



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇAĞLAYAN REGÜLATÖRÜ VE HES PROJESİ İLETİM
TÜNELİNDE UYGULANAN KAZI VE DESTEK
SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Maden Müh. Selman TURAN
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. İbrahim OCAK**

Mayıs, 2013

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇAĞLAYAN REGÜLATÖRÜ VE HES PROJESİ İLETİM
TÜNELİNDE UYGULANAN KAZI VE DESTEK
SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Maden Müh. Selman TURAN
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Doç. Dr. İbrahim OCAK**

Mayıs, 2013

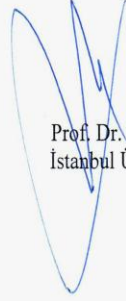
İSTANBUL

Bu çalışma 16/05/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. İbrahim OCAK (Danışman)
İstanbul Üniversitesi



Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi



Prof. Dr. Alaettin KILIÇ
İstanbul Üniversitesi



Prof. Dr. Nuh BİLGİN
İstanbul Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin
..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda bilgi ve birikimi ile bana yol gösteren, bu tezin oluşmasında yaptığı yardım ve katkılarından dolayı tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim OCAK'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışması için yaptığım araştırmalarda bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bugüne kadar benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Mayıs, 2013

Selman TURAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
TABLO LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. YENİ AVUSTURYA TÜNEL AÇMA YÖNTEMİ (NATM).....	2
2.2. PROJE HAKKINDA GENEL BİLGİLER	3
2.2.1. Projenin Yeri.....	3
2.2.2. Proje Kapsamında İnşa Edilecek Tesisler.....	4
2.2.3. Çağlayan Regülatörü ve HES Projesi Yapıları ve Karakteristikleri	5
2.2.3.1. Çağlayan I Regülatörü.....	5
2.2.3.2. Derivasyon.....	5
2.2.3.3. Çağlayan II Regülatörü	5
2.2.3.4. İletim Kanalı I.....	6
2.2.3.5. İletim Tüneli.....	6
2.2.3.6. İletim Kanalı II.....	6
2.2.3.7. Yükleme Havuzu.....	7
2.2.3.8. Cebri Boru	7
2.2.3.9. Santral Binası.....	7
2.3 ÇALIŞMA ALANI GENEL JEOLJİSİ.....	8
2.3.1. Stratigrafik Jeoloji.....	9

2.3.2. Alt-Orta Eosen	10
2.3.3. Üst Miyosen	10
2.3.4. İletim Tüneli Jeolojisi	10
2.4. KULLANILAN MAKİNE VE EKİPMANLAR	13
2.4.1 Kazıcı – Yükleyici (Beko- Loder)	13
2.4.2. Yükleyici (Loder).....	14
2.4.3. Delik Delme Makineleri.....	14
2.5. KAZI ÇALIŞMALARİ.....	17
2.5.1. Makine İle Kazı.....	17
2.5.2. Del-Patlat İle Kazı.....	19
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	22
3.1. İLETİM TÜNELİNDEKİ ÇALIŞMALAR	22
3.1.1. İletim Tüneli Kaya Birimleri.....	22
3.1.2 Kaya Sınıflama Sistemleri ve İletim Tüneline Uygulanması.....	24
3.1.2.1. <i>Q Kaya Sınıflama Sistemi</i>	24
3.1.2.2. <i>RMR Kaya Sınıflama Sistemi</i>	29
3.1.3. İletim Tünelinin Q ve RMR'e Sistemine Göre Sınıflandırılması	35
3.1.3.1. <i>Tünel Güzergahına Ait Q Değerinin Hesaplanması</i>	35
3.1.3.2. <i>Tünel Güzergahına Ait RMR Değerinin Hesaplanması</i>	41
3.1.4. Tünel Destek Tasarımı ve Uygulanan Tahkimat	49
3.1.4.1. <i>A1 Sınıfı Destekleme</i>	49
3.1.4.2. <i>A2 Sınıfı Destekleme</i>	49
3.1.4.3. <i>A3 Sınıfı Destekleme</i>	50
3.1.4.4. <i>İletim Tünelinde Önerilen Destek Sistemlerinin Uygulanması</i>	51
4. KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.....	59
4.1. SU SORUNU	59
4.2. HAVALANDIRMA SORUNU.....	60
4.3. GÖÇÜK SORUNLARI.....	62
5. PROJENİN EKONOMİK ANALİZİ.....	65
5.1. İLETİM TÜNELİ YATIRIM MALİYETİ.....	65
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	66

KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Projenin civar tesisler ile olan ilişkisi.....	4
Şekil 2. 2 İletim tüneli güzergahı.....	6
Şekil 2. 3 Çalışma alanının uydu görüntüsü.....	7
Şekil 2. 4 Proje alanı jeolojik yapısı.....	9
Şekil 2. 5 İletim tüneli jeolojik kesit görünümü.....	12
Şekil 2. 6 Kazıcı Yükleyici (Beko-loder), Yükleyici (Loder).....	13
Şekil 2. 7 Yükleyici pasa taşıırken.....	14
Şekil 2. 8 Tiger Y20 kaya delme tabancası.....	15
Şekil 2. 9 Sandvik Jumbo DD321 Delik delme makinesi.....	16
Şekil 2. 10 Kazıcı- yükleyici (Beko-loder) ile kazı yapılırken.....	17
Şekil 2. 11 Yükleyici (loder) ile pasa taşınırken.....	18
Şekil 2. 12 İletim tüneli giriş kazı planı.....	18
Şekil 2. 13 İletim tüneli çıkış kazı planı.....	19
Şekil 2. 14 Jumbo ile patlatma deliklerinin açılması.....	20
Şekil 2. 15 Açılan deliklerin ateşçi tarafından doldurulması.....	21
Şekil 3. 1 Q ve D _e arasındaki ilişki ve Q sisteminde kaya kütlesi sınıfları.....	26
Şekil 3. 2 Q Sistemi için güncelleştirilmiş destek sisteminin seçimi.....	27
Şekil 3. 3 Q sistemine göre desteksiz durma süresinin tahmini.....	29
Şekil 3. 4 RMR Sisteminin 1989 versiyonunda, (a) tek eksenli basınç (sıkışma) dayanımı (b) RQD (c) Süreksizlik aralığı parametreleri için puan hesabı (d) Ortalama süreksizlik aralığından RQD tahmini.....	32
Şekil 3. 5 RMR'ye göre desteksiz durma süresi - desteksiz tavan açıklığı ilişkisi.....	33
Şekil 3. 6 Tünel güzergahı boyunca elde edilen Q değerleri.....	40
Şekil 3. 7 Q Sistemi için elde edilen değerlerin gösterimi.....	40
Şekil 3. 8 Tünel güzergahı boyunca elde edilen RMR değerleri.....	44
Şekil 3. 9 Tünel güzergahında RMR değerlerine göre III. ve IV. Kaya sınıfında desteksiz kalma süresinin tespiti.....	45

Şekil 3. 10 Çelik hasır montajı.....	51
Şekil 3. 11 İksa montajı	52
Şekil 3. 12 Kuru beton püskürtme makinası	53
Şekil 3. 13 Püskürtme beton (shotcrete) hazırlığı	54
Şekil 3. 14 Çakılmış haldeki enjeksiyonlu kaya bulonu	55
Şekil 3. 15 İletim tüneline uygulanan enjeksiyonlu kaya bulon uygulaması.....	56
Şekil 3. 16 Süren uygulaması	56
Şekil 3. 17 İletimin tüneline uygulanan iksa kesiti ve destekleme sınıfı	58
Şekil 4. 1 Karşılaşılan su sorunu.....	59
Şekil 4. 2 Suyun dalgıç pompa ile dışarı pompalanması	60
Şekil 4. 3 Patlatma sonrası ortaya çıkan zararlı gaz.....	61
Şekil 4. 4 Tünel içindeki havalandırma sorununun fantüp ile çözümü.....	62
Şekil 4. 5 Göçük veren ayna	63
Şekil 4. 6 Göçüğün tahkimata verdiği zarar.....	64
Şekil 4. 7 Göçük sonucu süren uygulaması	64

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1 Hidromek 102s Kazıcı Yükleyici performans bilgileri.....	13
Tablo 2. 2 Yükleyici performansı.....	14
Tablo 2. 3 Delik delme makinesi (Jumbo) teknik özellikleri	16
Tablo 3. 1 Q ve RMR Değerine Göre Kaya Sınıflaması.....	24
Tablo 3. 2 Orijinal ve güncel ESR değerleri	26
Tablo 3. 3 Kazı destek oranı (ESR) değerleri.....	29
Tablo 3. 4 R.M.R sistemi kayaç sınıfları.....	30
Tablo 3. 5 RMR Kaya sınıflama sistemi son versiyonu	31
Tablo 3. 6 RMR Sisteminde kullanılan destek sistemleri kılavuzu.	34
Tablo 3. 7 RMR'ye göre izin verilebilir net taşıma gücü.....	35
Tablo 3. 8 Hoya formasyonu Q kaya sınıflamasına göre.	35
Tablo 3. 9 Tünel güzergahında geçilen formasyona ait RMR kaya sınıflama parametreleri	42
Tablo 3. 10 Tünel güzergahı 0+000.00- 0+500.00 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması	43
Tablo 3. 11 Tünel güzergahı 0+500.00- 1+000.000 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması	43
Tablo 3. 12 Tünel güzergahı 1+000.00-1+500.00 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması	43
Tablo 3. 13 Tünel güzergahı 1+500.00- 2+000.00 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması	44
Tablo 3. 14 Kaya sınıflarının ortalama desteksiz kalma süresi	45
Tablo 3. 15 Kalıcı destek (tahkimat) sisteminin seçimi.	48
Tablo 3. 16 RMR'ye göre izin III ve IV. Sınıfta izin verilebilir net taşıma gücü	48
Tablo 3. 17 A2 Sınıfı destekleme	49
Tablo 3. 18 A3 Sınıfı destekleme	50
Tablo 3. 19 Tünel destek tasarımı ve kaya sınıflama yöntemi	50

Tablo 3. 20 Projede uygulanan kuru sistemde shotcrete dizaynı	54
Tablo 3. 21 İletim tüneli toplam tahkimat işleri miktarı	57
Tablo 5. 1 İletim tüneli yatırım maliyeti	65

SEMBOL LİSTESİ

RMR	: Kaya kütle indeksi
CSIR	: Jeomekanik sınıflama sistemi
RQD	: Kaya kalite değeri
ISRM	: Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği

ÖZET

ÇAĞLAYAN REGÜLATÖRÜ VE HES PROJESİ İLETİM TÜNELİNDE UYGULANAN KAZI VE DESTEK SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çağlayan Regülatörü ve HES Projesi, Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi sınırları içerisinde, Ulu Dere (Çağlayan I Regülatörü) ve Erikli Deresi (Çağlayan II Regülatörü) üzerinde yer almaktadır.

Proje mansabında Karakaya Barajı bulunmaktadır. Proje yaklaşık 2 yıl gibi bir inşaat süresine sahiptir. Çağlayan I Regülatör'ünden geçen sular iletim kanalına ulaşacaktır. Kanalın uzunluğu 873,58 m'dir. İletim kanalı I'ı geçen sular iletim tüneline ulaşacaktır. Tünelin kesiti at nalı şeklindedir. Tünelin uzunluğu 1.967,09 m, kazı çapı 4,00 m ve iç çapı 3,80 m'dir.

Bu tezde, Çağlayan Regülatörü ve HES projesinde inşa edilecek olan 1.967,09 m uzunluğundaki iletim tüneline uygulanacak kazı ve destekleme yöntemlerinin uygulama ve maliyet açısından incelenmesi, zemin cinsine göre seçilecek kazı ve destekleme sistemi uygulamalarının incelenmesi, elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, emniyetli çalışma için uygulama sırasında alınacak önlemlerin gözden geçirilmesi amaçlanmıştır.

SUMMARY

EVALUATION OF EXCAVATION AND SUPPORT SYSTEMS OF ÇAĞLAYAN REGULATOR AND HEC PROJECT TUNNEL

Çağlayan Regulator and HEC Project, located in the district of Çüngüş, Diyarbakır and located on Ulu River (Çağlayan I Regulator) and Erikli River (Çağlayan II Regulator).

Karakaya Dam stands at the river mouth of the project. The Project is supposed to be completed within two years. Water from Çağlayan I Regulator will get through the conveyance channel. The length of the channel is 873,58 m. Water following Conveyance Channel I will reach to the conveyance tunnel. The section of the tunnel is shaped like a horseshoe. The length of the tunnel is 1.967,09 m and the diameter of the excavation of 4,00 m and finally the inner diameter is 3,80 m.

This thesis aims the examination of excavation and support methods that will be conducted in the tunnel that has length 1.967,09 m, for the Çağlayan I Regulator and HEC Project in terms of implementation and cost; the implementation of excavation and support methods in accordance with the chosen ground, the evaluation of datum statistically, and ultimately the rehearsal of precautions taken during the implementation to ensure a safe operation.

1. GİRİŞ

Çağlayan Regülatörü ve HES Projesi Diyarbakır'ın Çüngüş ilçesi dahilinde, Ulu ve Erikli Dere'leri üzerinde inşa edilmektedir. Projenin amacı enerji üretimi olup proje tamamlandığında 17.319 MW enerji üretecektir. Sulama ve taşkın kontrolü hususlarında ise ayrıca inceleme, araştırma ve geliştirme yapılmamıştır.

Dolu beton gövde olarak tasarlanan Çağlayan I ve Çağlayan II Regülatörünün sırasıyla sol ve sağ sahilinden alınacak olan su, Çağlayan HES'e trapez kesitli iletim kanalı ile iletilecektir.

Çağlayan I Regülatörü 523451.4 Doğu, 4242005.8 Kuzey koordinatlarında Ulu dere üzerinde 1050.0 m talveg kotunda, Çağlayan II Regülatörü 522263.1 Doğu, 4238118.5 Kuzey kordinatlarında Erikli Deresi üzerinde 1048.65m talveg kotunda, santral binası ise 520550.7 Doğu, 4239693.3 Kuzey kordinatlarında yer almaktadır.

Çağlayan Regülatörü ve Hes Projesi inşaatı çalışmaları 15.07.2012 tarihinde başlamış olup projenin 2 yıl içerisinde tamamlanması planlanmaktadır. Projenin inşaatı tamamlandıktan sonra ömrünün 49 yıl olması planlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. YENİ AVUSTURYA TÜNEL AÇMA YÖNTEMİ (NATM)

Teze konu olan Çağlayan Regülatörü ve HES projesi iletim tünellerinde kazı yöntemi olarak NATM kullanıldığı için, bu bölümde NATM yönteminden kısaca bahsedilecektir.

Modern tünelcilik yaklaşımlarının en önemlisi, temelleri Avusturyalı Prof. L.V. Rabcewics (1963) tarafından atılan ve Müller (1978) tarafından geliştirilen, ülkemiz literatürüne de Vardar (1979) tarafından taşınan Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemidir (NATM). Bu yöntemde ana amaç tüneli çevreleyen kaya ya da zemin ortamlarda nihai kaplama imal edilmeden önce bir takım iyileştirme önlemleri alınarak kaya ortamının kendi kendini taşıtmak ve tünelin açılmasıyla ortaya çıkacak olan gerilme ve deformasyonların kabul edilebilir bir değerde tutulmasını sağlamaktır. Adı geçen iyileştirme önlemleri güncel uygulamalarda püskürtme beton, çelik hasır, çelik iksa takımları, kaya bulonları, zemin çivileri, tünel aynası ya da duvarlarından yapılan enjeksiyonlar, jet-enjeksiyonları ve önsürenler olarak uygulanmaktadır (Vardar, 1979).

