiye ve tünelin uygulanmasına göre, segmentler ya doğrudan son kaplama (tek gövde yapısı) olarak ya da iç kısma sonradan eklenen (çift katmanlı döşeme) geçici kaplama olarak monte edilir. Bu tür makineler gripper TBM'e kıyasla, itme krikolarıyla doğrudan mevcut tünel segmentinden destek alarak itilir. (Maidl ve diğ., 2008).

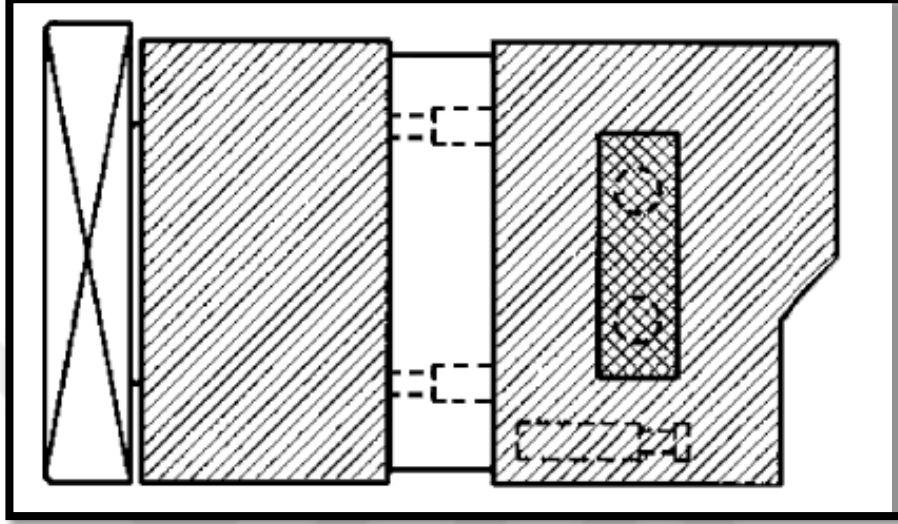


Şekil 3.20. Tek Kalkanlı TBM (Maidl ve diğ., 2008)

b) Çift Kalkanlı TBM

Bu tip makineler (Şekil 3.21) tek kalkanlı TBM'ler gibi kırıklı-çatlaklı ve stabil olmayan jeolojik koşullarda kullanılır. Ana farkı, çift kalkanlı TBM'lerin daha hızlı kazı yapabilme yeteneğine sahip olmasıdır. Bu tip TBM'ler ön kalkan, gripper kalkan (orta) ve kuyruk

(arka/son) kalkanından oluşur. Ön ve gripper (orta) kalkanlar, arası genişleyebilen teleskopik (iç içe geçen) kalkanlardır. Kazı sırasında gripper kalkan, makineyi yerinde tutmak ve itme silindirlerinden gelen yükü almak için kayaca basınç uygulayarak gripper ayaklarla mevcut konumda durur (Url-1).



Şekil 3.21. Çift Kalkanlı TBM (Maidl ve diğ., 2008)

3.2.3. Kapalı Yüzeyle TBM'ler

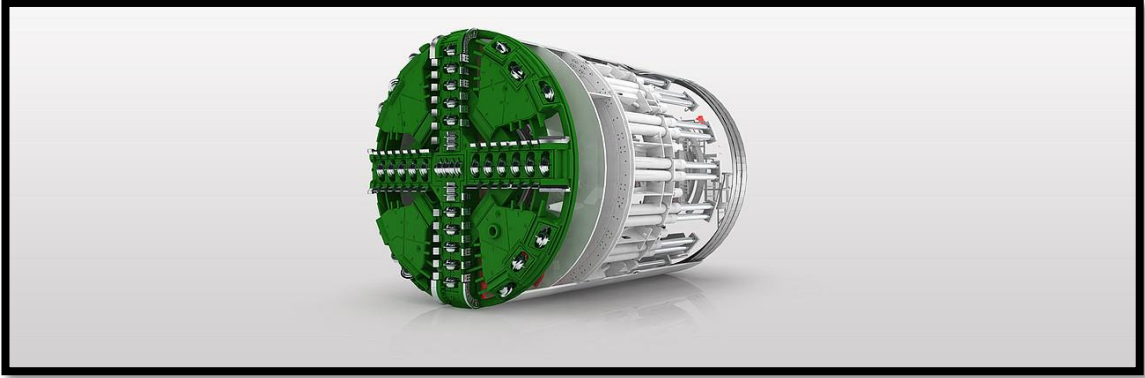
Değişken kesme yüzeyi ve/veya yüksek yeraltısuyu akışının olduğu koşullarda bu tip TBM'ler diğer tür TBM'lere göre daha çok kullanılır. Bu yöntemle, daha önce bahsedilen yöntemlerle zemin basıncı ve su akışı önlenir.

a) Hava Basıncılı TBM'ler

Hava basıncı dengeleyici makineler genellikle yüksek su akışının olduğu yüzeylerde ve kesme yüzeyine basınçlı su uygulayarak su akışını önlemeye dayalı işletim sistemlerinde kullanılır. Günümüzde bu tip makineler nadiren kullanılmaktadır (Url-1).

b) Pasa Basıncılı TBM'ler

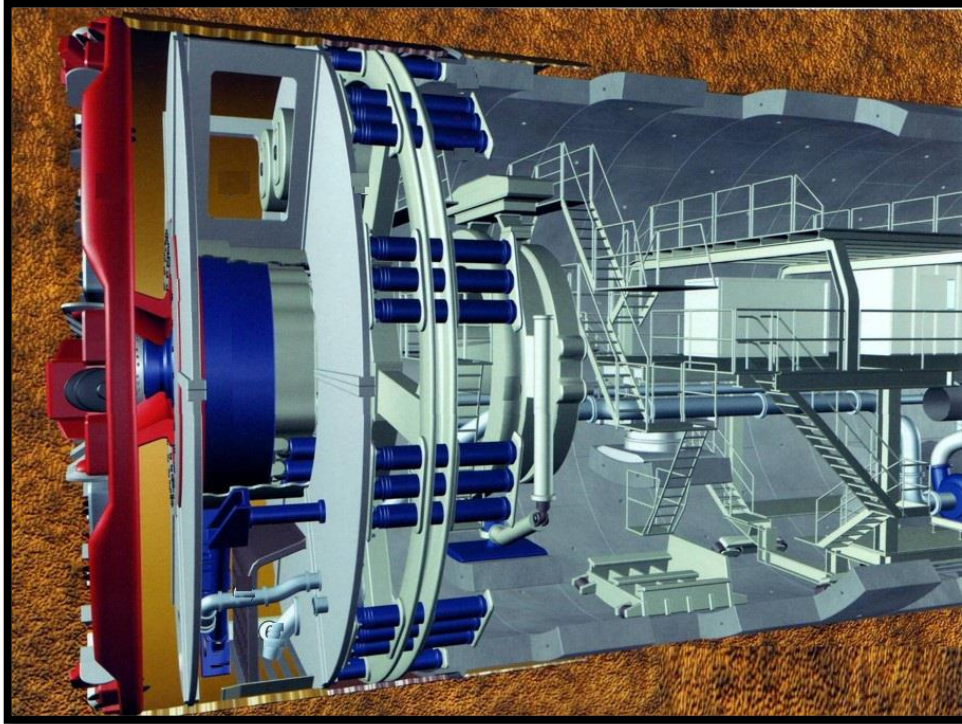
Pasa basınçlı TBM (Şekil 3.22) genellikle, kırıklı-çatlaklı ve kohezyonsuz zemin koşullarında kullanılır. Bu makine kullanıldığında basınçlı hava gibi ikinci bir destek kullanılmaz. Bu tip makine gerekli yüzey desteği oluşturmak için kazılan malzemeyi kullanır ve bu desteğin hacmi helezon konveyör ile sağlanır (Read, 2004).



Şekil 3.22. Pasa Basıncılı EPB/ TBM (Url-1)

c) Çamur Basıncılı (Bulamaçlı) TBM'ler

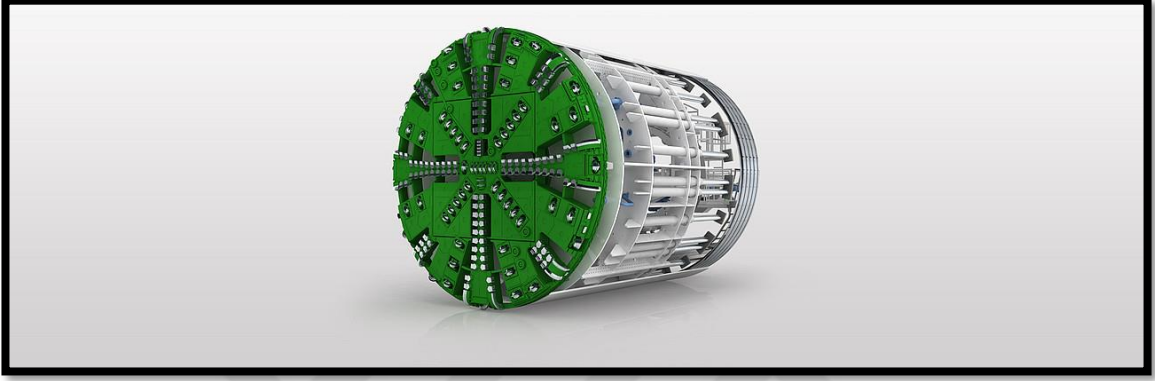
Çamur Kalkanlı TBM'ler (Şekil 3.23) genellikle, yüksek yeraltı girişi olduğu ve sert kaya veya kohezyonlu zeminler gibi stabil zemin koşullarında kullanılır. Çamur kalkanı, gerekli özgül ağırlık ve viskozitenin TBM'in ön ucundaki kesici haznenin içi basınçla dolduğu zaman çalışır. Bu işlem, çamura uygulanan basıncı kullanarak tünel aynasını desteklemek için yapılır ve çamur viskozitesi zemin basıncı ve yeraltı suyu basıncına karşılık tünel yüzeyinin içine nüfus eder (Maidl ve diğ., 2008).



Şekil 3.23. Çamur basınçlı TBM (Url-2)

d) Mixshield (Karma) TBM

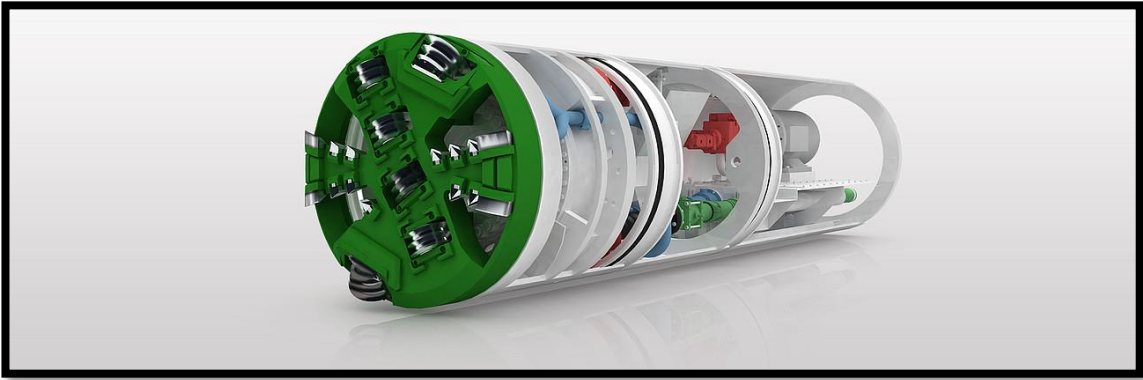
Mixshiel TBM'ler (Şekil 3.24) benzer jeolojik koşullarda kullanılır fakat diğer tip TBM'lerden tek farkı, kazı esnasında kesici kafanın arkasında hava basıncı pompalayabilen hava çemberinin olmasıdır. Bu metot kesici kafaya dayalı basıncın kolaylıkla kontrol edilmesini sağlar (Guglielmetti, 2008).



Şekil 3.24. Mixshield TBM (Url-1)

3.2.4. Mikro Makineler

Mikro tünel makineleri (Şekil 3.25), küçük çaplı (2 m den daha az) kesici başlıklarla donatılmıştır ve çoğunlukla demir yollarını geçmek için, yollarda ve ayrıca aç-kapa yönteminin uygulamasının imkansız olduğu koşullarda kısa mesafelerde kullanılır. Bu makinelerde itme kuvveti, itici krikolar ile sağlanır (Read, 2004).



Şekil 3.25. Mikro TBM (Url-1)

3.3. TBM’i Oluşturan Ekipmanlar ve Çalışma Sistemi

TBM’in ana parçaları kesici kafa, kesici kafayı ilerleten motorlar, makine şasisi, tutunma ve işletme ekipmanlarıdır. Gerekli kontrol ve yardımcı işlevler, bir veya daha fazla yük vagonu üzerindeki yapıda toplanır (Maidl ve diğ., 2008).

TBM’ler 4 çalışma sisteminden oluşur:

- Kazı Sistemi
- İtme ve Tutunma Sistemi
- Pasa Toplama ve Taşıma Sistemi
- Destek /Tahkimat Sistemi

3.3.1. Kazı Sistemi

Kazı sistemi temel olarak kazı aletleri veya kesici diskler, kazılan malzemeyi toplayan toplayıcı kürek, kesici disklerin monte edildiği delikler ve kesici kafadan oluşur. Kesici diskler kazılan malzemenin türü ve özelliklerine göre farklı yapıda ve sayıda olabilir. Fakat genel olarak kaya ortamlarında kesici diskler, zemin ortamlarında kazıyıcı diskler ve çok çatlaklı, yumuşak kaya ortamlarında her ikisi de birlikte kullanılmaktadır.

Kesici kafa üzerinde bulunan diskler dönerken, kesici kafa pistonlar yardımıyla aynaya doğru itilmektedir. Bu nedenle disklerde basınç meydana gelmekte ve kaya malzemesi ezilip kopmaktadır.

3.3.2. İtme ve Tutunma Sistemi

İtme ve tutunma sistemi TBM performansını etkileyen bir unsurdur. İtme ve sıkıştırma sistemi, hidrolik pistonlar aracılığıyla ileri doğru itme kuvveti sağlar ve kazının ilerlemesine etkendir. Tahrik ünitesi olan kesici kafa, hidrolik pistonlar tarafından gerekli basınç ile ileri itilir. İtme silindirin piston uzunluğu maksimum bir vuruş/darbe ile sınırlıdır. Tünel duvarındaki kayaların dayanabildiğinden daha büyük bir sıkıştırma kuvveti uygulanamaz. Destek ayakları kazılan bölümlerle birleştirilir ve hazır konumda olduğunda tünel duvarına yaslanır (Maidl ve diğ., 2008).

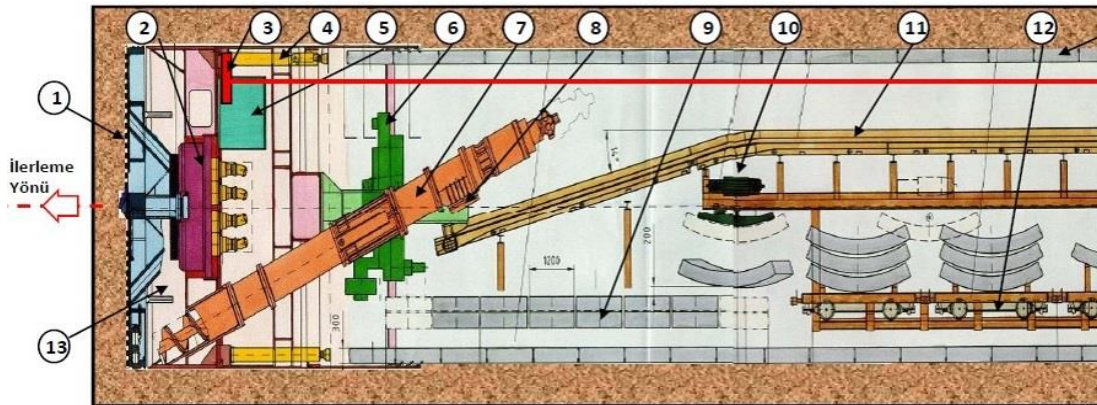
3.3.3. Pasa Toplama ve Taşıma Sistemi

Pasa taşıma sistemi, TBM tiplerine göre farklılık gösterir, çoğu TBM’de (Slurry hariç), kesici kafadaki kovalardan (bucket) boşaltılan kazı malzemesi helezon konveyör ile taşınır ve ardından ya bant konveyör ya da vagonlarla dışarı atılır. Fakat Slurry (bulamaç) makinelerinde TBM ilerledikçe, kazılan malzeme çalışma odasındaki çamur ile karışır ve pasa malzemesi, odanın altındaki bir boru/baca ile aynadan çıkarılır. Slurry (bulamaç) TBM’in yüzeyindeki sabit basıncın muhafaza edilmesi, makinenin içine akan çamur basıncının ve pasanın uzaklaştırılmasının kontrol edilmesini sağlar (Babendererde., 2005).

3.3.4. Destek/Tahkimat Sistemi

Açılan bir tüneldeki kazı duvarı ikincil gerilmelere maruz kalmakta ve bunun sonucu çevre kayacın tutunma kapasitesi azalmaktadır. Ortam çatlaklı ise zamanla kaya düşmesi ve sökülmeler meydana gelmektedir. Bu nedenle bu deformasyonların oluşmaması için tünel duvarının desteklenmesi gerekmektedir. Sağlam kaya koşullarında herhangi bir destek gerekli değildir.

Kaya koşullarının zayıf olduğu durumlarda kayanın kendini tutma süresi azalır. Bu durumda kayanın düşmesini önlemek için tünelin tavanında, kesici kafanın arkasına ve yanlarına doğru uzanan bir kalkan gereklidir. Kaya ortamının kötü-çok kötü olduğu durumlarda makineyi tamamen kapatan silindirik bir kalkan bulunur.



- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1) Kesici kafa | 8) Helezon konveyör kapağı |
| 2) Tahrik ünitesi (motor) | 9) Segment besleme ünitesi |
| 3) Elektronik hedef panosu | 10) Segment vinci |
| 4) İtici silindir | 11) Konveyör |
| 5) Hava kilidi | 12) Taşıma dekovili |
| 6) Erektör | 13) Basınçlı bölüm |
| 7) Helezon konveyör | 14) Monte edilen segmentler |

Şekil 3.26. TBM'i oluşturan ekipmanlar

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Bu tez çalışması Gaziantep ilinin kuzeybatısında ve Kahramanmaraş ilinin güneydoğusunda yer alan Nurdağı sınırları içerisinde Emir Musa Dağı üzerinde Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı kapsamında bulunan ve kanalın km: 65+098 ile km: 70+548 arasında yer alan tünelin 5450 metrelik kısmını içerir.

Nurdağı, kuzeyde Amanos dağlarının uzantısı ve güneyde Kartal Yücesi Tepesinin arasında kalan, Amik Ovası'nın birleşiminden mevcut olup, dağlık bölgeler güney kesimler hariç yer yer maki ve kayalık bölgeden oluşmaktadır. Ovalık bölgeler genellikle tarım alanı olarak kullanılmakta, dağlık kesimlerin yamaçlarında su kaynakları bulunmaktadır. Güneyde bulunan ormanlık alanlar sık ağaçlarla kaplıdır. Bölgede en yüksek rakım 1429 metre ile Kartal Yücesi Tepe, en düşük rakım 517 metre ile Höbür Tepe'dir (Url-3).

İlin iklimi Akdeniz ve Doğu Anadolu iklimleri arasında bir geçiş özelliğini gösterir. Akdeniz iklimi ağır basar. Yazları sıcak ve kuraktır. Kışlar çok soğuk olmaz. Ortalama iki ay kar yağar. Toprak ortalama 15 gün kar altında kalır. Yağışlar çok istikrarsızdır. Bâzı yıllar ve yıllara oranla iki misli yağmur yağar. Yağış ortalaması 550 milimetredir. Sıcaklık 17°C ile 48,8°C arasında seyreder.

İlin % 99'u tarıma elverişlidir. % 63'ü ekili dikili sahadır. % 22'si orman ve fundalıktır. % 14'ü çayır ve mer'alardan ibârettir. Orman sahası azdır. Fundalık geniş bir yer kaplar. Dağlar orman, ova ve yaylalar otlak görünümündedir (Url-4).

4.2. Metod

4.2.1. Arazi Çalışması

Yüksek lisans tezi kapsamında yapılan arazi çalışmalarında tünel güzergahının jeolojisi belirlenip, tünel kazı aşamasında tünelin içinde sistemin işleyişi, TBM'in çalışma prensibi gibi bilgiler not alınmış ve kaydedilmiştir.

4.2.2. Büro Çalışması

Tez kapsamında büro çalışması, literatür derleme, arazi ve proje kapsamında tutulan günlük vardiya raporlarından elde verilen değerlendirilmesi şeklinde yapılmıştır. Bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve tünel güzergahı jeolojisi kesiti Corel Draw X5 programı kullanılarak çizim yapılmıştır. Proje kapsamında tutulan günlük vardiya raporlarından elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak çeşitli korelasyonlar yapıp TBM performans değerlendirmesine gidilmiştir.

4.2.3. Değerlendirme ve Tez Yazım Aşaması

Arazi ve büro çalışması ile elde edilen bütün veriler doğrultusunda bölgenin jeoloji haritası, enine kesiti, makine parametreleriyle oluşturulan tablo, grafikler, arazi ve tünel görüntüleriyle çalışma alanının jeolojisi ve TBM performans analizini içeren bir yüksek lisans tez çalışması hazırlanmıştır.

4.2.4. Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemleri

Kaya kütlelerinde yapılan kazılarda özellikle kaya kütlelerinin yapısı, davranışı ve uygulanacak destek tipinin belirlenmesi için bir çok yöntem vardır. Kaya kütlesi sınıflama sistemleri pratik gereksinimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmış teorik bilgilerden oluşan sistemler olarak görülse de tünelcilik pratiğinde günlük faaliyetlerin bir parçası olarak da kullanılmaktadır. Tüneldeki kazı sistem ve yöntemleri, destekleme elemanlarının seçimi, bunların uygulanması, keşif bedeli belirlenmesi ve hakediş hesaplaması gibi bir çok tünelcilik uygulamasının temelinde kaya kütlesi sınıflama sistemleri kullanılmaktadır.

Jeoteknik tasarım amaçlı kullanılan kaya sınıflama sistemleri analitik, ampirik (görgül) ve ölçme-gözleme dayalı yöntemler olmak üzere üç ana yöntem ayrılır. Analitik yöntemler kazıların duraylılık koşullarının araştırılması ve kaplamadaki gerilme-deformasyon ilişkilerinin analizlerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemler sonlu elemanlar, sonlu farklar, sınır elemanlar vb. yöntemlerdir. Görgül yöntem, zemin koşulları bilgisinden yararlanarak istatistiksel bir takım yaklaşımlar ortaya koyar. Bu yöntemler, kaya yükü (Terzaghi, 1946), **RQD** (Deere and Miller, 1966), **RSR** (Wickhan ve diğ., 1972), **RMR** (Bieniawski, 1976-1989), **Q** (Barton, ve diğ., 1974, Grimstad ve Barton, 1993) vb. yöntemlerdir. Görgül yöntemlerin bir çoğu kabaca ortalama destek gerekliliğinin tahmininden kullanılır. Ancak mühendislik kararları verilirken de pratik amaçlar için yeterlidir (Franklin ve Dusseault, 1991). Ölçme ve gözleme dayanan Yeni Avusturya Tünelcilik Yönteminde de (NATM) (Rabcewicz, 1964),

Özellikle kazı ve çevresinden elde edilen deneyimler ve jeodetik aletler kullanarak aletsel izleme çalışmalarını kapsar.

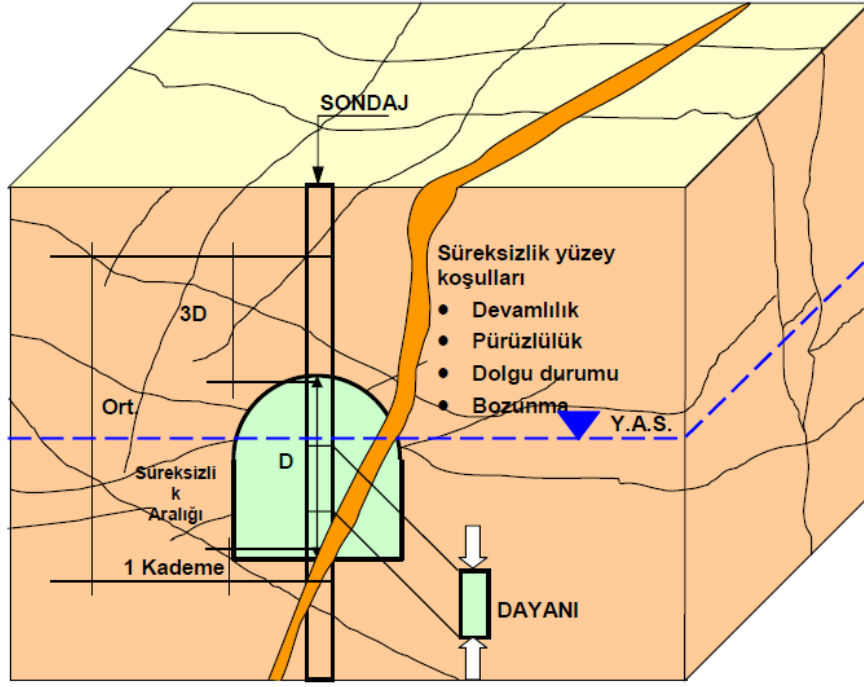
Bu yöntemler mühendislik tasarım yöntemi olmakla birlikte, aslında tasarıma yardımcı olan ve ön tasarım amacıyla kullanılabilcek birer araç olarak değerlendirilir. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin bu çerçevede algılandığı ve doğru kullanıldığı birçok mühendislik uygulanmasında başarı ortaya koyduğu görülmüştür.

4.2.4.1. RMR Sınıflama Sistemi

RMR sınıflama sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Sistem, 1989'a kadar geçen süre içerisinde yapılan gözlemler ve yeni veriler esas alınarak birkaç kez değişikliğe uğramıştır. 1973'de 1989'a kadar tüneller, büyük yeraltı açıklıkları, maden işletmeleri, şevler ve temeller ile ilgili toplam 351 farklı uygulamadan derlenen veriler ve kazanılan deneyimler çerçevesinde sistem son şeklini almıştır (Ulusay ve Sönmez, 2002). RMR kaya kütle sınıflama sistemi belirlenirken 6 parametreden yararlanılır (Tablo 4.1).

RMR kaya kütlesi sınıflamasında esas alınan parametreler;

- 1) Kayaç malzemesinin dayanımı (σ_c)
- 2) Kaya kalite göstergesi (RQD)
- 3) Süreksizlik aralığı
- 4) Jeolojik parametreler (pürüzlülük, açıklık, bozunma, dolgu, devamlılık)
- 5) Yeraltısuyu koşulu
- 6) Süreksizlik yönelimi



Şekil 4.1. RMR kaya kütlesi sınıflandırma sistemi girdi parametreleri

Tablo 4.1. RMR girdi parametreleri ve değerlendirilmesi (Bieniawski, 1989)

| Parametre | | Değer Aralığı | | | | | | | |
|-----------|---|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|---|---------|--------|
| 1 (*) | Som Kayanın Dayanımı | Nokta Yük Dayanımı | >10MPa | 4-10 MPa | 2-4 MPa | 1-2 MPa | Bu aralıkta tek eksenli sıkışma dayanımı yeğlenir | | |
| | | Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı | >250MPa | 100-250 MPa | 50-100 MPa | 25-50 MPa | 5-25 MPa | 1-5 MPa | <1 MPa |
| | Değerlendirme | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 (*) | Sondaj Karot Niteliği(RQD) | | 90%-100% | 75%-90% | 50%-75% | 25%-50% | <25% | | |
| | Değerlendirme | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 (*) | Süreksizlik Aralıkları | | > 2m | 0,6-2m | 200-600 mm | 60-200 mm | <60 mm | | |
| | Değerlendirme | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | Süreksizliklerin Durumu (Çizelge 4'den bulunur) | Çok Pürüzlü Süreksiz Kapalı Taze Eklem Yüzü | Az Pürüzlü Açıklık <1mm | Az Pürüzlü Açıklık <1mm | Az Pürüzlü Açıklık <1mm | Cıvalı Yüzler veya Dolgu < 5 mm veya Açıklık 1-5 mm Sürekli | Yumuşak Dolgu >5 mm veya Açıklık >5 mm Sürekli | | |
| | | Değerlendirme | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |

Tablo 4.2. RMR girdi parametreleri ve değerlendirmesi (Devamı), (Bieniawski, 1989)

| | | | | | | | |
|---|---------------|---|----------------|-------|---------|-------------------|--------|
| 5 | Yeraltısuyu | Tünelin her 10m'si için su akımı (l/dk) | Yok | < 10 | 10-25 | 25-125 | >125 |
| | | Eklem Suyu Basıncı/ Asal Gerilim | 0 | < 0,1 | 0,1-0,2 | 0,2-0,5 | > 0,5 |
| | | Genel Durumlar | Bütünüyle Kuru | Nemli | Islak | Damlatma/ Sızıntı | Akıntı |
| | Değerlendirme | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | |

(*) İlgili abaktan bulunur.

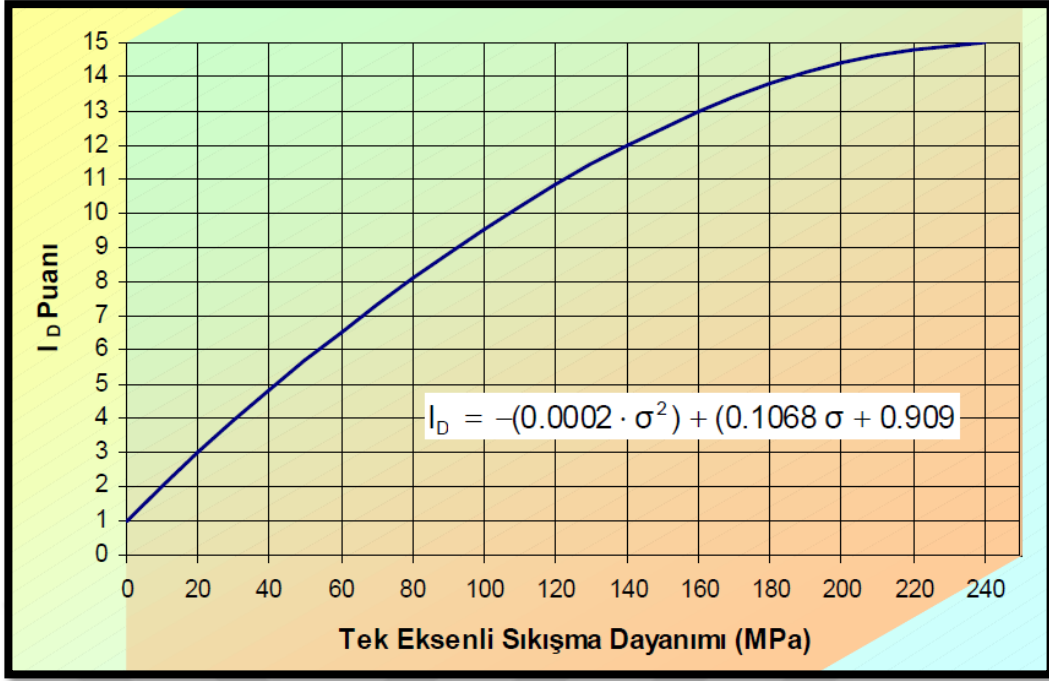
(1MPa=10.197 kgf/cm²)

Bieniawski tarafından geliştirilen RMR sisteminde tüneller için iki önemli sınırlama bulunmaktadır. Bunlar;

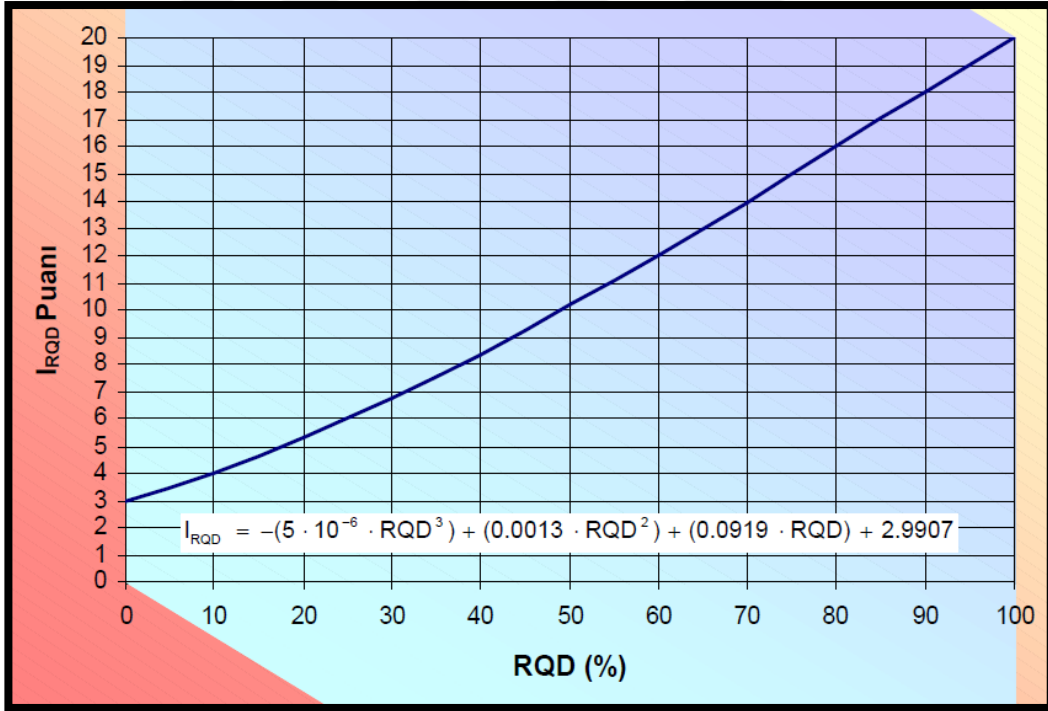
- ✓ Tünelin yüksekliği en fazla 10 m'dir.
- ✓ Tünelin şekli at nalıdır.

Ancak birçok araştırmacı, bu sınıflama sistemi dairesel kesitli tünellere de uygulamışlardır. Düzeltilmiş Bieniawski (1989) RMR sisteminde girdi parametrelerinin bulunması için izlenecek adımlar şu şekildedir;

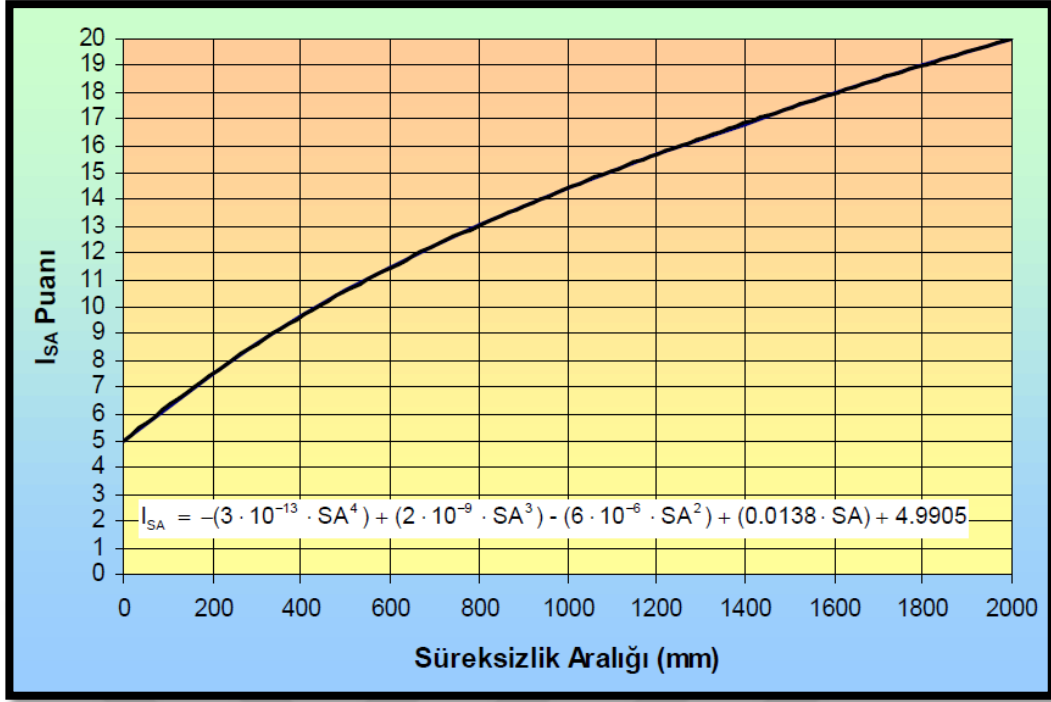
Kaya kütesinin RMR değeri belirlenirken Bieniawski (1989)'daki son versiyon kullanılarak sistemin ilk üç parametresi olan Tek eksenli basınç dayanımı, RQD ve süreksizlik aralığı puanları, Bieniawski (1989) tarafından önerilen puan tayin grafiklerinden (Şekil 4.2,3,4), dördüncü parametre puanı, süreksizliklerin durumunun puanlandırılması için önerilen kılavuzdan (Tablo 4.2), 5. parametre puanı, sınıflama parametreleri ve puanları çizelgesinden yararlanılarak belirlenir (Tablo 4.1). Bu ilk beş parametreden elde edilen puanlar toplanarak temel RMR değeri elde edilir. Altıncı parametrenin puanı süreksizlik yönelimine göre düzeltme tablosu (Tablo 4.4) kullanılarak belirlenir ve temel RMR değerinden 0-12 puan arasında bir azaltmaya gidilerek nihai RMR değeri elde edilir. Elde edilen RMR değerinden kaya kütesi 0-100 arasındaki bir puan aralığında çok iyi kayadan - çok zayıf kayaya kadar sınıflandırılır (Tablo 4.5).



Şekil 4.2. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde tek eksenli sıkışma dayanımı için puan beklirleme grafiği (Bieniawski, 1989).