NATM yönteminin eski tünelcilik anlayışından farklılıkları Vardar tarafından 22 maddede özetlenmiştir. Bunlar içinde en dikkat çekici olanı duraylılığın kaplamanın kalınlığına değil, çeşitli farklı etmenlere bağlı oluşudur. NATM'nin sanıldığı gibi bir sağlamlaştırma yöntemi olmayıp, yeraltındaki tüm etmenlerin anlaşılmasından sonra en uygun organizasyon, kazı ve sağlamlaştırma işlemlerinin tümünü belirleyen ve kaya ortamın kendi kendini taşımasını sağlama girişimleri olarak tarif edilmiştir (Vardar, 1979).

Özellikle püskürtme beton teknolojisinin gelişimi ve geçici tahkimat sisteminde en belirgin eleman olması yöntemin uygulanışını yaygınlaştırmıştır (Çeçen, 2007).

NATM ilk önce Avusturya, Fransa, Almanya, İsviçre ve İtalya'da uygulanmaya başlamıştır. Bu yöntemin dünyaya yayılımı hızlı olmuştur. İlk uygulamalardan biri olan Frankfurt metrosunda tünel açımına 1969 yılında iç içe tabakalı kil, marn, kireçtaşı ve kumtaşında başlanmıştır. Üstteki örtünün sadece 6,2 m olduğu tarihi Roemer binasının altından geçirilmiştir. Bu alanda binanın oturması 36 ve 44 mm ile sınırlandırılmış olup, binanın zarar görmesi engellenmiştir. Bir başka başarılı uygulama Meksiko City'deki Emisor Central kanalizasyon tüneline olmuştur. Bu tünelde yakın aralıklı eklemlere sahip volkanik kayaktan gelecek kum ve su akmaları problemine karşı koymak en büyük amaç olmuştur. Tüneli stabilize etmek için 100 mm kalınlığında püskürtme beton uygulanmış ve kemer 3 m uzunluğundaki delikli kaya bulonlarıyla desteklenip 100 mm'lik ikinci kat püskürtme beton tabakası yapılmıştır (Louis, 1986).

NATM ile açılan güncel tünel uygulamalarında ;

1. Kazı sıralaması, üst yarı, alt yarı ya da daha fazla parçadan oluşmaktadır ve kazılarda genellikle roadheader, beko, jumbo vb. tipi kazıcılar kullanılmaktadır.
2. Kazı adımları tamamlanır tamamlanmaz püskürtme beton, çelik hasır, çelik iksa takımları bileşenlerinden oluşan geçici tahkimat sistemi inşa edilir.
3. Gerekli görülen durumlarda kazı adımından önce ayna üst yarısından enjeksiyonlu ya da enjeksiyonsuz önsüren boruları çakılır.
4. Parçalı kazı adımı tamamlanınca aynanın parçalı kısmından zemin çivileri çakılarak püskürtme beton uygulanır ve ayna donatılandırılarak, stabilitesi sağlanır.
5. Yöntemin güvenle uygulanabilmesi için zeminde drenaj, zemin dondurma ya da zemin enjeksiyonu gibi ek iyileştirmeler uygulanır.
6. Yöntemin öngördüğü en önemli koşul, kazı ve destekleme sırasında sürekli olarak deformasyon ve oluşan gerilmelerin ölçümü yapılarak güvenliğin sağlanmasıdır (Çeçen, 2007).

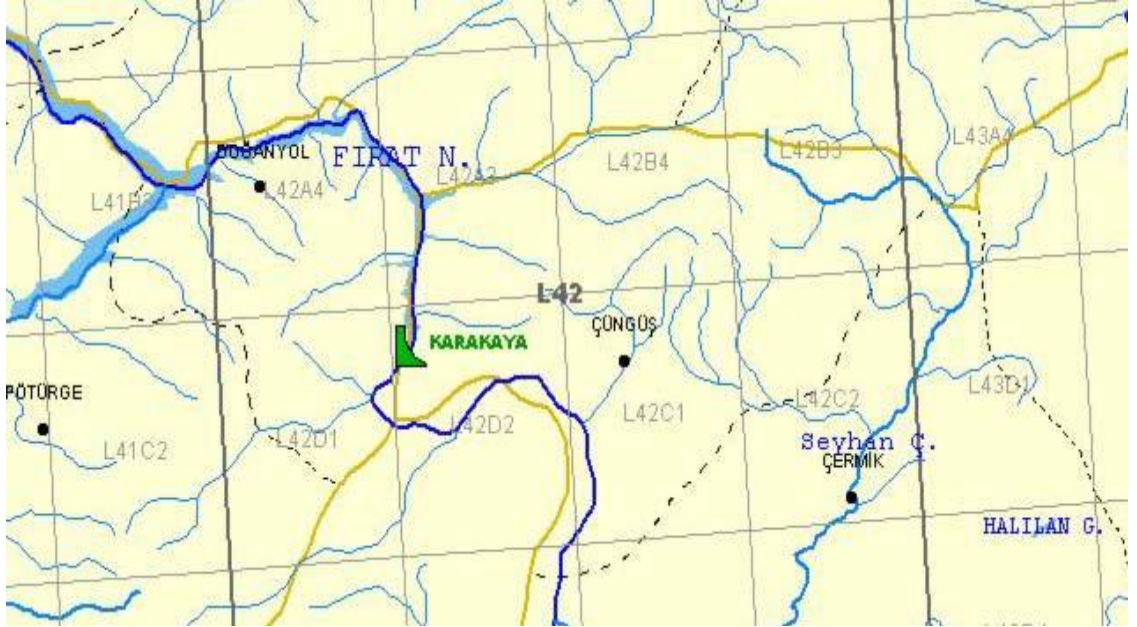
2.2. PROJE HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.2.1. Projenin Yeri

Çağlayan Regülatörü ve HES Projesi, Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi sınırları içerisinde, Ulu Dere ve Erikli Deresi üzerinde yer almaktadır. Elazığ L42-a3, b4 No'lu 1/25000'lik haritada, Çağlayan I Regülatörü 523471.9 derece doğu, 4242012.8 derece kuzey

koordinatlarında Ulu dere üzerinde 1042.50 m talveg kotunda, Çağlayan II Regülatörü 522240.1 derece doğu, 4238144.7 derece kuzey koordinatlarında Erikli deresi üzerinde 1044.80 m talveg kotunda, santral binası ise 520555.8 derece doğu, 4239712.6 derece kuzey koordinatlarında yer alacaktır. Projenin amacı sadece elektrik enerjisi üretmek olup, sulama ve taşkın kontrolü gibi amaçları bulunmamaktadır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

Çağlayan Regülatörü ve HES Projesi Fırat Havzası'nda Ulu Dere ve Erikli Deresi üzerinde yer almaktadır. Proje mansabında Karakaya Barajı bulunmaktadır. Ayrıca projenin mansabında Çardaklı HES Projesi planlanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1 Projenin civar tesisler ile olan ilişkisi

2.2.2 Proje Kapsamında İnşa Edilecek Tesisler

- 6,00 m genişlik ve 7,00 m yükseklikteki net açıklığa sahip radyal kapaklı Çağlayan I Regülatörü ve talvegden yüksekliği 3,80 m ve savak uzunluğu 15,0 m olan dolu gövdeli Çağlayan II Regülatörü,
- 1.759,78 m uzunluğunda, 3,00 m taban genişliğinde, 1,90 m yüksekliğinde, 0.0004 eğimli, dikdörtgen kesitli iletim kanalı I, 1.967,09 m uzunluğunda, 3.80 m iç çapında, 0.0004 eğimli, atnalı kesitli iletim tüneli ve 2.244,48 m uzunluğunda, 2,40 m taban genişliğinde, 1,40 m yüksekliğinde, 0.0004 eğimli, dikdörtgen kesitli iletim kanalı II,

- 50,0 m uzunluğa, 10,0 m genişliğe ve 9,20 m derinliğe sahip yükleme havuzu,
- 481,06 m uzunluğunda 1,70 m iç çapında cebri boru,
- Üç adet 4.50 MW güce sahip Francis türbin içeren santral binası. (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3. Çağlayan Regülatörü ve HES Projesi Yapıları ve Karakteristikleri

2.2.3.1. Çağlayan I Regülatörü

Çağlayan I Regülatörü Ulu dere üzerinde 1050.0 m talveg kotunda inşa edilecektir. Çağlayan I Regülatörü dolu gövde ve yandan alıslı tipindedir. Su alma ağzı ve silt tutma havuzu sol sahil tarafındadır. Su yüksekliği 1055.0 m'dir. Su alma ağzını geçen sular 3,00 m genişliğinde ve 40,0 m uzunluğundaki iki adet silt tutma havuzuna ulaşılacak ve bu havuzda çapı 0,2 mm'den küçük olan partiküller yardımıyla dere yatağında bırakılacaktır. Silt tutma havuzunun taban eğimi 0.01 alınmıştır. Dolusavak taşkın debisi 294,72 m³/s'dir. Dolusavaktan sonra 32 m uzunluğunda 24 m genişliğinde enerji kırıcı havuz yapılacaktır. Bu sayede taşkın debisi herhangi bir hasar vermeden mansaba aktarılacaktır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3.2. Derivasyon

Proje yaklaşık 2 yıl gibi bir inşaat süresine sahiptir. İnşa süresince yapılacak olan derivasyon 10 yıllık taşkın debisine göre planlanmıştır. Çağlayan I Regülatörü için bu debi 177,15 m³/s'dir. Derivasyon yapısının kapasitesi bu debiyi geçirecek kadar olacaktır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3.3. Çağlayan II Regülatörü

Çağlayan II Regülatörü Erikli Deresi üzerinde 1048.65 m talveg kotunda inşa edilecektir. Regülatör yerine mevcut yollardan ulaşmak mümkündür. Çağlayan II Regülatörü dolu gövde ve yandan alıslı tipindedir. Su alma ağzının giriş taban kotu talvegden 2,97 m yükseklikte 1051.62 m kotundadır. Su alma ağzının önünde biriken partikülleri mansaba aktarmak için yapılacak olan çakıl geçidi, 6,09 m³/s kapasiteye sahiptir ve taşkın esnasında dolusavak ile beraber çalışılacaktır. Çakıl geçidi enerji kırıcı havuza açılmaktadır. Dolusavaktan sonra 17,0 m uzunluğunda, 22,0 m genişliğinde enerji kırıcı havuz yapılacaktır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3.4. İletim Kanalı I

Çağlayan I Regülatörü'nde su alma yapısı ve silt tutma havuzunu geçen sular iletim kanalına ulaşacaktır. İletim kanalının geçeceği arazinin eğimi ve jeolojik durumu nedeniyle, kanalın kesitinin trapez olmasına karar verilmiştir. Kanalın uzunluğu 873,58 m ve 1,0 m taban genişliğinde olmasına karar verilmiştir. Su yüksekliği 1,47 m olacaktır. Kanalda 8,35 m³/s'lik debi olacaktır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3.5. İletim Tüneli

İletim kanalı I'ı geçen sular iletim tüneline ulaşacaktır. Tünelin kesiti atnalı şeklindedir. Tünelin uzunluğu 1.967,09 m olup, tünelin iç çapı 3,80 m ve kazı çapı 4,00 m'dir. Bu çapta ve 0.0004 eğimde 5,40 m³/s'lik debi geçerken su yüksekliği 1,64 m, su hızı 1,24 m/s, olmaktadır ve maksimum kapasitede %55 doluluk oranına ulaşılmaktadır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).



Şekil 2. 2 İletim tüneli güzergahı

2.2.3.6. İletim Kanalı II

Çağlayan II Regülatörü'nde su alma yapısı ve silt tutma havuzuna geçen sular iletim kanalına ulaşacaktır. Kanalın uzunluğu 886,19 m'dir. Kanalın eğimi 0.0009 olarak belirlenmiştir. Kanalda 2,15 m³/s'lik debi geçerken su yüksekliği 0,91 m olacaktır. 0,19 m hava payı yeterli görülmüştür ve kanalın yüksekliği 1,10 m olarak alınmıştır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3.7. Yükleme Havuzu

İletim kanallarından cebri boruya geçiş yerinde bir yükleme havuzu bulunacaktır. Havuzun esas görevi, ünitelerin yüke girmesinde yeterli miktarda hazır su bulundurulması, yükten çıkma halinde suların iletim kanalı bölgesinde kontrolsüz bir şekilde çevreye dağılması yerine, taşıma savağı vasıtası ile çevreyi tahrip etmeden dere kotuna indirilmesini temin etmektir. Yükleme havuzunda normal su seviyesi 1050,79 m'dir. 1050,89 m taşıma savağı kotudur. Maksimum su seviyesi 1051,36 m ve havuz duvarı üst kotu 1051,56 m olacaktır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3.8. Cebri Boru

Cebri boru 1 adet olup 1,75 m çapında 590,0 m uzunluğundadır. Kurulu güç, kanal eğimi ve cebri boru çapı optimizasyonu neticesinde maksimum türbin debisi $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ve optimum cebri boru çapı 1,75 m olarak belirlenmiştir (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.2.3.9. Santral Binası

Santral binası iki adet 8659 Kw gücünde Francis türbin, jeneratör grupları, iç ihtiyaç trafoları, montaj holü, kontrol odası ihtiva etmektedir. Santral binasının dışına iki adet transformatör yerleştirilecektir (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).



Şekil 2.3 Çalışma alanının uydu görüntüsü

2.3 ÇALIŞMA ALANI GENEL JEOLJİSİ

Proje alanı, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi sınırlarında yer almaktadır. Konum itibarı ile proje alanı, güneyinde yer alan Çermik ilçesinin hemen güneyindeki Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağının güneyinde, kenar kıvrımları bölgesinde bulunmaktadır. Proje alanı ve yakın çevresinde otokton ve allokton kaya birimleri yüzeylemektedir.

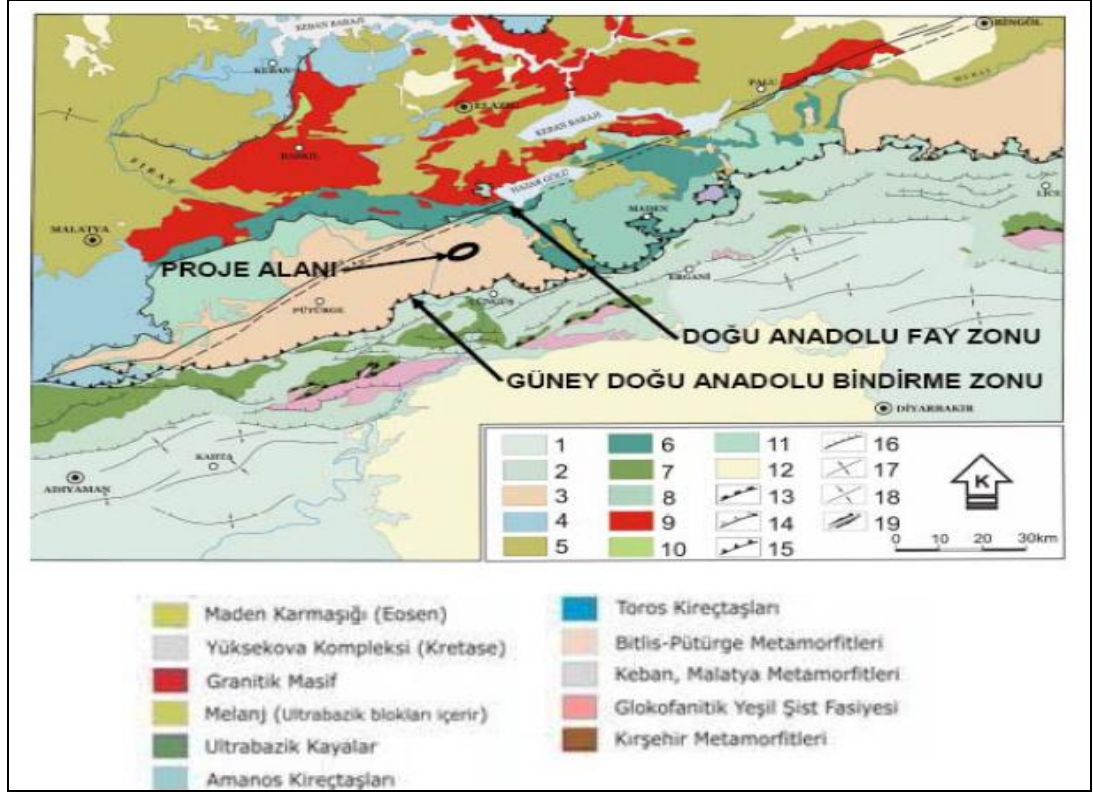
Güneydoğu Anadolu'da en eski Paleozoyik yaşlı otokton kayalar Mardin'in Derik ilçesi civarında yüzeylemektedir. Bunlar yaşlıdan gence doğru Telbesmi formasyonu, dolomit formasyonu, Hazro Gomanibrik Formasyonudur. Bu birimler genellikle kırıntılı ve karbonat kayalardan oluşmaktadır.

Karbonatlı kayalar Güneydoğu Anadolu'da mesozoyik triyasla başlayıp kretase sonuna kadar uzanan sığ deniz ortamında çökelmiş sürekli bir sediman istifini temsil eder.

Triyas oluşukları Hazro bölgesinde Goyan ve Çığlı grubu olarak kırıntılı ve karbonat özellikte olmak üzere alttan üste doğru Yoncalı Formasyonu, Uludere Formasyonu, Uzungeçit Formasyonu, Areban Formasyonu, Sabunsuyu Formasyonu, Korudağ Formasyonu, Derdere Formasyonu, Karababa Formasyonu, Germav Grubu kayalarından oluşmaktadır (Sungurlu, 1974).

Proje alanında ve yapı yerlerinde yüzeyleyen Midyat grubu, Silvan grubu ve Koçali karmaşığına ilişkin kaya türleri yüzeylemektedir.

Allokton özellikteki kayalar ise Pötürge Metamorfikleri, Guleman Grubu, Karadut Karmaşığı, Koçali Karmaşığı, Hezan Grubu, Yüksekova Karmaşığı Çüngüş Formasyonu, Maden karmaşığı oluşturur.



Şekil 2. 4 Proje alanı jeolojik yapısı

Çüngüş Formasyonu: Litoloji olarak Lice formasyonuna çok benzese de, renginin daha koyu olması aşırı konum bozumlu, bloklu olması ile ondan ayrılır. Kahverengimsi gri gri sarımsı , gri açık, kırmızı şeyl marn kumtaşı ardalanmasından oluşur. Birim içindeki blokların çoğu, Maden karmaşığından ortama katılmış olan olistolitlerdir. (Sungurlu,1974).

2.3.1. Stratigrafik Jeoloji

Genel ve stratigrafik jeoloji değerlendirmelerinde, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin stratigrafisi, Elazığ L42 (1/100000) ölçekli jeoloji paftası ve açıklamalardan yararlanılmış arazi çalışmalarında elde edilen veriler raporlarla karşılaştırılmıştır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

Çağlayan Regülatörü ve HES projesi yapı yerlerine gözlenen birimler ayrıntılı olmak üzere, proje alanındaki kaya birimleri aşağıda açıklanmıştır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

2.3.2. Alt-Orta Eosen

Otokton özellikteki Midyat grubuna ait olan Hoya Formasyonu, bölgede Fırat yatağına paralel olarak her iki sahilde de izlenmektedir. Hoya Formasyonu, tabanda yaklaşık 100 m kalınlığında bölgesel çalışmalarda ayrı bir birim olarak tanımlanıp Kavalköy Formasyonu olarak adlandırılan kaya türleri ile başlamaktadır. Formasyon olarak alt seviyelerde egemen litoloji; killi kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşıdır. Killi kireçtaşı seviyeleri orta kalın tabakadır. Dolomitik ve kireçtaşı seviyeleri kalın masif tabakalıdır. Bu kısımlar gri renklidir. Bu aralanma üzerine gelen Hoya Formasyonu kalın tabakalı kireçtaşı seviyesi ile başlar. Üste doğru masif görünümlü dolomitik kireçtaşlarına geçer. Bu kısımların görünümü koyu gri renklidir. Üstte doğru Nummulites’li kireçtaşlarına geçer (Perinçek, 1979).

2.3.3. Üst Miyosen

Kumtaşı- kıltaşı ve killi kireçtaşı aralanmasından oluşan katalastikler tanımlanan birim tünel çıkışından sonra kanal güzergahı, yükleme havuzu, cebri boru ve santral yerinde temel kayayı oluşturmaktadır. Birimi oluşturan kaya türleri ince- orta tabakalıdır.

Kuvaterner –yamaç malozu; killi, çakıllı ve bloklı malzemelerden oluşan, özellikle vadilerin tabanına yakın kısımlarda görülen yamaç molozu kalınlığı genel olarak 1-3 m arasında değişmekte, yer yer 5 metreye kadar ulaşabilmektedir. Dik yarlar oluşturan kireçtaşlarından gelişen yamaç molozları bloklı olup yer yer akmalıdır. Yamaçlarda bazen duyarsızlık arzeden kaya döküntüleri görülmektedir (Perinçek, 1979).

2.3.4. İletim Tüneli Jeolojisi

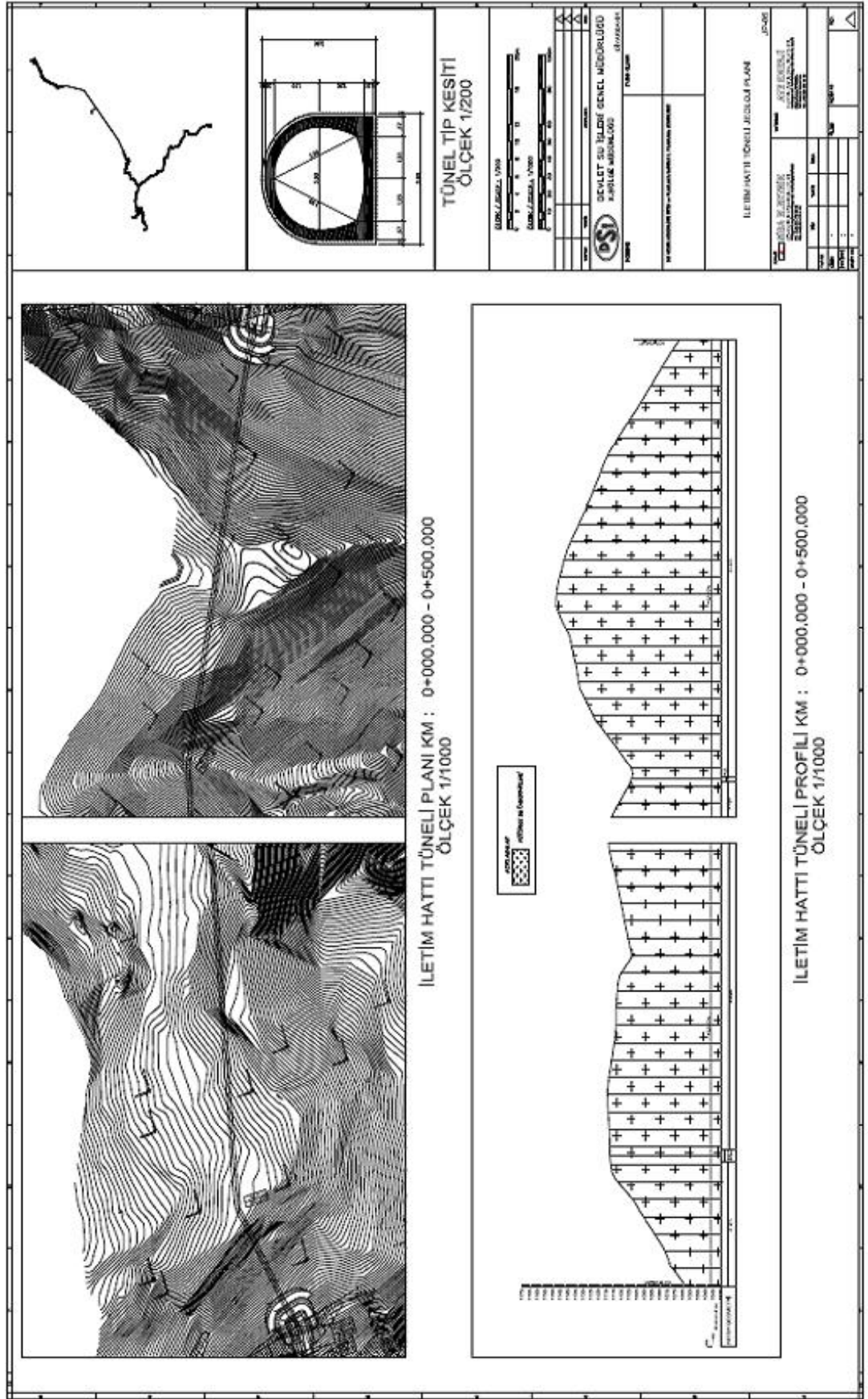
İletim tüneli güzergahında Pütürge metamorfiteğine ilişkin şistler yer almaktadır. Regülatör I yerinden itibaren kanal güzergahında Alkanat Mahallesi’ne kadar olan kısımda yapım açısından bir sorun bulunmamaktadır. Alkanat mahallesinde kaynak boşalımı ve kaptaj görülmesine karşın mahalle deresinden Söğüt dere yatağına kadar herhangi bir boşalım görülmemiştir. Aynı bölgede yüzeysel moloz akması vardır. Bu bölgede blok ve çakıl boyutundaki kaya parçaları güzergahın üst kotlarından dere kotuna kadar kısmi veya belirli bölgelerde kümelenerek yamaç molozu akıntısını oluşturmuştur. Alkanat Mahallesi ve Ekinlik Mahallesi arasında yer alan bölgedeki sırt kayalıktır. Bu bölgede masif görünümlü şistler bulunmaktadır. Tünel kazısı yer yer

patlatmalı yapılmaktadır. Aynı bölgeden geçen Mahalle Deresi'nin her iki yakasında akmalı yapı gözlenmektedir. Ancak güzergahın bu kısmında şistler yüzeylemektedir. Şistozite nedeniyle düzlemsel kayma gelişme olasılığı olan mahalle deresinin mansap kısmındaki yüzü dere yatağına doğru kayalık olan kısmı da patlatmalı kazı gerekmektedir. Bu kısımda düzlemsel kaymaya karşı önlemler alınması gerekmektedir (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

Alüvyon, proje alanında genelde kötü boylanmalı, kısmen orta boylanmalı, köşeli, nadiren yarı yuvarlaktır. Alüvyal çökeller genellikle tortul, volkanik ve magmatik kökenli, yarı yuvarlak, az köşeli tanelerden oluşmaktadır. Alüvyon kalınlığının Regülatör I ve iletim tüneli yerinde 1-4 m, santral yerinde 1-5 m arasında olduğu tahmin edilmektedir (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

İletim tünelinin 0+000.00- 1+967.09 Km arasında şist, mikaşist, kalkışist kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kiltası birimleri yer almaktadır. İletim tüneli güzergahında yüzeyleyen Hoya formasyonuna ait kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı seviyeleri sert, sağlam ve dayanımlıdır. Yer yer yüzeysel ayrışma ve yamaç molozu örtüsü izlenmektedir. Güzergah boyunca kalınlığı 1-3 m arasında değişen, yer yer 5 m'ye ulaşan yamaç molozu oluşumları gözlenmektedir. İletim hattında taşıma gücü ve duraylılık problemi bulunmamaktadır.

Kumtaşı-kiltası- killi kireçtaşı ar dalanmasının olduğu kısımlarda ise yamaç molozu örtüsü daha yaygın olarak izlenmektedir. Kiltaları zayıf özellikte olmasına karşılık taşıma gücü açısından problem bulunmamaktadır (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).



Şekil 2. 5 İletim tüneli jeolojik kesit görünümü

2.4. KULLANILAN MAKİNE VE EKİPMANLAR

2.4.1 Kazıcı – Yükleyici (Beko- Loder)

İletim tüneline kazı için kullanılan makine Hidromek 102s Beko loder'dir (Şekil 2.6). Tünel iç çapına uygun olarak alınan makine kayacın kazılabilirlik durumuna göre kullanılmakta yada del-patlat yöntemi ile kazı yapılmaktadır. Makineye ait teknik özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2. 6 Kazıcı Yükleyici (Beko-loder), Yükleyici (Loder)

Tablo 2. 1 Hidromek 102s Kazıcı Yükleyici performans bilgileri

YÜKLEYİCİ PERFORMANSI		KAZICI PERFORMANSI	
Açılır tip kepçe kapasitesi (m ³)	1.1	Arka kepçe kapasitesi (m ³)	0.17
Kepçe koparma kuvveti (kgf)	7203		
Kol koparma kuvveti (kgf)	6513	Kepçe koparma kuvveti (kgf)	6209
Azami yüksekliği kaldırma kapasitesi (kg)	3016		
Maksimum kaldırma kapasitesi (7'4")	3992	Kol koparma kuvveti (kgf)	2983
Maksimum kaldırma kapasitesi (7'8")	3923		

2.4.2. Yükleyici (Loder)

Kazı sonrası pasa yükleme ve tünel içinde yardımcı işlerde kullanılmak üzere Volvo Loder L90F kullanılmaktadır (şekil 2.7). Makineye ait teknik zellikler, Tablo 2.2’de verilmiştir.



şekil 2. 7 Yükleyici pasa tařırken

Tablo 2. 2 Yükleyici performansı

YÜKLEYİCİ PERFORMANSI	
Açılır tip kepçe kapasitesi (m3)	2.3
Motor gücü (hp)	175
Motor devri (RPM)	1700
Koparma kuvveti (kN)	118,5
Statik devrilme yükü (kg)	9750

2.4.3. Delik Delme Makineleri

Tünel ilerlemesi boyunca yer yer delpat yöntemiyle ilerleme yapılmaktadır. Kayacın kazıcı makinelerle kazılabilmesinin mümkün olduğu yerlerde kazı bu makina ile yapılırken, kayacın nispeten masif olduğu yerlerde del-patlat yöntemi uygulanmaktadır.

Delik delme makinası olarak el tabancası şekil 2.8’de ve delik delme makinası (Jumbo) kullanılmaktadır (şekil 2.9).

Tiger Y20 kaya delme tabancası orta sert ve sert kayalarda dūşey ya da yatay delik delme işlemlerinde; taş ocaklarında, madenlerde, yol inşaatlarında, su projelerinde, büyük maden ocakları ile diğer projelerdeki ikincil patlatma işlemlerinde kullanılmaktadır.

İşlem sırasında yağlamayı sağlamak üzere FY200B modeli hat yağlayıcı tabanca üzerinde bulunmalıdır. İletim tüneline zemin durumuna göre delik delmede ve patar şeklindeki patlatmalarda Tiger Y20 kaya delme tabancası kullanılmaktadır.