Şekil 4.3. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde RQD için puan beklirleme grafiği (Bieniawski, 1989).



Şekil 4.4. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde süreksizlik aralığı için puan beklirleme grafiği (bieniwski, 1989)

Tablo 4.2. Süreksizlik koşulunun puanlandırılması için önerilen kılavuz (Bieniwski,1989)

| | | | | | |
|----------------------|-------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Süreksizlik Uzunluğu | < 1 m | 1-3 m | 3-10 m | 10-20 m | > 20 m |
| Değerlendirme | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| Açıklık | Yok | <0,1 mm | 0,1-1,0 mm | 1-5 mm | > 5 mm |
| Değerlendirme | 6 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| Pürüzlülük | Çok Pürüzlü | Pürüzlü | Az Pürüzlü | Pürüzsüz | Cıvalı Yüzlü |
| Değerlendirme | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Dolgu | Yok | Sert Dolgu <5 mm | Sert Dolgu > 5 mm | Yumuşak Dolgu <5 mm | Yumuşak Dolgu > 5 mm |
| Değerlendirme | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 |
| Ayrışma | Taze | Az Ayrışmalı | Orta Ayrışmalı | Çok Ayrışmalı | Bütünüyle Ayrışmalı |
| Değerlendirme | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |

Arazi çalışmaları sonucunda yapılan gözlemlere göre yeraltısuyu durumu (I_{YD}) belirlenerek gerekli puanlama Tablo 4.1'e göre yapılır.

Bu beş madde sonucunda belirlenen puanlar toplanarak Temel RMR değeri bulunur.

$$\text{TEMEL RMR} = (I_d) + (I_{RQD}) + (I_{SA}) + (I_{SD}) + (I_{YD}) \quad (\text{E.4.1})$$

Tablo 4.3. Süreksizliklerin doğrultu ve dalımının tünel açımına etkileri

| Doğrultu Tünel Eksenine Dik | | Doğrultu Tünel Eksenine Paralel | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| Eğim Yönünde İlerleme Dalım 45-90° | Eğim Yönünde İlerleme Dalım 20-45° | Eğim 45-90° | Eğim 20-45° |
| Çok Uygun | Uygun | Çok Uygun | Orta |
| Eğim Karşı İlerleme Eğim 45-90° | Eğim Karşı İlerleme Eğim 20-45° | Doğrultudan bağımsız Eğim 0-20° | |
| Orta | Olumsuz | Orta | |

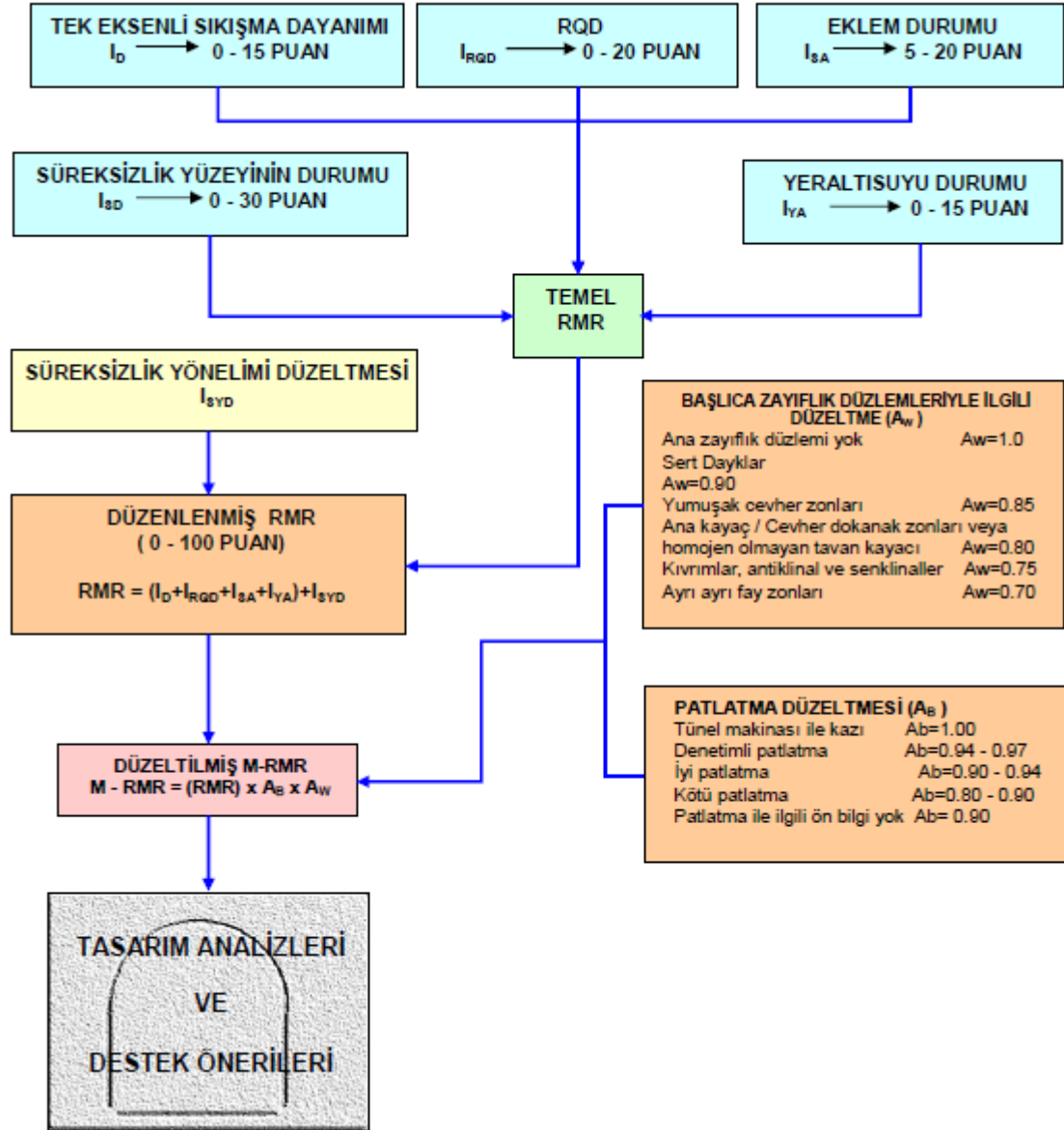
Tablo 4.4. Süreksizliklerin konumu için değer düzeltme

| Eklemlerin Doğrultu ve Eğimi | | Çok Uygun | Uygun | Orta | Olumsuz | Çok Olumsuz |
|------------------------------|----------|-----------|-------|------|---------|-------------|
| Değerlendirme | Tüneller | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| | Temeller | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| | Şevler | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |

Son olarak Tablo 4.5.'den (Bieniawski (1989)'dan yararlanılarak) Düzeltilmiş RMR sınıflandırması yapılır.

Tablo 4.5. Toplam değerlendirmeden kaya sınıfının belirlenmesi ve nicelik anlamları

| D-RMR Değerlendirme Puanı | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | <21 |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Sınıf No | I | II | III | IV | V |
| Kayaç Sınıflaması | Çok İyi Kaya | İyi Kaya | Orta Kaya | Zayıf Kaya | Çok Zayıf Kaya |
| Ortalama Kendini Tutma Süresi | 15 m açıklık için 20 yıl | 10 m açıklık için 1 yıl | 5 m açıklık için 1 hafta | 2,5 m açıklık için 10 saat | 1 m açıklık için 10 dakika |
| Kaya Kütlelerinin Kohezyonu (K_{pa}) | >400 | 300-400 | 200-300 | 100-200 | <100 |
| Kaya Kütlelerinin İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) | >45 | 35-45 | 25-35 | 15-25 | <15 |



Şekil 4.5. Düzeltilmiş RMR sınıflaması işlem şeması (Sönmez ve Ulusay, 2002'den alınmıştır.)

4.2.4.2. Q Sınıflama Sistemi

1974 yılında Barton ve arkadaşları tarafından Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nde geliştirilmiş bir sınıflamadır. Sistem altı adet parametreyi esas almaktadır:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{W_w}{SFR}$$

(E.4.2)

Burada,

RQD : kaya kalitesi tanımı

J_n : eklem takım sayısı

J_r : eklem pürüzlülük sayısı

J_a : eklem alterasyon sayısı

J_w : eklem suyu indirgeme sayısı

SRF : gerilme indirgeme faktörünü ifade etmektedir.

Formülde; RQD/J_n kaya kütlelerinin genel yapısının ve blok boyutunun, J_r/J_a bloklar arası kayma dayanımının, J_w/SRF aktif gerilme değerinin bir göstergesidir.

Bu sınıflama sistemine göre, Q değerinin hesaplanması için kullanılan 6 parametre Tablo 4.6'da açıklamalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.6. Q sisteminin girdi parametreleri ve değerleri (Barton vd. 1980 ve Barton 2000'den)

| 1) RQD | Kaya Kalite Tanımı |
|---|--------------------|
| 0-25 | Çok Zayıf |
| 25-50 | Zayıf |
| 50-75 | Orta |
| 75-90 | İyi |
| 90-100 | Çok İyi (Mükemmel) |
| RQD<10 (0 dahil) ise Q'nun hesaplanmasında 10 gibi nominal bir değer alınır. RQD için 100, 95, 90 gibi 5'erlik aralıkları yeterlidir. | |

| 2) Çatlak Takım Sayısı | (J _n) |
|---|-------------------|
| Masif, eklem çok az veya hiç yok | 0,5-1,0 |
| Bir eklem takımı | 2 |
| Bir eklem takımı veya gelişigüzel eklemler | 3 |
| İki eklem takımı | 4 |
| İki eklem takımı veya gelişigüzel eklemler | 6 |
| Üç eklem takımı | 9 |
| Üç eklem takımı veya gelişigüzel eklemler | 12 |
| Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde | 15 |
| Parçalanmış kaya toprak görünümünde | 20 |

| 3) Çatlak Pürüzlülük Katsayısı | | (Jr) |
|--|--|-------------|
| Süreksiz eklemeler | | 4 |
| Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı | | 3 |
| Düz, dalgalı | | 2 |
| Sürtünme izli, dalgalı | | 1,5 |
| Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel | | 1,5 |
| Düz, düzlemsel | | 1 |
| Sürtünme izli, düzlemsel | | 0,5 |
| Kaymaya uğradığında süreksizlik dokanağı yok | | |
| Süreksizlik duvarlarının birbirine temasını önleyecek şekilde kil minerali içeren zon | | 1 |
| Süreksizlik duvarlarının birbirine temasını önleyecek şekilde kumlu, çakıllı, ya da parçalanmış zon | | 1 |
| NOT: ilgili eklem takımının ortalama aralığı 2 m'den daha büyük ise 1,0 ilave edilebilir. Minimum dirence göre yönlendirilmesi koşulu ile lineasyonlara sahip düzlemsel sürtünme yüzü eklemeler için Jr: 0,5 alınır. | | |

| 4-a) Çatlak Yüzeyinin Durumu | | (Ja) | ϕ ~ Derece |
|-------------------------------------|---|-------------|-----------------------------------|
| a) Süreksizlik Dokanağı | Sıkıca bağlanmış, sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot) | 0,75 | ... |
| | Altere olmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme | 1 | 25-35 |
| | Altere olmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri kil içermeyen kaya parçaları vs. | 2 | 25-30 |
| | Siltli veya kumlu- kil kaplamaları, küçük kil fraksiyonu (yumuşak değil) | 3 | 20-25 |
| | Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil kaplamaları (örneğin laolen veya mika, ayrıca klorit, talk, jips, grafit, vs. ve az miktarda şişen killeri) | 4 | 8-16 |

| 4-b) Çatlak Yüzeyinin Durumu | | (Ja) | ϕ ~ Derece |
|--|--|-------------|-----------------------------------|
| b) 10 cm kayma öncesi süreksizlik dokanağı | Kum taneleri, kil içermeyen parçalanmış kaya vs. | 4 | 25-30 |
| | *Aşırı konsolide olmuş, yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli, ancak 5 mm'den az kalınlıkta) | 6 | 16-20 |
| | *Orta veya düşük derecede konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli, ancak 5 mm'den az kalınlıkta) | 8 | 12-16 |
| | *Şişen kil dolguları, örneğin; montmorillonit (sürekli, ancak 5 mm'den az kalınlıkta), Ja değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesi ve suyun etkisine bağlıdır. | 8-12 | 6-12 |

| 4-c) Çatlak Yüzeyinin Durumu | | (Ja) | $\phi \sim$ Derece |
|--|--|------------------------|--|
| c)kaymadığı zaman süreksizlik dokanağı yok | Parçalanmış kaya veya kil zonları veya bandları (kil durumunun tanımlanması için bknz. (*) işareti olan durumlar) | 6-8 veya 8-12 | 6-24 |
| | Siltli veya kumlu kil zonları veya bandları düşük kil fraksiyonu (yumuşamayan) | 5 | ... |
| | Kalın, sürekli kil zonları veya bandları (kil durumunun tanımlanması için bknz. (*)) işareti olan durumlar) | 10-13 veya 13-20 | 6-24 |

| 5) Çatlak Suyu Azaltma Faktörü | (Jw) | Yaklaşık su basıncı kg/cm² |
|---|-------------|--|
| Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin; lokal olarak < 5l/d | 1 | <1 |
| Orta derecede su gelimi veya basınç, yer yer eklem dolgularının yıkanması | 0,66 | 1-2,5 |
| *Dolgunsuz, eklemli, dayanıklı kayada büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç0,,,,,6+33 | 0,5 | 2,5-10 |
| Büyük miktarda su gelimi veya yüksek basınç, eklem dolgularının fazlaca yıkanması | 0,33 | 2,5-10 |
| Patlamada son derece fazla su gelişi veya su basıncı, zamanla azalan | 0,2 - 0,1 | 10 |
| *Zamanla azalmaksızın devam eden son derece fazla su gelişi veya su basıncı | 0,1 - 0,05 | >10 |

(*)İşaretili faktörler kaba tahminlerdir. Eğer drenaj ölçümleri yapılırsa Jw değerleri arttırılır. Buz oluşumundan kaynaklanan özel problemler dikkate alınmamıştır.

| 6) Gerilim Değişim Faktörü | (SRF) |
|--|--------------|
| (a) Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilir. | |
| Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte) | 10 |
| Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren tek bir zayıf zon, (kazı derinliği ≤50 m) | 5 |
| Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren tek bir zayıf zon, (kazı derinliği >50 m) | 2,5 |
| Kil içermeyen dayanıklı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte) | 7,5 |
| Kil içermeyen dayanıklı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği ≤50 m) | 5 |

| | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|--------------|
| Kil içermeyen dayanıklı kayada birden fazla makaslama zonu (kazı derinliği >50 m) | | | 2,5 |
| Gevşek ve açık eklemler, fazla eklemlerli “küp şekeri” görünümlü | | | 5 |
| (b) Dayanıklı kaya, kaya gerilmeleri sorunları | σ_c / σ_1 | σ_t / σ_1 | (SRF) |
| Düşük gerilim yüzeye yakın | >200 | >13 | 2,5 |
| Orta derecede gerilim | 200-10 | 13-0,66 | 1 |
| Yüksek gerilim, çok sıkı yapı (genellikle stabiliteye uygun, duvar stabilitesi için uygun olmayabilir) | 10-5 | 0,66-0,33 | 0,5-2 |
| Az kaya patlaması (masif kaya) | 5-2,5 | 0,33-0,16 | 5-10 |
| Aşırı kaya patlaması (masif kaya) | <2,5 | >0,16 | 10-20 |
| (c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayada plastik akma | | | (SRF) |
| Az sıkışan kaya basıncı | | | 5-10 |
| Fazla sıkışan kaya basıncı | | | 10-20 |
| (d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi | | | (SRF) |
| Az şişen kaya basıncı | | | 5-10 |
| Fazla şişen kaya basıncı | | | 10-15 |
| σ_c : Tek eksenli sıkışma dayanımı σ_t: Çekme dayanımı σ_1 : Büyük asal gerilme ilgili kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor ancak, kesmiyorsa SRF'nin bu değerleri % 25-50 oranında azaltılmalıdır. | | | |

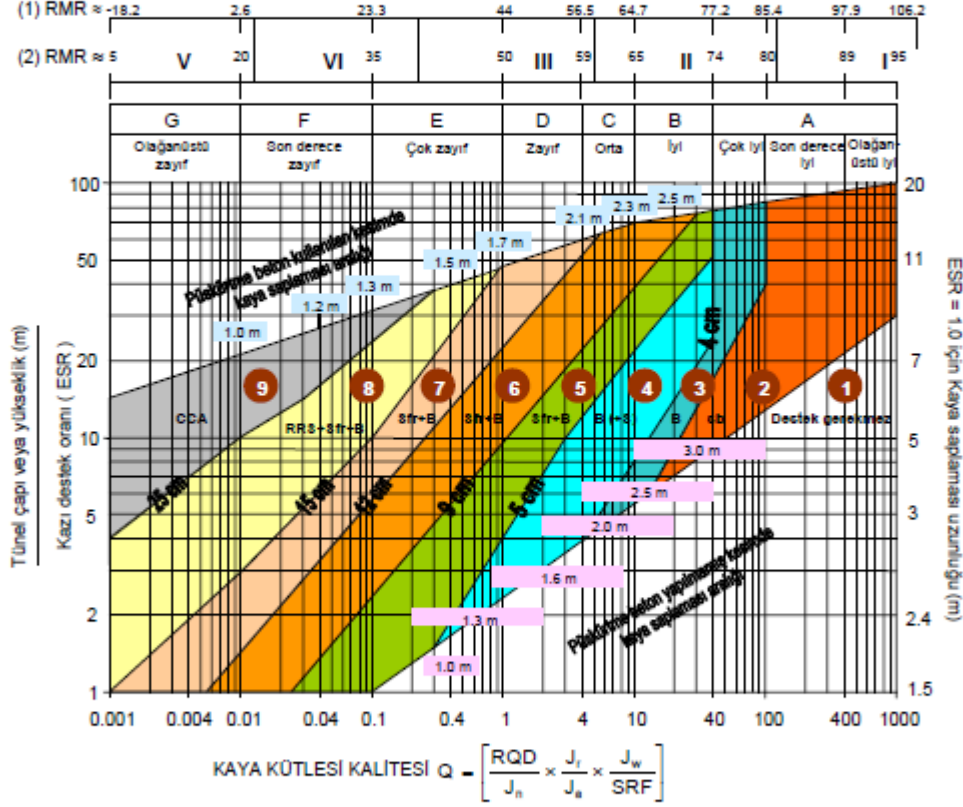
Q değeri ile ilgili olarak yeraltı açıklıklarının duraylılığı ve destek gereksinimleri açısından Barton vd. (1974) ‘Eşdeğer kazı boyutu, De’ adını verdikleri bir parametreyi de tanıtmışlardır. Bu parametre E.4.3 kullanılarak bulunur;

$$De = \frac{\text{Çap} / \text{yükseklik}}{ESR} \quad (\text{E.4.3})$$

Bu eşitlikteki ESR değeri yeraltı açıklığının duraylı kalabilmesi için yerleştirilen destek sistemi üzerinde etkisi olan bir güvenlik katsayısıdır.

Bu ESR değeri Barton vd. (1974)'nin önerilmiş, daha sonra Grimstad (1994) tarafından güncellenmiş ve günümüzde güncellenmiş haliyle kullanılmaktadır. Q Sistemi bu değerlere bağlı olarak olağanüstü iyi kaya kategorisinden olağanüstü zayıf kaya kategorisine doğru değişen 9 farklı kaya sınıfına sahiptir (Şekil 4.6).

| | | |
|--|--------------------------------------|-----|
| $RMR \approx 9 \ln Q + 44$ (Bieniawski, 1989) | $Q \approx e^{\frac{(RMR-44)}{9}}$ | (1) |
| $RMR \approx 15 \log Q + 50$ (Barton, 1995 - 2002) | $Q \approx 10^{\frac{(RMR-50)}{15}}$ | (2) |



- 1 Destek gerekmez 2 Lokal kaya saptaması(bulonlama) - sb 3 Sistematik kaya saptaması - B
4 Sistematik kaya saptaması ve 4-5 cm kalınlığında takviyeli püskürtme beton - B(+S)
5 Kaya saptamalı, çelik kafes takviyeli 5-9 cm kalınlığında püskürtme beton - Sfr+B
6 Kaya saptamalı, kafes takviyeli 9-12 cm kalınlığında püskürtme beton - Sfr+B
7 Kaya saptamalı, kafes takviyeli 12-15 cm kalınlığında püskürtme beton - Sfr+B
8 Kaya saptamalı, çelik ıksalı, kafes takviyeli 15-25 cm kalınlığında püskürtme beton - Sfr+RRS+B
9 Beton kemerli - CCA

Şekil 4.6. Q ve eşdeğer boyut (De) arasındaki ilişki

4.2.4.3. Hoek-Brown Yenilme Kriteri

Şevler, temeller ve yeraltı kazılarının dizaynında kullanılan herhangi bir analiz için kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin güvenilir tahminleri gerekmektedir. Eklemlili kaya kütlelerinin dayanımlarının tahmininin sağlanması için Hoek ve Brown (1980a, 1980b) tarafından bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem yıllar boyu kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilmiştir (Hoek, ve diğ, 1992). Eklemlili kaya kütleleri için Hoek-Brown yenilme kriteri şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (E.4.4)$$

$\sigma'1$ ve $\sigma'3$ = yenilme anındaki maksimum ve minimum efektif gerilmeler,

m_b = kaya kütleleri için Hoek Brown sabiti,

s ve a = kaya kütle karakteristiklerine bağlı sabitleri,

σ_{ci} = sağlam kaya parçasındaki tek eksenli basınç dayanımıdır.

Normal ve kesme gerilmeleri ile Mohr zarfının elde edilmesi Hoek ve Brown tarafından yapılan orijinal yaklaşımlarla elde edilmektedir. Bu yaklaşımda eşitlik arazi testlerini tüm ölçekle simule eden üç eksenli test değeri serileri ile ortaya çıkarılmaktadır. Bu süreçteki istatistiksel eğri eşdeğer Mohr zarfını çıkarmada kullanılır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$\tau = A \sigma_{ci} \left(\frac{\sigma'_n - \sigma_{tm}}{\sigma_{ci}} \right)^B \quad (\text{E.4.5})$$

A ve B = malzeme sabitleri,

σ'_n = normal efektif gerilme,

σ_{tm} = kayaç kütlelerinin çekme dayanımıdır.

Çekme dayanımı, kayaç parçacıkları arasındaki kenetlenmeyi yansıtır ve aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\sigma_{tm} = \frac{\sigma_{ci}}{2} (m_b - \sqrt{m_b^2 + 4s}) \quad (\text{E.4.6})$$

Hoek Brown yenilme kriteri eklemli kaya kütlelerinin deformasyona uğrama özelliklerini ve dayanımlarının tahmininde kullanılır. Bu amaçla yapılacak hesaplamalar için aşağıda verilen 3 özelliğin belirlenmesi gereklidir.

σ_{ci} , Sağlam kaya kütlelerinin tek eksenli dayanımı

m_b , Hoek-Brown sabiti değeri

GSI, Jeolojik dayanım indeksi

4.2.5. Kazı Yönteminin Seçimi

Tünel inşaatında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar:

- Delme - Patlatma Yöntemi,
- Tünel Delme Makinesi Yöntemi,
- Zemin Basınç Dengeleme Makinesi Yöntemi,
- Aç - Kapa Yöntemi ve
- Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'dir.

Yukarıda sayılan tünel açma yöntemlerinden günümüzde en çok kullanılan mekanize kazı yöntemi olan TBM kullanımınıdır. Buna rağmen tünel açma makinelerinin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Mekanize kazı yöntemlerinin klasik yöntemlere göre avantajları (Bilgin, 1989) :

- kayaç formasyonlarının kırılıp çatlamaması ve aşırı sökülmenin en az olması,
- tahkimat masraflarının azalması,
- hızlı kazı hızı,
- zemin titreşimlerinin minimum olması,
- her türlü zemine uygulanabilmesi
- kolay ve hızlı uygulama sahasının olması
- emniyet,
- sürekli pasa nakli ve tahkimat sistemlerinin kullanılabilmesi,
- havalandırma kolaylığıdır,

dezavantajları arasında;

- ilk yatırımlarının yüksek olması,
- belirli bir çap içerisinde kazı yapabilmesi,
- kaya ortamlarında kesici disk maliyetinin artması,
- tahkimatın sonradan yapılması ve
- makinenin nakil, montaj ve demontaj sürelerinin uzun olması gibi nedenler bulunmaktadır.

TBM kazı performansını etkileyen parametreler Tablo 4.7'de verilmektedir.

Sulama projesinin memba kısmında Sağlık Ovası ve mansap kısmında Emen Ovası arasındaki ana kanal güzergahındaki iletim Belpınar tüneli ile sağlanacaktır. Başlangıçta proje için diğer TBM tiplerine göre daha hızlı olan çift kalkanlı tünel açma makinesi üzerine planlamalar yapılmıştır. Revize planlama raporuna göre tünel kazısının tamamı ultrabazik karakterli ofiyolitler (peridotit ve serpantin) içerisinde yapılmaktadır. Tünel çıkış ağzından itibaren ilk 2 km tamamen parçalı, çok kırıklı, dağılğan, yer yer altere kaya kalitesine sahip çok zayıf-zayıf kaya; sonraki 3,5 km ise genelde sağlam, az parçalı özellik göstermektedir. Bu bilgiler ışığında km 0+000 - 2+000 arasında ilave destek olmadan tünel yüzünün sağlam olması olası görülmemektedir. Birimin kırıklı yapıda olması nedeniyle kama şeklindeki kaya bloklarının lokal olarak kesici kafaya doğru hareket etmesi beklenmektedir. Çift kalkanlı TBM kullanılırsa kazı, desteksiz tünel aynasında yapılacağından kesici kafa torkunun artması ile birlikte penetrasyonun azalacağı ve buna bağlı olarak da TBM ilerleme hızının düşeceği

öngörülmüştür. Böylece çift kalkanlı kaya tipi makine seçiminden vazgeçilerek kazı sırasında yukarıda belirtilen risklerden doğacak olumsuzlukları en aza indireceği düşünülerek pasap basınçlı tünel açma makinesi (EPB/ TBM) seçilmiştir.

Tablo 4.7. TBM kazı performansını etkileyen etmenler (Yüksel, 2013)

| Ana Parametre | Alt Başlık | Değişkenler |
|-------------------|-----------------------------|---|
| Jeolojik Koşullar | Kaya Özellikleri | <ul style="list-style-type: none"> • Tek eksenli basınç dayanımı • Çekme dayanımı • Gevreklik • Sertlik • Delinebilirlik • Aşındırıcılık • Tokluk • Diğer mekanik büyüklükler |
| | Kaya Kütle Özellikleri | <ul style="list-style-type: none"> • Çatlak aralığı • Çatlak takım sayısı • Çatlak pürüzlülüğü • Kaya kütle kalitesi • Ayırışma derecesi |
| | Jeolojik-Yapısal Özellikler | <ul style="list-style-type: none"> • Fay ayırışma ezilme zonlarının varlığı ve sıklığı • Fay ayırışma ezilme zonlarının genişliği ve ezilme zonu malzemesinin cinsi • Kaya kütle kalitesindeki değişkenlikler • Ayna yüzeyindeki homojenlik durumu • Yeraltı suyu durumu • Tabaka, süreksizliklerin eğim ve yöneliminin tünel eksenine göre durumu • Aşırı gerilme koşullarının varlığı • Kayaç cinsindeki değişiklik • Sıkışan zemin koşullarının varlığı |
| | Makine Tipi | <ul style="list-style-type: none"> • Açık tip • Kalkanlı tip • Çift kalkanlı tip |
| | Makine Gücü | <ul style="list-style-type: none"> • Kurulu güç • İtme gücü • Tork büyüklüğü • Güç aktarım şekli |
| | Kesici Kafa Tasarımı | <ul style="list-style-type: none"> • Disk sayısı ve yerleşimi, tırnak cinsi • Kesici kafa malzeme açıklığı • Kesici kafa kova-kürek hacmi sayısı • Dönüş sayısı |

| | | |
|-----------------------|--------------------|---|
| Makine Parametreleri | Kazı Çalışma Şekli | <ul style="list-style-type: none"> • TBM modu • Açık mod • Geçiş modu • Basınçlı mod |
| | İtme Şekli | <ul style="list-style-type: none"> • İtme silindirleri • Gripper |
| | Destekleme Şekli | <ul style="list-style-type: none"> • Betonarme ring • Püskürtme beton+çelik • iksa+h.çelik+kaya bulonu |
| İşletme Parametreleri | Lojistik | <ul style="list-style-type: none"> • Pasa atma sistemi (raylı, bantlı, slurry) • Kaplama/ enjeksiyon taşıma sistemi • Portal/ şaft çalışma durumu |
| | Personel | <ul style="list-style-type: none"> • Kalifiye personelin bulunabilme durumu, makine ve zemini tanımadaki süreç • Yönetici personelin tecrübe, uyum ve koordinasyonu • Personelin kazı güçlükleri ile baş etme becerisi |
| | Tamir – Bakım | <ul style="list-style-type: none"> • Rutin bakımların yapılması • Arızalara karşı gösterilen reaksiyon ve tamir süresi • Yedek parça stok durumu, temin süresi • Tamir/ bakım ekibinin kalifiye durumu • Tünel ekibinin öğrenme kabiliyeti ve şartlara uyumu |

4.2.6. TBM Kazı Parametreleri ve Değerlendirme Yöntemi

Proje kapsamında her bir ring için tutulan vardiya raporlarında ilerleme hızı, tork, itme kuvveti/thrust, RPM (kesici kafa dönüş sayısı) gibi TBM kazı parametreleri değerleri MS Excel ortamına aktararak veri deposu oluşturulmuştur. Derlenen verilere ait örnek sayfa Tablo 4.8’de verilmiştir. Tünelin giriş ve çıkış portalı arasında toplam 3892 ringlik kazıya ait, 6 adet temel sondaj noktası bulunmaktadır. Yukarıda verilen parametrelerle aşağıdaki bağıntılar (Deniz ve Tumaç, 2015) kullanılarak kazı parametreleri hesaplanmıştır.

$$\text{Penetrasyon (mm/dev)} = \text{İlerleme Hızı (mm/dk)} / \text{RPM (dev/dk)} \quad (\text{E.4.7})$$

$$\text{Kesici Kafa Gücü} \quad P= 2\pi. \text{RPM}.T/ 60 \quad (\text{E.4.8})$$

Burada, P, kesici kafa gücü (kW), RPM, kesici kafa dönüş sayısı (dev/h), T, tork (kNm),

$$\text{Anlık Kazı Oranı} \quad \text{ICR}= p. \text{RPM}.A \quad (\text{E.4.9})$$

Burada, ICR, anlık kazı oranı (m³/h), p, ilerleme (m/dev), RPM, kesici kafa dönüş sayısı (dev/h), A, tünel kesit alanı (m²),

$$\text{Spesifik Enerji} \quad \text{SE}= P / \text{ICR} \quad (\text{E.4.10})$$

Burada, SE spesifik enerji (kWh/m³), P kesici kafa gücü (kW), ICR anlık kazı oranını (m³/h) ifade etmektedir.

Belirtilen parametreler hesaplandıktan sonra istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. TBM veri kayıtlarının istatistiksel hesaplamalar sonucu, sondaj noktalarına karşılık gelen yerin 15 ring öncesi ve 15 ring sonrası (~ 42 m) alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 4.9'da bu değerlerin ortalaması verilmektedir. Sondaj noktalarına ait detaylı veriler ve hesaplamalara ait sonuçlar EK-1'de sunulmuştur.

Tablo 4.8. Vardiya raporuna ait kazı parametreleri (2262-2281 nolu ringler arası)

| Ring No | Kazı Başlangıç/Bitiş (sa:dk) | Montaj Başlangıç /Bitiş (sa:dk) | Kazı Süresi (sa:dk) | Montaj Süresi (sa:dk) | Toplam Süre (sa:dk) | Tork (kNm) | Thrust (kN) | RPM (dev/dk) | İlerleme Hızı (mm/dk) | Penetrasyon (mm/dev) |
|---------|------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|------------|-------------|--------------|-----------------------|----------------------|
| 2262 | 22:25 / 23:30 | 23:45 / 00:30 | 01:05 | 00:45 | 02:15 | 3250 | 7000 | 3,00 | 35 | 11,7 |
| 2263 | 00:40 / 01:30 | 01:40 / 04:00 | 00:50 | 02:20 | 03:30 | 3000 | 7500 | 3,00 | 30 | 10,0 |
| 2264 | 04:10 / 06:00 | 06:00 / 06:30 | 01:50 | 00:30 | 03:20 | 2500 | 6500 | 3,00 | 35 | 11,7 |
| 2265 | 09:30 / 09:50 | 10:35 / 11:00 | 00:20 | 00:25 | 01:50 | 3500 | 9000 | 2,75 | 70 | 25,9 |
| 2266 | 11:20 / 11:45 | 12:00 / 13:40 | 00:25 | 01:40 | 01:25 | 4000 | 5000 | 2,70 | 60 | 22,2 |
| 2267 | 13:45 / 14:10 | 14:30 / 15:40 | 00:25 | 01:10 | 02:05 | 4500 | 5800 | 2,80 | 80 | 28,6 |
| 2268 | 15:50 / 16:10 | 16:40 / 18:00 | 00:20 | 01:20 | 04:05 | 4000 | 6000 | 2,75 | 60 | 22,2 |
| 2269 | 19:55 / 20:15 | 20:20 / 23:00 | 00:20 | 02:40 | 03:10 | 3500 | 3500 | 2,97 | 70 | 24,1 |
| 2270 | 23:05 / 23:50 | 23:55 / 04:05 | 00:45 | 04:10 | 05:05 | 3800 | 6200 | 2,97 | 62 | 21,4 |
| 2271 | 04:10 / 05:00 | 05:05 / 06:30 | 00:50 | 01:25 | 03:30 | 4700 | 5400 | 3,00 | 45 | 15,0 |
| 2272 | 07:40 / 08:25 | 08:35 / 09:30 | 00:45 | 00:55 | 01:55 | 4000 | 6000 | 2,70 | 30 | 11,1 |
| 2273 | 09:35 / 11:15 | 11:25 / 12:00 | 00:40 | 00:35 | 04:10 | 4500 | 6700 | 2,75 | 30 | 11,1 |
| 2274 | 14:45 / 15:30 | 15:45 / 16:30 | 00:45 | 00:45 | 03:15 | 3500 | 7000 | 2,75 | 30 | 11,1 |
| 2275 | 18:00 / 18:35 | 18:35 / 19:00 | 00:35 | 00:25 | 02:25 | 4500 | 8500 | 2,70 | 30 | 11,1 |
| 2276 | 20:25 / 21:15 | 21:20 / 21:50 | 00:50 | 00:30 | 01:55 | 4200 | 8900 | 3,11 | 35 | 11,3 |
| 2277 | 22:20 / 23:20 | 23:25 / 23:55 | 01:00 | 00:30 | 01:55 | 4700 | 9000 | 3,02 | 35 | 11,7 |
| 2278 | 00:15 / 01:15 | 01:20 / 02:40 | 01:00 | 00:30 | 01:35 | 3700 | 8500 | 2,90 | 35 | 11,7 |
| 2279 | 02:40 / 03:50 | 03:55 / 04:30 | 01:10 | 00:35 | 08:10 | 3500 | 9300 | 2,93 | 30 | 10,3 |
| 2280 | 10:50 / 11:25 | 11:35 / 12:00 | 00:35 | 00:25 | 01:30 | 4500 | 7500 | 2,75 | 50 | 18,5 |
| 2281 | 12:20 / 13:00 | 13:10 / 14:00 | 00:40 | 00:50 | 02:50 | 3000 | 7700 | 2,70 | 30 | 11,1 |

Tablo 4.9. Km 65+098 ile km 75+548 arasında bulunan sondaj noktalarına karşılık gelen ortalama değerler

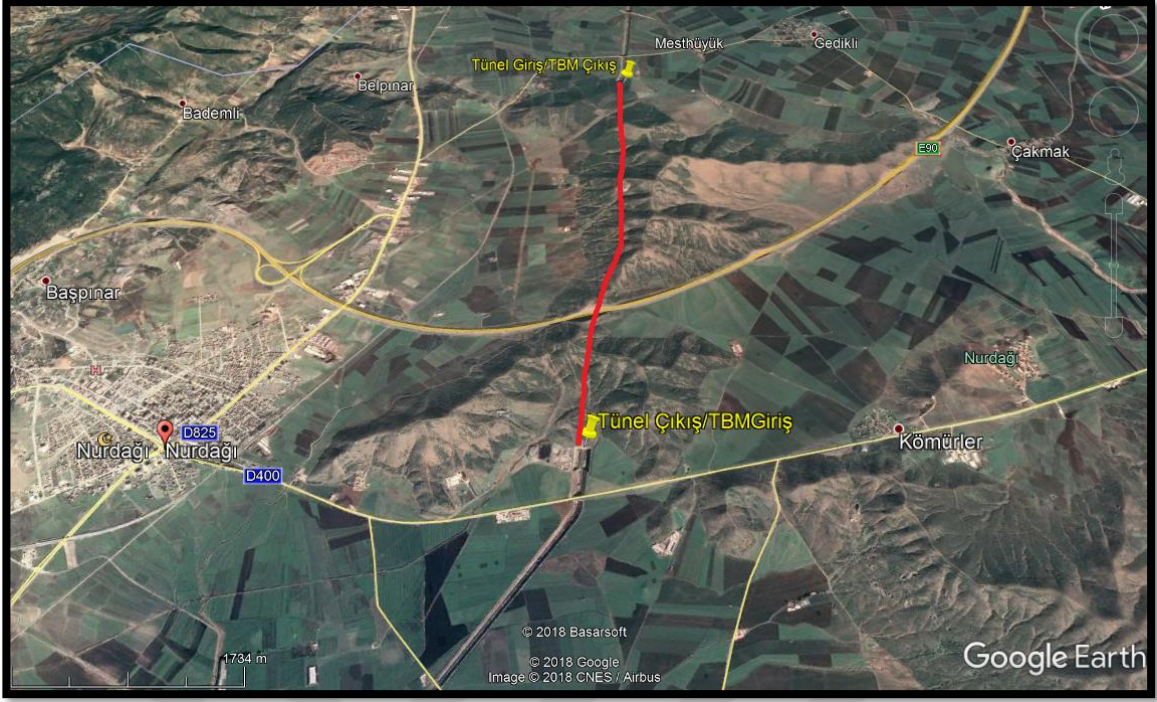
| Km/Zemin Tanımı | İlerleme Hızı (mm/dk) | Tork (kNm) | İtme Kuvveti (kN) | RPM (dev/dk) | Penetrasyon (mm/dev) | A m ² | P (kW) | ICR (m ³ /h) | SE (kwh/m ³) | RQD (%) | UCS (MPa) | GSI |
|--|-----------------------|------------|-------------------|--------------|----------------------|------------------|--------|-------------------------|--------------------------|---------|-----------|------|
| 65+098 – 66+098 Serpantinit | 27,49 | 3973 | 8707 | 2,76 | 10,3 | 36,29 | 690,6 | 35,9 | 23 | 30 | 50 | 34 |
| 66+098 – 67+099 Peridotit/Serpantinit | 36,96 | 4275 | 7972 | 2,81 | 13,4 | 36,29 | 757,1 | 48,3 | 17 | 48 | 67 | 37,5 |
| 67+099 – 68+849 Peridotit/Serpantinit | 36,95 | 4544 | 8590 | 3,00 | 12,4 | 36,29 | 858,3 | 48,3 | 19 | 50 | 88 | 58 |
| 68+849 – 69+749 Peridotit | 31,16 | 3903 | 9025 | 2,87 | 10,9 | 36,29 | 706,4 | 40,7 | 18 | 51 | 35 | 44,5 |
| 69+749 – 70+200 Peridotit | 33,09 | 4337 | 8285 | 2,97 | 11,2 | 36,29 | 808,3 | 43,2 | 20 | 61 | 45 | 52 |
| 70+200 – 70+548 Peridotit | 32,20 | 4369 | 7154 | 3,04 | 10,6 | 36,29 | 834,4 | 42,1 | 19 | 41 | 50 | 52 |

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Belpınar (T-2) Tüneli

Devlet Su İşleri XX. Bölge Müdürlüğü (Kahramanmaraş) tarafından Doğu İnşaat firmasına ihale edilen, Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı kapsamında bulunan ve kanalın km: 65+098 ile km: 70+548 arasında yer alan 2 nolu tünel (Tünel-2/Belpınar Tüneli) 5.450 metre uzunluğa ve 6.82 metre genişliğe sahiptir. Tünel güzergahı Gaziantep ilinin kuzeybatısında bulunan Nurdağı ilçesi sınırları içerisinde Emir Musa Dağı üzerinde yer almaktadır Şekil (5.1). Tünel kazısı tamamlanmış olup kanal yapım inşaatı devam etmektedir. Projenin tamamlanmasıyla 55.536 ha alanın sulaması sağlanacaktır. Ayrıca aynı kanal ile mevcut Taşköprü barajının yükseltilmesi neticesinde Amik ovasında 33.400 ha ilave alanın sulanması için sulama suyu derivasyonu yapılacaktır. Aynı iletim kanalı bunun yanında Sağlık ovasında kış akımları ile oluşan göl sularının tahliye edilerek tarım alanlarının, bitkilerin büyüme süresi başlangıcında işlenebilmesine olanak sağlayacak ve ovanın genel drenaj kanalı görevini de yerine getirecektir (DSİ, 1999). Özet olarak ana iletim kanalı sulama, derivasyon, drenaj ve taşkın kanalı olarak hizmet verecek, Kahramanmaraş ve çevre yerleşim yerlerinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını da karşılayacaktır.