Şekil 2. 8 Tiger Y20 kaya delme tabancası

Delik delme makinası sandvik DD321 (jumbo) proje kapsamında sert formasyolarda del-patlat delikleri ve bulon, süren deliklerinin açılması, tünel iç çapı ve tünel içinde hareket edebilme kabiliyeti hesap edilerek alınmıştır (Şekil 2.9). Delik delme makinasının teknik özellikleri verilmiştir (Tablo 2.3).



Şekil 2. 9 Sandvik Jumbo DD321 Delik delme makinesi

Tablo 2. 3 Delik delme makinesi (Jumbo) teknik özellikleri

SANDVİK JUMBO DD321 TEKNİK ÖZELLİKLERİ		
Çalışma basıncı	(bar)	220
Delik çapı	(mm)	43-64
Giriş basıncı	(bar)	2-7
Kapladığı alan	(m ²)	49
Elektrik gücü	(kw)	130
Motor gücü	(kw)	110
Toplam ağırlığı	(kg)	22300

2.5. KAZI ÇALIŞMALARI

Çağlayan Regülatörü ve HES projesi iletim tüneline uygulanacak kazı yöntemi zemin durumuna göre değişmektedir.

2.5.1. Makine İle Kazı

Bu yöntem delme-patlatma yönteminden daha az yıkıcı ve bozucu olduğundan daha az iksa isteyen daha duraylı tünel koşulları sağlamaktadır. Bu nedenle tünel kazısında yaklaşık 50- 60 MPa dayanıma kadar tek eksenli basınç dayanımı olan ve makinenin kazabilmesi için elverişli süreksizlik düzlemi olan kısımlarda makine ile kazı tercih edilmektedir.

Makine ile kazının tercih edilmesinin nedeni kazılabilir sert olmayan zeminlerde rahatlıkla ilerleme yapılabilmesidir. Makine ile kazı yapılırken iş makinelerinden kazıcı-yükleyici ve yükleyici kullanılır. Tünel boyutlarına uygun rahatlıkla girip çıkabilen makinelerin kullanılması tercih edilmelidir. Küçük boyutlu tünellerde genellikle bu tür seçimlerin yapılması fizibilite çalışmaları esnasında önceden yapılmalıdır.

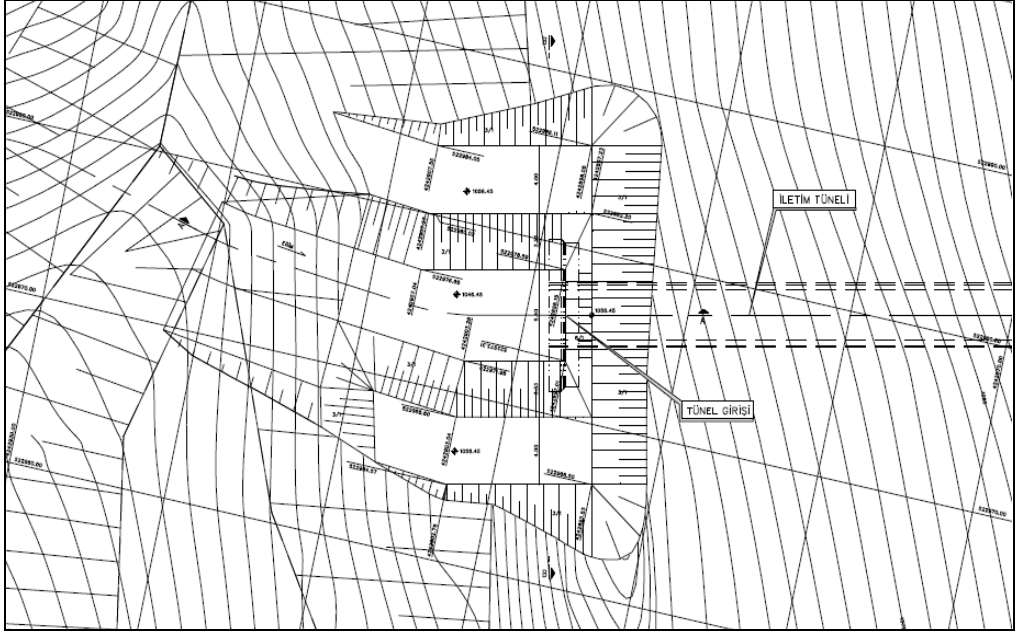


Şekil 2. 10 Kazıcı- yükleyici (Beko-loder) ile kazı yapılırken

NATM yöntemine göre açılan iletim tüneline, planlanan toplam kazı miktarı 25.081,78 m³'tür. Tünel girişi ve çıkışı için alınan makinalar 2 adet yükleyici, 2 adet kazıcı-yükleyici ve 1 adet delik delme makinası (jumbo)'dur.

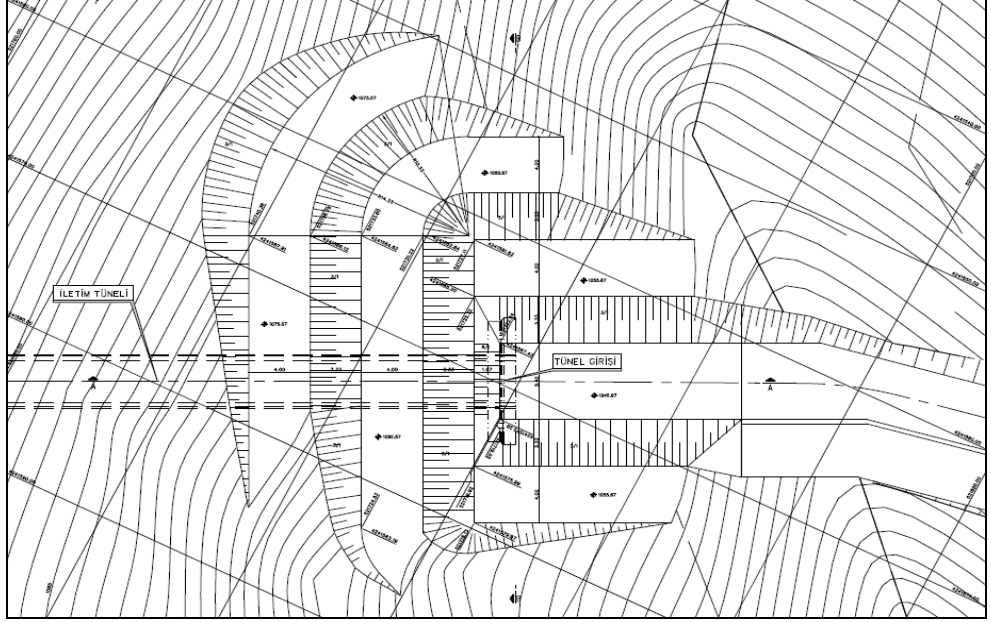


Şekil 2. 11 Yükleyici (loder) ile pasa taşınırken



Şekil 2. 12 İletim tüneli giriş kazı planı

İletim tüneli girişi Km 0+000.0 başlamakta ve Km 1+967.09 ile son bulmaktadır. Şev koruma tedbirleri açısından, şev eğimi 1/6 olan tünel giriş aynasında uygulanmıştır. Şev boyu 10.00 m'dir. Tünel portalı üzerinde kazılan Palya eğimi 1/3'dür. Tünel giriş kazı genişliği 20.07 m 'dir. Su akar kodu 1046.35'dir (Membaa).



Şekil 2.13 İletim tüneli çıkış kazı planı

Şev koruma tedbirleri açısından, şev eğimi çıkış tüneline de 1/6 olarak uygulanmıştır. Şev boyu 10.00 m'dir. Tünel portalı üzerinde kazılan 2 adet palyanın eğimi 1/3'dür. Tünel çıkış kazı genişliği 27.39 m'dir. Su akar kodu 1045.57 m'dir (Mansap).

2.5.2. Del-Patlat İle Kazı

Tünel açılacak yerdeki kayaçları, hızlı ve ekonomik şekilde çıkarmak tünel kazılarının esas amaçlarındandır. Bu işlem yapılırken tünel duvarlarındaki kayaçlara zarar verilemeye dikkat edilmektedir. İyi bir patlatma tasarımı ve kontrolü, tünel çeperinin zarar görmeyecek şekilde olmasına bağlıdır.

Delme-patlatma yöntemi ile ilk aşamada, kayaç delinir. Bu aşamada Jumbo denen delici makine kullanılır. Açılan deliklere önceden kararlaştırılmış cins ve miktarda patlayıcı yerleştirilir. Daha sonra ateşleme mekanizmasıyla patlatma gerçekleştirilir. Duman ve tozun dağılmasından sonra tavan traşlanır, püskürtme beton aynaya kadar yapılır.



Şekil 2. 14 Jumbo ile patlatma deliklerinin açılması

Proje kapsamında alınan Sandvik Jumbo DD321 marka çift bomlu delik delme makinası ayna durumuna göre istenilen şekilde delik delebilmektedir. Aynı zamanda bulon delikleri de jumbo ile açılmaktadır.

Tipik olarak, tünelde günde 1-3 rountluk ilerleme yapılabilir. Her rounttaki ilerleme uzunluğu, kaya kalitesi ve kazı çapına bağlı olarak 0,50-200 cm arasında değişmektedir.

Tünelde ilerleme, ayna genişliğinin %50-95'i kadardır. İlerleme doğrudan iksa isteyen çok kırıklı tünel koşullarında 0,5 m olabileceği gibi geniş çaplı kazıların yapıldığı masif ve kendini destekleyebilen kayalarda 3m olabilmektedir.

Genelde tünel problemleri rutin koşullardan kaynaklanmaz. Özellikle bazı kısımlarda lokal olarak bulunan aşırı kötü/zayıf kayalar sorun yaratmaktadır.



Şekil 2. 15 Açılan deliklerin ateşçi tarafından doldurulması

İstenilen patlatma sonucuna uygun patlayıcı cinsinin seçilmesi ve deliklerin sıkılanması patlatmanın verimi için çok önemlidir. Delme-patlatma işleminin optimizasyonunda, delme işinin hassasiyeti hayati önem taşımaktadır. Hatalı olarak yapılan bir delme işlemi, patlatma güvenliğini tehlikeye attığı gibi maliyet artışı ve zaman kaybına neden olmaktadır.

Ülkemizde, delici makine operatörlerinin büyük bölümü delik delme işinin önemini yeteri kadar kavrayamamıştır. Deliklerin ölçüm yapılmadan gelişigüzel delinmesi, yüzeyde yanlış işaretleme, gereğinden kısa veya uzun delik delinmesi ve delik sapmaları sıkça rastlanan hatalardır. Delici makine operatörlerinin eğitimi ve denetlenmesi hatalı delme işlemlerini büyük ölçüde azalttığından personel eğitimine azami özen gösterilmiştir. “İşletmede ayna boyundan daha kısa delinen delikler ve tırnak problemini önlemek için ayna altında yardımcı delik delinmesi” esasına dayanan eski delme sisteminin iş güvenliği ve ekonomi yönünden sakıncalar taşıdığı görülmüştür. Zira ayna altında delme ve şarj işlemi sırasında meydana gelebilecek bir kaza faturası para ile ölçülemeyecek kadar büyük olacaktır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. İLETİM TÜNELİNDEKİ ÇALIŞMALAR

Çağlayan Regülatörü ve HES iletim tünelinin 1.967,09 m uzunluk ve ve 3,80 m iç çapında ve kazı çapı 4,00 m olduğu daha önceki bölümlerde ifade edilmişti.

Tünel kazısı NATM kullanılarak yapılmaktadır. İletim tüneli Kanal I'den gelen suyu, Kanal II'ye aktaracaktır.

Kazı aşamasında tünel iç çapına göre yükleyici, kazıcı- yükleyici ve delik delme makinası (jumbo) alınmıştır. Kayanın kazılabilirlik durumuna göre iş makinaları ile kazı çok masif yerlerde ise del-patlat yöntemiyle ilerleme yapılmaktadır.

3.1.1. İletim Tüneli Kaya Birimleri

Tünel güzergahında hakim olan kaya birimlerinden bir tanesi Hoya formasyonudur. Alt seviyelerde killi kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşından oluşmaktadır. Killi kireçtaşı seviyeleri orta kalın tabakalıdır. Dolomitik ve kireçtaşı seviyeleri kalın ve masif tabakalıdır. Üst kısımlarda ise kalın tabakalı kireçtaşı ve masif görümlü dolomitik kireçtaşları egemendir. Kireçtaşlarında gelişen eklemler genellikle 30-300 cm, yer yer 10-80 cm aralıklı; 1-15 m süreklilikte, yüzeye yakın kısımlarda açık (0,5-2 cm), derine inildikçe genelde kapalı (0,1-0,5 mm) ve pürüzlüdür. Arazide çekiç darbesine verdiği tepkiye göre killi kireçtaşları düşük- orta dayanımlı (40-70 MPa), dolomitik kireçtaşları dayanımı (50-100 MPa), yer yer yüksek dayanımlıdır (150 MPa). Kireçtaşlarında krastilize seviyeler görülmektedir. RMR ve Q kaya kütlesi sınıflamalarına göre formasyonu oluşturan ve egemen olan dolomitik kireçtaşları iyi kaya özelliğindedir (Sungurlu, 1974).

Proje alanındaki Koçali karmaşığı serpantinit, gabro, piroksenit diyabaz daykları, bazaltik yastık lavlar ve pelajik çökellerden oluşmaktadır.

Proje alanında en genç birimler kuvarterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlarını oluşturmaktadır (Sungurlu, 1974).

Hakim olan diğer kaya birimleri Pütürge metamorfittleridir. Proje alanında, Hazar gölü doğusundan Çelikhan'a kadar geniş bir alanda görülen Pütürge metamorfik masifi yüzeylenmektedir. Metamorfik masif, gözlü gnays, amfibolit, mikaşist ve mermerden oluşmaktadır. Pre - Kambriyen yaşında oldukları öngörülen çekirdek ve örtü üniteleri Geç Kretase sırasında amfibolit ve yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramıştır. (Yazgan ve Chessex, 1991).

Pütürge metamorfik masifi, Bitlis metamorfik masifi ile özellikleri açısından korele edilebilmektedir. Bu korelasyona göre Pütürge masifindeki granitik sokulumlar Pre-Kambriyen, üzerindeki kalkıştler ise Mesozoyik'e uzanan Permiyen yaşında olmalıdır (Robertson vd, 2007).

Pütürge metamorfik masifinde bulunan kaya birimleri, amfibol-granat-mikaşist ve ayrılmamış metamorfik kaya topluluğundan oluşan mikaşistler genellikle pelitik kökenlidir. Doğu Anadolu Fayı'nın her iki tarafında geniş alanlarda yüzeylenen mikaşistler granitik gnaysların üst kesimlerinde yer almaktadır. Mikroskopik incelemelerde lepidogranoblastik ve lepidoporfiroblastik dokularda izlenen bu kayacın içerisinde çatlakları boyunca klorit ve serizit minerallerine dönüşen granat ve kısmen serizitleşme gösteren sodik plajiyoklas porfiroblastları kapsadığı gözlenmiştir. Kaya içinde klorite dönüşen biyotit ile bir miktar muskovit daha ince dokuda iken kayacın geri kalan kısmını oluşturan kuvars ve ditsen kalıntıları daha iri dokudadır. Bunların yanı sıra kalsit, ilmensit ve opak mineraller aksesuar olarak bulunmaktadır. Şistlerin yaşı, muskovitlerde yaşlandırma analizine göre 74 -70 milyon yıldır. Bazı çalışmalarda metamorfikler yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere 3 bölüme ayrılır: arkozik grovaklar, üst mikaşistler ve alt mikaşistler. Metamorfikler içinde bulunan karbonca zengin seviyelere dayanılarak metamorfiklerin sedimanter kökenli olduğu belirtilir. Proje alanında yüzeylenen metamorfik kayalar genellikle granat, beyaz-mika, klorit,

biyotit ve kuvars içeren mikaşistlerdir. Ara katkı ve tabaka olarak klorit şist, kalkışist seviyelerini görmek mümkündür (Yazgan vd, 1987).