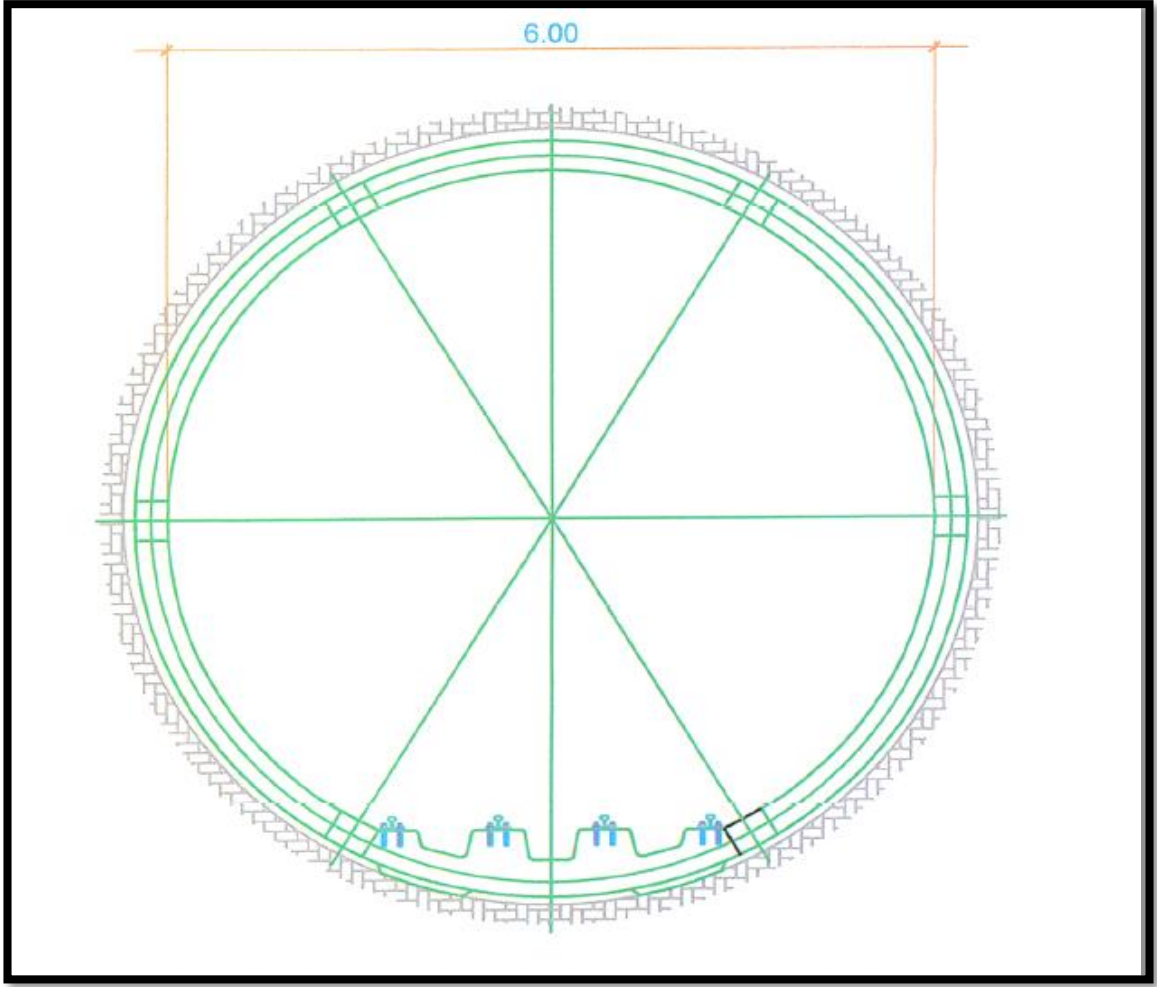
Proje kapsamında Ana İletim Kanalı'nın bazı bölümleri topoğrafik zorluklar nedeniyle iki tünel ile geçiş sağlanmıştır. Birinci tünel (Tünel-1); isale kanalı güzergahı km: 54+020-54+520 arasında, konveksiyonel olarak at nalı kesitli, 7.00 metre çapında inşaa edilmiştir. İkinci tünel olan Belpınar Tüneli (Tünel-2); isale kanalı güzergahı km: 65+098-70+548 arasında, dairesel kesitli, çapı 6.82 metre olan tam cepheli tünel açma makinesi tarafından inşa edilmiştir (Şekil 5.2-3).



Şekil 5.1. Tünel güzergahının uydu görüntüsü



Şekil 5.2. Tünel çıkış / TBM giriş portalı



Şekil 5.3. TBM'le açılan Belpınar Tüneli'nin tip kesiti

5.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

İnceleme alanı ve yakın civarının jeolojisi ile ilgili yapılan çalışmalardan Tuna (1973), Yalçın (1980) ve Terlemez ve diğ., (1992)'den; ofiyolitlerle ilgili yaptığı çalışmalarda Çapan (1977)'den yararlanılmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen birimler yaşlıdan gence doğru sırasıyla; Üst Ordovisiyen yaşlı Bedinan formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Karadağ Kireçtaşı, Senomaniyen-Kampaniyen yaşlı Hatay (Kızıldağ) ofiyoliti, kuvaterner yaşlı Alüvyon yelpazesi ve kuvaterner yaşlı Alüvyonlardır (Şekil 5.4).

5.2.1. Bedinan formasyonu (Ob)

Bedinan formasyonu ilk olarak Mardin ilinin Derik ilçesinin doğu-güneydoğusundaki Bedinan köyü dolayında gözlenmiştir (Yılmaz ve Duran, 1997). Güneydoğu Anadolu'daki kuyularda Bedinan Formasyonu alttan üste doğru, "Bedinan-I üyesi", "Bedinan-II üyesi", "Bedinan-III üyesi", "Bedinan-IV üyesi" şeklinde gayri resmi olarak üyelerine ayrılmaktadır

(Yılmaz ve Duran, 1997). “Bedinan-I üyesi” koyu gri renkli şeyllerden; “Bedinan-II üyesi” gri, koyu kahve renkli silttaşlarından; “Bedinan-III üyesi” beyaz renkli kumtaşlarından ve “Bedinan IV üyesi” de kumtaşı, silttaşı ve şeyllerden oluşmaktadır. Bedinan Formasyonu kısa mesafelerde büyük değişiklikler göstermektedir. Alt kontak sadece, Bedinan köyünün 9 km batısındaki Şipdere’ de Seydişehir Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Fakat yaş eksikliğinden dolayı arada bir uyumsuzluktan şüphelenilmektedir (Kellogg, 1960). Birim, Mardin Grubu’nun Areban Formasyonu tarafından da uyumsuz olarak örtülmektedir. Bölgenin tektoniğine bağlı olarak alt ve üst dokanak ilişkilerinde farklılıklar görülmektedir (Perinçek ve diğ., 1991. Kahramanmaraş ili Eloğlu ilçesinin batısında, Araplar-Karauşağı mevki ile Türkoğlu ilçesi batısında üst dokanakta bir uyumsuzluğun varlığı kabul edilmektedir (Tuna, 1973; Demirkol, 1988).

5.2.2. Karadağ kireçtaşı (JKk)

Formasyon altta dolomitik kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı, üstte çörtlü kalkşist, metaçamurtaşı ve kırıntı ara katkılı rekristalize kireçtaşlarını kapsar. Karadağ kireçtaşı, sarımsı gri, koyu gri, beyaz renkli, ince-orta-kalın tabakalı, yer yer masif, çoğunlukla orta-kalın tabakalı, oldukça karstik, erime boşluklu, erime yüzeyli, genellikle sağlam-çok sağlam dayanımlı, üst düzeyleri çörtlü, yer yer resifal nitelikli, çoğunlukla mikritik dokulu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bazı düzeyleri bol fosil kavkılı olan birim, geçirmiş olduğu yoğun deformasyon nedeni ile çok çatlaklı ve eklemlidir. Yer yer rekristalize olmuş birim içerisindeki çatlak ve kırıklar kalsit dolguludur. Karadağ kireçtaşına ait yüzeylemeler inceleme alanında güneye veya doğuya doğru itilmiş nap dilimleri şeklinde izlenmektedir. Karadağ kireçtaşı, Amanoslar’da tanımlanan Berke kireçtaşı (Eroskay vd., 1978); Amanos grubunun üst kesimleri (Yalçın, 1980 a) ile Mesozoyik karbonatlarının üst düzeyleri (Yılmaz vd., 1984); Binboğa dağlarında Kaletepe formasyonu (Özgül vd., 1981; Özgül ve Turşucu, 1984; Yılmaz, A. vd., 1993; 1997); Keklikoluk kireçtaşı (Metin vd., 1986), Ula formasyonu (Bedi vd., 2004; 2012) ile denestirilebilir.

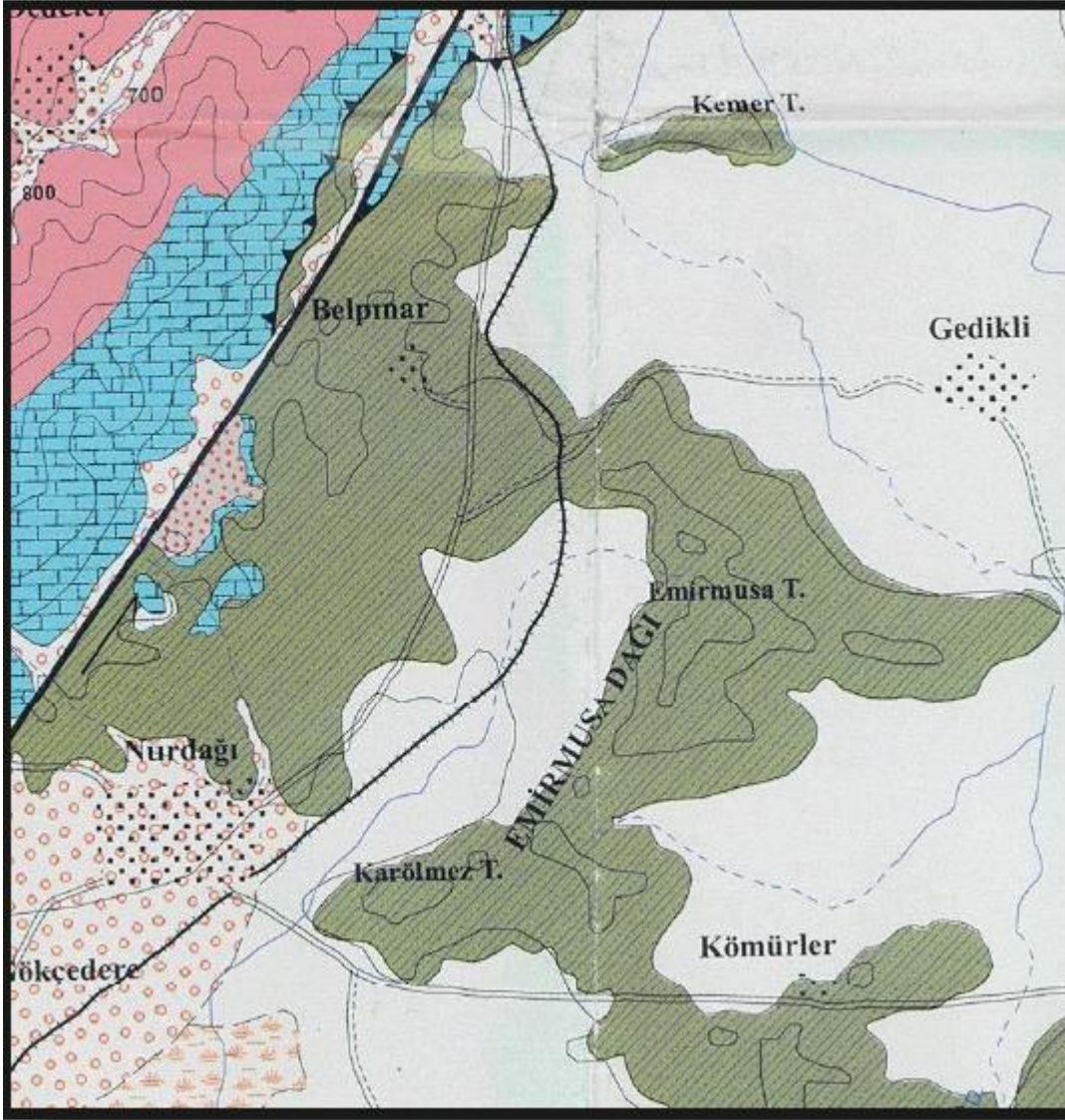
5.2.3. Hatay (Kızıldağ) ofiyoliti (Kha)

Ofiyolit, mafik ve ultramafik kayaların oluşturduğu birliğin adıdır, Yunanca; yılan taşı anlamına gelmektedir. Ofiyolit kelimesi, yeşil kayalar (green rocks), ofiyolit birliği (ophiolite association), ofiyolit topluluğu (ophiolite sequence) ve ofiyolit karmaşığı (ophiolite complex) gibi kelimelerle eş anlamlı olarak kullanılmaktadır (Çapan 1977).

Tam ve eksiksiz bir ofiyolit, alttan üste doğru ultramafik karmaşık, mafik levha dayk karmaşığı, mafik volkanik karmaşık şeklinde kayaçlardan oluşur ve bu birimlerle birlikte örtü sedimanlarından oluşmaktadır. Bu birimler her zaman tam bir istif sunmayabilir; kısmi, parçalanmış ve tam olmayan ofiyolit olarak bulunabilir (Çapan, 1977). Steinman (1927)'a göre ofiyolit; Steinman üçlüsü olarak, serpantin gabro ve spilit birliklerinden oluşan topluluk olarak tanımlanmaktadır. Okyanusal kabuk malzemesi olan ofiyolit birimleri eski okyanusal kabuk parçalarını temsil eder (Çapan, 1977).

5.2.4. Kuvterner çökelleri

Çalışma alanı ve çevresinde kuvaterner yaşlı alüvyon yelpazesi ve alüvyon birimler gözlenmektedir. Alüvyon yelpazesi tutturulmamış çakıl, kum, kil ve silt gibi farklı boyutta kaya parçalarından oluşan alüvyon yelpazesine ait birimler içerisindeki taneler genelde köşeli yapı sunmakta olup, alüvyonlar genelde gri, açık gri renkli olup çalışma alanının kuzey ve güneyinde ofiyolit birimlerine ait kayaç parçaları gözlenmektedir.



LEJAND

| | |
|-----|--|
| Qal | Alüvyon |
| Qay | Alüvyal yelpazesi: Tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kil |
| Qgb | Gösel bataklık çökeli: Organik maddece zengin kumlu silt ve kil |
| Q2 | Taraça: Tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kil |
| Kta | Hatay ofiyolitleri: Ayrılmamış harzburjit, dunit, serpentin, gbro vb., |
| Jkk | Karadağ kireçtaşı: Dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı |
| Ob | Bedinan formasyonu: Kumtaşı, ara seviyeli şeyl |

ACIKLAMALAR

- Doğrultu atımlı fay
- Normal fay
- Tanımlanmamış fay
- Ters fay (Bindirme)

4 2 0 4 Km



Şekil 5.4. Belpınar tüneli ve yakın civarının jeoloji haritası (MTA, 2008'den değiştirilmiştir.)

5.3. Belpınar Tünelinin Mühendislik Jeolojisi

İnceleme alanında Senomaniyen-Kampaniyen yaşlı Hatay (Kızıldağ) ofiyoliti, kuvaterner yaşlı Alüvyon yelpazesi ve Alüvyonlar yüzeylemektedir ve DSİ 20.Bölge Müdürlüğü tarafından 1999 yılında “Orta Ceyhan Menzelet Projesi Kılavuzlu Barajı İsale ve Sulama Kanalları Mühendislik Jeolojisi Revize Planlama Raporu” çalışmaları kapsamında tünel güzergahı üzerinde toplam 6 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 5.5).

Hatay (Kızıldağ) ofiyoliti (Kha)

Hatay (Kızıldağ) ofiyoliti, çoğunlukla peridotit ve serpantinitle temsil edilmektedir. Harzburjit ve dünitlerden oluşan peridotitler, koyu kahve, koyu yeşil renkli, sık çatlaklı-kırıklı ve genellikle serpantinleşmiş görünümündedir. Yer yer gabro daykları ile kesilen peridotitler içerisinde tabakalı gabro ve diyabaz daykları da izlenmektedir. Serpantinitle koyu yeşil, kahverenkli, oldukça parçalanmış, ezik zonlu, sık çatlaklı-kırıklı ve parlak yüzeylidir. Birimin üst seviyelerinde koyu kahve, gri renkli aglomera ve lav akıntıları, gri renkli mikritik kireçtaşları ile kırmızımsı renkli, kıvrımlı, manganlı radyolaritler ve silisli, manganlı sert şeyller gözlenmektedir. Tektonik olarak bir araya geldiklerinden dolayı, birimi içerisinde farklı kaya türleri oldukça karmaşık bir yapı sunmaktadır. Birim içerisinde yer yer bej, gri, kırmızı renkli, çeşitli boyutlarda kireçtaşı ve rekristalize kireçtaşı blokları gözlenmektedir. Tuna (1973), radyolaritli seviyelerle birlikte bulunan kireçtaşlarından Üst Jura-Alt Kretase yaşını elde etmiştir. Yalçın (1980) ile Terlemez ve diğ. (1992) ise ofiyolitlerin, bölgeye Üst Maastrichtiyen öncesinde yerleştiğini belirtmişlerdir.

Hatay (Kızıldağ) ofiyolitini oluşturan kayaç grubuna ait birimler bölgede esas olarak Gaziantep- Osmaniye karayolunun kuzeyinde, yola paralel uzanmakta olup, çalışma alanına ait ultramafik kayaçlar Nurdağı ilçesinin kuzeyinde, Kömürler mahallesinin güneyinde, Belpınar mahallesi ve çevresinde gözlenmektedir.

Hatay (Kızıldağ) ofiyoliti alttan üste doğru tektonik peridotitler, tabakalı gabro, izotrop gabro, levha dayk karmaşığı ve volkanik karmaşık türü kayaçlardan oluşan tam bir istif sunmaktadır. İnceleme alanında istifin ultramafik kayaçlarından peridotit ve serpantinitle gözlenmekte olup, alüvyon birimler tarafından örtülmektedir.

Alüvyon Yelpazesi (Qay)

Tutturulmamış çakıl, kum, kil ve silt gibi farklı boyutta kaya parçalarından oluşan alüvyon yelpazesine ait birimler içerisindeki taneler genelde köşeli yapı sunmaktadır.

Genellikle çevresinde bulunan kayalara ait parçalar içeren alüvyon yelpazesi kendinden öncesi birimi uyumsuz olarak kesmektedir.

Alüvyon (Qal)

İnceleme alanında bulunan Kuvaterner örtü çökelleri geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Bölgede değişik boyutlarda birçok farklı derede bulunan çökeller magmatik, metamorfik ve sedimanter birimlere ait alüvyon malzemesi içermektedir. Alüvyonlar genelde gri, açık gri renkli olup çalışma alanının kuzey ve güneyinde ofiyolit birimlerine ait kayalar parçaları gözlenmektedir. Alüvyonlar Hatay (Kızıldağ) ofiyolitlerini uyumsuz olarak örtmektedir.

5.3.1. Temel sondaj kuyuları

Çalışma alanının jeolojik-jeoteknik etüdüne ilişkin çalışmalarda zeminin farklı derinliklerdeki özelliklerinin ve yeraltı suyu durumunun belirlenebilmesi amacıyla farklı derinliklerde TSK-1, TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5, TSK-6 olmak üzere toplamda 6 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır. Şekil 5.6'da sondaj loglarına ait verilerden elde edilen tünelin enine jeolojik kesiti hazırlanmıştır.

TSK-1 Nolu Sondaj Kuyusu:

0-0.5 m arası altere toprağımsı dağılgan, 0.5-4.5 m arası parçalı, çok kırıklı, 4.5 – 36 m'ler arası kırıklı, parçalı, yer yer ayrışmış ve 36-50 m'ler arası zayıf kaya niteliğindeki peridotitlerle kesilmiştir.

TSK-2 Nolu Sondaj Kuyusu:

0-1 m arası koyu kahve-kızıl renkli, bol killi-siltli ultrabazik kayaların alterasyonu sonucu oluşmuş toprak örtüsü, 1-1.5 m arası bozumsu yeşil renkli, alterasyon sonucu tamamen dağılmış toprağımsı görünüşlü olup peridotitlerin tane yüzeyleri koyu yeşil, siyahımsı yeşil renktedir. 1,5-50 m arası çok aşırı kırıklı, parçalı olup, 50 m'den sonra peridotitler kırıklı ve çatlaklı olup, çatlaklar ince kılcal ve verev (45°) yöndedir. Yer yer dikine çatlak ve yarıklı zonlar ile çatlaklar çoğunlukla ince kuvars oluşumu içerirler. Zayıflık zonlarında alterasyona bağlı olarak yer yer serpantinleşme izleri görülür.

TSK-3 Nolu Sondaj Kuyusu:

0-3 m arası ultrabazik kayaların alterasyonu ile oluşmuş killi toprağımsı hal alan yamaç molozlarından oluşup, arada 3-5 cm'lik ultrabazik kaya parçaları içerir. 3-13 m arası

çok çatlaklı, kırıklı, 3-90 m arası kırıklı ve ayrışmamış niteliktedir. Birim koyu nefli, siyahımsı yeşil renkte olup, sert, sağlam ve çatlaklı yapıdadır. Çatlaklar genelde verev yönde, ince kılcal şekildedir. Kırık ve çatlaklarda ince sıvama şeklinde kuvars oluşumları gözlenir.

TSK-4 Nolu Sondaj Kuyusu:

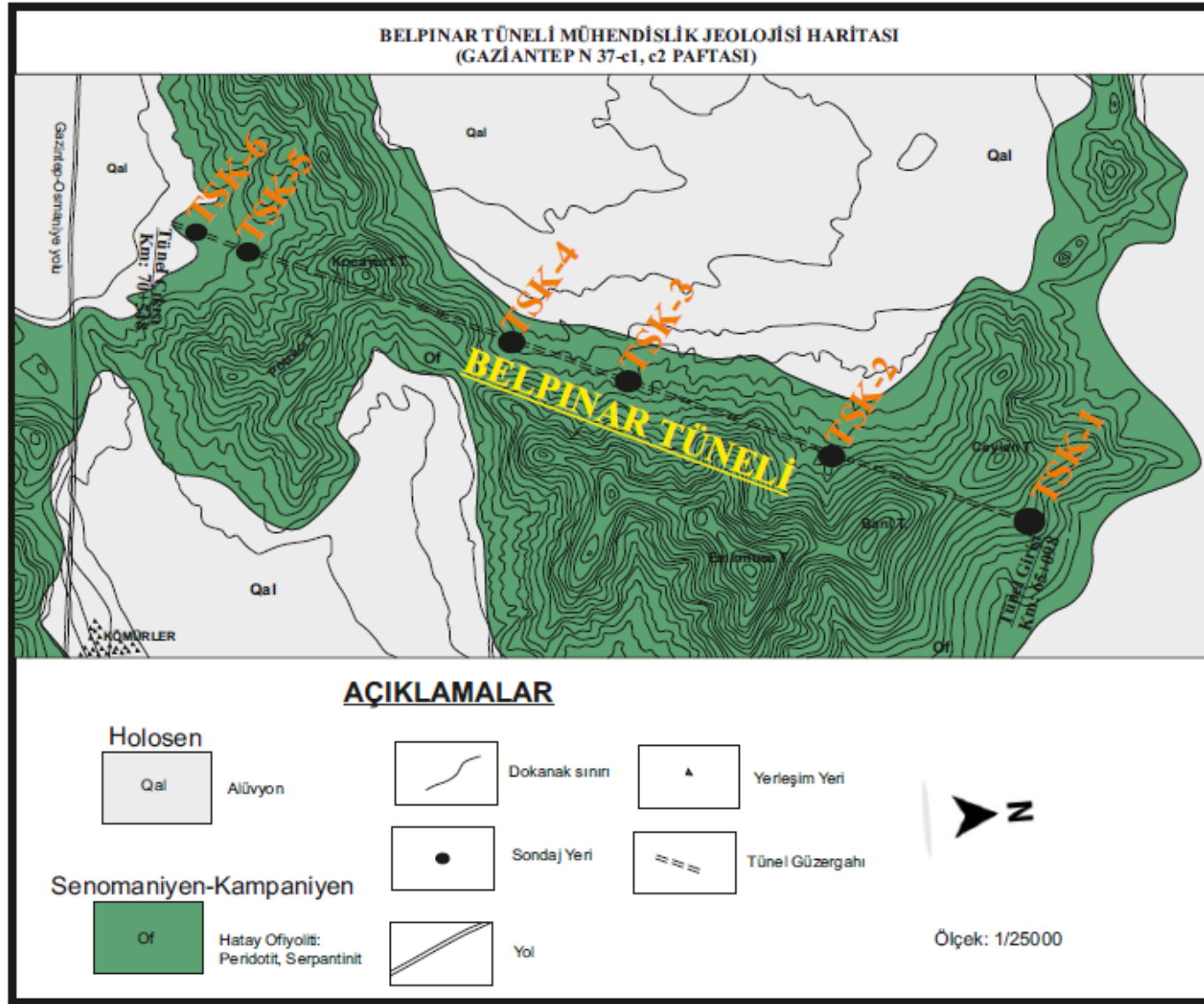
0-4 m arası ayrışmış ve çok parçalı, 4-80 m arası az çatlaklı, kırıklı, ayrışmamış nitelikte peridotit ve serpantininit birimlerinden oluşur. Birimin tane yüzeyleri koyu nefli, siyahımsı yeşil renktedir. Fazla sayıda çatlak ve yarıklar gelişmiş olup, çatlak ve yarık yüzeylerinde genelde kuvars oluşumu gözlenir.

TSK-5 Nolu Sondaj Kuyusu:

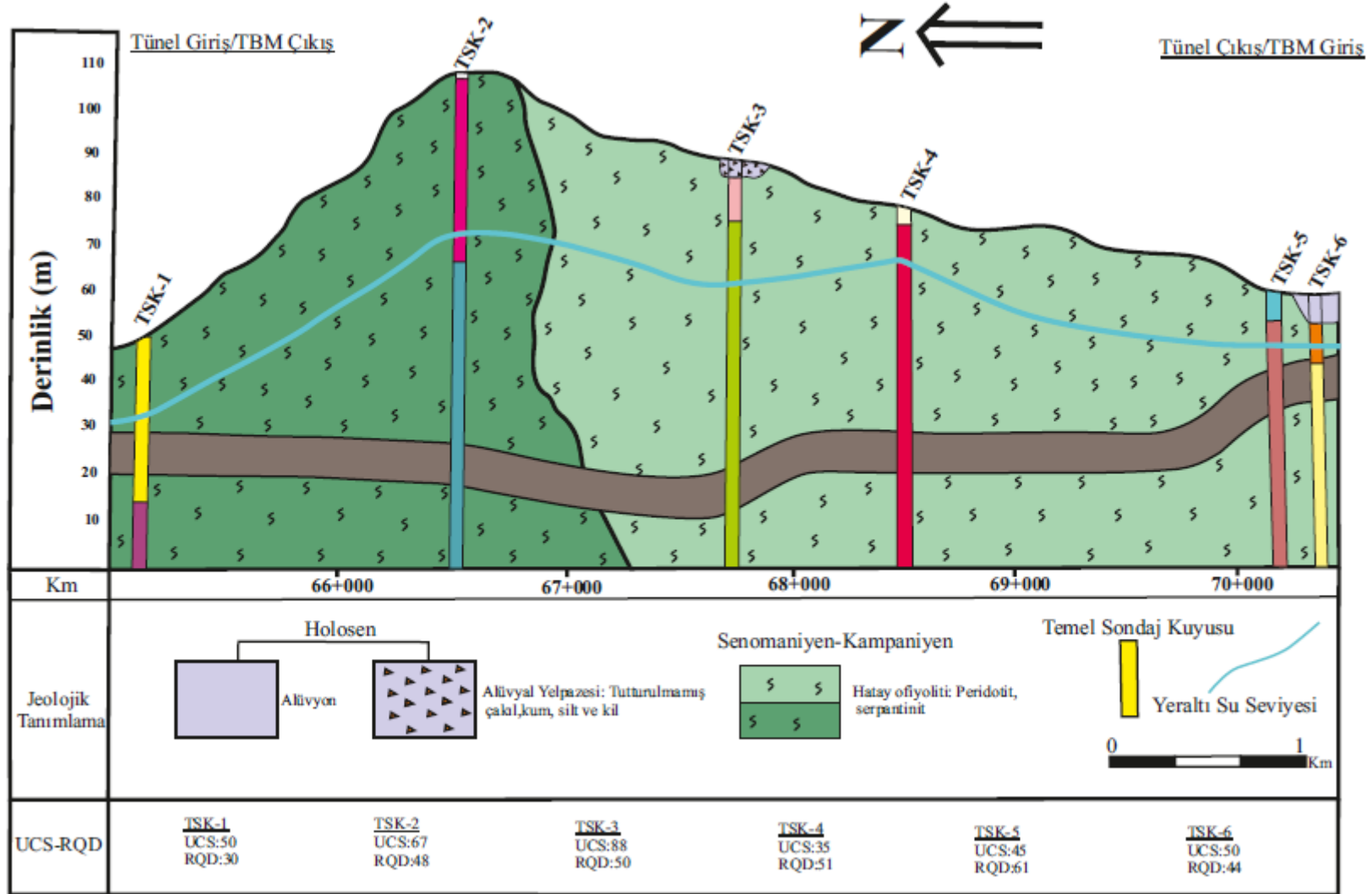
0-6 m arası ayrışmış, çok parçalı, kırıklı olup 6-60 m arası az çatlaklı, ayrışmamış nitelikte olup koyu nefli, siyahımsı yeşil renktedir. Çatlaklar dikine ve verev yönde gelişmiştir.

TSK-6 Nolu Sondaj Kuyusu:

0-8 m arası açık kahvemsi, bozumsu, yeşil renkli üst zonlar ince kum ve çakıllı olup taneler kil ile sıkıca tutturulmuştur. 8-19 m arası çok kırıklı, 19-60 m arası kırıklı yapıda olup koyu nefli, siyahımsı yeşil renkteki serpantininit biriminden oluşmaktadır. Çok sayıda çatlak mevcuttur. Çatlaklar dikine ve verev yönde gelişmiş olup kuvars dolguludur.



Şekil 5.5. Belpınar Tüneli mühendislik jeolojisi haritası (DSİ, 1999'dan düzenlenmiştir)



Şekil 5.6. Tünel güzergahının enine jeolojik kesiti

5.3.2. Fiziksel deneyler

Temel sondaj kuyularından elde edilen karot numuneler kullanılarak, tünel güzergahındaki birimlerin fiziksel özelliklerinden kuru birim hacim ağırlık, su emme, dalga hızı ve görünür porozite deneyleri yapılmıştır (Tablo 5.1). Deney sırasında TSK-1 ve TSK-6 nolu sondaj kuyusundan numune alınamadığı için hesaplama yapılamamıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre TSK-2 nolu sondaj kuyusunda kuru birim hacim ağırlık değeri 2,83-2,84 g/cm³, porozite değeri % 0,5-0,7, dalga hızı 4678-4894 m/sn ve kütlece su emme oranı % 0,2-0,3 arasında değişmekte ve Anon, 1979 sınıflamasına göre “Çok Yüksek Kuru Birim Hacim Ağırlık”, “Yüksek Hız” ve “Çok Düşük Poroziteli” özellik göstermektedir. TSK-3, TSK-4 ve TSK-5 nolu sondaj kuyularında kuru birim hacim ağırlık değeri 2,5-2,89 g/cm³, porozite değeri % 0,8-4, dalga hızı 3793-5223 m/sn ve kütlece su emme oranı % 0,3-4,7 arasında değişmektedir. Anon, 1979 sınıflamasına göre “Yüksek-Çok Yüksek Kuru Birim Hacim Ağırlık”, “Orta Hız- Çok Yüksek Hız” “Çok Düşük-Orta Poroziteli” özellik göstermektedir.

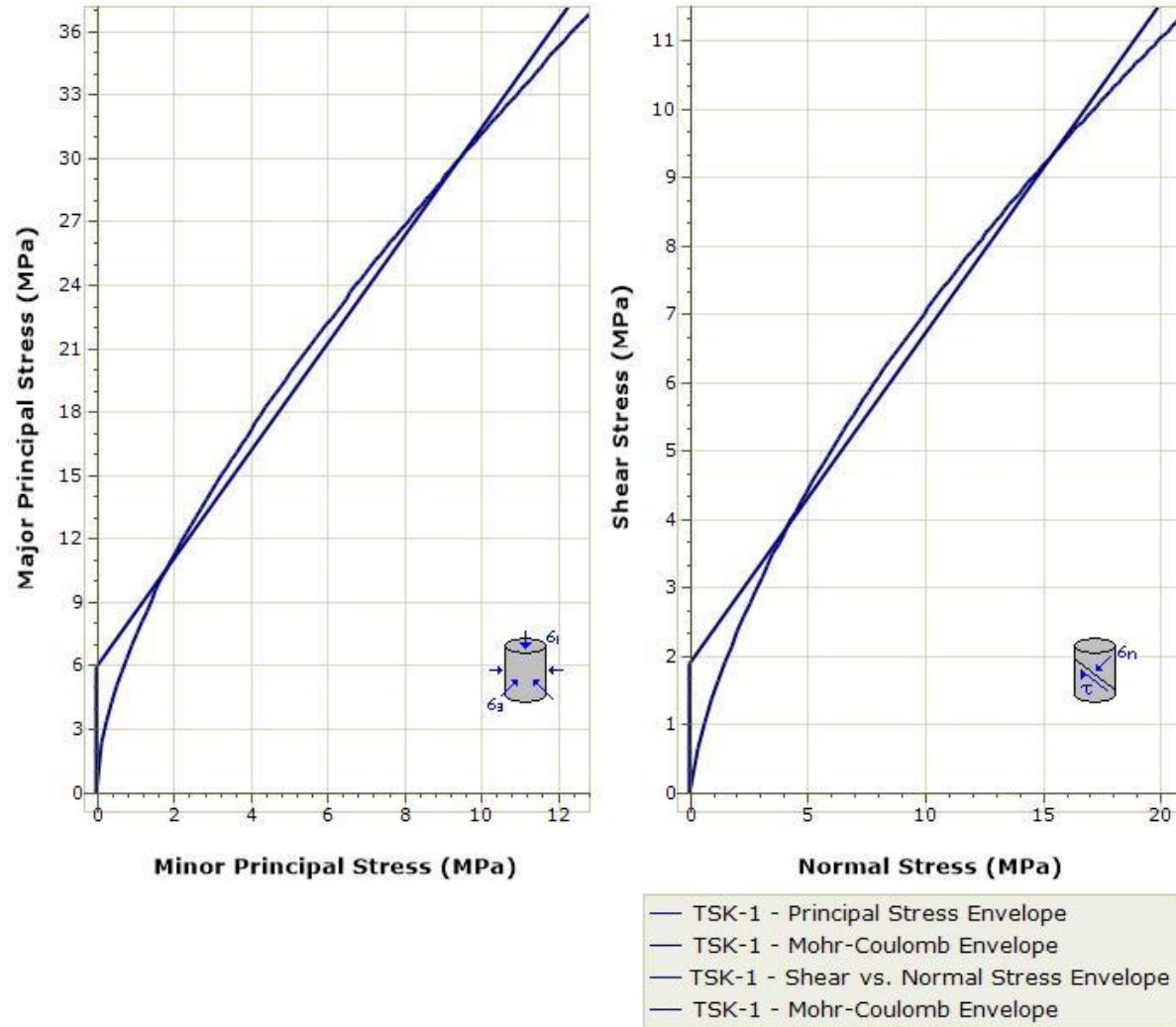
Tablo 5.1. Fiziksel deney sonuçları

| Numune No | Kuru Birim Ağırlık (g/cm ³) | Kütlece Su Emme (%) | Görünen Porozite (%) | Dalga Hızı (m/sn) | |
|------------|---|---------------------|----------------------|-------------------|--------|
| | | | | Kuru | Doymun |
| 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 |

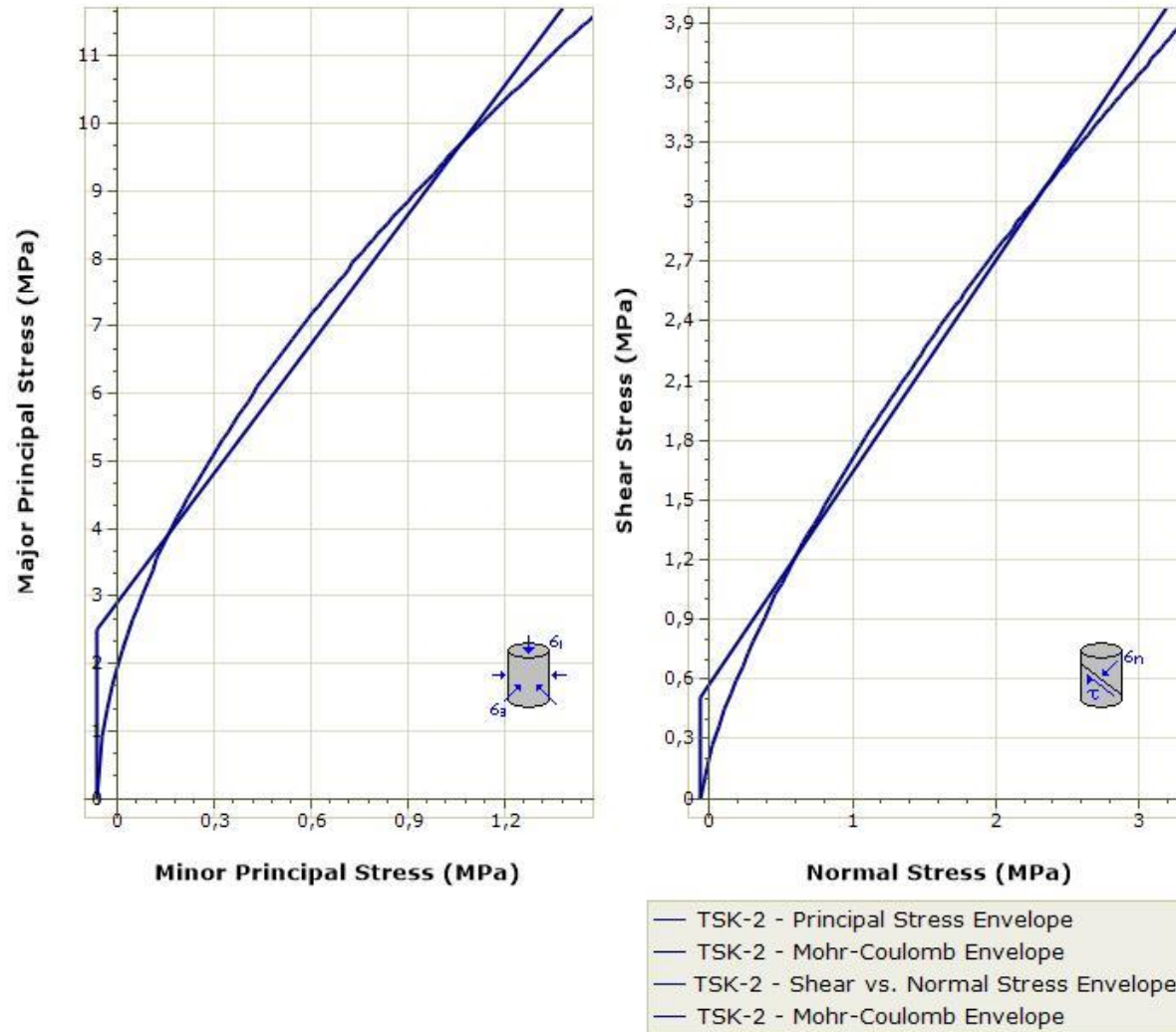
5.3.3. İnceleme Alanındaki Kayaçların Jeomekanik Özellikleri

Numunelerin mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için RockData 5.0 programı yardımıyla GSI ve kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı parametreleri kullanılarak Hoek-Brown sınıflaması yapılmıştır. Hesaplamalar serpantinitle ve peridotitlerin bulunduğu yere göre iki ayrı aşamada yapılmıştır. Yapılan sınıflama sonuçlarına göre TSK-1 ve TSK-2 nolu sondaj numunelerinin alındığı serpantinitle birimlerin tek eksenli basınç dayanımı 1128-1955 MPa, genel dayanımı 6066-8939 MPa ve deformasyon modülü değerleri 1271,856-1305,723 MPa arasında değişmekte olup, ortalama basınç dayanımı 1541 MPa'dır. Peridotit birimlerden alınan TSK-3, TSK-4 ve TSK-5 nolu sondaj numunelerine göre tek eksenli basınç dayanımı 1569-8404 MPa, genel dayanımı 7688-25277 MPa ve deformasyon modülü değerleri 3890,177-10442,746 MPa arasında değişmekte olup, ortalama basınç dayanımı 4986 MPa'dır.



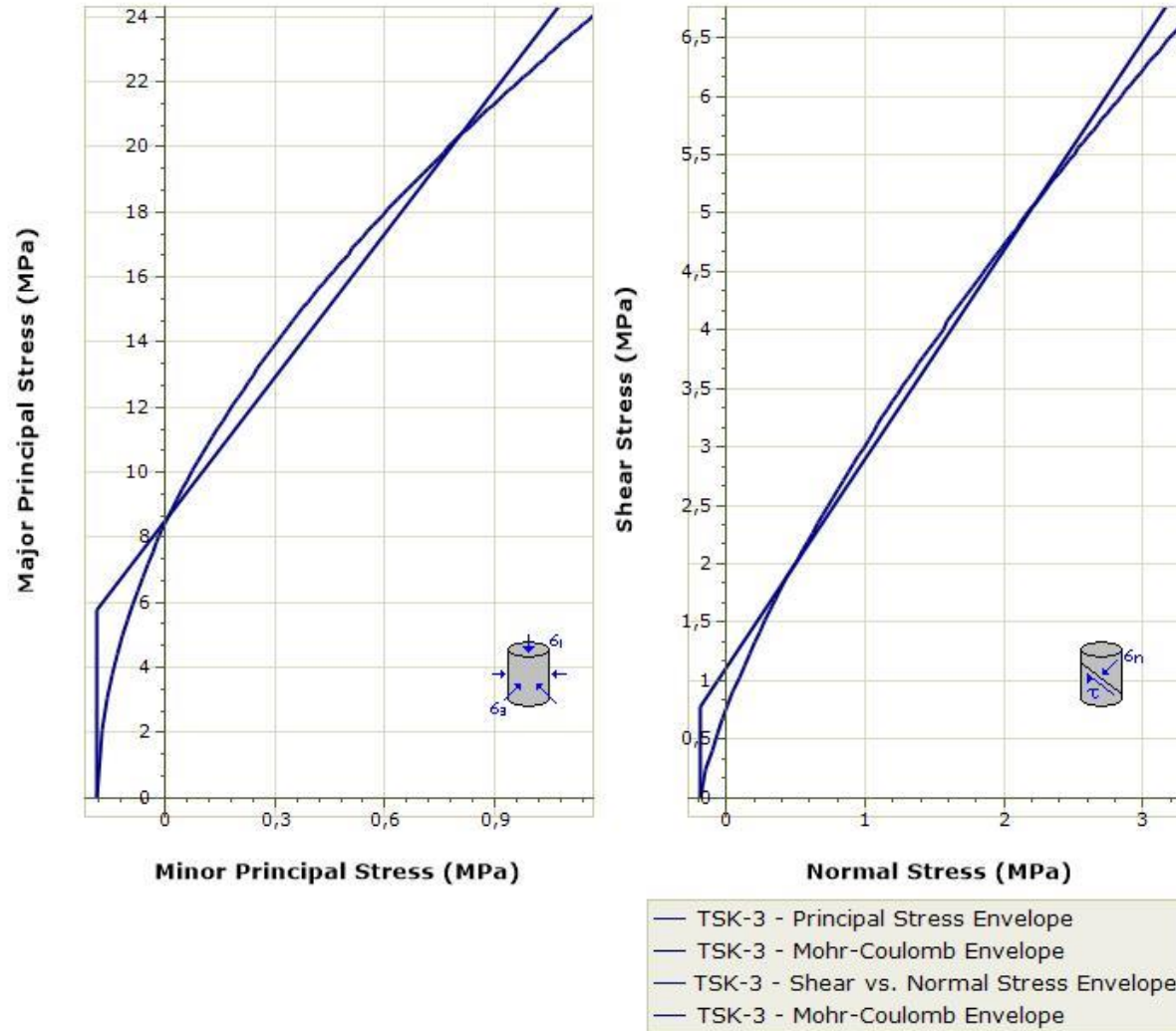
| TSK-1 | |
|--------------------------------------|--------------|
| Hoek Brown Classification | |
| intact uniaxial compressive strength | 50 MPa |
| GSI | 34 |
| mi | 10 |
| disturbance factor | 0 |
| intact modulus | 12000 MPa |
| modulus ratio | 240 |
| Hoek Brown Criterion | |
| mb | 0.947 |
| s | 6.534e-004 |
| a | 0.517 |
| Failure Envelope Range | |
| application | general |
| sig3max | 12.5 MPa |
| Mohr Coulomb Fit | |
| cohesion | 1.903 MPa |
| friction angle | 25.794 deg |
| Rock Mass Parameters | |
| tensile strength | -0.035 MPa |
| uniaxial compressive strength | 1.128 MPa |
| global strength | 6.066 MPa |
| modulus of deformation | 1271.856 MPa |

Şekil 5.7. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-1 parametreleri



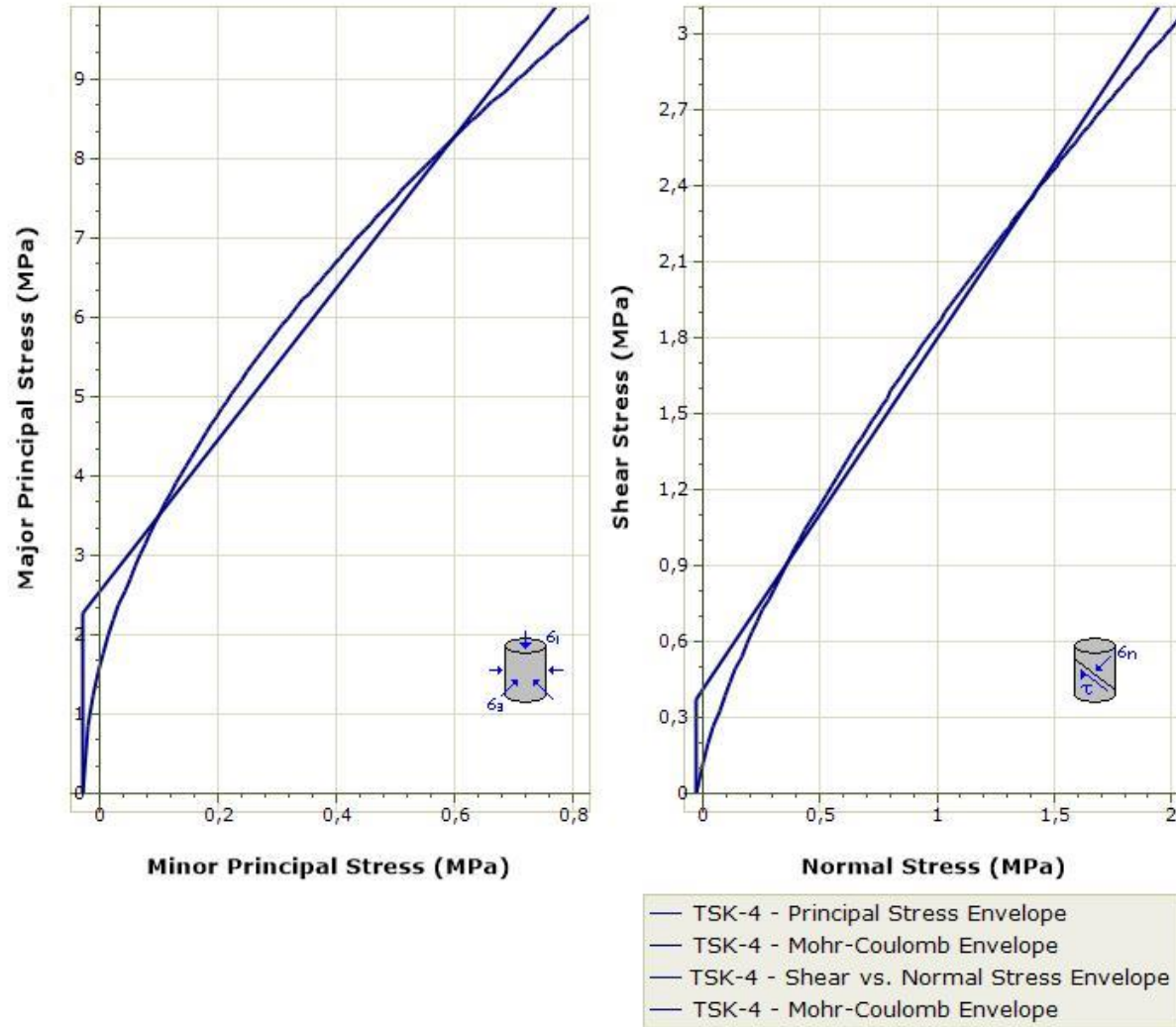
| TSK-2 | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Hoek Brown Classification | |
| intact uniaxial compressive strength | 67 MPa |
| GSI | 38 |
| mi | 10 |
| disturbance factor | 0 |
| intact modulus | 9380 MPa |
| modulus ratio | 140 |
| Hoek Brown Criterion | |
| mb | 1.092 |
| s | 0.001 |
| a | 0.513 |
| Failure Envelope Range | |
| application | tunnels |
| sig3max | 1.439 MPa |
| unit weight | 0.026 MN/m ³ |
| tunnel depth | 110 m |
| Mohr Coulomb Fit | |
| cohesion | 0.573 MPa |
| friction angle | 46.817 deg |
| Rock Mass Parameters | |
| tensile strength | -0.063 MPa |
| uniaxial compressive strength | 1.955 MPa |
| global strength | 8.939 MPa |
| modulus of deformation | 1305.723 MPa |

Şekil 5.8. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-2 parametreleri



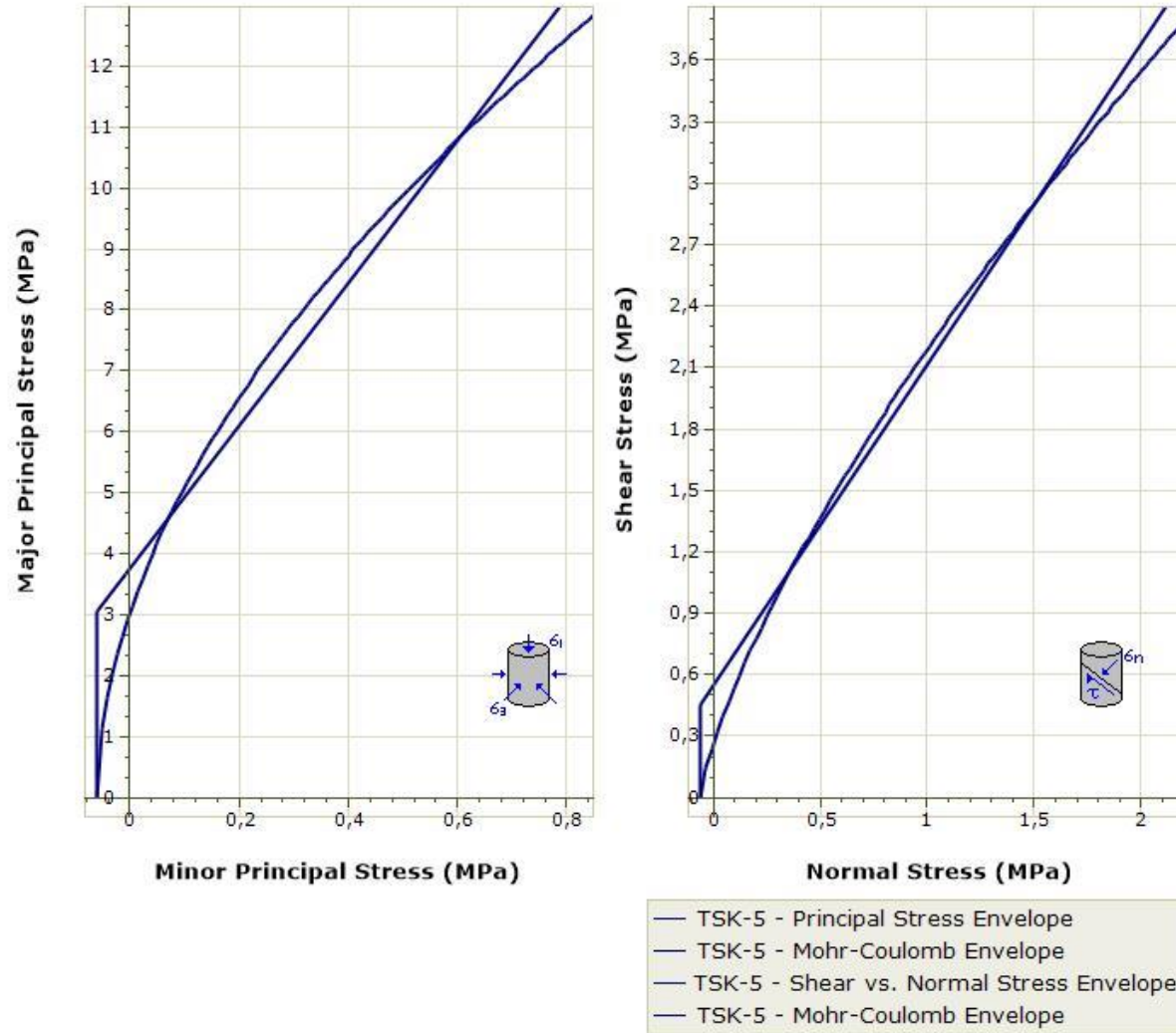
| TSK-3 | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Hoek Brown Classification | |
| intact uniaxial compressive strength | 88 MPa |
| GSI | 58 |
| mi | 20 |
| disturbance factor | 0 |
| intact modulus | 22000 MPa |
| modulus ratio | 250 |
| Hoek Brown Criterion | |
| mb | 4.463 |
| s | 0.009 |
| a | 0.503 |
| Failure Envelope Range | |
| application | tunnels |
| sig3max | 1.136 MPa |
| unit weight | 0.026 MN/m ³ |
| tunnel depth | 80 m |
| Mohr Coulomb Fit | |
| cohesion | 1.108 MPa |
| friction angle | 60.776 deg |
| Rock Mass Parameters | |
| tensile strength | -0.185 MPa |
| uniaxial compressive strength | 8.404 MPa |
| global strength | 25.277 MPa |
| modulus of deformation | 10442.746 MPa |

Şekil 5.9. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-3 parametreleri



| TSK-4 | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Hoek Brown Classification | |
| intact uniaxial compressive strength | 35 MPa |
| GSI | 45 |
| mi | 20 |
| disturbance factor | 0 |
| intact modulus | 8750 MPa |
| modulus ratio | 250 |
| Hoek Brown Criterion | |
| mb | 2.805 |
| s | 0.002 |
| a | 0.508 |
| Failure Envelope Range | |
| application | tunnels |
| sig3max | 0.807 MPa |
| unit weight | 0.026 MN/m ³ |
| tunnel depth | 60 m |
| Mohr Coulomb Fit | |
| cohesion | 0.411 MPa |
| friction angle | 54.143 deg |
| Rock Mass Parameters | |
| tensile strength | -0.028 MPa |
| uniaxial compressive strength | 1.569 MPa |
| global strength | 7.688 MPa |
| modulus of deformation | 1956.937 MPa |

Şekil 5.10. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-4 parametreleri



| TSK-5 | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Hoek Brown Classification | |
| intact uniaxial compressive strength | 45 MPa |
| GSI | 52 |
| mi | 20 |
| disturbance factor | 0 |
| intact modulus | 11250 MPa |
| modulus ratio | 250 |
| Hoek Brown Criterion | |
| mb | 3.602 |
| s | 0.005 |
| a | 0.505 |
| Failure Envelope Range | |
| application | tunnels |
| sig3max | 0.826 MPa |
| unit weight | 0.026 MN/m ³ |
| tunnel depth | 60 m |
| Mohr Coulomb Fit | |
| cohesion | 0.548 MPa |
| friction angle | 57.439 deg |
| Rock Mass Parameters | |
| tensile strength | -0.06 MPa |
| uniaxial compressive strength | 3.045 MPa |
| global strength | 11.422 MPa |
| modulus of deformation | 3890.177 MPa |

Şekil 5.11. Hoek-Brown sınıflaması ve TSK-5 parametreleri

5.3.4. Belpınar Tüneli RMR ve Q sınıflaması

Çalışma kapsamında, T-2 iletim tünelinin RMR ve Q kaya kütle sınıflaması DSİ XX Bölge Müdürlüğü'nün (1999) hazırladığı "Orta Ceyhan Menzelet Projesi Klavuzlu Barajı İsale ve Sulama Kanalları Mühendislik Jeolojisi Revize Planlama Raporu" nda yer alan 6 ayrı lokasyondan alınan (TSK-1, TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5, TSK-6) sondaj loglarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Her bir lokasyon için RMR parametreleri (tek eksenli sıkışma dayanımı, RQD, süreksizlik sıklığı, süreksizlik durumu, yeraltı suyu durumu, süreksizlik yönlenmesi) Düzeltilmiş Bieniawski (1989)'nin önerdiği grafikler ve çizelgeden faydalanarak hazırlanmıştır.

Elde edilen parametreler ışığında her bir sondaj lokasyonu için Nihai RMR ve Temel RMR değerleri elde edilmiştir. Verilere göre Nihai RMR değerleri TSK-1 ve TSK-2 için "Zayıf Kaya" ; TSK-3, TSK-4, TSK-5 ve TSK-6 için "Orta Kaya" olarak tanımlanmıştır. Temel RMR değerleri ise TSK-1 için "Çok Zayıf Kaya"; TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5 ve TSK-6 için "Zayıf Kaya" olarak belirlenmiştir (Tablo 5.2).

Q sistemine göre çatlak takım sayısı TSK-1 için parçalanmış kaya, TSK-4 ve TSK-6 için iki eklem takımı, TSK-3 ve TSK-5 için üç eklem takımı ve de TSK-2 için dört eklem takımı; süreksizlik pürüzlülüğü için TSK-1 ve TSK-2 pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel, TSK-3 TSK-4, TSK-5 ve TSK-6 için pürüzlü veya düzensiz, dalgalı; çatlak yüzeyinin durumu için TSK-1 yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil minerali kaplaması, TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5 ve TSK-6 siltli veya kumlu-kil kaplamaları, küçük kil fraksiyonu tanımları yapılmıştır. Su azaltma faktörü için, TSK-2'de orta derecede su gelimi veya yer yer eklem dolgularının yıkanması; TSK-1, TSK-3, TSK-4, TSK-5 ve TSK-6'da büyük miktarda su gelimi veya yüksek basınç, eklem dolgularının fazlaca yıkanması tanımı kullanılmıştır. SRF değeri kayayı kesen zayıf zonlara göre yapılmıştır. ESR değeri ise 1.6 alınmıştır.

Sondaj loglarına ait veriler kullanılarak hesaplanan Q sistemine göre TSK-1 "Çok Zayıf Kaya", TSK-2 ve TSK-5 "Orta", TSK-3, TSK-4 ve TSK-6 "İyi Kaya" olarak tanımlanmıştır (Tablo 5.3)

Tablo 5.2. Temel sondaj kuyularının RMR sınıflaması

| Parametre | TSK-1 / Puan | TSK-2 / Puan | TSK-3 / Puan | TSK-4 / Puan | TSK-5 / Puan | TSK-6 / Puan |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| UCS (MPa) | 50 (5,75) | 67 (7) | 88 (8,5) | 35 (4,5) | 45 (5,25) | 50 (5,75) |
| RQD (%) | 30 (7) | 48 (9,75) | 50 (10,25) | 51 (10,5) | 61 (12,25) | 44 (9) |
| Süreksizlik sıklığı (m) | 0,1 (5) | 0,3 (5,5) | 0,06 (5) | 0,08 (5) | 0,07 (5) | 0,11 (5,25) |
| Süreksizlik durumu | 10-20(1) | >20 (0) | 3-10 (2) | 10-20 (1) | 1-3 (4) | 1-3 (4) |
| Devamlılık (m) | 1-5(1) | >5 (0) | 0,1-1,0 (4) | 0,1-1,0 (4) | 0,1-1,0 (4) | <0,1 (5) |
| Açıklık (mm) | Az Pür.(3) | Az Pür.(3) | Pürüzlü (5) | Pürüzlü (5) | Az Pür. (5) | Pürüzlü (5) |
| Pürüzlülük | <5 Yumş. (2) | >5 Yumş. (2) | Yok (6) | Yok (6) | <5 Sert (4) | Yok (6) |
| Dolgu (mm) | Çok Boz.(1) | Çok Boz.(1) | Az Boz. (5) | Az Boz. (5) | Az Boz. (5) | Az Boz. (5) |
| Bozunma | | | | | | |
| Yeraltısuyu durumu (lt/dk) | >125 (0) | 25-125 (4) | >125 (0) | >125 (0) | >125 (0) | >125 (0) |
| Temel RMR | 25,75 | 30,25 | 45,75 | 41 | 42,50 | 45 |
| Süreksizlik Yönlenmesi (°) | (0-20°) Doğr. Bakılmaksızın (-5) | (0-20°) Doğr. Bakılmaksızın (-5) | (0-20°) Doğr. Bakılmaksızın (-5) | (0-20°) Doğr. Bakılmaksızın (-5) | (0-20°) Doğr. Bakılmaksızın (-5) | (0-20°) Doğr. Bakılmaksızın (-5) |
| Nihai RMR | 20,75 | 25,25 | 40,75 | 36 | 37,50 | 40 |

Tablo 5.3. Temel sondaj kuyularının Q sınıflaması

| Parametre | TSK-1 / Puan | TSK-2 / Puan | TSK-3 / Puan | TSK-4 / Puan | TSK-5 / Puan | TSK-6 / Puan |
|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Kaya Kalite Göstergesi (RQD) | 30 | 48 | 50 | 51 | 61 | 44 |
| Çatlak Takım Sayısı (Jn) | Parçalanmış kaya, toprak görünümünde (20) | Dört veya daha fazla eklem takımı (15) | Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler (12) | İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler (6) | Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler (12) | İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler (6) |
| Çatlak Pürüzlülük Katsayısı (Jr) | Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel (1,5) | Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel (1,5) | Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı (3) | Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı (3) | Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı (3) | Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı (3) |
| Çatlak Yüzeyinin Durumu (Ja) | Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil minerali kaplaması (4) | Siltli veya kumlu-kil kaplamaları, küçük kil fraksiyonu (3) | Siltli veya kumlu-kil kaplamaları, küçük kil fraksiyonu (3) | Siltli veya kumlu-kil kaplamaları, küçük kil fraksiyonu (3) | Siltli veya kumlu-kil kaplamaları, küçük kil fraksiyonu (3) | Siltli veya kumlu-kil kaplamaları, küçük kil fraksiyonu (3) |
| Çatlaksuyu Azaltma Faktörü (Jw) | Büyük miktarda su gelimi (0,33) | Orta derecede su gelimi (0,66) | Büyük miktarda su gelimi (0,33) | Büyük miktarda su gelimi (0,33) | Büyük miktarda su gelimi (0,33) | Büyük miktarda su gelimi (0,33) |
| Gerilim Değişim Faktörü (SRF) | Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar (10) | Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar (10) | Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar (10) | Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar (10) | Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar (10) | Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya içeren zayıf zonlar (10) |
| Q | 0,01 | 0,09 | 0,49 | 0,25 | 0,11 | 0,21 |

5.4. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi

Tünel kazısı ultrabazik karakterli kayalardan peridotit ve serpantinitle içerisinde yapılmıştır. Tünel güzergahında açılan temel sondaj kuyularında ise yeraltı su seviyeleri tünel kot üzerinde çıkmıştır (Tablo 5.4). Su hareketleri ultrabazik kayaların kırık ve çatlak sistemleri boyunca gelişmektedir. Kayacın akifer özelliği taşımaması sebebiyle tünelde önemli ölçüde yeraltı suyu problemi yaşanmayacağı öngörülmektedir (DSİ, 1999).

Nurdağı ve civarında gözlenen ofiyolitler; eğimli topoğrafya sahip olup koyu yeşil ve siyahımsı renklerde, bölgedeki tektonik faaliyetlerin sonucunda oluşan ezik zonlar ve süreksizlik düzlemlerinde, üst seviyelerinde bol kırık ve çatlaklı alt seviyelerinde az çatlak ve kırıklı sağlam kayaç özelliği taşımaktadır. Tüm birimler tektonik dokanaktır. Üstüne açılı diskordansla eski alüvyon birimi gelmektedir. Birimin kırık ve çatlaklı olması sebebiyle akifer özelliği göstermemekte olup yeraltı sularının iletim vazifesini göstermekte bunların sonucu olarak da görsel killere aşırı derecede su sağlamaktadır (Barsu, 2012).

Bölgede kış rejimleri ile toplanan suların oluşturduğu bataklık alanlarından kurtulmak için 1950 yıllarında çalışmalara başlanılmış, Sağlık Ovasında yer alan İçerisu Deresi, Kar Dere ve Koca Dere ile toplanan yüzey suları DSİ tarafından planlanarak uygulaması yapılmış kurutma kanallarının bunlara bağlantıları yapılarak çok büyük bir drenaj ağı oluşturulmasıyla suların Aksu Nehrine tahliyesi sağlanmıştır (İşören, 2018).

Tablo 5.4. Temel sondaj kuyularına ait yeraltı su seviyeleri

| Sondaj No | Koordinatlar | | Derinlik(m) | Kot(m) | YASS(m) |
|-----------|--------------|-----------|-------------|--------|---------|
| | X | Y | | | |
| TSK-1 | 4120729.21 | 571007.84 | 50 | 502.94 | 18 |
| TSK-2 | 4119396.34 | 570521.16 | 110 | 562.48 | 40 |
| TSK-3 | 4118297.07 | 570137.51 | 90 | 546.14 | 30 |
| TSK-4 | 4117571.36 | 569896.78 | 80 | 527.47 | 15 |
| TSK-5 | 4115800.51 | 569257.35 | 60 | 505.03 | 16 |
| TSK-6 | 4115478.63 | 569145.27 | 60 | 497.13 | 16 |

Çalışma alanı ve çevresinin bağlı bulunduğu Nurdağı ilçesinin Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından derlenmiş raporlarında 1939-2017 yılları arası ölçüm periyodunda yıllık yağış ortalamasının 550,1 mm olduğu, içinde bulunduğu Akdeniz Bölgesinin de 549,1 mm yıllık yağış ortalamasında olduğu sonuç olarak çalışma alanının ortalamasının üzerinde yağış değerine sahip olduğu görülmektedir (Tablo 5.5).

Tablo 5.5. Gaziantep iline ait sıcaklık ve yağış değerleri (Url-5)

| Gaziantep | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Ölçüm Periyodu (1939-2017) | | | | | | | | | | | | | |
| Ortalama Sıcaklık (°C) | 2,9 | 4,3 | 8,0 | 13,2 | 18,6 | 24,0 | 27,7 | 27,4 | 22,8 | 16,1 | 9,4 | 4,8 | 14,9 |
| Ort. En Yüksek Sıcaklık (°C) | 7,4 | 9,3 | 13,7 | 19,5 | 25,4 | 31,1 | 35,0 | 35,1 | 31,0 | 24,1 | 16,1 | 9,6 | 21,4 |
| Ort. En Düşük Sıcaklık (°C) | -0,7 | 0,0 | 2,9 | 7,2 | 11,8 | 17,0 | 21,0 | 20,9 | 16,1 | 9,9 | 4,4 | 0,9 | 9,3 |
| Ort. Güneşlenme Süresi (saat) | 3,7 | 4,5 | 5,6 | 7,1 | 8,7 | 10,7 | 11,0 | 10,3 | 9,0 | 7,2 | 5,5 | 3,6 | 86,9 |
| Ort. Yağışlı Gün Sayısı | 13,2 | 11,9 | 11,9 | 9,9 | 7,0 | 2,0 | 0,5 | 0,4 | 1,4 | 6,0 | 8,2 | 11,9 | 84,3 |
| Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm) | 101,7 | 82,3 | 71,8 | 52,6 | 30,9 | 6,7 | 2,7 | 1,9 | 5,7 | 36,0 | 62,1 | 95,7 | 550,1 |
| Ölçüm Periyodu (1939-2017) | | | | | | | | | | | | | |
| En Yüksek Sıcaklık (°C) | 19,0 | 24,3 | 28,1 | 34,0 | 37,8 | 39,6 | 44,0 | 42,8 | 40,8 | 36,4 | 27,3 | 24,4 | 44,0 |
| En Düşük Sıcaklık (°C) | -17,5 | -15,6 | -11,0 | -4,3 | 0,4 | 4,5 | 9,0 | 10,8 | 3,4 | -3,9 | -9,7 | -15,0 | -17,5 |

5.5. Belpınar Tünelinde Kullanılan EPB/TBM'in Özellikleri

Projede, Alman menşeli Herrenknecht marka EPB-TBM kullanılmıştır (Şekil 5.12). Bu tip TBM 'ler çalışma esnasında yeraltı sularının yarattığı basınç durumuna göre kazılan noktalara hava ve zemin basıncı vererek hem içeriye su gelmesini engelleyen, hem de boşalan toprağın yerine su dolmasıyla zeminde muhtemel çökme olaylarının meydana gelmesini önleyen hidrolik mekanizmalar ile çalışan makinelerdir.

Tünel açma makinelerinde (TBM) genel olarak kazı işlemi, kazılan malzemenin tahliyesi, segment yerleşimi/montajı, enjeksiyon ve yönlendirme işlemleri için gerekli ekipmanlar bulunmaktadır. Bu ekipmanların bulunduğu yere göre tünel açma makineleri (TBM) üç ana bölümden oluşmaktadır; kesici kafanın bulunduğu 'ön kısım veya kesici yüzey', kumanda odası ve segment montaj bölümünün bulunduğu 'orta kısım veya gövde kısmı' ve gantrilerin bulunduğu 'kuyruk kısmı veya arka kısım' dır (Tumaç ve Gümüş, 2015).

Delme işlemi kesici kafanın bulunduğu ön kısımda gerçekleşir. Kesici kafa ve diskler birlikte dönerek zemini parçalanması sağlanır. Kazılan malzeme 'chamber' denen hazne içine dolar ve dolan malzeme helezon konveyör yardımıyla lokomotif taşıyıcı ve buradan da çıkan pas malzemesinin kazı vagonları veya bant konveyörle tünel dışına boşaltılması sağlanır. TBM'in orta kısmında kumanda odası ve monitör sistemi bulunmaktadır. Operatör kesici kafada bulunan deliklerden kazılan malzemeyi görerek kazının tamamlanmasını ve segment montajının yapılmasını sağlar (Tumaç ve Gümüş, 2015).

TBM'in kuyruk kısmı veya arka kısmında hidrolik güç üniteleri, elektrik trafoları, segment erektör ve seğmen vinci, havalandırma fanları, pas nakliyatı için bant konveyörler, vagonlar bulunmaktadır. Tünel girişinde ise konveyör bant sistemi, enjeksiyon karışım santrali, enjeksiyon ara karıştırıcı, havalandırma fanları ile kule vinç ve segment stokları bulunmaktadır.