3.1.2 Kaya Sınıflama Sistemleri ve İletim Tüneline Uygulanması

Yeraltı kazılarının güvenli ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi, belirlenen kaya sınıflaması ve buna bağlı olarak öngörülen tünel destek tasarımı ile doğru orantılıdır. Günümüz modern tünelciliğinde projelendirmeye esas teşkil eden kaya sınıflamalarında kayanın kütle özelliği dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda tünelcilikte yaygın olarak kullanılan iki önemli kaya sınıflaması vardır. Bunlar: Q Kaya Sınıflama Yöntemi ve RMR Kaya Sınıflama Sistemleridir. NATM ile bütünsellik sergileyen bu yöntemlerde kayanın kütle özelliği Q ve RMR puanını sayısal olarak ifade edilmektedir. Q değeri 0,001 ile 1000 arasında değişmekte olup, en kötü kaya koşulu ile mükemmel kaya arasını kapsamaktadır. Aynı şekilde 0-100 aralığında değişen RMR değerleri 5 kaya sınıfını temsil etmektedir izleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanan bu kaya sınıflamaları arasındaki teorik bağıntı ise şöyledir:

$$RMR = 9 \cdot \log Q + 44$$

Ancak pratikte her iki yöntem tarafından önerilen kaya sınıflamalarının sınırları yukarıdaki bağıntı ile uyumlu değildir. Her iki yöntemde göre kaya sınıfları Tablo 3.1'de verilmiştir (Bieniawski, 1976).

Tablo 3. 1 Q ve RMR Değerine Göre Kaya Sınıflaması (Bieniawski, 1976)

Kaya Sınıfı	Q	RMR
Çok zayıf	<1	<20
Zayıf	(1-4)	21-40
Orta	(4-10)	41-60
İyi	(10-40)	61-80
Çok iyi	(40-100)	81-100
Mükemmel	>100	100

3.1.2.1. Q Kaya Sınıflama Sistemi

Kaya kütlesi kalitesi (Rock Mass Quality =Q) Barton, Lien ve Lunde (1974) tarafından ortaya konmuştur. Q sistemi olarak da bilinen bir kaya kütlesi sınıflama sistemidir. Bu sistemin temeli, (Deere D.U, 1964) tarafından belirtilen RQD tanımlamasının kaya kütlesini tam olarak tanımlamadığı ve aynı RQD değerine sahip iki kayada açılan

tünelde farklı davranış görüldüğü dolayısıyla RQD tanımlamasının geliştirilmesi gerektiği esasına dayanır (Barton vd, 1974).

- a) Yüksek RQD ve 1' den fazla eklem takımı içeren bir kaya ile düşük RQD ve 1 eklem takımı içeren bir kayanın aynı duraylılığa sahip olabileceğini, eklem takımı sayısının RQD ile ters orantılı olduğunu.
- b) Kaya kalitesinin ufak veya orta boylu eklem pürüzlülüklerinden olumlu, alterasyon ve dolgu malzemelerinden olumsuz etkilendiğini.
- c) Eklem suyu ve buna bağlı su basıncı ile kaya yükünün göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuşlar ve kaya kütlesi kalitesini (Q) aşağıdaki gibi tanımlamışlardır.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

RQD = Kaya kalitesi tanımlaması

J_n = Eklem takım sayısı

J_r = Eklem pürüzlülük sayısı

J_a = Eklem alterasyon sayısı

J_w = Eklem su indirgeme faktörü

SRF = Gerilme indirgeme faktörü

Bu parametrelerin farklı kaya koşullarına göre nitelik ve nicelik değişimleri sayısal olarak tanımlanmaktadır. Kaya kütlesinin mühendislik sınıflamasında, 6 parametrenin her biri için ayrı sayısal değerler tesbit edildikten sonra yukarıdaki formül vasıtasıyla Q sayısı bulunmaktadır.

Q değeri ile ilgili olarak yeraltı açıklıklarının duraylılığı ve destek gereksinimleri açısından Eşdeğer kazı boyutu, 'D_e' adını verdikleri bir parametreyi de tanıtmışlardır.

Bu parametre şöyle bulunur;

$$D_e = \frac{\text{Kazının genişliği, çapı veya yüksekliği}}{\text{Kazı destek oranı (ESR)}} \quad (\text{m})$$

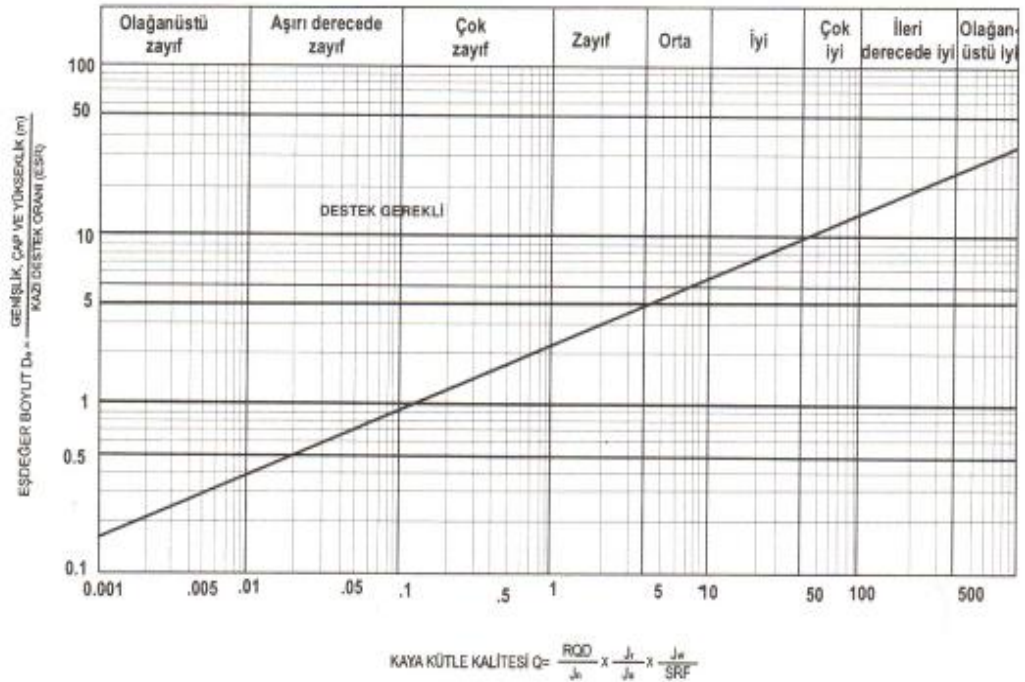
$$D_e = \frac{4,00}{1,60} = 2,5 \text{ m}$$

Kazı çapı 4,00 m olarak alınıp, formülde bu değere göre hesaplama yapıldığında eşdeğer kazı boyutu $D_e = 2,5$ m bulunur. Bu eşitlikteki ESR değeri yeraltı açıklığının duraylı kalabilmesi için yerleştirilen destek sistemi üzerinde etkisi olan bir güvenlik katsayısıdır. Eski ve güncel ESR değerleri şöyledir (Barton vd, 1974).

Tablo 3. 2 Orijinal ve güncel ESR değerleri (Barton vd, 1974)

	Kazı türü	Orijinal ESR	Güncelleştirilmiş ESR
A	Geçici (kısa süreli) maden kazıları	3 - 5	2- 5
B	Uzun süreli (kalıcı) maden kazıları, su tünelleri, geniş yeraltı kazıları	1.6	1.6- 2.0
C	Geniş yeraltı depolama odaları, demiryolu tünelleri, yaklaşım tünelleri	1.3	1.2- 1.3
D	Enerji santralleri, tünel girişleri, büyük karayolu ve demiryolu tünelleri	1	0.9- 1.1
E	Yeraltı nükleer enerji santralleri, demiryolu istasyonları, gaz nakil tünelleri	0.8	0.5- 0.8

Olağanüstü iyi kaya kategorisinden olağanüstü zayıf kaya kategorisine doğru değişen 9 farklı kaya sınıfına sahiptir. Q Sistemi ile ilgili kaya kütlesi sınıfları Q ile D_e arasındaki ilişki Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1 Q ve D_e arasındaki ilişki ve Q sisteminde kaya kütlesi sınıfları (Barton vd, 1974)

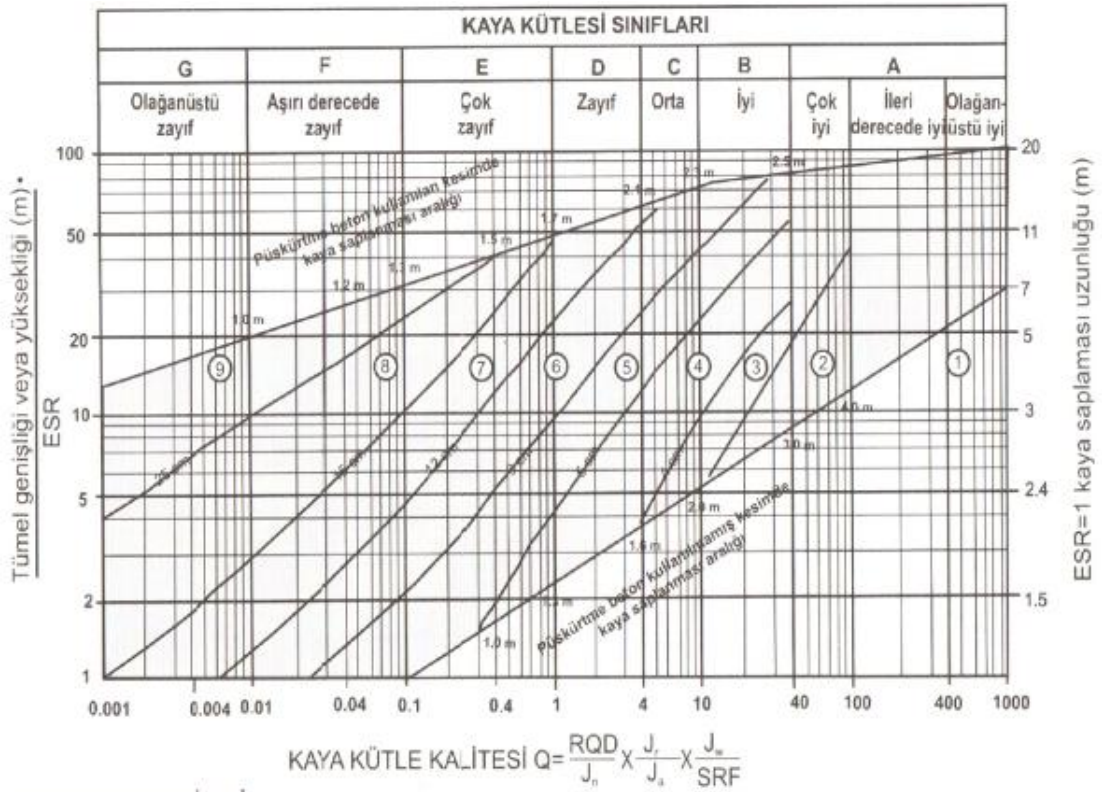
Q Sisteminin Uygulama Alanları

Destek sisteminin seçimi: Q Sistemi destek seçiminde, Şekil 3.2’de verilen haliyle kullanılmaktadır. Buradan bulunan destekler (geçici ve kalıcı) açıklığın tavanı ile ilgili olup yan duvarlar için aşağıdaki önerilen Q değerleri hesaplanarak destek sistemi bulunur (Grimstad ve Barton, 1993).

$$Q > 10 \text{ ise } Q_{\text{duvar}} = 5Q$$

$$0.1 < Q < 10 \text{ ise } Q_{\text{duvar}} = 2.5Q$$

$$Q < 0.1 \text{ ise } Q_{\text{duvar}} = Q$$



DESTEK KATAGORİLERİ

- | | |
|--|--|
| 1) Desteksiz | 6) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton ve bulonlama, 9-12 cm |
| 2) Yerel bulonlama | 7) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton ve bulonlama, 12-15 cm |
| 3) Sistematik bulonlama | 8) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton > 15 cm, güçlendirilmiş Çelik hasırlı püskürtme beton ve bulonlama |
| 4) Sistematik bulonlama (ve takviyeli, püskürtme beton 4-10 m) | 9) Beton kaplama |
| 5) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton 5-9 cm | 5) Lifle güçlendirilmiş püskürtme beton 5-9 cm) |

Şekil 3. 2 Q Sistemi için güncelleştirilmiş destek sisteminin seçimi (Grimstad ve Barton, 1993)

En Geniş Desteksiz Açıklığın (B_{max}) ve Tavan Destek Basıncının (P_{tavan}) Seçimi:

B_{max} aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$B_{\text{max}} = 2ESR \times Q^{0.4}$$

Tavan basıncı (P_{tavan}) ise aşağıdaki formüllerden kestirilebilir.

$$P_{\text{tavan}} = \frac{2Q^{-\frac{1}{3}}}{J_r} \text{ (MPa)}$$

$$P_{\text{tavan}} = \frac{2J_n^{-0.5} \times Q^{-\frac{1}{3}}}{3J_r} \text{ (MPa)}$$

Kaya Saplama (bulon) ve Ankraj Boyutlarının Tahmini:

Her iki destek sisteminin uzunlukları kazı boyutuna bağlıdır. Tavanda kullanılan bulonun uzunluğu genellikle kazının enine, yan duvardaki ise kazının boyuna bağlıdır. Buna göre, inşaat sırasında karşılaşılan durumlara göre değiştirilmek üzere aşağıdaki gibi önerilmektedir (Barton vd, 1974).

$$\text{Tavanda saplama: } L = 2 + 0.15 \frac{B}{\text{ESR}} \text{ (m)}$$

$$\text{Ankraj: } L = 0.4 \frac{B}{\text{ESR}} \text{ (m)}$$

$$\text{Yan duvarda saplama: } L = 2 + 0.15 \frac{H}{\text{ESR}} \text{ (m)}$$

$$\text{Ankraj: } L = 0.35 \frac{H}{\text{ESR}} \text{ (m)}$$

Burada;

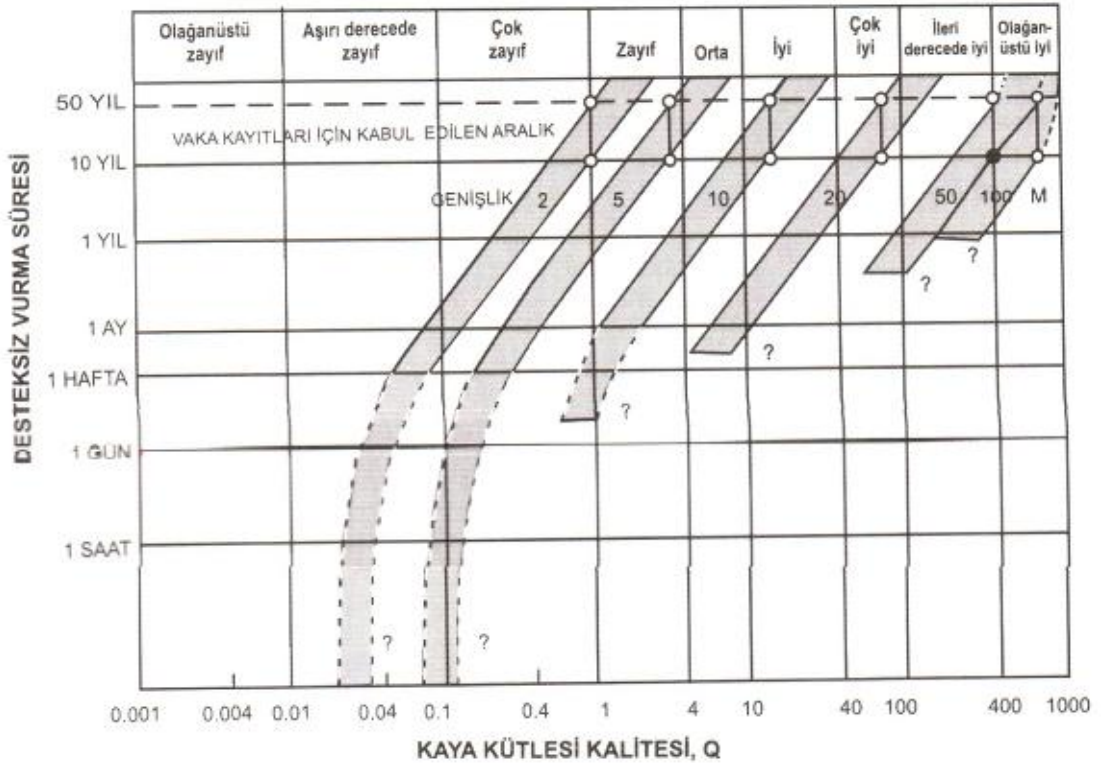
B : Kazı genişliği (m)

H : Kazı boyu (m)

L : Saplama veya ankrajın uzunluğu (m)

Desteksiz Durma Süresinin Tahmini:

Q ile desteksiz kalma süresini gösteren abak Şekil 3.3'de verilmiştir. Bu abakta içi gölgeli olarak gösterilen zarflar, desteksiz bir açıklığın genişliğinin tasarımda planlanan en geniş açıklığı aşması durumunda desteksiz kalma süresinin ne kadar azalacağını tahmin edilmesi amacıyla önerilmiş ilk değerlendirilmeyi temsil etmektedir (Barton vd, 1974).