Belpınar Tüneli'nde kullanılan EPB/TBM'in teknik özellikleri Tablo 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.12. Projede kullanılan EPB/TBM



Şekil 5.13. EPB/TBM'in yakından görünümü

Tablo 5.6. Kılavuzlu Sulama Projesi kapsamında kullanılan TBM'e ait teknik bilgiler

| | | |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| TBM | Makine tipi | Zemin basınç dengeleyici |
| | Makine adı | Zeugma |
| | Tünelin toplam uzunluğu | 5450 m |
| | Monte edilen güç | 3137 kW |
| | TBM uzunluğu+Römork | yakl. 105 m |
| | TBM ağırlığı | yakl. 370 t |
| | Römork ağırlığı | yakl. 180 t |
| | Viraj yarıçapı (min) | 225 m |
| | İşletme basıncı (orta aksta) | 3.5 bar |
| KESİCİ KAFA | Delme çapı | 6820 mm |
| | Ağırlık (iş aletleriyle birlikte) | 93486 kg |
| | Kesici disk (1 halka) | 36 |
| | Kesici disk (merkez) | 4 |
| | Kesici disk çapı | 17'' |
| | Aşınma tanıyıcısı | 4 sensör |
| ANA TAHRİK | Tipi | Hidrolik |
| | Motorlar | 10 |
| | Güç | 2000 kW |
| | Devir sayısı | 0-3.5 1/dak |
| | Tork (nominal) | ca 7144 kNm |
| İLERLEME | Ana ilerleme silindir sayısı | 16x2 |
| | Kaldırma | 2300 mm |
| | Ana ilerleme silindiri | 42575 kN (350 bar) |
| KALKAN | Keski çapı | 6780 mm |
| | Keski uzunluğu | 3515 mm |
| | Orta kalkan çapı | 6770 mm |
| | Orta kalkan uzunluğu | 3810 mm |
| | Kuyruk kalkanı çapı | 6760 mm |
| | Kuyruk kalkanı uzunluğu | 3300 mm |
| SEGMENT EREKTÖRÜ | Güç nakli | Hidrolik |
| | Ağırlık | yakl. 20 t |
| | Kavrama sistemi | vakum |
| | Hareket yolu | 2400 mm |
| | Dönme hızı | 0-2 1/dak |
| | Dönme açısı | +/- 200° |
| SEGMENT VİNCİ | Güç nakli | Hidrolik |
| | Kavrama sistemi | vakum |
| | Taşıma yükü | 3250 kg |
| | Hareket yolu | 26 m |
| | Kaldırma yüksekliği | 2.5 m |
| | Hareket hızı | 0-40 m/dk |
| Kaldırma hızı | 5.7 m/dk | |
| HELEZON KONVEYÖR | Sayı | 1 |
| | Uzunluk | 14000 mm |
| | Güç | 250 kW |
| | Devir sayısı | 0-22 1/dk |
| | Tork (nominal) | 202 kNm |

5.6. Belpınar Tünelinde Kullanılan TBM'in Kazı Performans Analizi

Belpınar tüneline kullanılan pasas basınçlı tünel açma makinesinden alınan vardiya raporlarına göre günlük, haftalık ve aylık ilerleme oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu en iyi günlük ilerleme, en iyi haftalık ilerleme ve en iyi aylık ilerleme oranları grafiklerle gösterilmiştir.

Belpınar tüneli üzerinde yapılan sondaj numunelerinden elde edilen mekanik deney sonuçları, RMR ve Q sınıflama sistemi hesabına göre tünelin km: 0+000 – km: 2+000 arası parçalı, çok kırıklı, dağılgan ve yer yer altere kaya kalitesine sahip çok zayıf-zayıf kaya, km: 2+000 – km: 5+450 arası genelde sağlam ve az parçalı, kırıklı kaya özelliği göstermektedir. Bu nedenle tünel güzergahı TBM giriş portalından itibaren km: 0+000 – km:2+000 ve km: 2+000 – km: 5+450 arası iki ayrı aşama için hesaplamalar yapılmıştır.

TBM giriş portalından itibaren ilk 1 km'si peridotit ve sonraki 1 km'si ise peridotit-serpantinit birimlerinden oluşmaktadır. İkinci kısımda tünel çıkışında 100 m öncesi peridotit-serpantinit ve TBM çıkış portalına doğru yaklaşık 100 m'si serpantinit birimlerden oluşmaktadır.

5.6.1. Günlük ilerleme oranı

Bu çalışma, Kılavuzlu Sulama Kanalı projesinden alınan verileri içermektedir. Tünelin toplam uzunluğu 5.4 km ve tünelin çapı 6.82 m'dir. Proje kapsamında yapılan tünelin, 2015 Ocak ayında kazı işlemlerine başlanıp 2016 Kasım ayında sona ermiştir. Arıza ve duraklamalarla birlikte toplam 675 günlük, arıza ve duraklamalar hariç 380 günlük kazı yapılmış ve tünel toplamda 3892 ringle geçilmiştir. Aşağıda ilk önce E.5.1'e göre günlük ilerleme miktarı hesaplanmıştır daha sonra E.5.2'ye göre duraklamalar dahil toplam kazı süresine ve E.5.3'e göre duraklamalar hariç toplam kazı süresine göre günlük ortalama ilerleme miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Günlük ilerleme miktarı(m)} = \text{Günlük toplam ilerleme hızı} \times \frac{60}{100} \quad (\text{E.5.1})$$

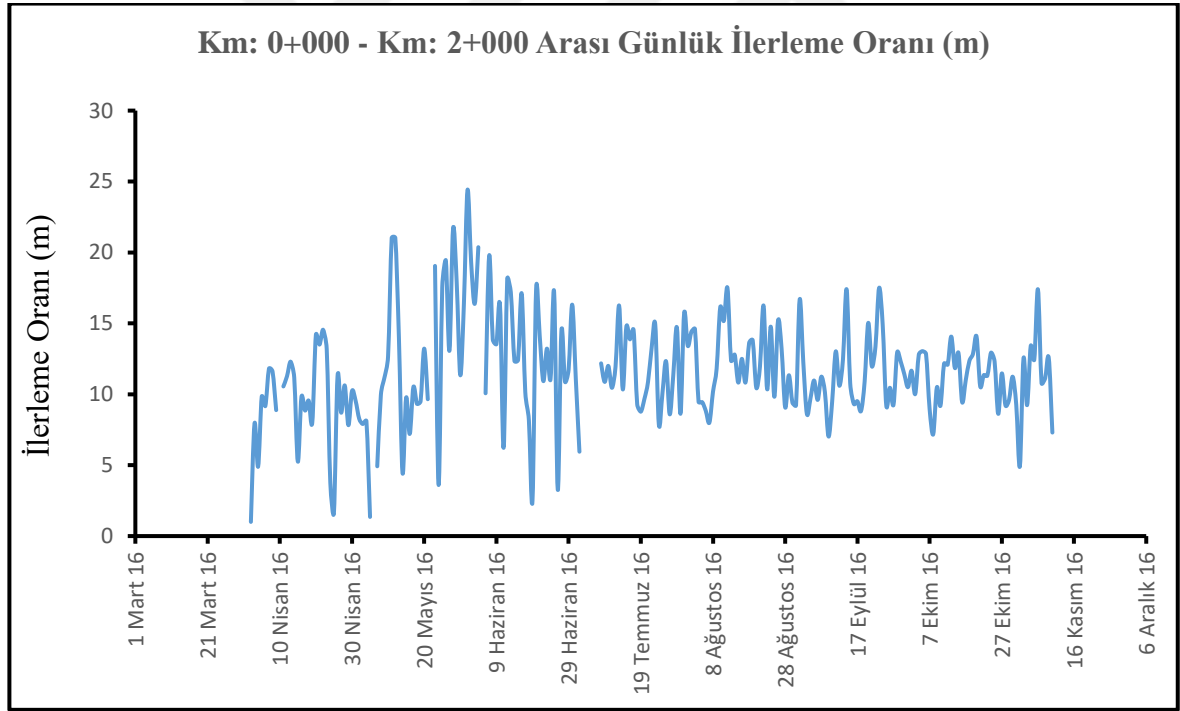
| | |
|----------------------------------|-------------|
| TBM ile geçilen uzunluk: | 5,450 metre |
| Toplam gün (Duraklamalar dahil): | 675 gün |

$$\frac{\text{Toplam uzunluk}}{\text{Toplam gün}} = \text{Günlük ortalama ilerleme} \quad \frac{5450}{675} = 8,07 \text{ m/gün} \quad (\text{E.5.2})$$

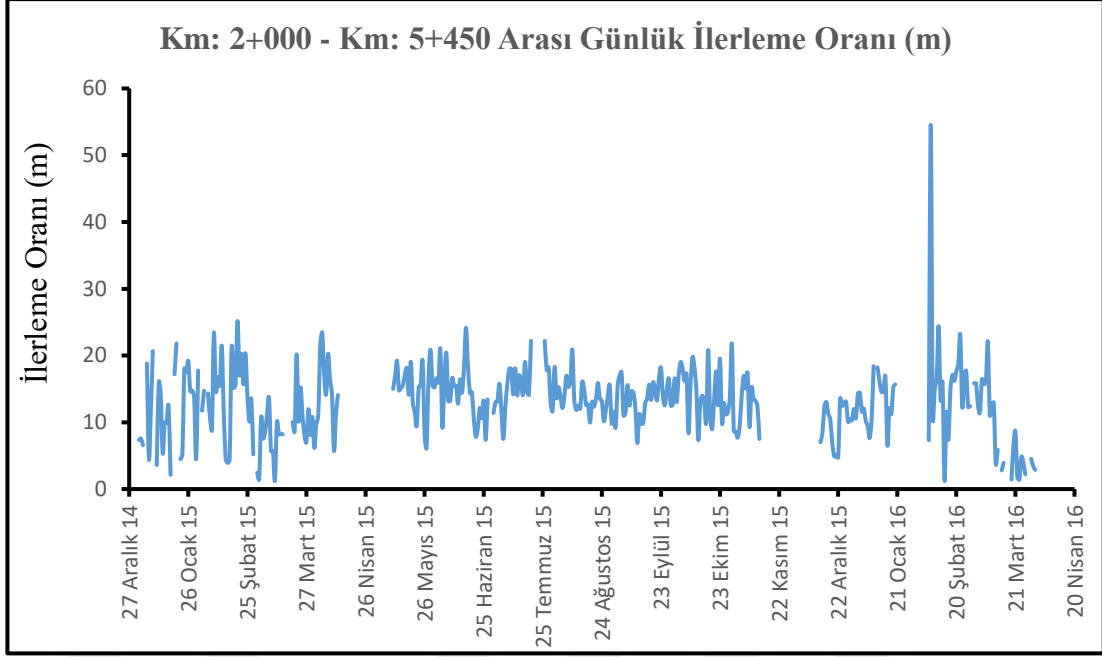
TBM ile geçilen uzunluk: 5,450 metre
 Toplam gün (Duraklamalar hariç): 380 gün

$$\frac{\text{Toplam uzunluk}}{\text{Toplam gün}} = \text{Günlük ortalama ilerleme} \quad \frac{5450}{380} = 14,34 \text{ m/gün} \quad (\text{E.5.3})$$

Şekil 5.14'e göre en iyi günlük ilerleme miktarı km: 0+000 – km: 2+000 arasında 24,4 m iken günlük ortalama miktarı 11,61 m; Şekil 5.15'de km: 2+000 – km: 5+450 arasında en iyi günlük ilerleme miktarı 54,54 m ve günlük ortalama miktarı 13,08 m'dir.

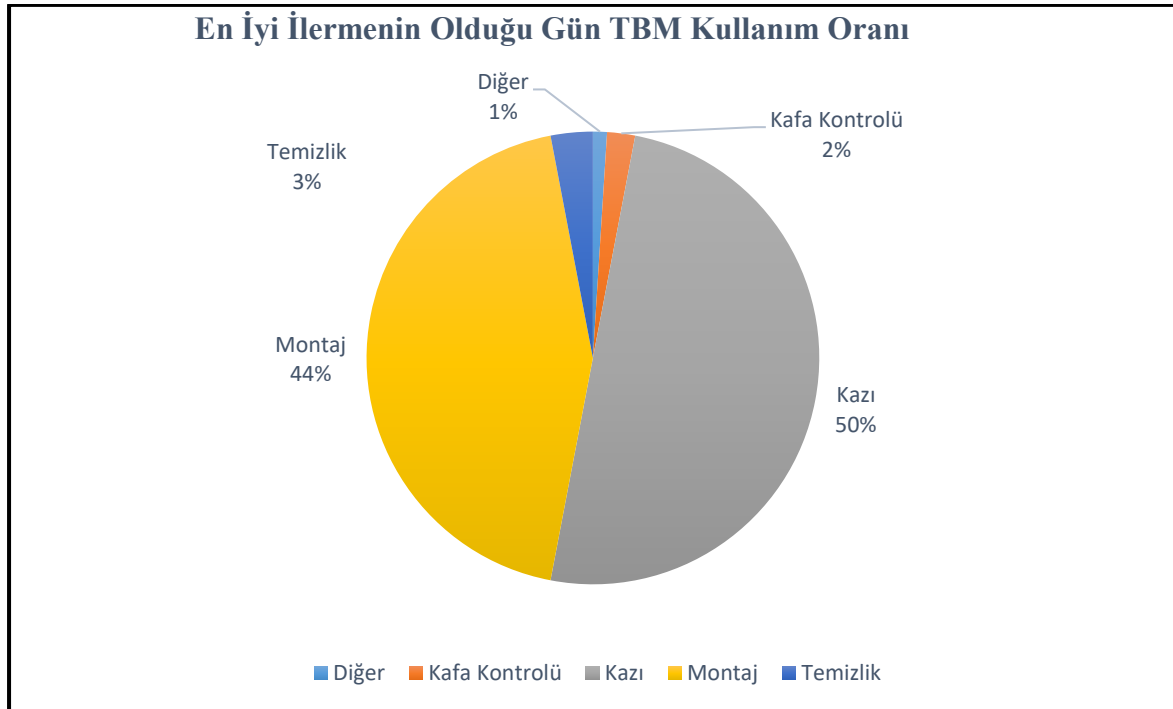


Şekil 5.14. 0+000- 2+000 km arası günlük ilerleme oranları



Şekil 5.15. 2+000 – 5+450 km arası günlük ilerleme oranları

En iyi ilerlemenin gerçekleştiği gün tutulan vardiya raporlarından alınan verilere göre TBM kullanım oranı yüzdeler dağılımı hesaplanmıştır (Şekil 5.16). Toplam sürenin % 50'si kazı, %44'ü montaj, %3'ü temizlik, %2'si kafa kontrolü ve %1'lik kısmı diğer arızalara için harcanmıştır.

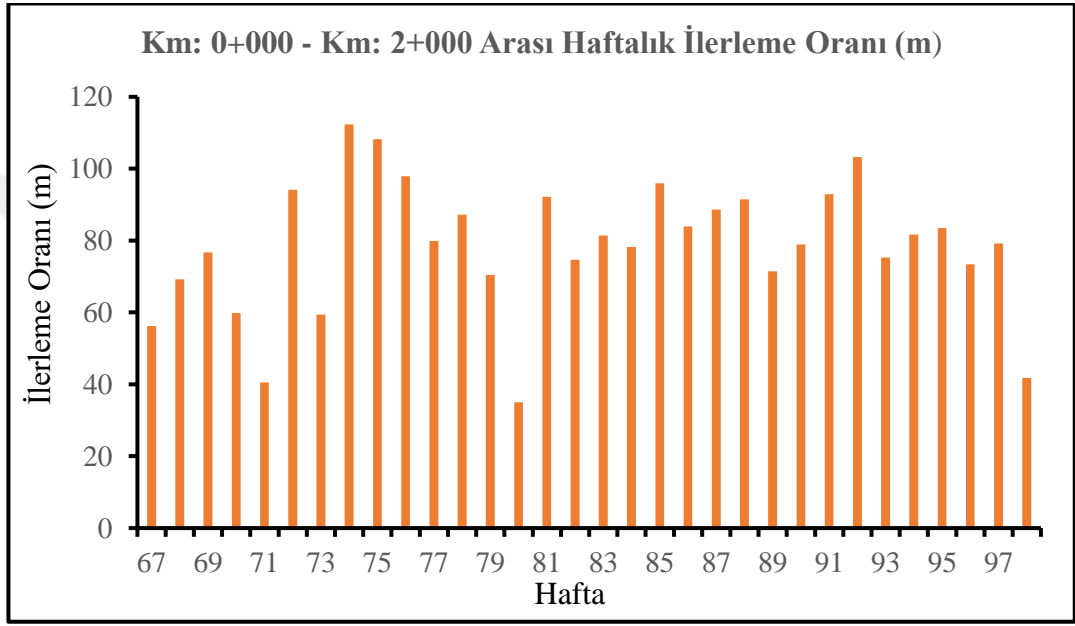


Şekil 5.16. En iyi günlük ilerlemenin olduğu güne ait TBM kullanım oranı yüzdeler dağılım grafiği

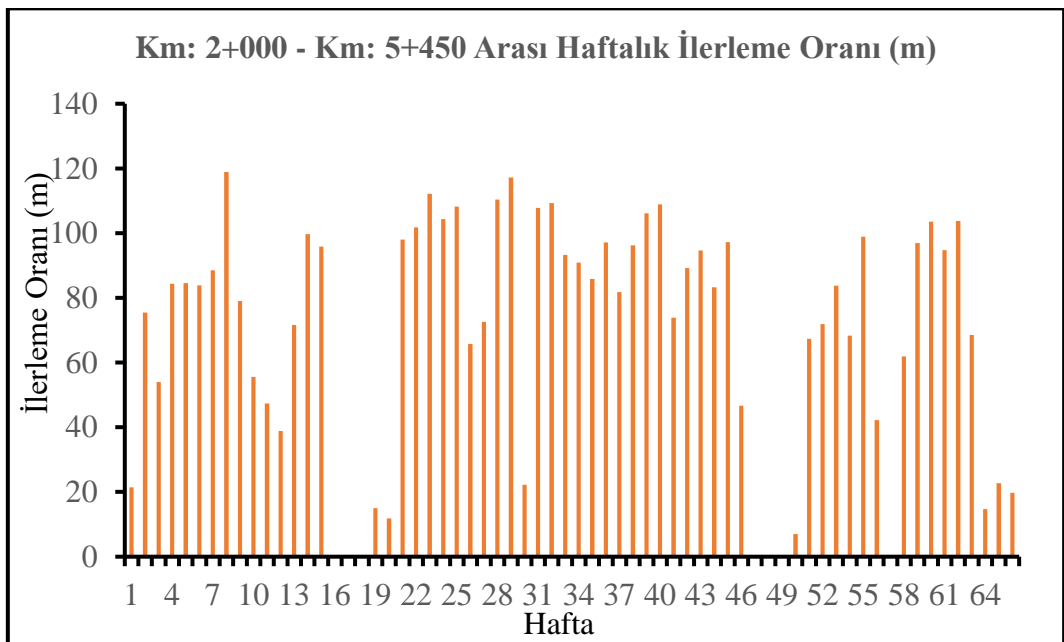
5.6.2. Haftalık ilerleme oranı

Haftalık ilerlemeler bir hafta yedi gün olacak şekilde yapılmıştır. Tünel kazısı toplam 98 hafta sürmüş olup, bunun ilk 35 haftası km: 0+000 – km: 2+000 arasında, diğer haftalar km: 2+000 – km: 5+450 arasında çalışılmıştır. Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de haftalık ilerlemelerin grafik dağılımları verilmiştir.

Km: 0+000 – km: 2+000 arasında en iyi haftalık ilerleme miktarı 112,31 m; km: 2+000 – km: 5+450 arasında en iyi haftalık ilerleme miktarı 118,88 m m’dir.

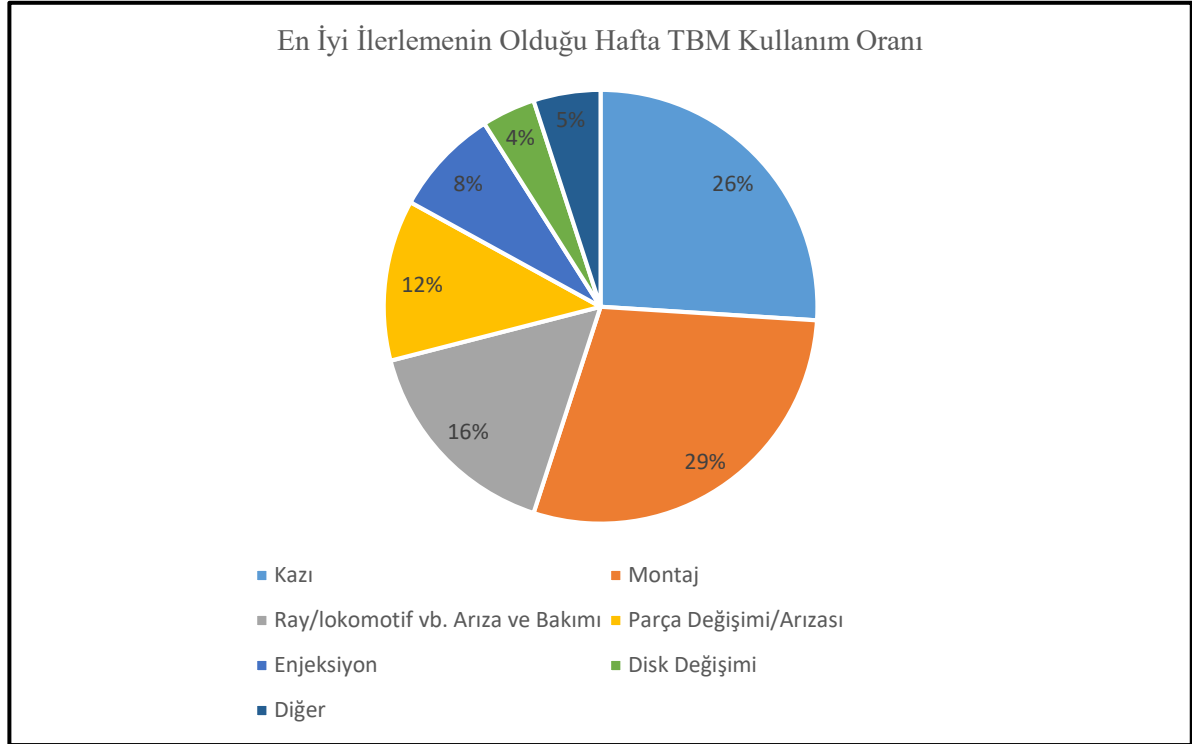


Şekil 5.17. 0+000 - 2+000 km arası haftalık ilerleme oranı



Şekil 5.18. 2+000 - 5+450 km arası haftalık ilerleme oranı

En iyi ilerlemenin gerçekleştiği hafta tutulan vardiya raporlarından alınan verilere göre TBM kullanım oranı yüzdelerle dağılımı hesaplanmıştır (Şekil 5.19). Toplam sürenin % 26'si kazı, %29'ü montaj, %16'sı ray, lokomotif vb. arıza ve bakımı, % 12'si parça değişimi, arızası ve %8'i enjeksiyon, %4'ü disk değişimi ve % 5'i diğer arızalar için harcanmıştır.

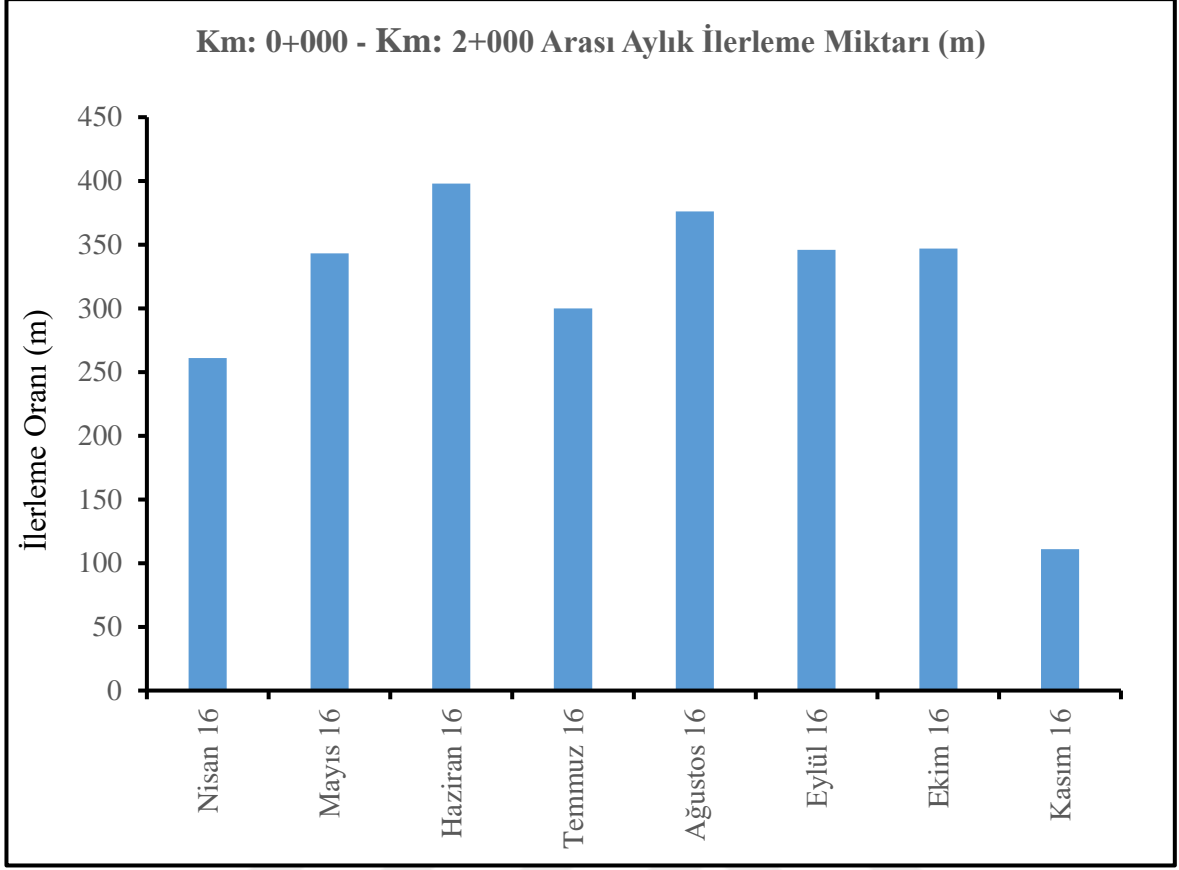


Şekil 5.19. En iyi ilerlemenin olduğu hafta TBM kullanım oranı yüzdelerle dağılımı

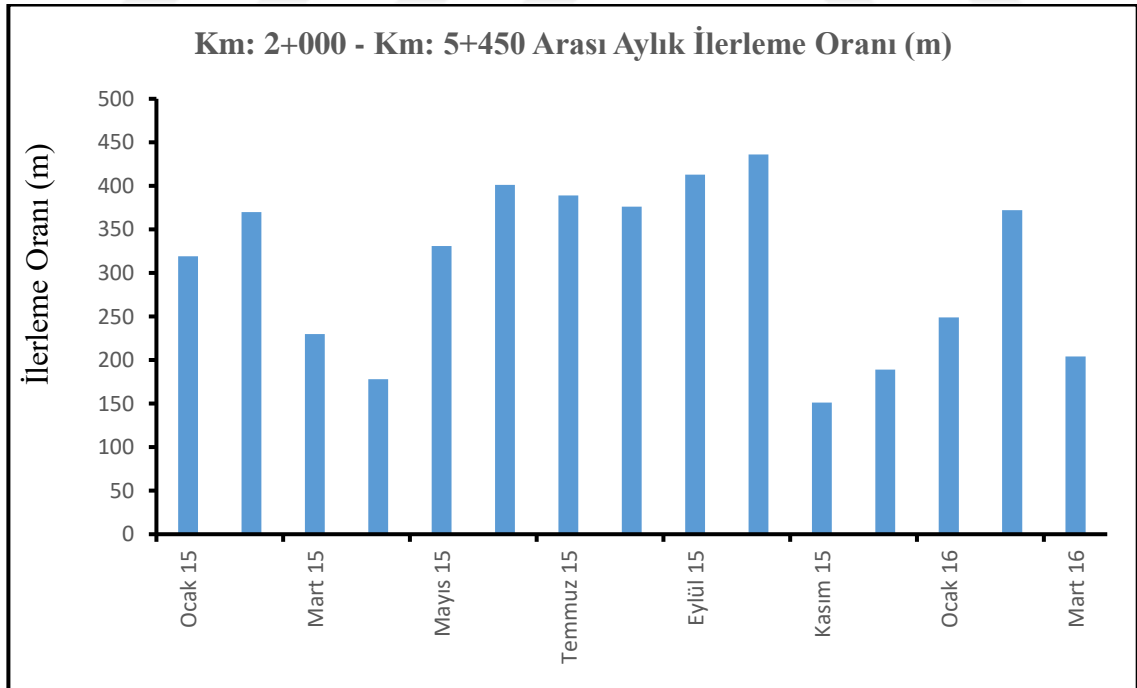
5.6.3. Aylık ilerleme oranı

Belpınar tüneli kazısına 2015 Ocak ayında başlanıp 2016 Kasım ayında sona ermiştir. Kazı süresi toplam 23 ay sürmüştür. Kazının ilk sekiz ayı km: 0+000 – km: 2+000, sonraki on beş ay km: 2+000 – km: 5+450 arasında geçilmiştir. Bu aylara ait ilerleme oranları Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'da verilmiştir.

Km: 0+000 – km: 2+000 arasında en iyi aylık ilerleme miktarı 401 m; km: 2+000 – km: 5+450 arasında en iyi aylık ilerleme miktarı 436 m'dir.

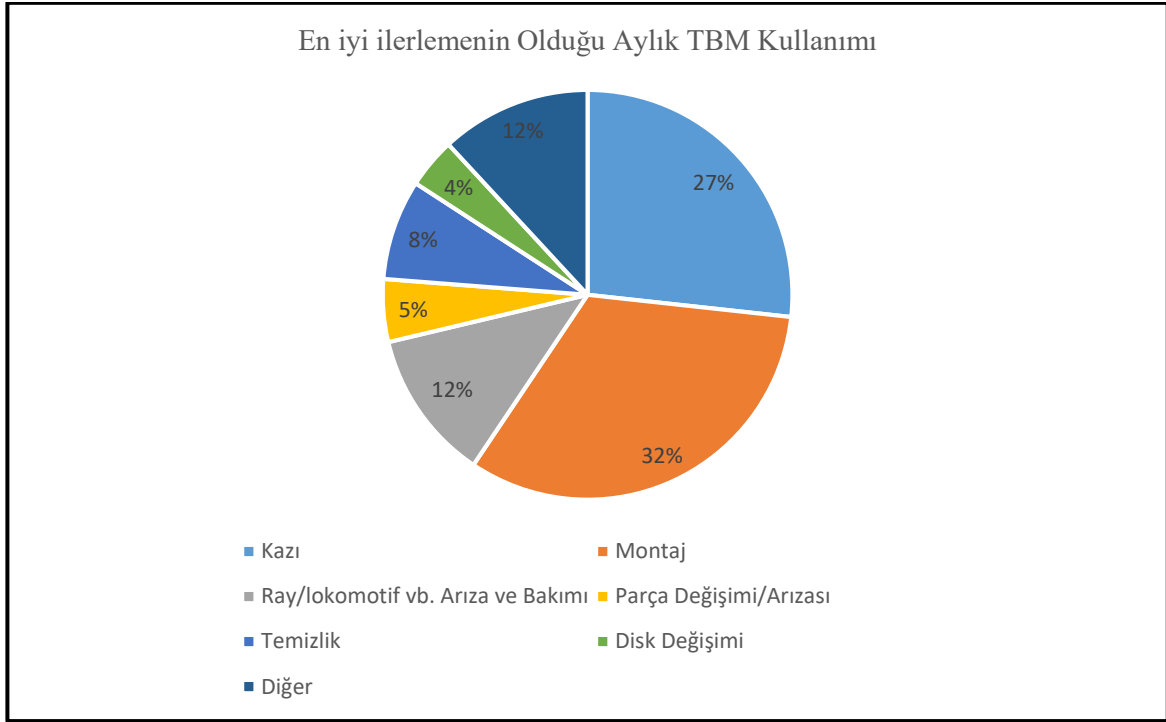


Şekil 5.20. 0+000 - 2+000 km arası aylık ilerleme oranı



Şekil 5.21. 2+000 - 5+450 km arası aylık ilerleme oranı

En iyi ilerlemenin gerçekleştiği ay tutulan vardiya raporlarından alınan verilere göre TBM kullanım oranı yüzdelik dağılımı hesaplanmıştır (Şekil 5.22). Toplam sürenin % 27'si kazı, %32'si montaj, %12'si ray, lokomotif vb. arıza ve bakımı, % 5'i parça değişimi, arızası ve bakımı, %8'ü temizlik, % 4'ü disk değişimi ve % 12'si diğer arızalar için harcanmıştır.



Şekil 5.22. En iyi ilerlemenin olduğu aya ait TBM kullanım oranı yüzdelik dağılımı

Literatürden pasa basınçlı tünel açma makinelerinin kullanıldığı diğer projelere ait bilgiler derlenmiştir (Tablo 5.7). Bu projelerin en iyi ortalama günlük ilerleme miktarına nazaran Belpınar Tüneli'nde peridotit, serpantin birimlerde kullanılan EPB/TBM 24,4 m'lik ortalama günlük ilerleme miktarı ile diğer EPB tip makinelerle paralellik göstermektedir.

Tablo 5.7. Farklı tünellerde kullanılan EPB/TBM'lerin en iyi günlük ilerleme oranları

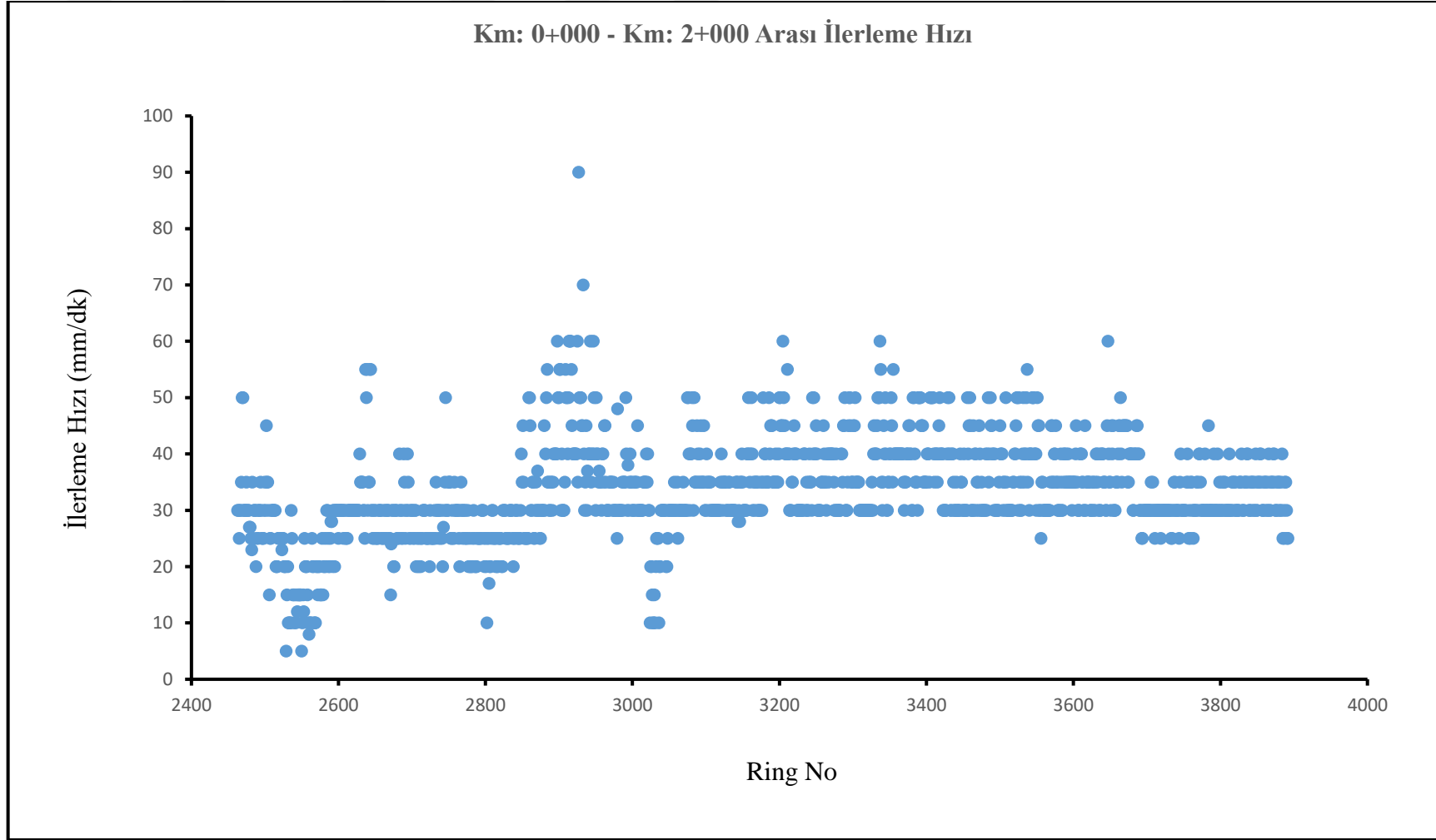
| Proje Adı | Formasyon | TBM Tipi | Kazı Çapı (m) | Toplam Güç (kW) | Tork (kNm) | Thrust (kN) | En iyi ortalama günlük ilerleme oranı (m/gün) |
|---|---|----------|---------------|-----------------|------------|-------------|---|
| Kadıköy-Kartal Metro Tüneli | Silttaşı, kumtaşı aratabakalı kireçtaşı | EPB | 6,57 | 2100 | 5200 | 42575 | 22,8 |
| İSKİ Avrupa Yakası 1. Kısım Atıksu Tüneli | Kum, silt, kil, kiltası, kumtaşı | EPB | 2,96 | 400 | 1020 | 4580 | 33 |
| Yenikapı Avrupa Yakası 2. Kısım Atıksu Tüneli | Kiltası, kumtaşı, kireçtaşı | EPB | 4,56 | - | 2307 | - | 31,16 |
| Tarabya Atıksu Kuşaklama Tüneli | Şeyl, kumtaşı, kireçtaşı | EPB | 2,91 | 3540 | 725 | 3570 | 19,5 |
| Otogar – Kirazlı Tüneli | Kil- marn ar dalanması | EPB | 6,5 | 1622 | 4450 | - | 25 |

5.6.4. Kazı parametrelerinin değerlendirilmesi

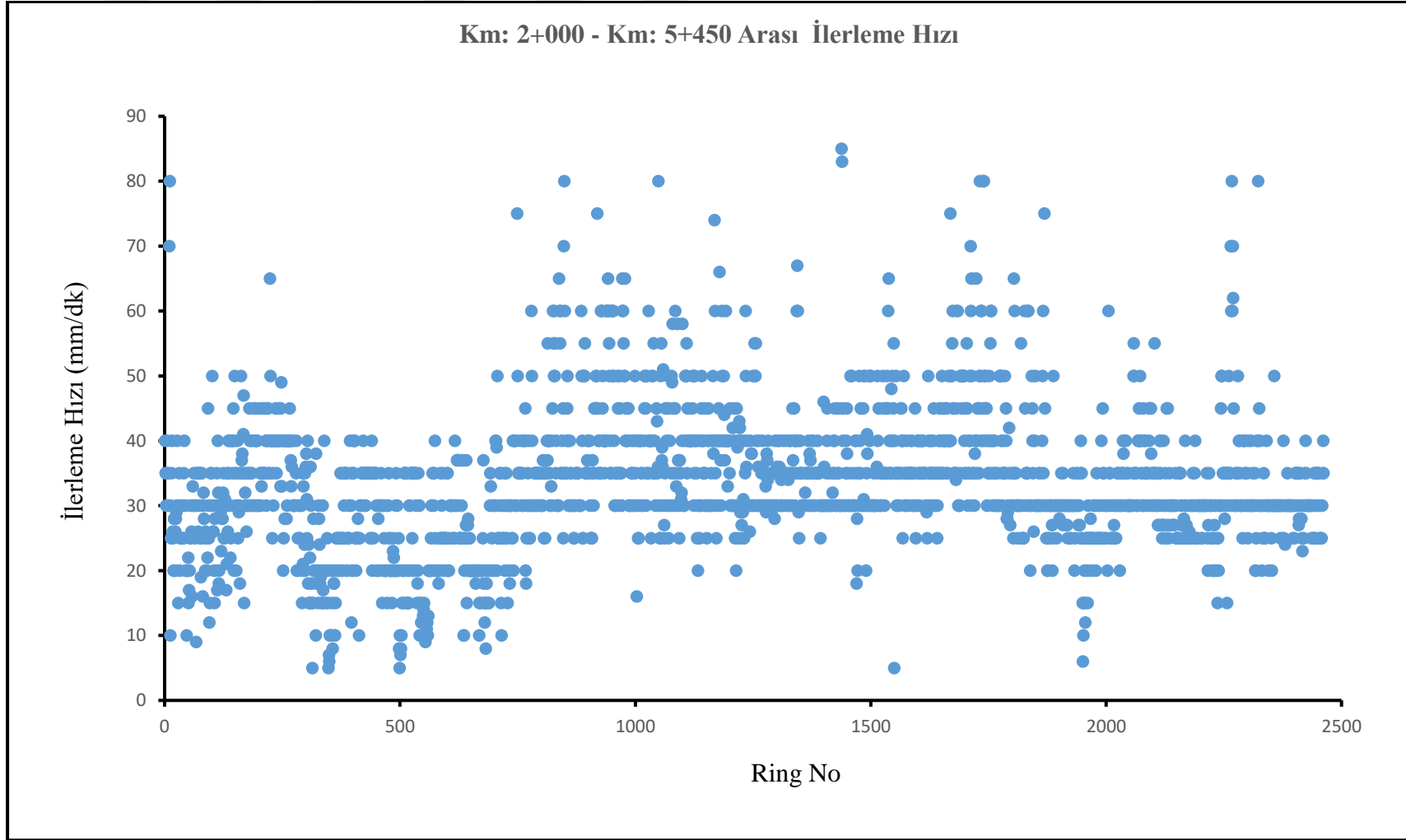
Belpınar tünelinin km: 0+000 – km: 2+000 arası parçalı, çok kırıklı, dağılğan ve yer yer altere kaya kalitesine sahip çok zayıf-zayıf kaya özelliği, km: 2+000 – km: 5+450 km arası genelde sağlam ve az parçalı, kırıklı kaya özelliği göstermektedir. Tünelin giriş portalından itibaren ilk 1 km'si peridotit ve sonraki 1 km'si ise peridotit-serpantinit birimlerinden oluşmaktadır. İkinci kısımda TBM çıkış portalının 100 m öncesi peridotit-serpantinit ve tünelin çıkışına doğru yaklaşık 100 m'si serpantinit birimlerden oluşmaktadır. Tünelin km: 0+000 – km: 2+000 arası tünel giriş / TBM çıkış portalına ve sonraki km: 2+000 – km: 5+450 arası ise tünel çıkış / TBM giriş portalına tekabül etmektedir. Günlük vardiya raporları tünel çıkış / TBM giriş portalından itibaren kayıt edilmektedir. Km: 0+000 – km: 2+000 arasında toplam 1430 ring, km: 2+000 – km: 5+450 arasında toplam 2462 ring kazı yapılmıştır.

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'de ring numarasına göre ilerleme hızlarının değişim grafiği verilmektedir. Kazı başlangıcında ilerleme hızı 5-10 mm/dk arasında değişirken ilerleme ile birlikte günlük ilerleme hızında da artış olmuştur. Bu artış yaklaşık iki ay sürmüş olup, daha sonra ilerleme hızında bir azalma meydana gelmiştir. İlerleme hızındaki bu azalmanın nedeni kazılan malzemenin içerisinde bol miktarda kil bulunması ve tünele su girişinin (0-6 lt/sn) olmasıdır. Su ile birleşen kilin şişmesiyle, killi malzeme kesici kafa ve disklere yapışmakta bu da kesici kafanın dönüşünün yavaşlamasına, aynı zamanda kesici kafanın sıkışmasına neden olmaktadır. Ayrıca hem serpantinit birimlerin bulunduğu km: 0+000- km: 2+000 hem de peridotitlerin yoğun olarak bulunduğu km: 2+000-km: 5+450 arasında ilerleme hızının çok değişken olduğu geçilen güzergahın heterojen yapıda olduğunu göstermektedir.

Hesaplamalara göre km: 0+000 – km: 2+000 arasındaki ortalama ilerleme hızı 32,94 mm/dk; km: 2+000 – km: 5+450 arası ortalama ilerleme hızı 33,05 mm/dk olarak bulunmuştur. Ortalama ilerleme hızının peridotit birimlerde serpantinitlere göre daha iyi olması beklenirken her iki birimde de yakın değerler elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak peridotit birimlerde serpantinitlere oranla daha fazla su gelişinin olması görülmektedir.



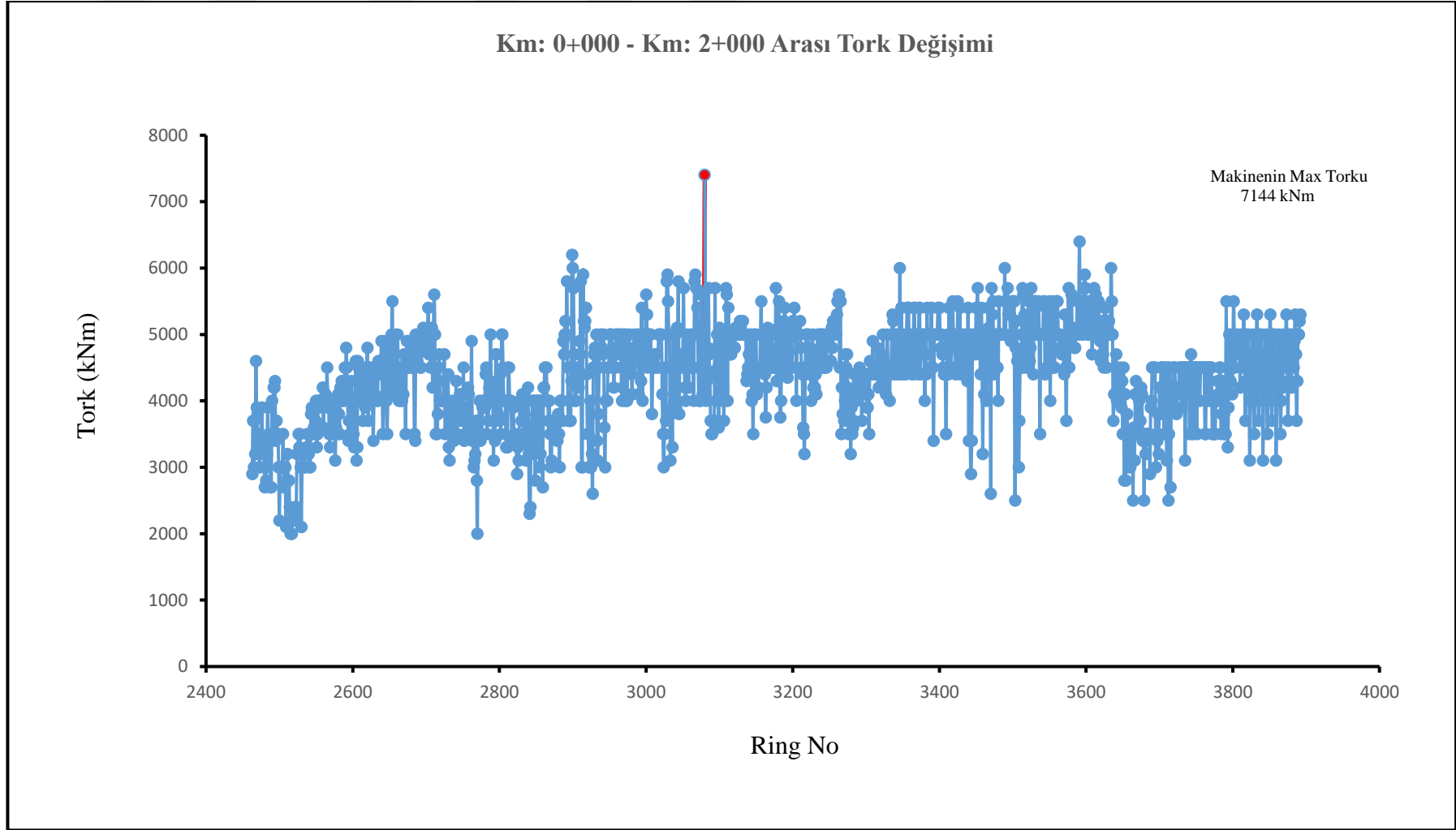
Şekil 5.23. 0+000-2+000 km arası ring numarasına göre ilerleme hızı değişimi



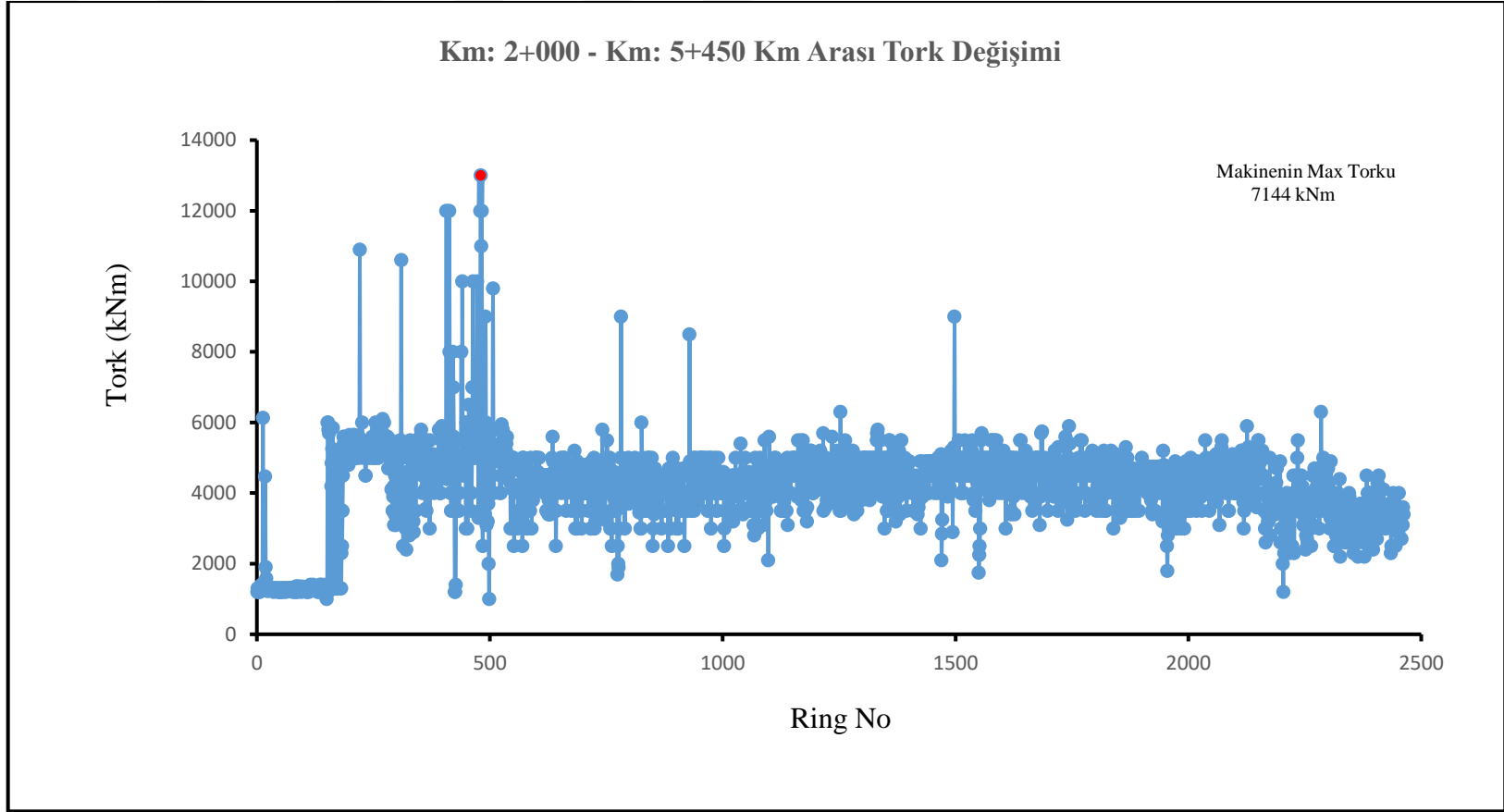
Şekil 5.24. 2+000 – 5+450 km arası ring numarasına göre ilerleme hızı değişimi

Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'deki tork değerlerinde 1000 kNm'den 13000 kNm arasında ani değişimler gözlenmektedir. Kırmızıyla gösterilen noktalar km: 2+000 – km: 5+450 de arasında peridotit-serpantinit birim içerisinde tork değerinin maksimum 13000 kNm ve km: 0+000 – km: 2+000 arasında peridotit-serpantinit birimde maksimum tork değerinin 7400 kNm olduğu görülmektedir. Bu noktalarda makinenin maksimum tork kapasitesinin üzerine çıkmış olup makine kazı yapmaya zorlanmıştır. Serpantinitlerin olduğu bölgede tork değeri oransal olarak seyrederken peridotitlerin olduğu bölgede tork değeri yer yer makinenin maksimum tork kapasitesini aşmıştır. Tork, dönme kuvveti momenti olarak tanımlanır. Buradaki tork makinenin kesici kafasının dönebilmesidir. Bu değer in yükselmesinin nedeni ya zeminin zor kazılabilir olması ya da kazılan malzemenin kil içermesiyle kesici kafayı zorlamasından kaynaklanır. Peridotit birimlerdeki bu artışın nedeni olarak yüksek oranda su girişlerinin (6-210 lt/sn) yaşanması sayılmaktadır.

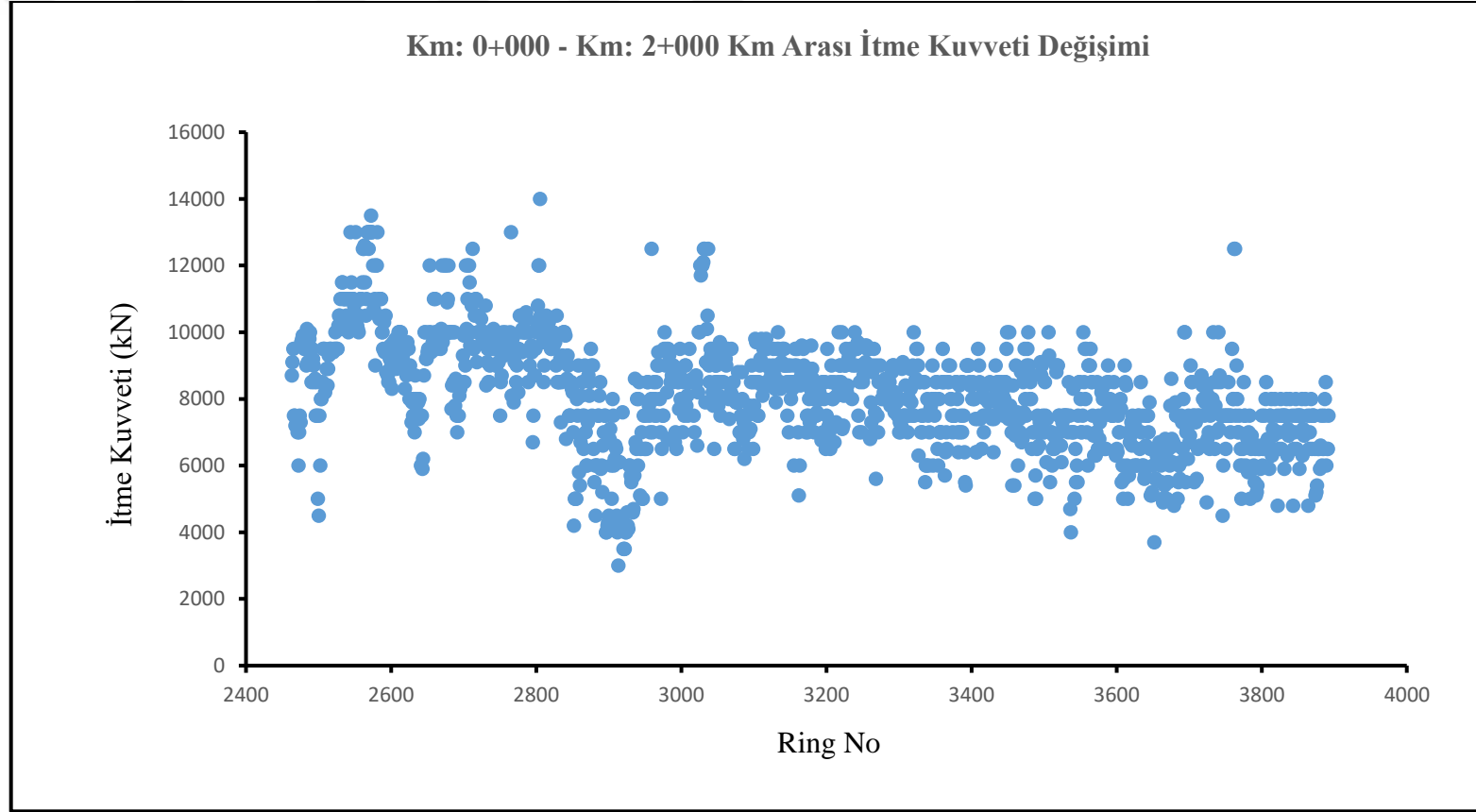
Hesaplamalara göre km: 0+000 – km: 2+000 arasındaki ortalama tork değeri 4369 kNm, ortalama penetrasyon oranı 11,2 mm/dev, ortalama itme kuvveti 8538,70 kN; km: 2+000 – km: 5+450 km'ler arası ortalama tork değeri 4154 kNm, ortalama penetrasyon oranı 11,7 mm/dev ve ortalama itme kuvveti 8125,76 kN olarak bulunmuştur.



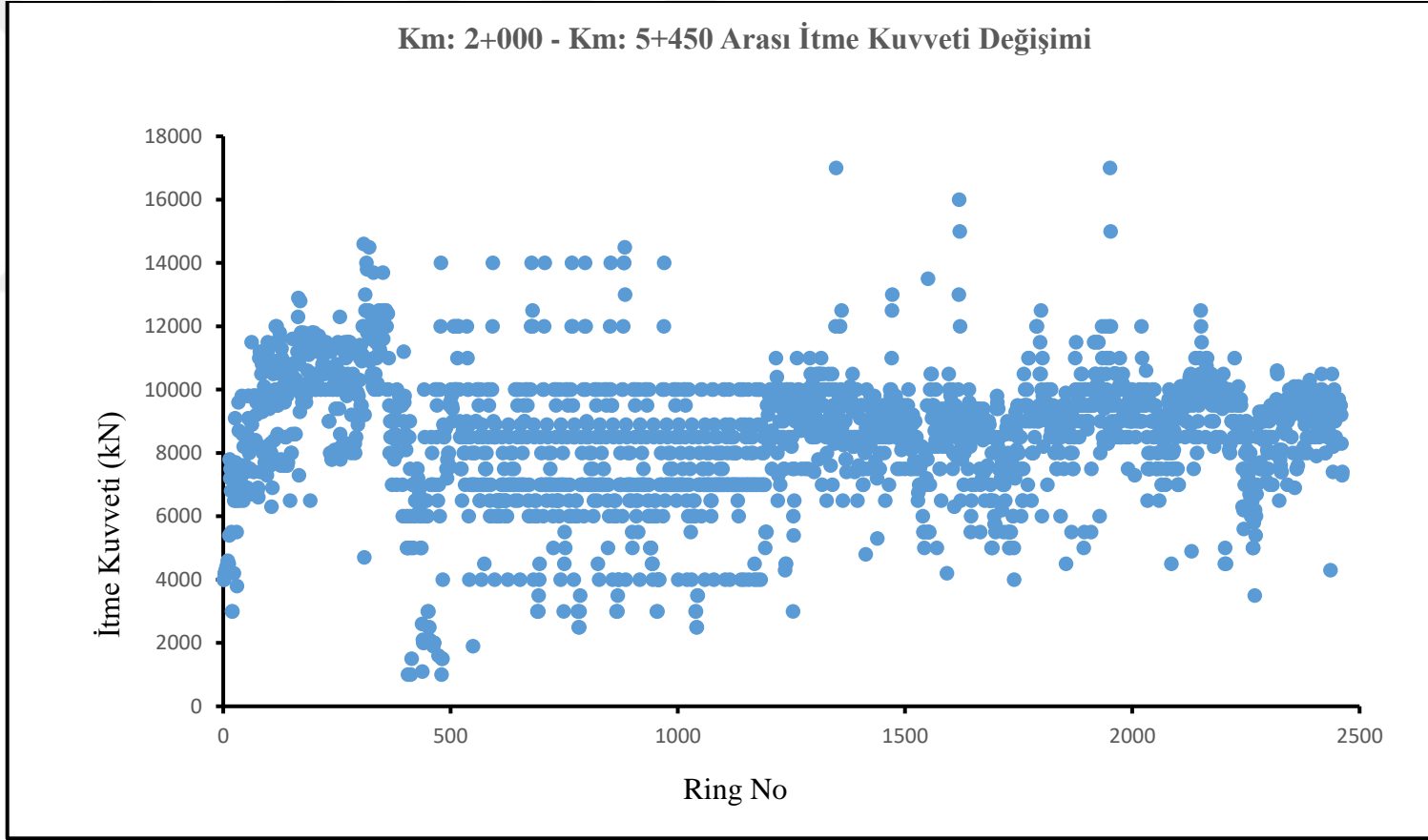
Şekil 5.25. 0+000 – 2+000 km arası ring numarasına bağlı tork değişimi



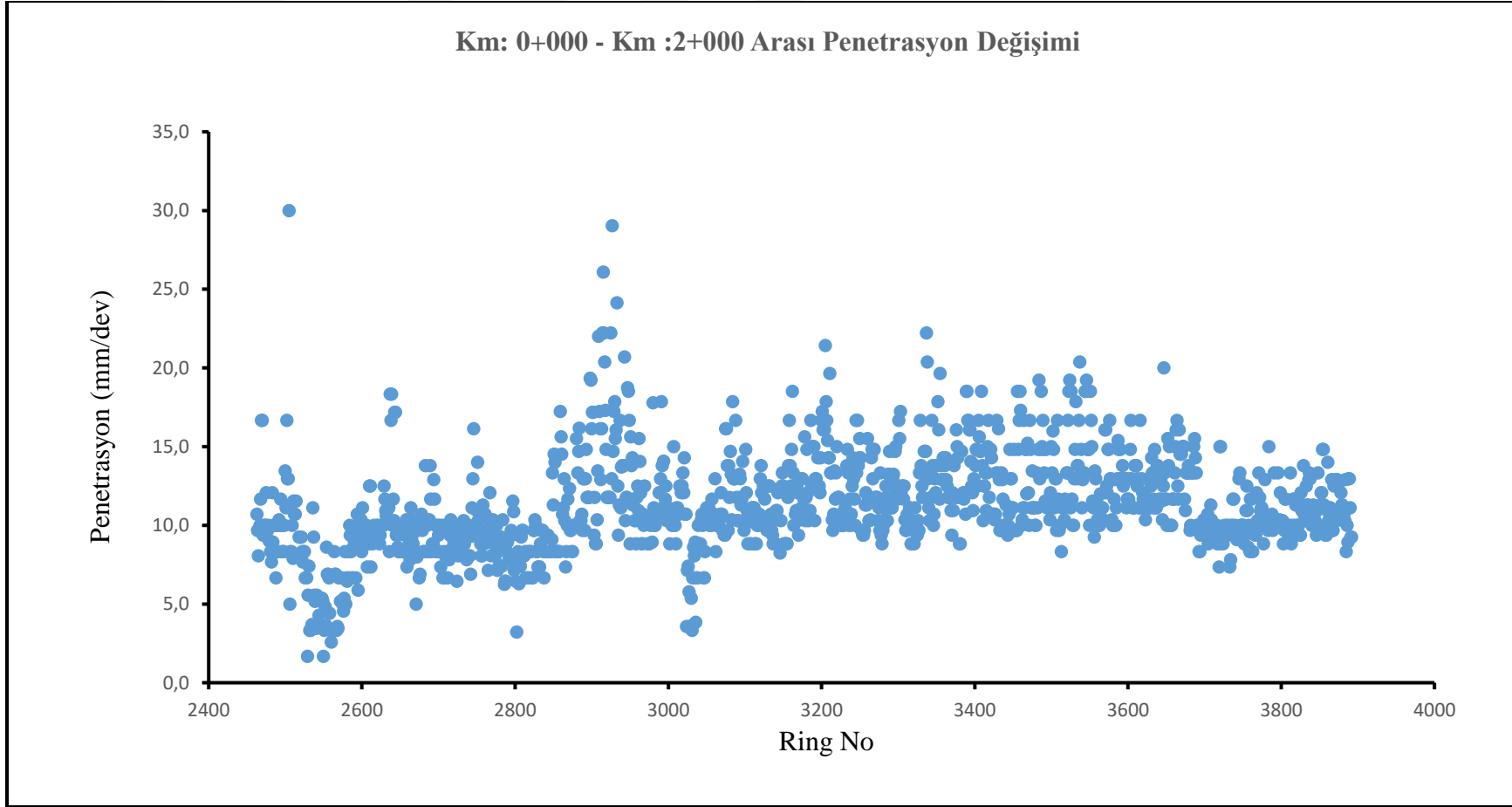
Şekil 5.26. 2+000 – 5+450 km arası ring numarasına bağlı tork değişimi



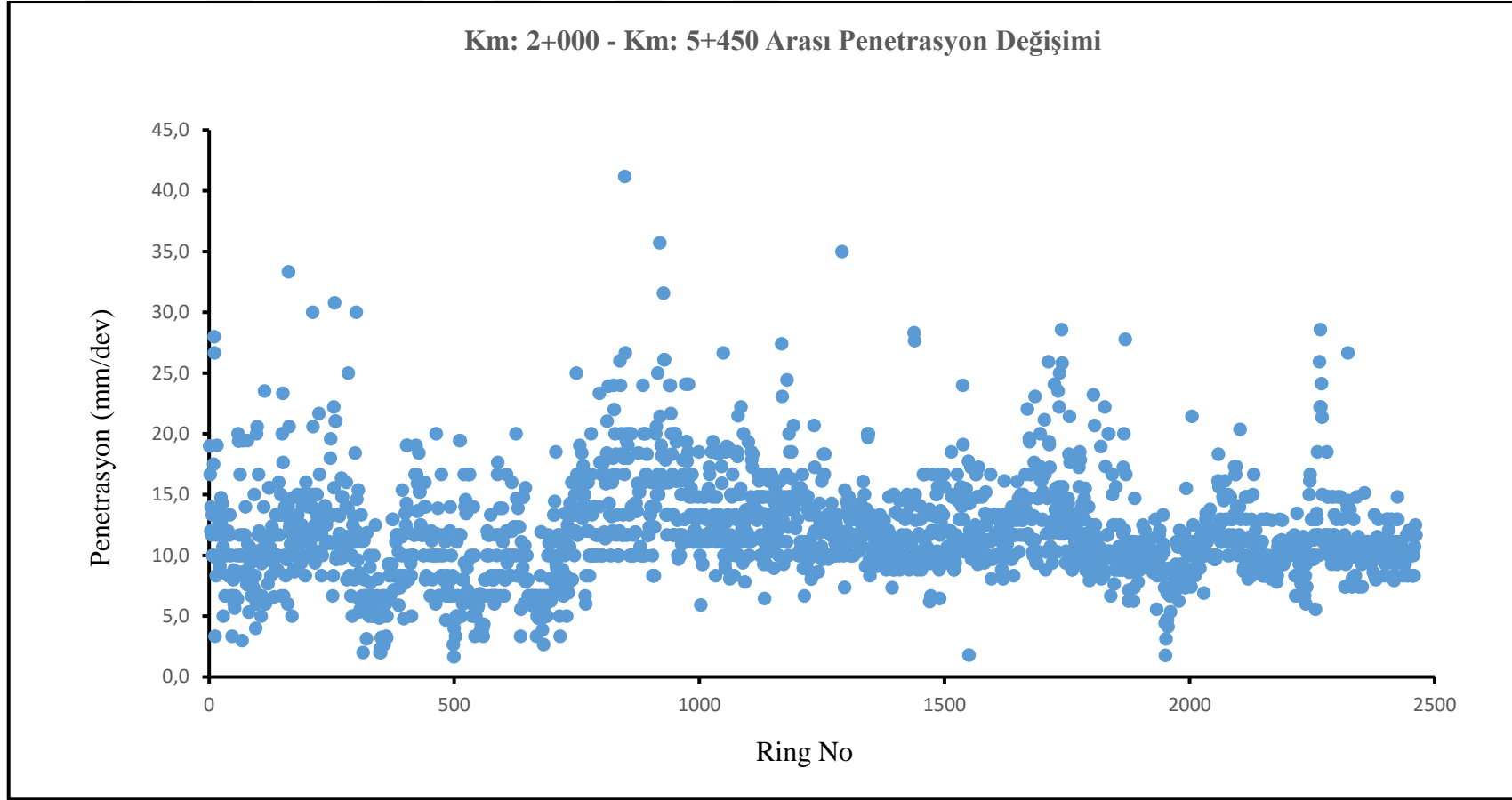
Şekil 5.27. 0+000 – 2+000 km arası ring numarasına bağlı itme kuvveti değişimi



Şekil 5.28. 2+000 – 5+450 km arası ring numarasına bağlı itme kuvveti değişimi



Şekil 5.29. 0+000 – 2+000 km arası ring numarasına bağlı penetrasyon değişimi



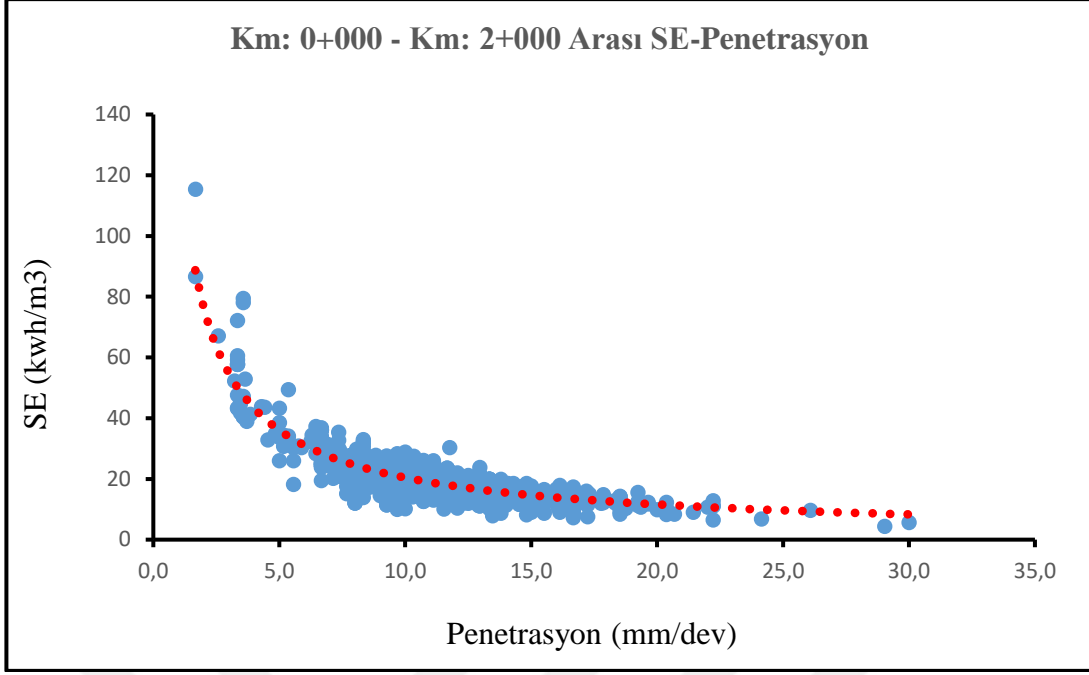
Şekil 5.30. 2+000 – 5+450 km arası ring numarasına bağlı penetrasyon değişimi

5.6.5. Penetrasyona Bağlı Değişimler

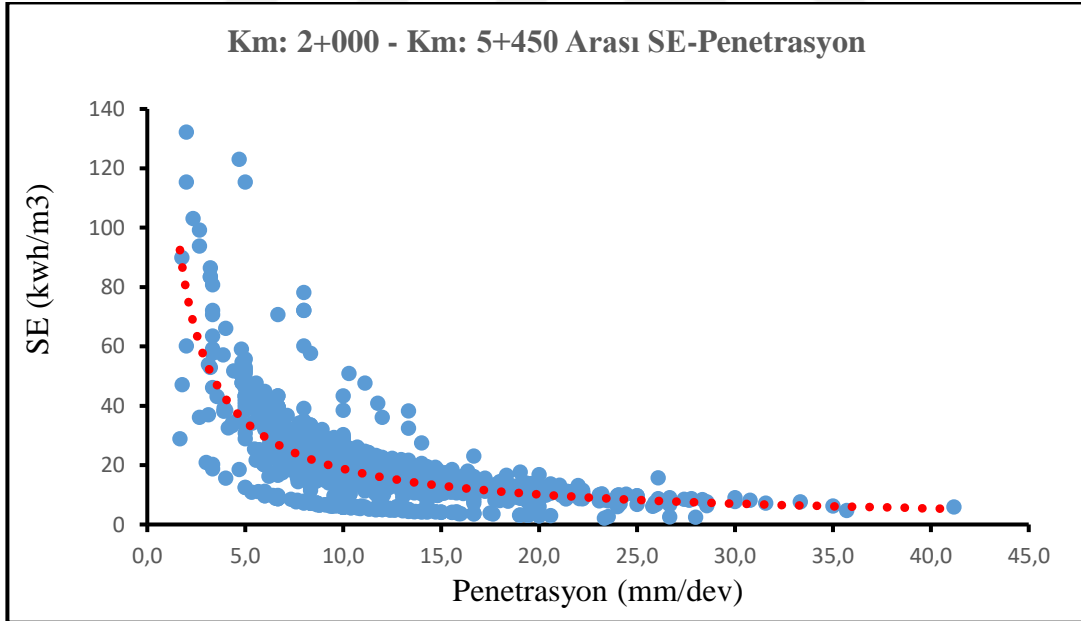
5.6.5.1. SE-Penetrasyon

Penetrasyon, kesici kafanın bir tur dönüşünde elde edilen ilerleme miktarı; spesifik enerji ise 1 m³'lük kazı için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanır. Bu bölümde tünelin km: 0+000 – km: 2+000 arası ile km: 2+000 – km: 5+450 arasındaki SE değerlerinin penetrasyona bağlı korelasyonu yapılmıştır.

Şekil 5.31'de km: 0+000 – km: 2+000 arasındaki ve Şekil 5.32'de km: 2+000 – km: 5+450 arasındaki penetrasyon bağlı olarak SE değerlerinin değişimi verilmiştir. Daha az enerjiyle daha fazla kazı yapılabilmesi için penetrasyon arttıkça SE değerlerinin azalması beklenir. Her iki şekilde de penetrasyon arttıkça SE değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Serpantinitlerin olduğu ilk iki km'de değerler düzenli bir oransallık verirken peridotitlerin bulunduğu sonraki yaklaşık üç buçuk km'de değerler dağınık bir oransallık göstermektedir. Bunun nedeni geçilen güzergahın peridotit, peridotit-serpantinit birimleri ve bunlarla beraber yer yer killi zonların ve küçük dayk sistemlerinin bulunmasıyla zeminin çok değişken olmasından kaynaklanmaktadır. Bu zemin yapısına bağlı olarak makine parametrelerinde ani değişimlere uğradığı elde edilen verilerden görülmektedir.