Şekil 3. 3 Q sistemine göre desteksiz durma süresinin tahmini (Barton vd, 1974)

Tablo 3. 3 Kazı destek oranı (ESR) değerleri (Barton vd, 1974)

	Kazı türü	Kazı destek oranı (ESR)
A	Geçici maden kazıları	3.0-5.0
B	Dikey bacalar (şaftlar): dairesel kesitli, dikdörtgen kesitli	2.5-2.0
C	Kalıcı maden kazıları, HES için su tünelleri, pilot tüneller, ön kazılar	1.6
D	Yeraltı depoları, tesfiye odaları, küçük karayolu veya demiryolu tünelleri	1.3
E	Santral binaları, ana kara demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları	1.0
F	Yeraltı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar, sosyal tesisler	0.8

3.1.2.2. RMR Kaya Sınıflama Sistemi

R.M.R. sınıflama sistemi verilerin toplanması açısından çok fazla avantajlar sağlar ve kısa sürede bir değerlendirmeye gidilmesine imkan verir. R.M.R. sisteminde sınıflama yapabilmek için gerekli olan parametreler aşağıda verilmiştir.

Bunlar;

1. Sağlam kayacın dayanımı,
2. Kaya kütle göstergesi,
3. Süreksizlikler arası mesafe,
4. Süreksizliklerin durumu
 - a) Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü,
 - b) Süreksizlik yüzeyinin iki duvarı arasındaki açıklık ve varsa dolgunun kalınlığı,
 - c) Dolgunun tipi,
 - d) Süreksizliğin devamlılığı,
5. Su durumu,
6. Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi'dir.

Yukarıdaki parametreler laboratuvar ve arazi ölçümleri ile tayin edildikten sonra puanlama yapılır. Bu işlemten sonra elde edilen puana göre, R,M,R, sınıflama sisteminin önerdiği şekilde Tablo 3.4 kullanılarak kayaç sınıflaması yapılır (Bieniawski, 1989).

Tablo 3. 4 R.M.R sistemi kayaç sınıfları (Mehrotra, 1992)

Kayaç sınıfı	R.M.R toplam değeri
I. Çok İyi Kaya	100-81
II. İyi Kaya	80-60
III. Orta Kaya	60-41
IV. Zayıf Kaya	41-21
V. Çok Zayıf Kaya	<20

- Sistem zaman içinde çok sayıda değişikliğe uğramıştır.
- Sistem şu anda 1989 da modifiye edilmiş son hali ile kullanılmaktadır.
- 1973'ten 1989'a kadar 351 farklı uygulamadan derlenen veriler ve kazanılan deneyimler çerçevesinde sistem son halini almıştır.
- Başlangıçta 'CSIR Jeomekanik Sınıflama Sistemi' adıyla kullanılmıştır.
- Uygulama alanı; Tüneller, madenler ve şevlerdir.
- Burada sistemin en son hali üzerinde durulmuştur.

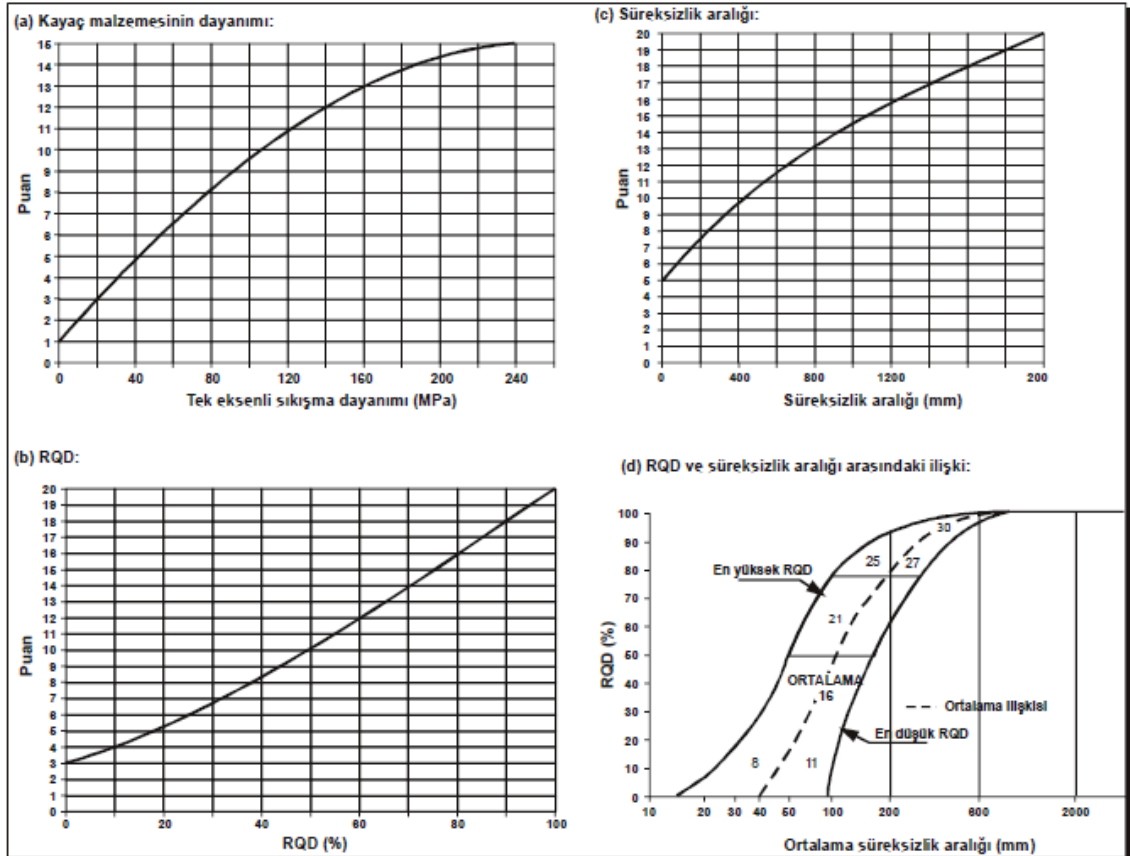
Kaya malzemesinin dayanımına, RQD ve süreksizlik aralığı parametrelerine ait puanların, sınıflama parametreleri çizelgesinde verilen aralıkların yanı sıra, daha duyarlı bir puanlama amacıyla yeni geliştirilen ‘parametre-puan’ grafiklerinden doğrudan belirlenmesi gerekir.

Süreksizlik koşuluna ait; süreksizlik devamlılığı, aralığı ve pürüzlülüğü ile dolgu ve bozunmanın derecesi gibi parametrelerin ISRM 1981 tarafından önerilen tanımlamalara göre gruplandırılıp, her gruba ayrı puan verilerek daha duyarlı bir puanlama yapılmalıdır.

Özellikle yer altı maden işletmeciliği için açılan galerilerde, faylara yakınlık ve gerilme değişimlerinin RMR üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması amacıyla bir dizi düzeltme faktörünün önerilmesi, uzun süreli ölçümler ve gözlemler sonucu, desteksiz durma süresi grafiği yeniden düzenlenmesi gerekir (Singh ve Goel, 1999).

Tablo 3. 5 RMR Kaya sınıflama sistemi son versiyonu (Bieniawski, 1989)

1	Kaya malzemesi dayanımı	Nokta yükü dayanımı indeksi	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Düşük aralıklar için tek eksenli		
		Tek eksenli basınç dayanımı	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
		Puan	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
		Puan	20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik aralığı		>2 m	0.6-2 m	20-60 cm	6-20 cm	<6 cm		
		Puan	20	15	10	8	5		
4			Çok kaba yüzeyler. Sürekli değil. Ayrılma yok. Sert eklem yüzeyleri.	Az kaba yüzeyler. Ayrılma <1 mm. Sert eklem yüzeyleri.	Az kaba yüzeyler. Ayrılma <1mm. Yumuşak eklem yüzeyleri.	Sürtünme izli yüzeyler, fay dolgusu <5 mm veya 1-5 mm açık eklem	Yumuşak fay dolgusu. >5 mm kalınlıktaki veya açık eklem. >5 mm devamlı süreksizlikler.		
		Puan	30	25	20	10	0		
5	Yeraltı suyu	Tünelin 10 m lik kısmı	Yok	10 lt/dk	<25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk		
		Eklemdeki su basıncı oranı	0	0.0- 0.1	0.1- 0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		En büyük asal gerilme oranı							
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
		Puan	15	10	7	4	0		



Şekil 3. 4 RMR Sisteminin 1989 versiyonunda, (a) tek eksenli basınç (sıkışma) dayanımı (b) RQD (c) Süreksizlik aralığı parametreleri için puan hesabı (d) Ortalama süreksizlik aralığından RQD tahmini (Bieniawski, 1989).

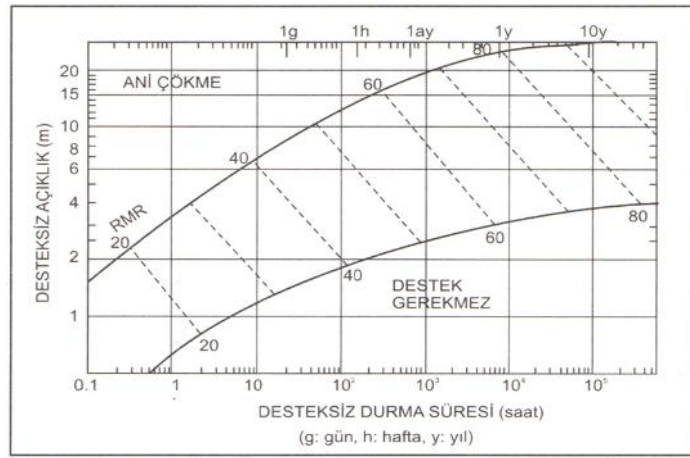
RMR Sınıflama Sisteminin Kullanım Alanları

RMR sınıflama sistemi tünel, galeri, yeraltı odaları gibi yeraltı açıklıklarının kazısı olmak üzere, çok sayıda alanda kullanılmaktadır. RMR sisteminden başlıca 3 önemli veri elde edilmektedir (Bieniawski, 1988).

1. Tüm jeolojik parametrelerin ortaklaşa etkisini yansıtan ve kaya kütlelerinin genel koşulları ile ilişkili 'Kaya Kütle Kalitesi' elde edilen en önemli veridir. Bu veri çalışma sahasındaki kayaları 'Çok iyi kaya' dan 'Çok zayıf kaya' ya kadar tanımlayarak bölgenin harita ve kesitlerinin hazırlanmasına olanak verir.
2. Kaya kütle kalitesi ve kazı yöntemine bağlı olarak, bir kılavuzdan yararlanarak ön tasarım amacıyla destek türü seçmeye olanak verir. Sistem, bu kılavuzla birlikte her kaya sınıfı için; Kaya yükü, desteksiz durma süresi, desteksiz açıklık boyutu gibi parametrelerin tahminine olanak verir.
3. RMR puanı kullanılarak kaya kütlelerinin bazı mühendislik özelliklerinin tahmini mümkündür.

Desteksiz Durma Süresinin Tespiti

- Bir yer altı açıklığının desteksiz durma süresi, açıklığın genişliğine ve desteksiz kısmın uzunluğuna bağlıdır.
- Kemer tipi bir açıklığın desteksiz durma süresi, tavanı düz bir açıklığa göre nazaran daha uzundur.
- Kaya kütesine vereceği zarar (örselenme) az olmak koşulu ile denetimli bir patlatma da desteksiz kalma süresini uzatır.
- En son haliyle, desteksiz açıklığa bağlı olarak desteksiz kalma süresi Şekil 3.5.'den bulunabilir (Bieniawski, 1989).



Şekil 3. 5 RMR'ye göre desteksiz durma süresi - desteksiz tavan açıklığı ilişkisi
(Bienawski, 1989).

RMR ile Destek Basıncının Bulunması

Yeraltı açıklığında kullanılacak destek sistemlerine gelecek basınç, RMR puanından yararlanılarak kestirilebilmektedir. Ünal bu yaklaşımı, yeraltı kömür madenlerinde yaptığı çalışmalardan elde ettiği sonuçlara önermiştir (Ünal, 1983).

$$P = \left(\frac{100 - \text{RMR}}{100} \right) \times \gamma \times B \times S \quad (\text{kN/m}^2)$$

Burada;

P : destek basıncı ($\text{kN/m}^2 = 0.1 \text{ ton/m}^2$)

γ : Kayanın birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

B : Tünel genişliği (m)

S : Gerilme faktörü (yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı).

$$S = \frac{\nu}{(1 - \nu)}$$

Hindistan'da 30 tünelde yapılan ölçümlerden elde edilen destek basıncı ise klasik patlatma yöntemi ve çelik bağ türü destek kullanılan tünellerden elde edilmiştir (Jethwa, 1991).

RMR ile Destek Sisteminin Seçimi

RMR sınıflama sistemi, uğradığı bazı değişiklikler sonucunda son şeklini alan ve Tablo 3.6'da verilen kılavuz kullanılarak, ön tasarım amacıyla uygun destek sistemlerinin seçimine olanak sağlamaktadır.

Bu kılavuz; derinlik (gerilme durumu), tünelin şekli ve boyutları kazı yöntemi gibi faktörlere bağlıdır.

Bu tablo kullanılırken önerilen destek sistemlerinin geçici veya birincil destek sistemi olmayıp kalıcı sistemler oldukları, ayrıca bunların klasik del-patlat yöntemlerinin kullanıldığı düşey gerilmenin 25 MPa dan düşük olduğu durumlarda genişliği 10 m ye kadar ve at nalı kesitli tüneller için önerildiği göz önünde bulundurulmalıdır (Ulusay, 2007).