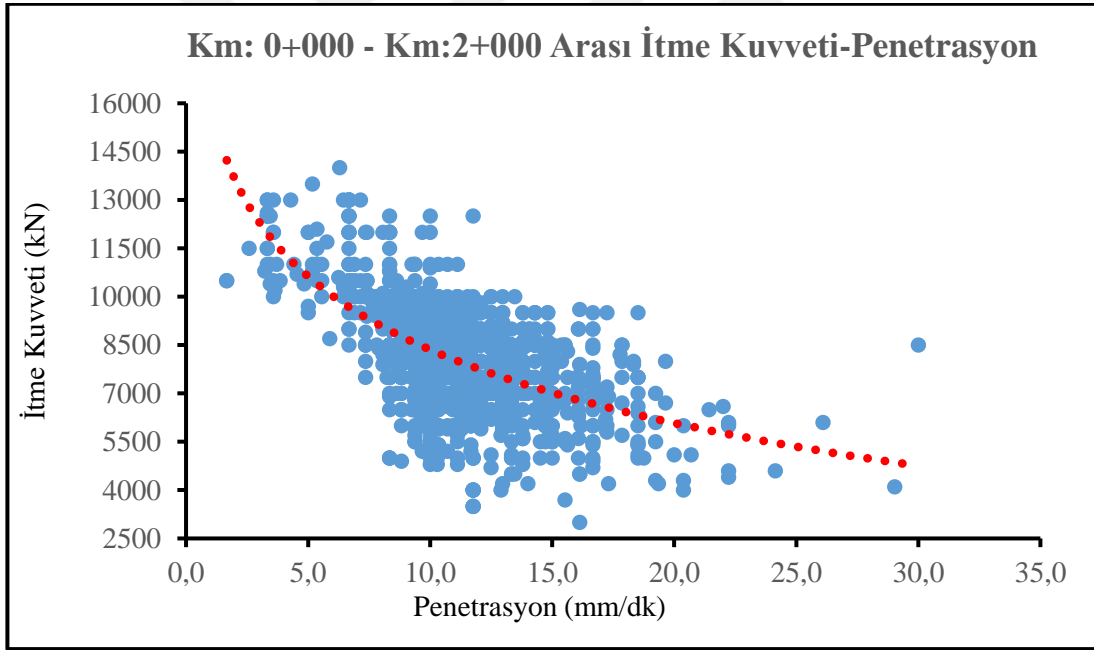
Şekil 5.31. 0+000 – 2+000 km arası SE-penetrasyon korelasyonu



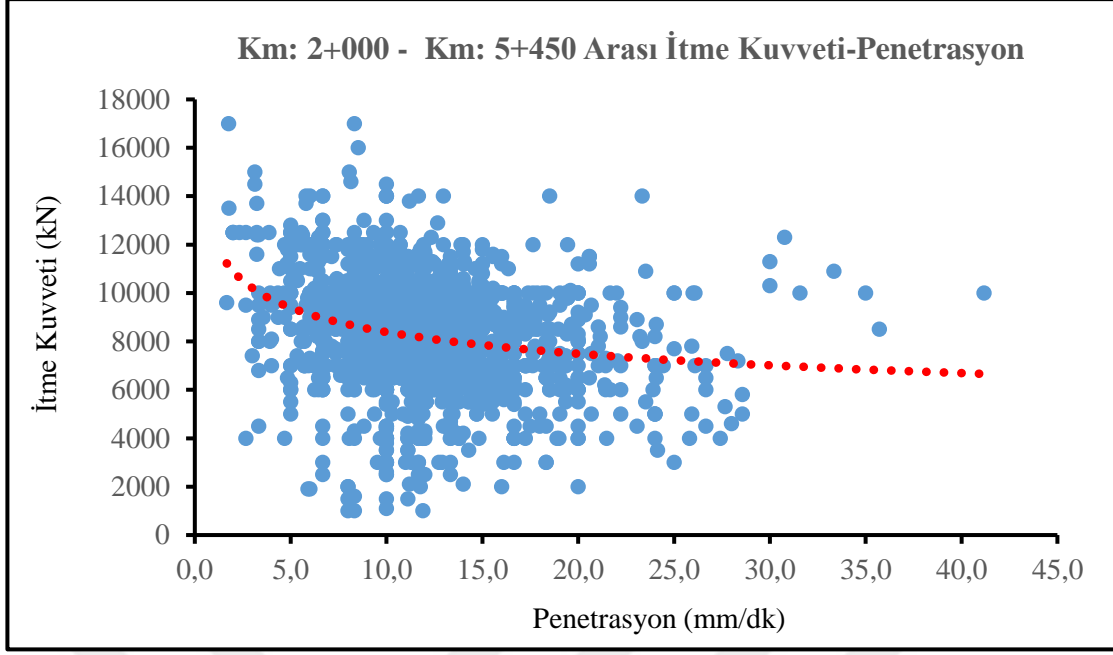
Şekil 5.32. 2+000 – 5+450 km arası SE-penetrasyon korelasyonu

5.6.5.2. İtme Kuvveti-Penetrasyon

İtme kuvveti, makinenin ilerlemesi için gerekli kuvvete denir. Bu bölümde tünelin km: 0+000 – km: 2+000 arası ile km: 2+000 – km: 5+450 arasındaki itme kuvvetinin penetrasyona bağlı değişimi ele alınmıştır. Penetrasyon arttıkça itme kuvvetinin azalması beklenir. Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de itme kuvveti-penetrasyon değerlerinin korelasyonu grafiği oluşturulmuş ve penetrasyon arttıkça itme kuvveti değerinin azaldığı görülmüştür. Km: 0+000 – km: 2+000 arasında kalan serpantin birimlerinin penetrasyon değeri 5-20 mm/dk ve itme kuvvetinin 4000-13000 kN arasında değiştiği, km: 2+000 – km:5+450 arasındaki peridotit birimlerinde ise penetrasyon değeri 5-25 mm/dk ve itme kuvveti 2000-14000 kN arasında değiştiği görülmektedir. Arazi basıncının artması ve zeminin kalkan üzerinde meydana gelen sürtünme kuvvetinin artmasıyla itme kuvvetinin arttığı gözlenmiştir. Burada UCS ve RQD değerlerinin düşük olduğu serpantinlerde peridotitlere oranla yüksek penetrasyon değerleri beklenirken her iki birimde de yakın değerler elde edilmiştir.



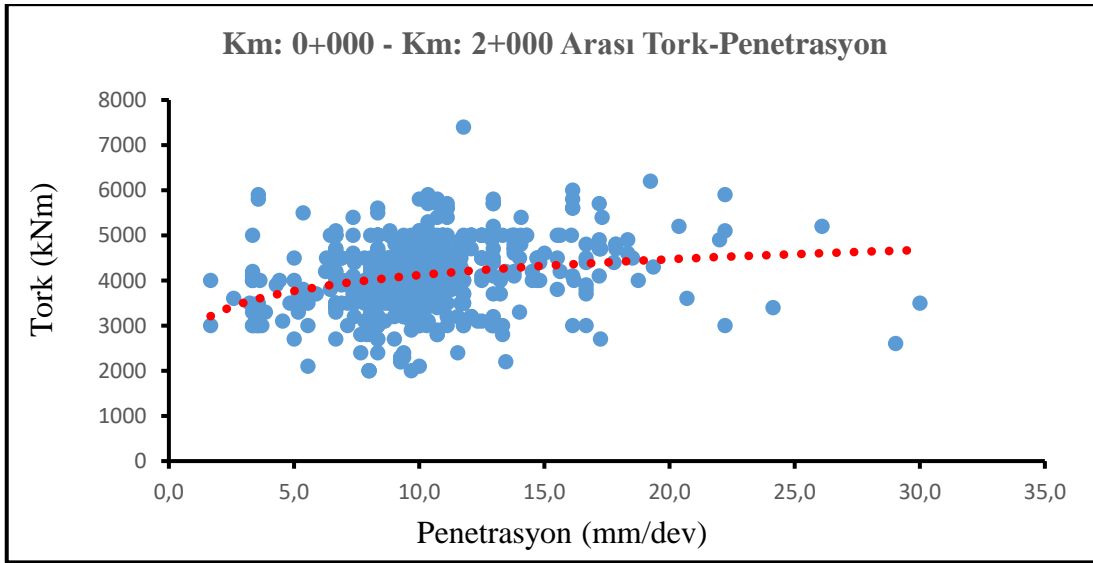
Şekil 5.33. 0+000 – 2+000 km arası itme kuvveti-penetrasyon korelasyonu



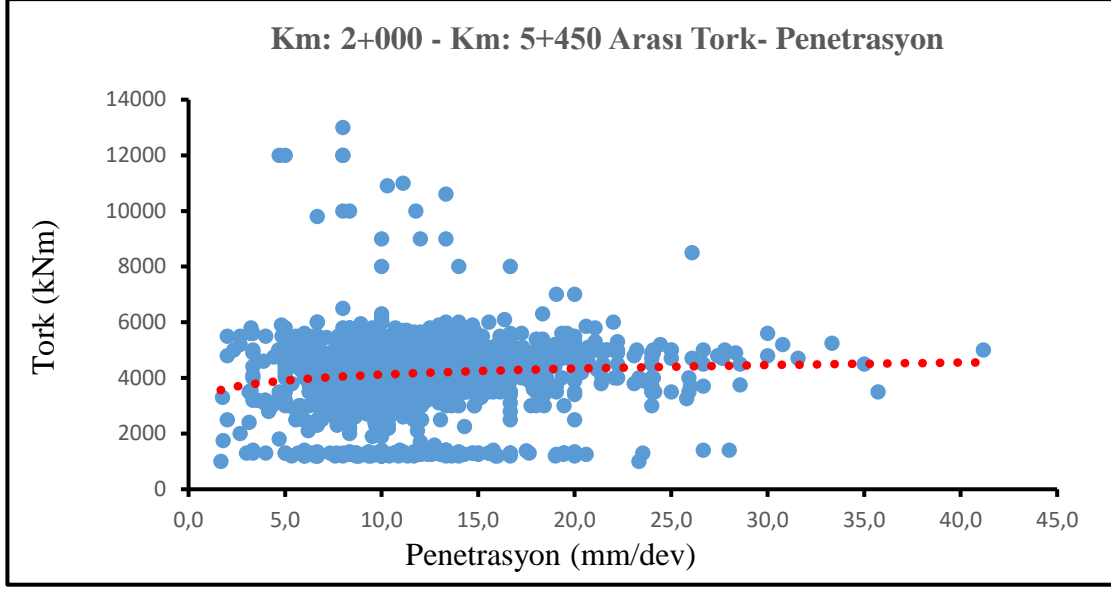
Şekil 5.34. 2+000 – 2+450 km arası itme kuvveti-penetrasyon korelasyonu

5.6.5.3. Tork- Penetrasyon

Tork, kuvvet momenti veya dönme momenti olarak tanımlanır. Bu bölümde tünelin km: 0+000 – km: 2+000 arası ile km: 2+000 – km: 5+450 arasındaki tork değerinin penetrasyona bağlı değişimi ele alınmıştır. Kesici kafanın dönüş hızı, ilerleme miktarı ve penetrasyonu etkiler. Penetrasyon arttıkça tork değerinin artması istenir. Şekil 5.35 ve Şekil 5.36’de tork - penetrasyon değerlerinin korelasyonu grafiği oluşturulmuş ve tork değeri arttıkça penetrasyon değerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 5.35. 0+000 – 2+000 km arası tork-penetrasyon korelasyonu



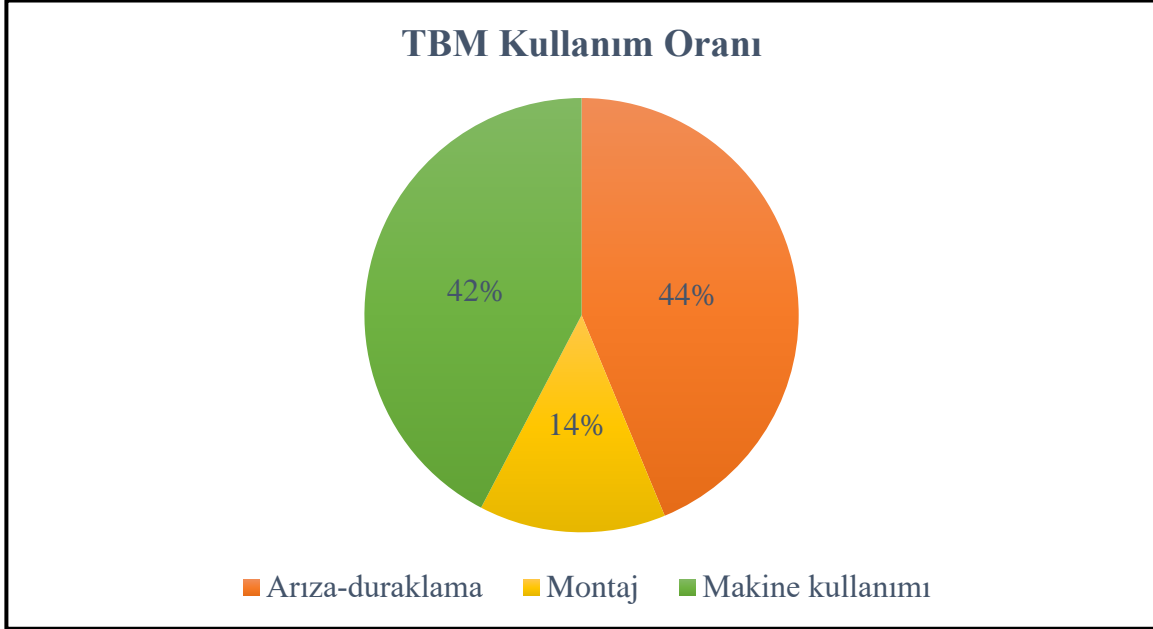
Şekil 5.36. 2+000 – 5+450 km arası itme kuvveti-penetrasyon korelasyonu

5.7. Makineden Faydalanma Oranı ve Duraklamaların Analizi

Vardiya operatörleri tarafından kayıt altına alınan veriler ışığında TBM kullanım oranı belirlenmiştir. Şekil- 5.37’de TBM kullanım oranı grafiği verilmiştir. 23 ay (675 gün) süren bir kazı aşamasında toplam sürenin % 13,90’ı montaj, % 42,30’u makineden faydalanma oranı ve % 43,70’i arıza ve duraklamalar için geçen süreyi bildirmektedir (Tablo 5.8). % 42’lik faydalanma oranıyla Belpınar tüneline kullanılan pasa basınçlı EPB/TBM’in beklenen performansı sergilediği görülmektedir. Kazı çalışmalarının planlanan süre içerisinde tamamlanması bu kanıyı desteklemektedir. Montaj süresi yüzdeler diliminde az bir paya sahip olsa da gerçekte istenilmeyen bir durumdur. Tünelin iç kaplaması 250 mm kalınlığında ve 1400 mm uzunluğunda segmentlerle yapılmıştır. Dışarıda imalatı yapılan segmentler içeriye ray sistemine göre çalışan vagonlarla taşınmıştır. Tünel dışından tünel içerisine segment taşıyan vagon aynı zamanda kazılan pasa malzemesinin dışarıya tahliyesi işleminde de kullanılmaktadır. Tünele su girişinin olduğu durumlarda suyla birlikte ince taneli zeminlerin rayların arasına girerek bağlantıların kopmasına neden olmuştur. Bu durumda pasa nakliyesi için vagon sisteminin uygun olmadığı bunun yerine bantlı konveyörün tercih edilmesi gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

Tablo 5.8. TBM faydalanma oranına ait süreler

| Etken | %'si | Süre (gün) |
|------------------|--------|------------|
| Arıza-duraklama | 43,70% | 295 |
| Montaj | 13,90% | 94 |
| Makine kullanımı | 42,30% | 286 |

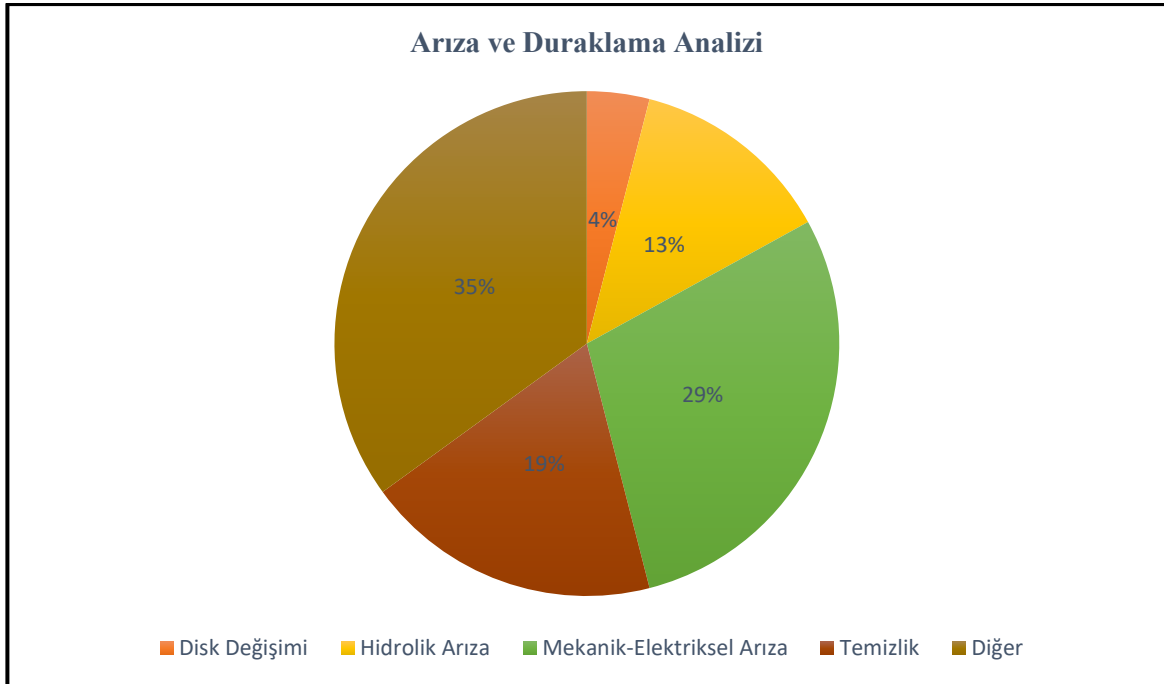


Şekil 5.37. TBM kullanım oranı grafiği

İncelemelerin sonucuna göre arıza ve duraklama analizi disk değişimi, hidrolik arıza, mekanik-elektriksel arıza, temizlik ve diğer sebepler olmak üzere beş grupta toplanmıştır (Tablo 5.9). Kazı sırasında hemen hemen her bir ringde kesici kafa kontrolü yapılarak aşınan disklerin yerine yenileri takılmıştır. Kesici disk değişim süresi 30-35 dk arasında değişmektedir. 123 gün süren diğer sebepler başlığını; yemek paydosları, vardiya değişimleri esnasında geçen süreleri, kontroller nedeniyle geçen beklemleri ve resmi tatilleri kapsamaktadır. Bu sürelerle ait yüzdeler dağılım grafiği Şekil 5.38'de verilmektedir.

Tablo 5.9. Duraklama ve arıza nedenlerinin süreleri

| Etken | %'si | Süre (gün) |
|---------------------------|------|------------|
| Disk Değişimi | 4% | 14 |
| Hidrolik Arıza | 13% | 102 |
| Mekanik-Elektriksel Arıza | 29% | 45 |
| Temizlik | 19% | 66 |
| Diğer | 35% | 123 |



Şekil 5.38. Arıza ve duraklama analizi grafiği

Yapılan çalışmalarda yer yer kazı aynasından gelen ani ve aşırı yeraltı suları imalat hızına etki eden en önemli faktör olmuştur. Km: 0+000 – km: 2+000 arasında serpantinit birimlerde tünele su gelişi 0-30 lt/sn ve km: 2+000 – km: 5+450 arasında peridotit birimlerde su gelişinin 0-210 lt/sn arasında değiştiği fakat, yer yer 430 lt/sn'ye kadar çıktığı durumlar mevcuttur. Ani ve yoğun su gelişlerinin yaşandığı durumlarda (Şekil 5.39) kesici kafa ve ön kalkan üzerinde bulunan EPB basınç sensörlerinden okunan değerlerin 4,1 bar'a kadar (makinenin uyguladığı max basınç 4 bar) yükselmekte olduğu görülmüştür. Bu zemin koşullarında ilerleme hızının ortalama 12 mm/dk'ya düştüğü ve bir kazı süresinin yaklaşık iki saati bulduğu görülmüştür. Ayrıca zemin yapısının sürekli değişmesi ve ayna geometrisi içindeki heterojen kaya yapısı nedeniyle kesici disklerin efektif çalışması olumsuz etkilemektedir. Kesici kafa üzerinde bulunan kesicilerin sık aralıklarla kırılması ve aşınması nedeniyle disklerin sık değiştirilmesi ile imalat hızı doğrudan etkilenmektedir (Şekil 5.40).



Şekil 5.39. Tünele gelen su girişi



Şekil 5.40. Kazı sırasında aşınmış bir disk

5. SONUÇLAR

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı kapsamında bulunan ve kanalın 65+098 ile 70+548 km'leri arasında yer alan 2 nolu tünel (Tünel-2/Belpınar Tüneli) 5.450 m uzunluğa ve 6.82 m genişliğe sahiptir. Tünel güzergahı Gaziantep ilinin kuzeybatısında bulunan Nurdağı ilçesi sınırları içerisinde Emir Musa Dağı üzerinde yer almaktadır. Tünelin kazısına Ocak 2015'de başlanıp Kasım 2016'da sona ermiştir. Toplamda 675 gün ve 3892 ringlik bir kazı çalışması yapılmıştır.

Tünel güzergahı boyunca Senomaniyen-Kampaniyen yaşlı Hatay (Kızıldağ) ofiyolitlerine ait peridotit ve serpantin birimleri gözlenmiştir. 0+000 – 2+000 km arası parçalı, çok kırıklı, dağılğan ve yer yer altere kaya kalitesine sahip çok zayıf-zayıf kaya özelliği, 2+000 – 5+450 km arası genelde sağlam ve az parçalı, kırıklı kaya özelliği göstermektedir. Bu nedenle analizler iki ayrı aşamada yapılmıştır.

Tez çalışma kapsamında, T-2 iletim tünelinin RMR ve Q kaya kütle sınıflaması DSİ XX Bölge Müdürlüğü'nün (1999) hazırladığı "Orta Ceyhan Menzelet Projesi Klavuzlu Barajı İsale ve Sulama Kanalları Mühendislik Jeolojisi Revize Planlama Raporu" nda yer alan 6 ayrı lokasyondan alınan (TSK-1, TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5, TSK-6) sondaj loglarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Her bir lokasyon için RMR parametreleri (tek eksenli sıkışma dayanımı, RQD, süreksizlik sıklığı, süreksizlik durumu, yeraltı suyu durumu, süreksizlik yönlenmesi) Düzeltmiş Bieniawski (1989)'nin önerdiği grafikler ve çizelgeden faydalanarak hazırlanmıştır.

Elde edilen parametreler ışığında her bir sondaj lokasyonu için RMR ve Temel RMR değerleri elde edilmiştir. Verilere göre RMR değerleri TSK-1 ve TSK-2 için "Zayıf Kaya"; TSK-3, TSK-4, TSK-5 ve TSK-6 için "Orta Kaya" olarak tanımlanmıştır. Temel RMR değerleri ise TSK-1 için "Çok Zayıf Kaya"; TSK-2, TSK-3, TSK-4, TSK-5 ve TSK-6 için "Zayıf Kaya" olarak belirlenmiştir.

Sondaj verileriyle TBM kazı performans parametreleri arasındaki istatistiksel ilişkileri araştırılmıştır ve bu sondajlardan RQD, UCS, GSI gibi kaya kütle karakteristikleri belirlenmiştir. 0+000 – 2+000 km arasında ortalama UCS 1,541 MPa, RQD değeri %41-%61, GSI değeri 34-37,5; 2+000 – 5+450 km arasında ortalama UCS 4,896 MPa, RQD değeri %30-%51, GSI değeri 44,5-58 arasında değişen değerler elde edilmiştir.

Belpınar tüneli kazı aşamasında tutulan verilere göre ring numaralarına bağlı ilerleme hızı, tork, itme kuvveti ve penetrasyon değerlerinin değişim grafiği elde edilmiştir. Hesaplamalara göre 0+000 – 2+000 km'ler arasındaki ortalama ilerleme hızı 32,94 mm/dk;

ortalama tork 4369 kNm, ortalama itme kuvveti 8538,70 kN ve ortalama penetrasyon oranı 11,2 mm/dev; 2+000 – 5+450 km’ler arası ortalama ilerleme hızı 33,05 mm/dk; ortalama tork 4154 kNm, ortalama itme kuvveti 8125,76 kN ve ortalama penetrasyon oranı 11,7 mm/dev’dir. Her bir değerlendirme grafiğinde düzenli bir artışın olmadığı, değerlerin ani değişimli olduğu görülmektedir. Bu da bize birimin heterojen yapıda olduğunu göstermektedir.

Tork değerlerinin değişim grafiğine göre tork değerinin makinenin maksimum tork kapasitesini aştığı yerler görülmektedir. Bu noktalarda makine kazı yapmaya zorlandığı ve buna bağlı olarak kesici kafa sıkışması, kesici disklerin aşınması gibi sorunların yaşandığı gözlenmiştir.

Vardiya raporlarına kayıt edilen ilerleme hızı, tork, itme kuvveti, RPM gibi değerlerle kesici kafa gücü (P), anlık kazı oranı (ICR), spesifik enerji (SE) ve penetrasyon değerleri elde edilmiştir. Penetrasyona bağlı olarak SE-penetrasyon, tork –penetrasyon ve itme kuvveti-penetrasyon grafikleri oluşturulmuştur. Daha az enerjiyle daha fazla kazı yapılabilmesi için penetrasyon arttıkça SE değerlerinin azalması beklenir. Hem peridotit hem de serpantin birimlerde penetrasyon arttıkça SE değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle spesifik enerjiyi en az seviyede tutacak makine parametreleri önem arz etmektedir. İtme kuvveti, makinenin ilerlemesi için gerekli olan kuvvettir. İtme kuvvetinin penetrasyona bağlı değişim grafiğine göre penetrasyon arttıkça itme kuvveti değerinin azaldığı görülmüştür. Tork, dönme momenti kuvvetidir. Makinenin kesici kafasının rahat dönebilmesi kazılan kolay penetre olmasını sağlar. Tork – penetrasyon grafiğine göre tork değeri arttıkça penetrasyon değerinin arttığı görülmüştür.

Penetrasyona bağlı değişimler göz önüne alındığında tünel açma makinesinin istenilen kriterlerde delme işlemi yaptığı varsayılmaktadır. Ayrıca TBM kullanım oranı grafiğine göre makineden faydalanma oranı % 42 olması bu kanıyı destekler niteliktedir.

Belpınar tüneline kazı sırasında karşılaşılan en önemli problem olarak görülen yer yer 0-6 lt/sn ile 6-210 lt/sn arasında değişen su girişlerinin yaşanmasıdır. Yeraltı su seviyeleri tünel kotu üzerinde çıkmıştır fakat geçilen güzergah boyunca rastlanan ofiyolit birimlerin kırıklı, çatlaklı yapıda olması su girişini kolaylaştırmaktadır. Su girişi daha çok peridotit birimlerde 6-210 lt/sn arasında değişirken bazı yerlerde 430 lt/sn’ye çıktığı tespit edilmiştir. Kazı aynasından gelen suyun killi malzemeyle birleşmesiyle şişerek kesici kafanın dönüşünü olumsuz yönde etkileyerek çalışamaz halde olmasına neden olmuştur. Ayrıca tünele gelen suyun ince taneli malzemeyle rayların arasına girerek vagon sisteminin ilerleyişini durdurmuş ve bu da duraklamalara neden olmuştur. Bu durumda, TBM ile geçilen Belpınar tüneline

kullanılan vagon sisteminin yanlış bir tercih olduğu gör÷lmekte, bu sistemin yerine raylı bant sisteminin kullanılmasıyla daha elverişli bir delme işleminin gerçekleşeceği ön gör÷lmektedir. Ayrıca yaşanan bu sorunlara karşı ve projenin beklenen zamanda tamamlanmasıyla EPB tip TBM'in seçilmesi doğru bir tercih olduğu belirlenmiştir.

Kazı öncesinde yapılan laboratuvar deneylerinden UCS ve RQD değerlerinin ve yeraltı su seviyelerinin iyi yorumlanması büyük önem arz etmektedir. Hem bu deneylerin iyi yorumlanması hem de makine verilerinin değişimlerinin düzenli takibiyle gerekli tedbirlerin alınması hem zaman kayıplarını azaltacak hem de oluşacak maliyetleri düşürecektir.



KAYNAKLAR

- Abık, S., 2014. Marmaray Yenikapı–Yedikule Arası Tünellerinde Ortam Koşullarından Kaynaklanan Problemlerin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anıl, M., ve Yaşar, E., 1990. Antakya-Arsuz (Hatay) Arasında Görülen Kromit Cevherleşmelerinin Metalojenezi ve Jeokimyası. Ç.Ü., Müh.-Mim. Fak., Dergisi, 5/1, 117-153
- Anon, 1979. Classification of Rocks and Softs for Engineering Geological Mapping. Part 1: Rock and soil materials. (IAEG Commission of engineering geological mapping). Bull. Int. Assoc. Engng. Geol., 19, 364-371.
- Arioğlu, S., E., 2010. Tünel Açma Makinelerinin (TBM) Performansına Etki Eden Etkenler ve Kadıköy Kartal Tünelinde Kullanılan TBM'in Performansının Arazi Penetrasyon İndisi İle Kestirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Babendererde, S., Hoek, E., Marinou, P.G., ve Cardoso, A.G. (2005). EPB-TBM Face support control in the metro do porto project Portugal. Proceedings 2005 Rapid Excavation & Tunneling Conference, online geoengineering library, www.geoengineer.org, Seattle.
- Bağcı, U., Parlak, O. and Hock, V., 2008. Geochemistry and tectonic environment of diverse magma generations forming the crustal units of the Kızıldağ (Hatay) ophiolite southern Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences 17, 43-71.
- Balci, C., 2009. Correlation of Rock Cutting Tests with Field Performance of a TBM in a Highly Fractured Rock Formation: A Case Study in Kozyatagi-Kadikoy Metro Tunnel, Tunnelling and Underground Space Technology, Cilt 24, ss. 423-435
- Barsu, J., 2012, Kahramanmaraş-Menzelet Sulaması 2. ve 3. Kısım Ana İletim Kanalı(KM:37+769,17-86+332,59 arası) Jeoteknik Etüt Raporu, Ankara.
- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mech. 6(4), 189-239.
- Barton, N., 1999. TBM Performance Estimation in Rock Using Q-TBM, Tunnels and Tunnelling International, Eylül, ss. 30-34.
- Barton, N., 2002. Some New Q-value Correlation to Assist In Site Characterisation and Tunnel Design, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 39,185-216
- Bamford, W.E., 1984. Rock Test Indices are being Successfully Correlated with Tunnel Boring Machines Performance, Fifth Australian Tunnelling Conference, Sydney, ss. 218-221.
- Bieniawski, Z. T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering. In Exploration for Rock Engineering, A.A. Balkema, Cape Town, 97-106.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classification. John Wiley and Sons, 237 pp.
- Bieniawski, Z. T., Celada, B., and Galera, J.M., (2007). Predicting TBM Excavability – Part I, Tunnels Tunnell. Int., 32-35.
- Bilgin, N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, s. 192
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Tümac, D., Akgül, M., Yuksel, A., 2008. The Selection of a TBM Using Full Scale Laboratory Tests and Comparison of Measured and Predicted Performance Values in Istanbul Kozyatagi-Kadikoy Metro Tunnels, In World Tunnel Congress, Akra, India, ss. 1509-1517
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Tümac, D., Avunduk, E., 2012. Rock Mechanics Aspects

- Related to Cutting Efficiency of Mechanical Excavators, 25 Years of Experience in Istanbul, Eurock 2012, Stockholm.
- Cingöz, A., C., 2013. NATM ve TBM Yöntemlerinin Deneysel Olarak Maliyet ve Süre Kriterleriyle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çapan, U. Z., 1977. Ofiyolit Olgusu. T.J.K. Yerbilimleri Konferans Dizisi, Kış Dönemi, 1-3, 16s.
- Çoğulu, H. E., 1975. Hatay Ultramafitlerinin Jeolojisi ve Petrolojisi. Proje TBAG-62 (Tübitak), Turkey, 90p.
- Çomaklı, R., 2015. Taşınabilir Doğrusal Kazı Deney Seti Kullanılarak TBM Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties of Rock. Technical Report No; AFNL-TR-65-116, Albuquerque, NM: Air Force Weapon Laboratory.
- Dilek, Y., and Thy, P., 1998. Structure, Petrology and Seafloor Spreading Tectonics of the Kızıldağ Ophiolite, Turkey. In: Modern Ocean Floor Processes and the Geological Record (edited by Mills, R.A. and Harrison, K.), Geological Society, London, Special Publication, 148, 43-69.
- Demirkol, C., 1988. Türkoğlu (K.Maraş) batısında yer alan Amanos Dağlarının Stratigrafisi, Yapısal Özellikleri ve Tektonik Evrimi: MTA Dergisi, Sayı.108,ss.18-37 Ankara.
- Dayanç, C., 2011. Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB) Risk Analizi İle Performans Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Delaloye, M., Vuagnat, M., Wagner, J.J., 1977. K–Ar Ages from the Kızıldağ Ophiolitic Complex (Hatay, Turkey) and Their Interpretation. In: Biju- Duval, B., Montadert, L. (Eds.), International Symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins, Split (Yugoslavia), pp. 73–78.
- Doğruoğlu, T., 2009. TBM Metodu İle Açılan İkiz Tünelde Meydana Gelebilecek Deformasyonların Sonlu Elemanlar Metodu ve Numerik Hesaplarla Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duab, 1997. Recommendations for Selecting and Evaluating Tunnel Boring Machines, Alman yer altı inşaatları birliği, Tunnel 5/97.
- Farmer, I. W., Glossop, N. H., 1980, “Mechanics of disc cutter penetration”, Tunnels and Tunneling, Cilt 12, ss. 22-25.
- Feridunoğlu, O., C., 2001. Tarabya Atıksu Tünelinde Kullanılan Tam Cepheli Tünel Açma Makinesinin S13-S10 Şaftları Arasında Performansının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gong, Q. M., and Zhao, J., 2009. Development of a Rock Mass Characteristics Model for TBM Penetration Rate Prediction, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science 46(1), ss. 8-18.
- Graham, P. C. 1976. Rock Exploration for Machine Manufacturers. Proceeding of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, 173-180.
- Grimstad, E., and Barton, N., 1993. Updating the Q System for NMT, Proc. Int. Symp. On Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Oslo, Norwegian Concrete Association. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mech. (64), 189-239.
- Hamidi, J. K., Shahriar, K., Rezai, B., and Rostami, J., 2010. Performance Prediction of Hard Rock Mass Rating (RMR) System, Tunnelling and Underground Space Technology, Cilt 25, ss. 333-345.

- Hassanpour, J., Rostami, J., Khomehchiyan, M., Bruland, A., and Tavakoli, H.R., 2009. TBM Performance Analysis in Pyroclastic Rocks: A Case History of Karaj Water Convayance Tunnel, *Rock Mech. Rock Eng.*, 43, ss. 427-445.
- Hoek, E., and Brown, E.T., 1980a. *Underground Excavation in Rock*, London Institution of Mining and Metallurgy, 527 pp.
- Hoek, E., and Brown, E.T., 1980b. Empirical Strength Criterion for Rock Masses, *J. Geotech. Engng Div., ASCE* 106 (GT9), 1013-1035.
- İşgören, S.Ö., 2018. Sağlık Ovası Graben Havzasındaki Turba Zeminlerin Duraylılık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, s 187.
- Juteau, T., (1980). Ophiolites of Turkey. *Ofioliti*, 2, 199-235
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Klotzli, U., Thoni, M. and Koller, F., 2013. U-Pb and Sm-Nd Geochronology Of The Kızıldağ (Hatay, Turkey) Ophiolite: İmplications For The Timing And Duration Of Suprasubduction Zone Type Oceanic Crust Formation İn Southern Neotethys. *Geological Magazine*, 150(2), 283-299.
- Kellogg, H. E., 1960, Stratigraphic Report Derik-Mardin Area, Petroleum District V, SE Turkey : T.P.A.O. Arama Grubu Rapor No: 1367, 34s.
- Lislerud, A., 1988, "Hard rock tunnel boring: prognosis and costs", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Cilt 3, Sayı 1, ss. 9-17.
- Lytwyn, J.N., and Casey, J.F. 1993. The Geochemistry and Petrogenesis of Volcanics and Sheeted Dikes from the Hatay (Kızıldağ) Ophiolite, Southern Turkey: Possible Formation with the Troodos Ophiolite, Cyprus, Along Fore- Arc Spreading Centers. *Tectonophysics*, 223, 237-272.
- Maidl, B., Herrenknecht, M. ve Anheuser, L., 1996. *Mechanized Shield Tunneling*. Berlin, Germany: Ernst & Sohn.
- Maidl, B., Jodl, H.G., Schmid, L., Petri, P., 1997. *Tunnelbau im Sprengvortrieb*. Berlin: Springer-Verlag.
- Maidl, B., Schmid, L., Ritz, W., and Herrenknecht, M. (2008). *Hardrock tunnel boring machines*: Ernst & Sohn. Berlin, Germany.
- Okay, A. I., ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen* (In B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth and M. Séranne eds), Geological Society of London, Special Publication no. 156. 475 515.
- Parlak, O., Karaoğlan, F., Klötzli, U., Thöni, M., Koller, F., ve Bğcı, U. (2009). Kızıldağ (Hatay) Ofiyoliti'nin İzotop Jeokronolojisi ve Jeokimyası, Güney Türkiye: Güney Neotetis'te Okyanus Kabuğunun Kristallenme Yaşı ve Farklı Magma Oluşumları ile İlgili Veriler. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, MTA-Ankara, Türkiye, 13-17 Nisan 2009.
- Perinçek, D., Duran, O., Bozdoğan, N., Çoruh, T., 1991, Stratigraphy and Paleogeographical Evolution of the Autochthonous Sedimentary Rocks in the SE Turkey (Güneydoğu Türkiye'de Otokton Sedimanter Kayaların Stratigrafisi ve Paleocoğrafik Evrimi): Ozan Sungurlu Symposium proceedings, p. 274-305.
- Pişkin, O., Delaloye, M., Moritz, R., Selçuk, H., and Wagner, J.J., 1984. A Tectonic Approach to the Hatay Ophiolite (Kızıl dag, Turkey). *Ofioliti*, 9 (3), 535-546.
- Sapigni, M., Berti, M., Bethaz, E., Busillo, A., and Cardone, G., 2002. TBM Performance Estimation Using Rock Mass Classifications, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 39, ss. 771-788.
- Sönmez, H., ve Ulusay, R., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, No:60, s. 243, Ankara.

- Stack, B. (1995). Encyclopaedia of tunnelling, mining and drilling equipment. Hobart, Tasmania: Muden Pub. Co.
- Steinman, G., 1927. Die Ophiolithiscen Zonen in Der Mediterranean Kettengebirgen: 14th international Geology Congress, Madrid, 2:638-667.
- Tekeli, O. ve Erendil, M., 1986, Kızıldağ Ofiyolitinin (Hatay) jeoloji ve petrolojisi. MTA Dergisi 107, 33-48.
- Terlemez, H.Ç.İ, Şentürk, K., Ateş, Ş., Sümengen, M., ve Oral, A., 1992, Gaziantep Dolayının ve Pazarcık-Sakçagöz-Kilis-Elbeyli-Oğuzeli Arasının Jeolojisi. M.T.A. Enst., Derleme Rap. No: 9526, Ankara.
- Tuna, D., 1973. VI. Bölge Litostratigrafi Birimleri Adlanmasının Açıklayıcı Raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor No.813, 131s. Ankara.
- Tüysüz, L., 2012. İstanbul'da Açılacak Metro Tünellerinde TBM (Tünel Açma Makinesi) Performansını Tahmin Etmek İçin Yeni Bir Yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yagız, S., 2008. Utilizing Rock Mass Properties for Predicting TBM Performance in Hard Rock Condition, Tunnelling and Underground Space Technology, Cilt 23, ss. 326-339.
- Yalçın, N., (1979). "Doğu Anadolu Yarılımının Türkoğlu-Karaağaç (Kahramanmaraş) Arasındaki Kesimin Özellikleri ve Bölgedeki Yerleşim Alanları", Türkiye Jeoloji Kurultayı, Altın Sempozyumu Bild., s.49-57, Ankara.
- Yalçın, N., 1980, Amanoslar'ın Litolojik Karakterleri ve Güneydoğu Anadolu'nun Tektonik Evrimindeki Anlamı: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 23/1, 21-30.
- Yılmaz, E. ve Duran, O., 1997, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafi Adlama Sözlüğü, TPAO Araştırma Grubu, Ankara, Eğitim Yayınları No, 31, 460s.
- Yüksel, A., 2013. TBM Makinelerinde Kayaç Özellikleri ve Makro Süreksizliklerin Kazı Performansına Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Wijk, G., 1992, "A model of tunnel boring machine performance", Geotechnical and Geological Engineering, Cilt 10, ss. 19-40.
- Hassanpour, R., Rostami, J., and Sohrabian, B., 2016. Prediction of Face Pressure And Required Thrust Force Within TBM Tunnelling Through Alluvial Ground, 2nd International Conference on Tunnel Boring Machines In Difficult Grounds (TBM DİGs İstanbul), İstanbul, Türkiye, 16-18 November 2016.
- Url-1** < <http://www.herrenknecht.com/>>, Alıntı tarihi: 26.06.2018
- Url-2** < <http://www.robinstbm.com/> >, date retrieved: 07.08.2018.
- Url-3** <<http://www.nurdagi.bel.tr/sehir/cografya-yapisi/21/>. Alınma tarihi: 18.04.2018
- Url-4** <<http://www.cografya.gen.tr/tr/gaziantep/iklim.html>. Alınma tarihi: 18.04.2018
- Url-5** < www.mgm.gov.tr Alınma tarihi: 22.06.2018

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Samime OSMANOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.01.1992, Doğanhisar
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (545) 394 46 36
Faks :
e-posta : senersamime@gmail.com

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet tarihi |
|---------------|-----------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | KSÜ /Jeoloji Mühendisliği Bölümü | 2018 |
| Lisans | BAÜN/ Jeoloji Mühendisliği Bölümü | 2014 |
| Lise | Doğanhisar Anadolu Lisesi | 2010 |

İş Denevimi

| Yıl | Yer | Görev |
|------------|---------------|---------------------|
| 2015-Devam | Kahramanmaraş | Araştırma Görevlisi |

Yabancı Dil

İngilizce (Orta)

Yayınlar

1. Özbek, A., Uras, Y., Gül, M., Semerci, H., Şener, S., 2016. An Investigation of the Usability of Yavuzeli Basalt Aggregates in Hot Mix Asphalt, International Conferance on Engineering and Natural Science (ICENS), 24-28 May, Sarajevo, Book of Proceedings, Chapter 3, ISBN; 978-605-83575-0-1, p. 493-500.
2. Özbek, A., Bozdoğan, T., Şener, S., Gül, M., 2016. Collapse and Reinforcement Applications in Aksar Regulator and Hazar HEPP Project T-2 Transmission Tunnel, Black Sea Mining and Tunneling, Trabzon, Turkey from 2-4 November.

3. Özbek, A., Şener, S., Aydın, A., Acar, A., 2016. Correlation of Different Tunnel Deformation Monitoring System, Black Sea Mining and Tunneling, Trabzon, Turkey from 2-4 November.
4. Küsmüş, S., Özbek, A., Küsmüş, S., Gül, M., 2017. Kılavuzlu Sulama Projesi (Kahramanmaraş) Belpınar Tünelinde Kullanılan Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB/TBM) Kazı Performans Analizi, 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, 3-6 Mayıs, Adana/Türkiye.
5. Bozdoğan, T., Özbek, A., Küsmüş, S., Gül, M., 2017. T-2 İletim Tünelinde (Akşar Regülatörü ve Nazar (Bitlis) HESS) Zayıf Kayaç Koşullarında Gözlenen Duraysızlıklar, 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, 3-6 Mayıs, Adana/Türkiye.
6. Küsmüş, S., Özbek, A., Gül, M., Bozdoğan, T., 2018. Performance Evaluation of Double Shield TBM Used Between 1095-1500 Rings of in Bahce-Nurdagi (Fevzipasa Variant) Fast Railway Project, 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 07-11 May, Abstract Book, p. 111-112.

Hobiler

Kitap okumak, voleybol, masa tenisi oynamak, araştırma yapmak.



EK 1. Sondaj noktalarına karşılık gelen yerlerin akın çevresine ait makine parametreleri

| Km | Ring No | İlerleme Hızı(mm/dk) | TORK (kNm) | İtme Kuvveti(kN) | RPM (devir/dk) | Penetrasyon (mm/dev) | A (m2) | P (Kw) | ICR (m3/h) | SE (kwh/m3) | Zemin Tanımı |
|----------|---------|----------------------|------------|------------------|----------------|----------------------|--------|--------|------------|-------------|--------------|
| 70+506.0 | 31 | 35 | 1300 | 6500 | 3 | 11,7 | 36,29 | 244,9 | 45,7 | 5 | Peridotit |
| 70+504.0 | 32 | 20 | 1300 | 6600 | 3 | 6.7 | 36.29 | 244.9 | 26.1 | 9 | Peridotit |
| 70+503.0 | 33 | 25 | 1300 | 9600 | 2.5 | 10.0 | 36.29 | 204.1 | 32.7 | 6 | Peridotit |
| 70+501.6 | 34 | 30 | 1250 | 8700 | 2.5 | 12.0 | 36.29 | 196.3 | 39.2 | 5 | Peridotit |
| 70+500.2 | 35 | 30 | 1250 | 7300 | 2.5 | 12.0 | 36.29 | 196.3 | 39.2 | 5 | Peridotit |
| 70+498.8 | 36 | 25 | 1200 | 6500 | 2.5 | 10.0 | 36.29 | 188.4 | 32.7 | 6 | Peridotit |
| 70+497.4 | 37 | 30 | 1300 | 7000 | 2.5 | 12.0 | 36.29 | 204.1 | 39.2 | 5 | Peridotit |
| 70+496.0 | 38 | 30 | 1250 | 7200 | 2.5 | 12.0 | 36.29 | 196.3 | 39.2 | 5 | Peridotit |
| 70+494.6 | 39 | 25 | 1300 | 6700 | 3 | 8.3 | 36.29 | 244.9 | 32.7 | 7 | Peridotit |
| 70+493.2 | 40 | 25 | 1300 | 7600 | 3 | 8.3 | 36.29 | 244.9 | 32.7 | 7 | Peridotit |
| 70+491.8 | 41 | 35 | 1250 | 9800 | 3 | 11.7 | 36.29 | 235.5 | 45.7 | 5 | Peridotit |
| 70+490.4 | 42 | 40 | 1300 | 8600 | 3 | 13.3 | 36.29 | 244.9 | 52.3 | 5 | Peridotit |
| 70+489.0 | 43 | 30 | 1250 | 7500 | 3 | 10.0 | 36.29 | 235.5 | 39.2 | 6 | Peridotit |
| 70+487.6 | 44 | 20 | 1300 | 6500 | 3 | 6.7 | 36.29 | 244.9 | 26.1 | 9 | Peridotit |
| 70+486.2 | 45 | 30 | 1200 | 8200 | 3 | 10.0 | 36.29 | 226.1 | 39.2 | 6 | Peridotit |
| 70+484.8 | 46 | 20 | 1250 | 7600 | 3 | 6.7 | 36.29 | 235.5 | 26.1 | 9 | Peridotit |
| 70+483.4 | 47 | 10 | 1300 | 6800 | 3 | 3.3 | 36.29 | 244.9 | 13.1 | 19 | Peridotit |
| 70+482.0 | 48 | 20 | 1300 | 7600 | 3 | 6.6 | 36.29 | 244.9 | 26.1 | 9 | Peridotit |
| 70+480.6 | 49 | 20 | 1200 | 8500 | 2.5 | 8.0 | 36.29 | 188.4 | 26.1 | 7 | Peridotit |
| 70+479.2 | 50 | 22 | 1200 | 7400 | 2.5 | 8.8 | 36.29 | 188.4 | 28.7 | 7 | Peridotit |
| 70+477.8 | 51 | 15 | 1200 | 8600 | 2.5 | 6.0 | 36.29 | 188.4 | 19.6 | 10 | Peridotit |
| 70+476.4 | 52 | 17 | 1300 | 8600 | 3 | 5.7 | 36.29 | 244.9 | 22.2 | 11 | Peridotit |
| 70+475.0 | 53 | 20 | 1200 | 6900 | 3 | 6.7 | 36.29 | 226.1 | 26.1 | 9 | Peridotit |
| 70+473.6 | 54 | 25 | 1250 | 9800 | 3 | 8.3 | 36.29 | 235.5 | 32.7 | 7 | Peridotit |
| 70+472.2 | 55 | 25 | 1300 | 9100 | 3 | 8.3 | 36.29 | 244.9 | 32.7 | 7 | Peridotit |
| 70+470.8 | 56 | 30 | 1300 | 9800 | 3 | 10.0 | 36.29 | 244.9 | 39.2 | 6 | Peridotit |
| 70+469.4 | 57 | 26 | 1200 | 8000 | 3 | 8.7 | 36.29 | 226.1 | 34 | 7 | Peridotit |
| 70+468.0 | 58 | 16 | 1300 | 8200 | 2.5 | 6.4 | 36.29 | 204.1 | 20.9 | 10 | Peridotit |
| 70+466.6 | 59 | 30 | 1250 | 7500 | 1.5 | 20.0 | 36.29 | 117.8 | 39.2 | 3 | Peridotit |
| 70+465.2 | 60 | 33 | 1250 | 8300 | 1.7 | 19.4 | 36.29 | 133.5 | 43.1 | 3 | Peridotit |

EK 1. Sondaj noktalarına karşılık gelen yerlerin akın çevresine ait makine parametreleri (devamı)

| Km | Ring No | İlerleme Hızı(mm/dk) | TORK (kNm) | İtme Kuvveti(kN) | RPM (devir/dk) | Penetrasyon (mm/dev) | A (m2) | P (Kw) | ICR (m3/h) | SE (kwh/m3) | Zemin Tanımı |
|----------|---------|----------------------|------------|------------------|----------------|----------------------|--------|--------|------------|-------------|----------------------|
| 68+228.2 | 1009 | 40 | 4500 | 7000 | 3 | 13,3 | 36,2 | 847,8 | 52,3 | 16 | Peridotit/Serpantini |
| 66+226.8 | 1010 | 40 | 4500 | 7000 | 2.7 | 14.8 | 36.2 | 763 | 52.3 | 15 | Peridotit/Serpantini |
| 68+225.4 | 1011 | 40 | 4200 | 7500 | 2.7 | 14.8 | 36.2 | 712.2 | 52.3 | 14 | Peridotit/Serpantini |
| 68+224.0 | 1012 | 35 | 4300 | 10000 | 3 | 11.7 | 36.2 | 810.1 | 45.7 | 18 | Peridotit/Serpantini |
| 66+222.6 | 1013 | 30 | 3250 | 7000 | 2.6 | 11.5 | 36.2 | 530.7 | 39.2 | 14 | Peridotit/Serpantini |
| 68+221.2 | 1014 | 35 | 4000 | 10000 | 2.7 | 13.0 | 36.2 | 678.2 | 45.7 | 15 | Peridotit/Serpantini |
| 68+219.8 | 1015 | 30 | 3500 | 10000 | 2.7 | 11.1 | 36.2 | 593.5 | 39.2 | 15 | Peridotit/Serpantini |
| 68+218.4 | 1016 | 30 | 4000 | 8500 | 2.6 | 11.5 | 36.2 | 653.1 | 39.2 | 17 | Peridotit/Serpantini |
| 68+217.0 | 1017 | 30 | 3850 | 9500 | 2.7 | 11.1 | 36.2 | 652.8 | 39.2 | 17 | Peridotit/Serpantini |
| 68+215.6 | 1018 | 40 | 4000 | 10000 | 2.6 | 15.4 | 36.2 | 653.1 | 52.3 | 12 | Peridotit/Serpantini |
| 68+214.2 | 1019 | 45 | 4200 | 6500 | 2.9 | 15.5 | 36.2 | 764.9 | 58.8 | 13 | Peridotit/Serpantini |
| 68+212.8 | 1020 | 50 | 4500 | 4000 | 2.9 | 17.2 | 36.2 | 819.5 | 65.3 | 13 | Peridotit/Serpantini |
| 68+211.4 | 1021 | 50 | 4200 | 7000 | 3 | 16.7 | 36.2 | 791.3 | 65.3 | 12 | Peridotit/Serpantini |
| 68+210.0 | 1022 | 45 | 4500 | 10000 | 3 | 15.0 | 36.2 | 847.8 | 58.8 | 14 | Peridotit/Serpantini |
| 68+208.6 | 1023 | 30 | 3200 | 6000 | 2.5 | 12.0 | 36.2 | 502.4 | 39.2 | 13 | Peridotit/Serpantini |
| 68+207.2 | 1024 | 35 | 4500 | 10000 | 2.7 | 13.0 | 36.2 | 763 | 45.7 | 17 | Peridotit/Serpantini |
| 66+205.8 | 1025 | 50 | 4000 | 7000 | 2.7 | 18.5 | 36.2 | 678.2 | 65.3 | 10 | Peridotit/Serpantini |
| 68+204.4 | 1026 | 35 | 4500 | 8000 | 2.7 | 13.0 | 36.2 | 763 | 45.7 | 17 | Peridotit/Serpantini |
| 68+203.0 | 1027 | 40 | 4500 | 7500 | 2.7 | 14.8 | 36.2 | 763 | 52.3 | 15 | Peridotit/Serpantini |
| 68+201.6 | 1028 | 60 | 5000 | 5500 | 3.1 | 19.4 | 36.2 | 973.4 | 78.4 | 12 | Peridotit/Serpantini |
| 68+200.2 | 1029 | 35 | 4000 | 6000 | 3 | 11.7 | 36.2 | 753.6 | 45.7 | 16 | Peridotit/Serpantini |
| 68+198.8 | 1030 | 40 | 4000 | 4000 | 3 | 13.3 | 36.2 | 753.6 | 52.3 | 14 | Peridotit/Serpantini |
| 68+197.4 | 1031 | 40 | 4000 | 8900 | 3.1 | 12.9 | 36.2 | 778.7 | 52.3 | 15 | Peridotit/Serpantini |
| 68+196.0 | 1032 | 40 | 4000 | 8500 | 3 | 13.3 | 36.2 | 753.6 | 52.3 | 14 | Peridotit/Serpantini |
| 68+194.6 | 1033 | 25 | 3500 | 6500 | 3 | 8.3 | 36.2 | 659.4 | 32.7 | 20 | Peridotit/Serpantini |
| 68+193.2 | 1034 | 40 | 4000 | 6000 | 3.6 | 11.1 | 36.2 | 904.3 | 52.3 | 17 | Peridotit/Serpantini |
| 68+191.8 | 1035 | 40 | 4500 | 6000 | 2.7 | 14.8 | 36.2 | 763 | 52.3 | 15 | Peridotit/Serpantini |
| 68+190.4 | 1036 | 50 | 4000 | 6500 | 2.7 | 18.5 | 36.2 | 678.2 | 65.3 | 10 | Peridotit/Serpantini |
| 68+189.0 | 1037 | 50 | 3500 | 6000 | 2.7 | 18.5 | 36.2 | 593.5 | 65.3 | 9 | Peridotit/Serpantini |
| 68+187.6 | 1038 | 35 | 4500 | 6000 | 2.9 | 12.1 | 36.2 | 819.5 | 45.7 | 18 | Peridotit/Serpantini |

EK 1. Sondaj noktalarına karşılık gelen yerlerin akın çevresine ait makine parametreleri (devamı)

| Km | Ring No | İlerleme Hızı(mm/dk) | TORK (kNm) | İtme Kuvveti(kN) | RPM (devir/dk) | Penetrasyon (mm/dev) | A (m2) | P (Kw) | ICR (m3/h) | SE (kwh/m3) | Zemin Tanımı |
|--------|---------|----------------------|------------|-------------------|----------------|----------------------|--------|--------|------------|-------------|-----------------|
| 66+975 | 1904 | 30 | 4500 | 9500 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 791.3 | 39.2 | 20 | Peridotit/Serpa |
| 66+974 | 1905 | 35 | 4500 | 9500 | 2.8 | 12.5 | 36.29 | 791.3 | 45.7 | 17 | Peridotit/Serpa |
| 66+972 | 1906 | 30 | 4500 | 10000 | 2.9 | 10.3 | 36.29 | 819.5 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+971 | 1907 | 30 | 4500 | 10000 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 791.3 | 39.2 | 20 | Peridotit/Serpa |
| 66+970 | 1908 | 27 | 4500 | 9500 | 3 | 9 | 36.29 | 847.8 | 35.3 | 24 | Peridotit/Serpa |
| 66+968 | 1909 | 35 | 4250 | 5500 | 2.9 | 12.1 | 36.29 | 774 | 45.7 | 17 | Peridotit/Serpa |
| 66+967 | 1910 | 30 | 4750 | 7500 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 835.2 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+965 | 1911 | 30 | 4750 | 9500 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 835.2 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+964 | 1912 | 30 | 4000 | 10000 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 703.4 | 39.2 | 18 | Peridotit/Serpa |
| 66+963 | 1913 | 30 | 4000 | 10000 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 703.4 | 39.2 | 18 | Peridotit/Serpa |
| 66+961 | 1914 | 30 | 4700 | 10000 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 826.4 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+960 | 1915 | 30 | 4750 | 9500 | 2.7 | 11.1 | 36.29 | 805.4 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+958 | 1916 | 27 | 4000 | 11500 | 2.6 | 10.4 | 36.29 | 653.1 | 35.3 | 19 | Peridotit/Serpa |
| 66+957 | 1917 | 27 | 4750 | 11500 | 2.8 | 9.6 | 36.29 | 835.2 | 35.3 | 24 | Peridotit/Serpa |
| 66+956 | 1918 | 25 | 4000 | 10500 | 2.8 | 8.9 | 36.29 | 703.4 | 32.7 | 22 | Peridotit/Serpa |
| 66+954 | 1919 | 30 | 4750 | 10500 | 2.8 | 10.7 | 36.29 | 835.2 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+953 | 1920 | 30 | 3800 | 9700 | 3 | 10 | 36.29 | 715.9 | 39.2 | 18 | Peridotit/Serpa |
| 66+951 | 1921 | 30 | 4700 | 9800 | 3 | 10 | 36.29 | 885.5 | 39.2 | 23 | Peridotit/Serpa |
| 66+950 | 1922 | 30 | 3500 | 10000 | 2.9 | 10.3 | 36.29 | 637.4 | 39.2 | 16 | Peridotit/Serpa |
| 66+949 | 1923 | 30 | 3400 | 10200 | 3.1 | 9.7 | 36.29 | 661.9 | 39.2 | 17 | Peridotit/Serpa |
| 66+947 | 1924 | 25 | 4000 | 11500 | 2.7 | 9.3 | 36.29 | 678.2 | 32.7 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+946 | 1925 | 25 | 4750 | 11500 | 2.9 | 8.6 | 36.29 | 865.1 | 32.7 | 26 | Peridotit/Serpa |
| 66+944 | 1926 | 30 | 4750 | 10000 | 2.9 | 10.3 | 36.29 | 865.1 | 39.2 | 22 | Peridotit/Serpa |
| 66+943 | 1927 | 30 | 4750 | 10000 | 3 | 10 | 36.29 | 894.9 | 39.2 | 23 | Peridotit/Serpa |
| 66+942 | 1928 | 30 | 4000 | 6000 | 3 | 10 | 36.29 | 753.6 | 39.2 | 19 | Peridotit/Serpa |
| 66+940 | 1929 | 30 | 3500 | 8000 | 3 | 10 | 36.29 | 659.4 | 39.2 | 17 | Peridotit/Serpa |
| 66+939 | 1930 | 35 | 4500 | 9000 | 2.7 | 13 | 36.29 | 763 | 45.7 | 17 | Peridotit/Serpa |
| 66+937 | 1931 | 30 | 4500 | 10500 | 2.6 | 11.5 | 36.29 | 734.8 | 39.2 | 19 | Peridotit/Serpa |
| 66+936 | 1932 | 30 | 4500 | 9500 | 2.9 | 10.3 | 36.29 | 819.5 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpa |
| 66+935 | 1933 | 20 | 4750 | 12000 | 3.6 | 5.6 | 36.29 | 1073. | 26.1 | 41 | Peridotit/Serpa |

EK 1. Sondaj noktalarına karşılık gelen yerlerin akın çevresine ait makine parametreleri (devamı)

| Km | Ring No | İlerleme Hızı(mm/dk) | TORK (kNm) | İtme Kuvveti (kN) | RPM (devir/dk) | Penetrasyon (mm/dev) | A (m2) | P (Kw) | ICR (m3/h) | SE (kwh/ | Zemin Tanımı |
|----------|---------|----------------------|------------|-------------------|----------------|----------------------|--------|--------|------------|----------|-------------------|
| 66+870.9 | 2391 | 30 | 3500 | 10000 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 593,5 | 39,2 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+859.5 | 2392 | 30 | 3200 | 9000 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 542,6 | 39,2 | 14 | Peridotit/Serpant |
| 66+868.1 | 2393 | 30 | 3500 | 8500 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 593,5 | 39,2 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+866.7 | 2394 | 30 | 3500 | 9500 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 593,5 | 39,2 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+865.3 | 2395 | 30 | 3000 | 10000 | 3 | 10 | 36,29 | 565,2 | 39,2 | 14 | Peridotit/Serpant |
| 66+863.9 | 2396 | 30 | 4000 | 10000 | 3 | 10 | 36,29 | 753,6 | 39,2 | 19 | Peridotit/Serpant |
| 66+862.5 | 2397 | 25 | 2400 | 9400 | 3 | 8,3 | 36,29 | 452,2 | 32,7 | 14 | Peridotit/Serpant |
| 66+861.1 | 2398 | 30 | 3500 | 9700 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 593,5 | 39,2 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+859.7 | 2399 | 30 | 3500 | 9500 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 593,5 | 39,2 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+858.3 | 2400 | 25 | 3500 | 10000 | 2,7 | 9,3 | 36,29 | 593,5 | 32,7 | 18 | Peridotit/Serpant |
| 66+856.9 | 2401 | 30 | 3700 | 9700 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 627,4 | 39,2 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 66+855.5 | 2402 | 35 | 4000 | 8500 | 2,7 | 13 | 36,29 | 678,2 | 45,7 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+854.1 | 2403 | 35 | 3500 | 9500 | 2,7 | 13 | 36,29 | 593,5 | 45,7 | 13 | Peridotit/Serpant |
| 66+852.7 | 2404 | 35 | 3300 | 9000 | 2,7 | 13 | 36,29 | 559,5 | 45,7 | 12 | Peridotit/Serpant |
| 66+851.3 | 2405 | 30 | 2700 | 7900 | 2,9 | 10,3 | 36,29 | 491,7 | 39,2 | 13 | Peridotit/Serpant |
| 66+849.9 | 2406 | 35 | 4300 | 9300 | 2,9 | 12,1 | 36,29 | 783,1 | 45,7 | 17 | Peridotit/Serpant |
| 66+848.5 | 2407 | 30 | 3400 | 8800 | 2,9 | 10,3 | 36,29 | 619,2 | 39,2 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 66+847.1 | 2408 | 30 | 3400 | 9100 | 2,8 | 10,7 | 36,29 | 597,9 | 39,2 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+845.7 | 2409 | 27 | 4500 | 9000 | 2,7 | 10 | 36,29 | 763 | 35,3 | 22 | Peridotit/Serpant |
| 66+844.3 | 2410 | 28 | 4000 | 9000 | 2,7 | 10,4 | 36,29 | 678,2 | 36,6 | 19 | Peridotit/Serpant |
| 66+842.9 | 2411 | 35 | 3500 | 8500 | 2,7 | 13 | 36,29 | 593,5 | 45,7 | 13 | Peridotit/Serpant |
| 66+841.5 | 2412 | 35 | 3500 | 9000 | 2,7 | 13 | 36,29 | 593,5 | 45,7 | 13 | Peridotit/Serpant |
| 66+840.1 | 2413 | 30 | 3000 | 9700 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 508,7 | 39,2 | 13 | Peridotit/Serpant |
| 66+838.7 | 2414 | 30 | 3700 | 9500 | 2,7 | 11,1 | 36,29 | 627,4 | 39,2 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 66+837.3 | 2415 | 28 | 3500 | 10000 | 2,9 | 9,7 | 36,29 | 637,4 | 36,6 | 17 | Peridotit/Serpant |
| 66+835.9 | 2416 | 25 | 3700 | 10500 | 3 | 8,3 | 36,29 | 697,1 | 32,7 | 21 | Peridotit/Serpant |
| 66+834.5 | 2417 | 23 | 3500 | 10000 | 2,9 | 7,9 | 36,29 | 637,4 | 30 | 21 | Peridotit/Serpant |
| 66+833.1 | 2418 | 30 | 3100 | 9000 | 3 | 10 | 36,29 | 584 | 39,2 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 66+831.7 | 2419 | 30 | 4100 | 9800 | 2,9 | 10,3 | 36,29 | 746,7 | 39,2 | 19 | Peridotit/Serpant |
| 66+830.3 | 2420 | 25 | 3200 | 9500 | 2,7 | 9,3 | 36,29 | 542,6 | 32,7 | 17 | Peridotit/Serpant |

EK 1. Sondaj noktalarına karşılık gelen yerlerin akın çevresine ait makine parametreleri (devamı)

| Km | Ring No | İlerleme Hızı(mm/dk) | TORK (kNm) | İtme Kuvveti (kN) | RPM (devir/dk) | Penetrasyon (mm/dev) | A (m2) | P (Kw) | ICR (m3/h) | SE (kwh/m3) | Zemin Tanımı |
|----------|---------|----------------------|------------|-------------------|----------------|----------------------|--------|--------|------------|-------------|-------------------|
| 65+246.2 | 3559 | 30 | 5500 | 7000 | 2.6 | 11.5 | 36.2 | 898 | 39.2 | 23 | Peridotit/Serpant |
| 65+244.8 | 3560 | 30 | 5500 | 6000 | 2.9 | 10.3 | 36.2 | 1001. | 39.2 | 26 | Peridotit/Serpant |
| 65+243.4 | 3561 | 30 | 5500 | 9000 | 2.9 | 10.3 | 36.2 | 1001. | 39.2 | 26 | Peridotit/Serpant |
| 65+242.0 | 3562 | 30 | 5000 | 9000 | 3 | 10 | 36.2 | 942 | 39.2 | 24 | Peridotit/Serpant |
| 65+240.6 | 3563 | 30 | 5000 | 9000 | 3 | 10 | 36.2 | 942 | 39.2 | 24 | Peridotit/Serpant |
| 65+239.2 | 3564 | 30 | 5000 | 9500 | 2.5 | 12 | 36.2 | 785 | 39.2 | 20 | Peridotit/Serpant |
| 65+237.8 | 3565 | 30 | 4800 | 8500 | 2.7 | 11.1 | 36.2 | 813.9 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpant |
| 65+236.4 | 3566 | 30 | 4800 | 8500 | 2.7 | 11.1 | 36.2 | 813.9 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpant |
| 65+235.0 | 3567 | 30 | 4700 | 7500 | 2.7 | 11.1 | 36.2 | 796.9 | 39.2 | 20 | Peridotit/Serpant |
| 65+233.6 | 3568 | 30 | 4700 | 6900 | 2.9 | 10.3 | 36.2 | 856 | 39.2 | 22 | Peridotit/Serpant |
| 65+232.2 | 3569 | 35 | 4900 | 6300 | 2.9 | 12.1 | 36.2 | 892.4 | 45.7 | 20 | Peridotit/Serpant |
| 65+230.8 | 3570 | 45 | 4400 | 6300 | 2.8 | 16.1 | 36.2 | 773.7 | 58.8 | 13 | Peridotit/Serpant |
| 65+229.4 | 3571 | 45 | 5300 | 6300 | 2.8 | 16.1 | 36.2 | 932 | 58.8 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 65+228.0 | 3572 | 35 | 4500 | 7000 | 2.8 | 12.5 | 36.2 | 791.3 | 45.7 | 17 | Peridotit/Serpant |
| 65+226.6 | 3573 | 35 | 3700 | 8500 | 2.9 | 12.1 | 36.2 | 673.8 | 45.7 | 15 | Peridotit/Serpant |
| 65+225.2 | 3574 | 40 | 5000 | 6500 | 2.7 | 14.8 | 36.2 | 847.8 | 52.3 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 65+223.8 | 3575 | 40 | 5000 | 7500 | 2.7 | 14.8 | 36.2 | 847.8 | 52.3 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 65+222.4 | 3576 | 45 | 5700 | 6800 | 2.7 | 16.7 | 36.2 | 966.5 | 58.8 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 65+221.0 | 3577 | 35 | 4500 | 7300 | 2.7 | 13 | 36.2 | 763 | 45.7 | 17 | Peridotit/Serpant |
| 65+219.6 | 3578 | 35 | 4900 | 8400 | 2.7 | 13 | 36.2 | 830.8 | 45.7 | 18 | Peridotit/Serpant |
| 65+218.2 | 3579 | 30 | 4900 | 8200 | 2.9 | 10.3 | 36.2 | 892.4 | 39.2 | 23 | Peridotit/Serpant |
| 65+216.8 | 3580 | 30 | 5600 | 8300 | 3 | 10 | 36.2 | 1055 | 39.2 | 27 | Peridotit/Serpant |
| 65+215.4 | 3581 | 30 | 5000 | 8000 | 3 | 10 | 36.2 | 942 | 39.2 | 24 | Peridotit/Serpant |
| 65+214.0 | 3582 | 35 | 5000 | 7500 | 3 | 11.7 | 36.2 | 942 | 45.7 | 21 | Peridotit/Serpant |
| 65+212.6 | 3583 | 40 | 5000 | 6500 | 3.1 | 12.9 | 36.2 | 973.4 | 52.3 | 19 | Peridotit/Serpant |
| 65+211.2 | 3584 | 30 | 4800 | 6500 | 3 | 10 | 36.2 | 904.3 | 39.2 | 23 | Peridotit/Serpant |
| 65+209.8 | 3585 | 30 | 4800 | 6500 | 2.7 | 11.1 | 36.2 | 813.9 | 39.2 | 21 | Peridotit/Serpant |
| 65+208.4 | 3586 | 35 | 5100 | 7600 | 2.7 | 13 | 36.2 | 864.8 | 45.7 | 19 | Peridotit/Serpant |
| 65+207.0 | 3587 | 40 | 5000 | 8500 | 2.6 | 15.4 | 36.2 | 816.4 | 52.3 | 16 | Peridotit/Serpant |
| 65+205.6 | 3588 | 40 | 5500 | 9000 | 2.7 | 15.8 | 36.2 | 932.6 | 52.3 | 18 | Peridotit/Serpant |

EK 1. Sondaj noktalarına karşılık gelen yerlerin akın çevresine ait makine parametreleri (devamı)

| | Ring | İlerleme | TORK | İtme Kuvveti | RPM | Penetrasyon | P | ICR | SE | Zemin | |
|----------|------|-------------|-------|--------------|------------|-------------|--------|-------|--------|----------|-------------|
| | No | Hızı(mm/dk) | (kNm) | (kN) | (devir/dk) | (mm/dev) | A (m2) | (Kw) | (m3/h) | (kwh/m3) | Tanımı |
| 65+170.2 | 3841 | 30 | 3100 | 7000 | 3 | 10 | 36.29 | 584 | 39.2 | 15 | Serpantinit |
| 65+168.8 | 3842 | 35 | 4000 | 7500 | 3.1 | 11.3 | 36.29 | 778.7 | 45.7 | 17 | Serpantinit |
| 65+167.4 | 3843 | 35 | 4500 | 4800 | 3.4 | 10.3 | 36.29 | 960.8 | 45.7 | 21 | Serpantinit |
| 65+166.0 | 3844 | 35 | 4700 | 6500 | 3.4 | 10.3 | 36.29 | 1003. | 45.7 | 22 | Serpantinit |
| 65+164.6 | 3845 | 30 | 5000 | 7000 | 3 | 10 | 36.29 | 942 | 39.2 | 24 | Serpantinit |
| 65+163.2 | 3846 | 30 | 4500 | 7500 | 3.2 | 9.4 | 36.29 | 904.3 | 39.2 | 23 | Serpantinit |
| 65+161.8 | 3847 | 35 | 3500 | 8000 | 3.2 | 10.9 | 36.29 | 703.4 | 45.7 | 15 | Serpantinit |
| 65+160.4 | 3848 | 40 | 4000 | 6500 | 3 | 13.3 | 36.29 | 753.6 | 52.3 | 14 | Serpantinit |
| 65+159.0 | 3849 | 30 | 4500 | 7500 | 3.1 | 9.7 | 36.29 | 876.1 | 39.2 | 22 | Serpantinit |
| 65+157.6 | 3850 | 30 | 4900 | 7500 | 3 | 10 | 36.29 | 923.2 | 39.2 | 24 | Serpantinit |
| 65+156.2 | 3851 | 35 | 5300 | 7500 | 3.1 | 11.3 | 36.29 | 1031. | 45.7 | 23 | Serpantinit |
| 65+154.8 | 3852 | 35 | 4700 | 5900 | 2.9 | 12.1 | 36.29 | 856 | 45.7 | 19 | Serpantinit |
| 65+153.4 | 3853 | 35 | 3700 | 7500 | 2.9 | 12.1 | 36.29 | 673.8 | 45.7 | 15 | Serpantinit |
| 65+152.0 | 3854 | 40 | 4300 | 7500 | 2.7 | 14.8 | 36.29 | 729.1 | 52.3 | 14 | Serpantinit |
| 65+150.6 | 3855 | 40 | 5000 | 8000 | 2.7 | 14.8 | 36.29 | 847.8 | 52.3 | 16 | Serpantinit |
| 65+149.2 | 3856 | 35 | 5000 | 6300 | 3.1 | 11.3 | 36.29 | 973.4 | 45.7 | 21 | Serpantinit |
| 65+147.8 | 3857 | 30 | 5000 | 7100 | 3.1 | 9.7 | 36.29 | 973.4 | 39.2 | 25 | Serpantinit |
| 65+146.4 | 3858 | 30 | 4700 | 6900 | 3.2 | 9.4 | 36.29 | 944.5 | 39.2 | 24 | Serpantinit |
| 65+145.0 | 3859 | 30 | 3100 | 7000 | 3.2 | 9.4 | 36.29 | 623 | 39.2 | 16 | Serpantinit |
| 65+143.6 | 3860 | 35 | 4000 | 8000 | 3.2 | 10.9 | 36.29 | 803.8 | 45.7 | 18 | Serpantinit |
| 65+142.2 | 3861 | 35 | 4500 | 7000 | 2.5 | 14 | 36.29 | 706.5 | 45.7 | 15 | Serpantinit |
| 65+140.8 | 3862 | 35 | 4700 | 7000 | 3.4 | 10.3 | 36.29 | 1003. | 45.7 | 22 | Serpantinit |
| 65+139.4 | 3863 | 30 | 5000 | 7500 | 2.7 | 11.1 | 36.29 | 847.8 | 39.2 | 22 | Serpantinit |
| 65+138.0 | 3864 | 30 | 4500 | 4800 | 2.7 | 11.1 | 36.29 | 763 | 39.2 | 19 | Serpantinit |
| 65+136.6 | 3865 | 35 | 3500 | 6500 | 3.4 | 10.3 | 36.29 | 747.3 | 45.7 | 16 | Serpantinit |
| 65+135.2 | 3866 | 40 | 4000 | 7000 | 3.1 | 12.9 | 36.29 | 778.7 | 52.3 | 15 | Serpantinit |
| 65+133.8 | 3867 | 30 | 4900 | 7500 | 3.1 | 9.7 | 36.29 | 953.9 | 39.2 | 24 | Serpantinit |
| 65+132.4 | 3868 | 30 | 4200 | 8000 | 3.1 | 9.7 | 36.29 | 817.7 | 39.2 | 21 | Serpantinit |
| 65+131.0 | 3869 | 35 | 5000 | 6500 | 2.8 | 12.5 | 36.29 | 879.2 | 45.7 | 19 | Serpantinit |
| 65+130.0 | 3870 | 35 | 4700 | 7500 | 3.4 | 10.3 | 36.29 | 1003. | 45.7 | 22 | Serpantinit |