Tablo 3. 6 RMR Sisteminde kullanılan destek sistemleri kılavuzu (Bieniawski, 1989).

KALICI DESTEK TAHKİMATI				
Kaya kütle sınıfı	Kazı	Kaya saplama (10m genişlikteki tünel için uzunluk).	Püskürtme beton	Çelik destek
I	Tam kesit 3m ilerleme , bir miktar kaya saplama haricinde genellikle destek gerektirmez			
II	Tam kesit 1.0-1.5 m ilerleme, komple destek, Aynaya 20 m uzaklık.	Kemerin her 2-3 m'sinde yer yer saplama, tel kafeslerle 2-.5m aralıklı	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Yok
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme, tavandan 1.5-3 m ilerleme aynaya 10 m uzaklığa kadar	3-4 m uzaklıkta sistematik saplama, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2 m aralıklı	Tavan kemerinde 50-100 mm, yan duvarlarda 30 mm	Yok
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme, tavandan 1.0-1.5 m ilerleme aynaya 10 m uzaklığa kadar destek gerekli	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik saplama	Tavan kemerinde 100-150 mm, yan duvarlarda 100 mm	Gereken yerde 1.5m aralıklı ve yer yer hafif profiller
V	Tavan ve tabanda birlikte ilerleme, tavandan 0.5-1 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli, patlatmadan sonra püskürtme beton uygulanmalı.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik saplama	Tavan kemerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm aynada 50 mm	Çelik destek, 0.75 m aralıklı orta- ağır profiller
At nalı , inşaat ,delme ve patlatma, genişlik 10 m, düşey gerilme <25 MPa				

RMR'nin İzin Verilebilir Taşıma Gücünün Tayininde Kullanılması

Kaya türü zeminler üzerinde inşa edilen yapılar için emniyetli net taşıma gücü ve izin verilebilir taşıma gücü olmak üzere iki kavram kullanılmaktadır. Emniyetli net taşıma

gücü; kayanın yenilmeden taşıyabileceği en büyük gerilmedir. İzin verilebilir taşıma gücü; tasarım açısından dikkate alınan yani belirli bir güvenlik katsayısına bölünmesi ile belirlenmiş gerilmedir. Bu amaçla kullanılmak üzere Tablo 3.7'deki kılavuz önerilmiştir (Singh ve Goel, 1999).

Tablo 3. 7 RMR'ye göre izin verilebilir net taşıma gücü (Mehrotra 1992)

Kaya kütle sınıf no	I	II	III	IV	V
Kaya kütle tanımı	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Net taşıma gücü (Qa) (ton/m ²)	600-440	440-280	280-135	135-45	45-30

3.1.3. İletim Tünelinin Q ve RMR'e Sistemine Göre Sınıflandırılması

Proje alanı Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağının güneyinde kenar kıvrımları bölgesinde yer almaktadır. Proje alanında egemen olan kayalar tortul, volkanik ve magmatiklerdir.

Tortul kayalarda tabakalanma iyi gelişmiştir. Genel olarak dolomitik kireçtaşlarından oluşan Hoya Formasyonu yer yer masif olmakla birlikte orta-kalın tabaklardır. Tabaklanma genel olarak Kuzeydoğu, yer yer Kuzeybatıya doğru eğimlidir. Proje alanında yapı yerlerini olumsuz yönde etkileyecek önemli boyutta fay saptanmamıştır. Hoya formasyonunun Beniawski 1989'a göre sınıflaması Tablo 3.9'da verilmiştir.

3.1.3.1. Tünel Güzergahına Ait Q Değerinin Hesaplanması

Tünel güzergahına ait Q kaya sınıflamasının yapılabilmesi için gerekli bilgiler Tablo 3.8'de verilmiştir. Hoya formasyonu Q kaya sınıflamasının için tabloda verilen değerlere göre bir takım hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3. 8 Hoya formasyonu Q kaya sınıflamasına göre (Çağlayan Regülatörü ve HES fizibilite raporu, 2012).

Sınıflama	En kötü	En iyi
Kaya kalite göstergesi (RQD)	10%	95%
Eklem takımı sayısı (J _n)	12	9
Eklem pürüzlülük Sayısı (J _r)	1,5	2
Eklem yüzeyi ayrışma sayısı (J _a)	3	1
Eklem su azaltma faktörü (J _w)	1	1
Gerilim azaltma faktörü (SRF)	5	2
Q Değeri ve kaya sınıfı	0.08 Çok Zayıf Kaya	10.56 İyi Kaya
Kazı destek oranı (ESR)	1.6	
Eşdeğer boyut (D _e)	2.56	

Destek Sisteminin Seçimi

Q Sistemi destek sistemi seçiminde, en son olarak 1993'de Barton ve Grimstad tarafından önerilen ve Şekil 3.2'de verilen haliyle kullanılmaktadır. Buradan buluna destekler (geçici ve kalıcı) açıklığın tavanı ile ilgili olup yan duvarlar için aşağıdaki önerilen Q değerleri hesaplanarak destek sistemi bulunur.

$$Q > 10 \text{ ise } Q_{\text{duvar}} = 5Q$$

$$0.1 < Q < 10 \text{ ise } Q_{\text{duvar}} = 2.5Q$$

$$Q < 0.1 \text{ ise } Q_{\text{duvar}} = Q$$

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Q: Kaya kütle kalitesi sınıflaması

RQD: Kaya kalite değeri

J_n: Eklem takım sayısı

J_r: Eklem pürüzlülük sayısı

J_a: Eklem yüzeyi ayrışma sayısı

J_w: Eklem su azaltma faktörü

SRF: Gerilme azaltma faktörü

Tablodan elde edilen verileri yukarıda verilen formüllerde yerine koyulursa,

0+000.00- 0+500.00 Km arasında Kaya kütle kalitesi Q hesaplanırsa,

$$Q = \frac{40}{9} \times \frac{2}{1} \times \frac{1}{2} = 4.44$$

0+500.00- 1+000.00 Km arasında Kaya kütle kalitesi Q hesaplanırsa,

$$Q = \frac{60}{9} \times \frac{2}{1} \times \frac{1}{2} = 6.66$$

1+000.00- 1+500.00 Km arasında Kaya kütle kalitesi Q hesaplanırsa,

$$Q = \frac{85}{9} \times \frac{2}{1} \times \frac{1}{2} = 9.44$$

1+500.00- 2+000.00 Km arasında Kaya kütle kalitesi Q hesaplanırsa,

$$Q = \frac{90}{9} \times \frac{2}{1} \times \frac{1}{2} = 10$$

Olarak bulunur.

En Geniş Desteksiz Açıklığın (B_{max}) ve Tavan Destek Basıncının (P_{tavan}) Seçimi

B_{max} aşağıdaki formülden bulunabilir.

$$B_{max} = 2ESR \times Q^{0.4}$$

B_{max} = En geniş desteksiz açıklık

ESR = Kazı destek oranı

Q = Kaya kütle kalitesi sınıflaması

0+000.00- 0+500.00 Km arasında En geniş desteksiz açıklık (B_{max}) ve tavan destek basıncı (P_{tavan}) hesaplanırsa,

$$B_{max} = 2 \times 1.6 \times 4.4^{0.4} = 5.79 \text{ m}$$

P_{tavan} aşağıdaki formülden bulunabilir.

$$P_{tavan} = \frac{2Q^{-\frac{1}{3}}}{J_r} \text{ (MPa)}$$

P_{tavan} = Tavan destek basıncı

Q = Kaya kütle kalitesi sınıflaması

J_r = Eklem pürüzlülük sayısı

$$P_{tavan} = \frac{2 \times 4.4^{-\frac{1}{3}}}{2} = 0.63 \text{ Mpa}$$

0+500.00- 1+000.00 Km arasında En geniş desteksiz açıklık (B_{max}) ve tavan destek basıncı (P_{tavan})

$$B_{max} = 2 \times 1.6 \times 6.6^{0.4} = 6.81 \text{ m}$$

$$P_{tavan} = \frac{2 \times 6.6^{-\frac{1}{3}}}{2} = 0.53 \text{ Mpa}$$

1+000.00- 1+500.00 Km arasında En geniş desteksiz açıklık (B_{max}) ve tavan destek basıncı (P_{tavan})

$$B_{max} = 2 \times 1.6 \times 9.4^{0.4} = 7.84 \text{ m}$$

$$P_{tavan} = \frac{2 \times 9.4^{-\frac{1}{3}}}{2} = 0.47 \text{ Mpa}$$

1+500.00- 2+000.00 Km arasında En geniş desteksiz açıklık (B_{max}) ve tavan destek basıncı (P_{tavan})

$$B_{max} = 2 \times 1.6 \times 10^{0.4} = 8.03 \text{ m}$$

$$P_{tavan} = \frac{2 \times 10^{-\frac{1}{3}}}{2} = 0.46 \text{ Mpa}$$

Kaya Saplaması (bulon) ve Ankraj Boyutlarının Tahmini

Tavanda kaya saplaması ve ankraj hesabı şu şekilde yapılır.

$$\text{Tavanda saplama: } L = 2 + 0.15 \frac{B}{ESR} \text{ (m)}$$

L= Kaya saplaması boyu (m)

B= Kazı genişliği (m)

ESR= Kazı destek oranı

$$\text{Tavanda saplama: } L = 2 + 0.15 \times \frac{4.00}{1.6} = 2.38 \text{ m}$$

$$\text{Ankraj: } L = 0.4 \frac{B}{\text{ESR}} \text{ (m)}$$

L= Ankraj boyu (m)

B= Kazı genişliği (m)

ESR= Kazı destek oranı

$$\text{Ankraj: } L = 0.4 \times \frac{4.00}{1.6} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Yan duvarda saplama: } L = 2 + 0.15 \frac{H}{\text{ESR}} \text{ (m)}$$

L= Kaya saptaması boyu (m)

H= Kazı boyu (m)

ESR= Kazı destek oranı

$$\text{Yan duvardan saplama: } L = 2 + 0.15 \times \frac{5}{1.6} = 2.46 \text{ m}$$

$$\text{Ankraj: } L = 0.35 \frac{H}{\text{ESR}} \text{ (m)}$$

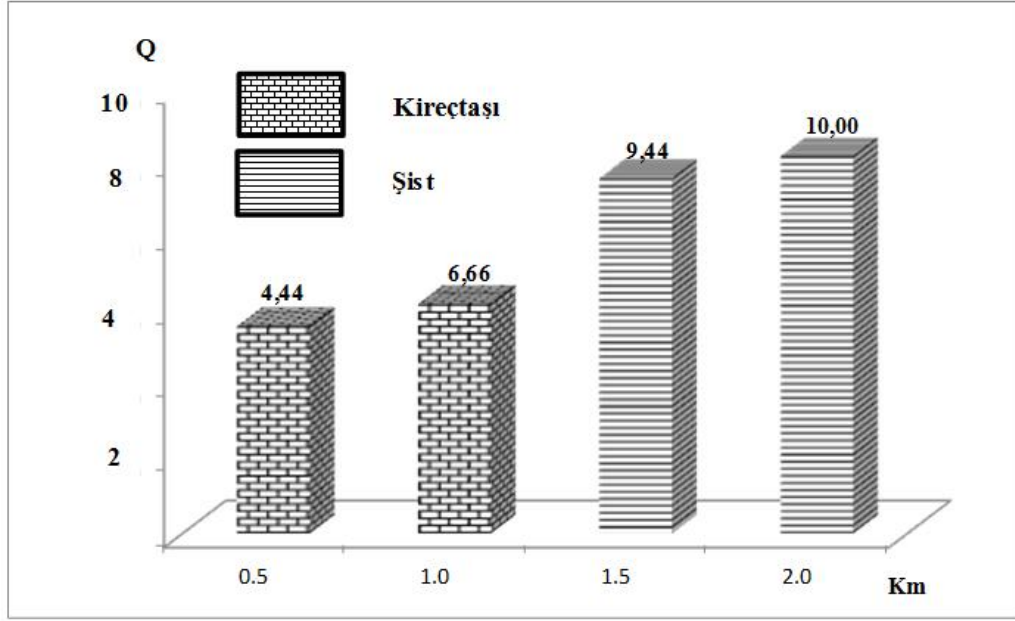
L= Ankraj boyu (m)

H= Kazı boyu (m)

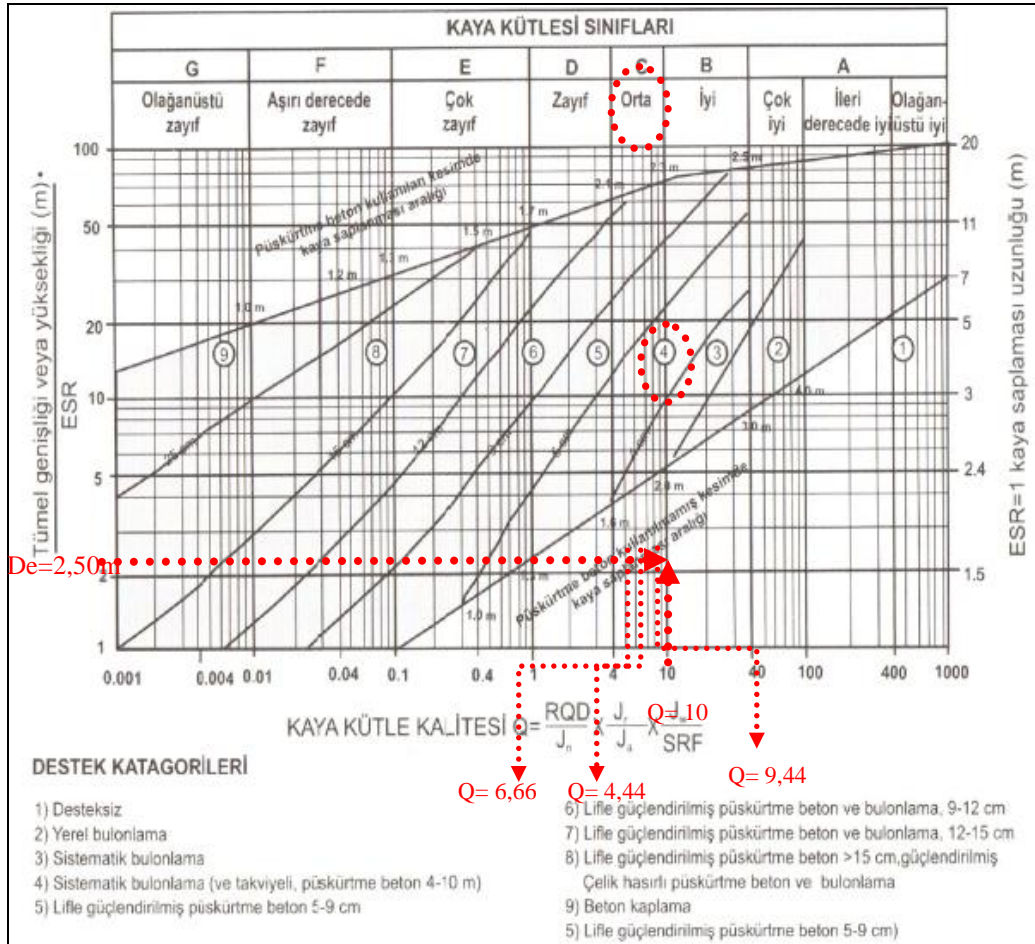
ESR= Kazı destek oranı

$$\text{Ankraj: } L = 0.35 \times \frac{5}{1.6} = 1.09 \text{ m}$$

Elde edilen değerler yukardaki formüllerden bu şekilde bulunur. Tünel güzergahı boyunca elde edilen Q değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3. 6 Tünel güzergahı boyunca elde edilen Q değerleri



Şekil 3. 7 Q Sistemi için elde edilen değerlerin gösterimi

1+500.00 - 2+000.00 Km arasında elde edilen $D_e= 2,50$ m ve $Q= 10$ değerlerini yukardaki şekilde yerine koyulduğu zaman destek sistemi seçilmiş olur. Kaya kütle sınıfı Orta sınıftadır ve sistematik bulonlama gerekir.

1+000.00 - 1+500.00 Km arasında elde edile $D_e= 2,50$ m ve $Q= 9,44$ değerlerini yukardaki şekilde yerine koyulduğu zaman destek sistemi seçilmiş olur. Kaya kütle sınıfı orta sınıftadır ve sistematik bulonlama gerekir.

0+500.00 - 1+000.00 Km arasında elde edile $D_e= 2,50$ m ve $Q= 6,66$ değerlerini yukardaki şekilde yerine koyulduğu zaman destek sistemi seçilmiş olur. Kaya kütle sınıfı orta sınıftadır ve sistematik bulonlama gerekir.

0+000.00 - 0+500.00 Km arasında elde edile $D_e= 2,50$ m ve $Q= 4,44$ değerlerini yukardaki şekilde yerine koyulduğu zaman destek sistemi seçilmiş olur. Kaya kütle sınıfı orta sınıftadır ve sistematik bulonlama gerekir

3.1.3.2. Tünel Güzergahına Ait RMR Değerinin Hesaplanması

RMR sınıflama sistemi tünel, galeri, yeraltı odaları gibi yeraltı açıklıklarının kazısı olmak üzere, çok sayıda alanda kullanılmaktadır. RMR sisteminden başlıca 3 önemli veri elde edilmektedir (Bieniawski, 1989).

1. Tüm jeolojik parametrelerin ortaklaşa etkisini yansıtan ve kaya kütlelerinin genel koşulları ile ilişkili ‘‘Kaya Kütle Kalitesi’’ elde edilen en önemli veridir. Bu veri çalışması sahasındaki kayaçları ‘Çok iyi kaya’ dan ‘Çok zayıf kaya’ ya kadar tanımlayarak bölgenin harita ve kesitlerinin hazırlanmasına olanak verir.
2. Kaya kütle kalitesi ve kazı yöntemine bağlı olarak, bir kılavuzdan yararlanarak ön tasarım amacıyla destek türü seçmeye olanak verir. Sistem, bu kılavuzla birlikte her kaya sınıfı için; kaya yükü, desteksiz durma süresi, desteksiz açıklık boyutu gibi parametrelerin tahminine olanak verir.
3. RMR puanı kullanılarak kaya kütlelerinin bazı mühendislik özelliklerinin tahmini mümkündür (Bieniawski, 1988).

Tablo 3. 9 Tünel güzergahında geçilen formasyona ait RMR kaya sınıflama parametreleri

SINIFLAMA PARAMETRELERİ		DEĞERLENDİRME VE DERECELENDİRME	
		EN KÖTÜ	EN İYİ
Tek eksenli basınç dayanımı		17-45 Mpa	292 Mpa
		4	15
Kayaç Kalite Göstergesi (RQD)		%15-40	%75-100
		6	17
Süreksizlik Aralığı		60-200 mm	0.8-3 m
		8	12
Süreksizlik Durumu	Devamlılık	1-3 m	<1 m
		4	6
	Açıklık	>5 mm	< 0.1mm
		0	5
	Pürüzlülük	Az pürüzlü	Pürüzlü
		3	5
	Dolgu	Yumuşak, >5mm	Sert, < 5mm
		0	4
	Bozunma	Orta bozunmuş	Az bozunmuş
		3	5
Yeraltısuyu		Damlama	Islak
		4	7
Süreksizliklerin Yönelimi	Temel	Uygun	Uygun
		-2	-2
	Tünel	Uygun değil	Orta
		-7	-5
Kaya Sınıfı	Temel	30	74
	Tünel	25	51
Düzeltilmiş Kaya Sınıfı	Denetimli patlatma katsayısı= 0.955		
	Temel	28- ZAYIF KAYA	70- İYİ KAYA
	Tünel	24- ZAYIF KAYA	67- İYİ KAYA
Ortalama desteksiz kalabilme süresi		4-10 m açıklık için ani göçme	4-10m açıklık için yaklaşık 9 yıl
Kaya kütesinin kohezyonu (kPa)		100-200	300-400
Kaya kütesinin içsel sürtünme açısı (derece)		15-25	35-45

Tablo 3. 10 Tünel güzergahı 0+000.00- 0+500.00 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması

Tünel güzergahı 0.0-0.5 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması			
Sıra no	Sınıflama Parametreleri	Değerler	Puanlama
1	Dayanımı (Mpa)	45	4
2	RQD (%)	40	6
3	Süreksizlik aralığı (mm)	60	8
4	Süreksizlik durumu	Az pürüzlü	3
5	Yeraltı suyu	Islak	7
TOPLAM RMR			28

(Tablo 3.9'da verilen formasyon verilerine göre bu değerler elde edilmiştir).

Tablo 3. 11 Tünel güzergahı 0+500.00- 1+000.000 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması

Tünel güzergahı 0.0-1.0 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması			
Sıra no	Sınıflama Parametreleri	Değerler	Puanlama
1	Dayanımı (Mpa)	50	5
2	RQD (%)	60	7
3	Süreksizlik aralığı (mm)	80	9
4	Süreksizlik durumu	Az pürüzlü	3
5	Yeraltı suyu	Islak	7
TOPLAM RMR			31

(Tablo 3.9'da verilen formasyon verilerine göre bu değerler elde edilmiştir).

Tablo 3. 12 Tünel güzergahı 1+000.00-1+500.00 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması

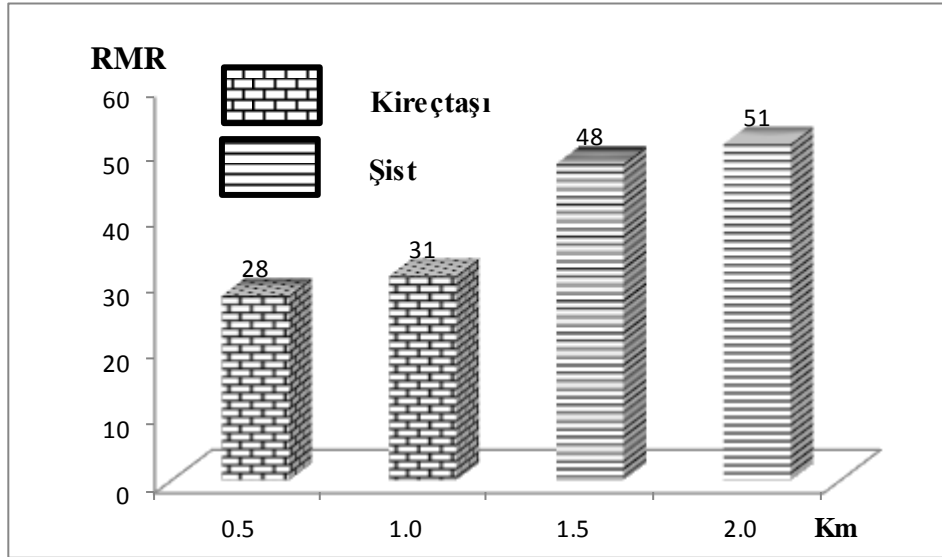
Tünel güzergahı 1.0-1.5 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması			
Sıra no	Sınıflama Parametreleri	Değerler	Puanlama
1	Dayanımı (Mpa)	90	9
2	RQD (%)	85	15
3	Süreksizlik aralığı (mm)	900	12
4	Süreksizlik durumu	Pürüzlü	5
5	Yeraltı suyu	Islak	7
TOPLAM RMR			48

(Tablo 3.9'da verilen formasyon verilerine göre bu değerler elde edilmiştir).

Tablo 3. 13 Tünel güzergahı 1+500.00- 2+000.00 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması

Tünel güzergahı 1.5-2.0 Km arası RMR Değerleri ve Puanlaması			
Sıra no	Sınıflama Parametreleri	Değerler	Puanlama
1	Dayanımı (Mpa)	120	12
2	RQD (%)	90	16
3	Süreksizlik aralığı (mm)	1000	11
4	Süreksizlik durumu	Pürüzlü	5
5	Yeraltı suyu	Islak	7
TOPLAM RMR			51

(Tablo 3.9’da verilen formasyon verilerine göre bu değerler elde edilmiştir).

**Şekil 3. 8** Tünel güzergahı boyunca elde edilen RMR değerleri

Desteksiz Durma Süresinin Tespiti

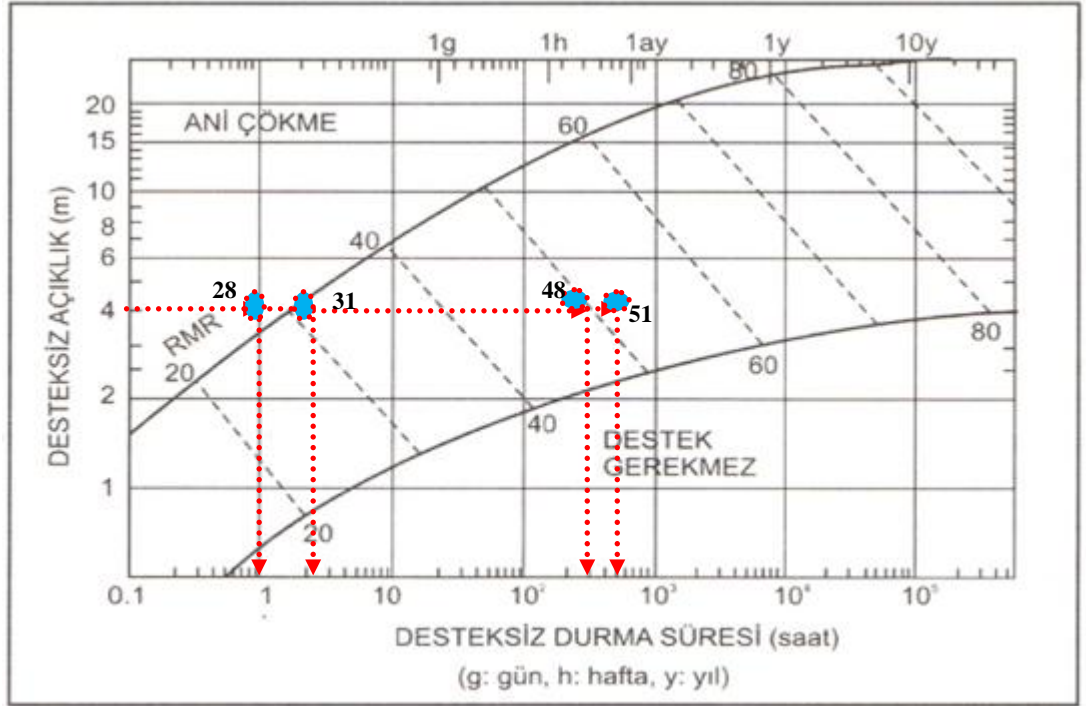
Tünel güzergahı 0+000.00 - 0+500.00 Km arasında elde edilen RMR değeri 28’dir. RMR sistemi kayaç sınıfında IV. sınıfta olup zayıf kaya grubundadır. Şekil 3.9’da desteksiz açıklık 4,00 m olduğuna göre 1 saat desteksiz durma süresine sahiptir. 0+500.00 - 1+000.00 Km arasında RMR değeri 31’dir. RMR sistemi kayaç sınıfında IV. sınıfta olup zayıf kaya grubundadır.

Şekil 3.9’da desteksiz açıklık 4,00 m olduğuna göre 2,5 saat desteksiz durma süresine sahiptir. 1+000.00- 1+500.00 Km arasında RMR değeri 48’dir. RMR sistemi kayaç sınıfında III. sınıfta olup orta kaya grubundadır. Şekil 3.9’da desteksiz açıklık 4,00 m

olduğuna göre 300 saat yaklaşık 13 gün desteksiz durma süresine sahiptir. 1+500.00-2+000.00 Km arasında RMR değeri 51'dir. RMR sistemi kayaç sınıfında III. Sınıfta olup orta kaya grubundadır. Şekil 3.9'da desteksiz açıklık 4,00 m olduğuna göre 450 saat yaklaşık 19 gün desteksiz durma süresine sahiptir.

Tablo 3. 14 Kaya sınıflarının ortalama desteksiz kalma süresi

KAYA SINIFLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ					
Sınıf no	I	II	III	IV	V
Ortalama desteksiz kalma 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 30 dk
Kaya kütesinin kohezyonu (kPa)	>400	400-300	300-200	200-100	<100
Kaya kütesinin içsel sürtünme açısı (°)	45	45-35	35-25	25-15	<15



Şekil 3. 9 Tünel güzergahında RMR değerlerine göre III. ve IV. Kaya sınıfında desteksiz kalma süresinin tespiti

RMR ile Destek Basıncının Bulunması

Destek basıncı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$P = \left(\frac{100 - \text{RMR}}{100} \right) \times \gamma \times B \times S \quad (\text{kN/m}^2)$$

Burada;

P : Destek basıncı ($\text{kN/m}^2 = 0.1 \text{ ton/m}^2$)

γ : Kayanın birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

B : Tünel genişliği (m)

S : Gerilme faktörü (yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı), $\nu = 0,33$

Tünel güzergahı 0+000.00-2+000.00 Km arasındaki kaya birimlerinin destek basıncı,

Kireçtaşı birim hacim ağırlığı (γ): 2.5 kN/m^3

Şist birim hacim ağırlığı (γ) : 2.8 kN/m^3

$$S = \frac{\nu}{(1-\nu)}$$

$$S = \frac{0,33}{(1-0,33)} = 0,49$$

Buna göre yukarıda verilen formüle göre destek basıncını hesaplanırsa;

0+000.00 - 0+500.00 Km arasında tünel güzergahı boyunca hakim olan kaya birimi kireç taşıdır.

$$P = \left(\frac{100 - 28}{100} \right) \times 2,5 \times 4,00 \times 0,49 = 3,53 \text{ kN/m}^2$$

0+500.00 - 1+000.00 Km arasında tünel güzergahı boyunca hakim olan kaya birimi kireç taşıdır.

$$P = \left(\frac{100 - 31}{100} \right) \times 2,5 \times 4,00 \times 0,49 = 3,38 \text{ kN/m}^2$$

1+000.00 - 1+500.00 Km arasında tünel güzergahı boyunca hakim olan kaya birimi şisttir.

$$P = \left(\frac{100 - 48}{100} \right) \times 2,8 \times 4,00 \times 0,49 = 2,85 \text{ kN/m}^2$$

1+500.00 - 2+000.00 Km arasında tünel güzergahı boyunca hakim olan kaya birimi şisttir.

$$P = \left(\frac{100 - 51}{100} \right) \times 2,8 \times 4,00 \times 0,49 = 2,68 \text{ kN/m}^2$$

RMR ile Destek Sisteminin Seçimi

Tünel güzergahı boyunca elde edilen RMR değerleri sonucu destek sistemi seçimi Tablo 3.16' ya göre, 0+000.00- 0+500.00 Km ve 0+500.00- 1+000.00 Km arasında IV. sınıfta olup, zayıf kaya grubundadır.

IV. Sınıfta kazı Tavan kemeri ve tabandan ilerleme, tavandan 1,5- 3 m ilerleme komple destek. Aynaya 10 m uzaklığa kadar destek gerekli (Tablo 3.15 bkz).

IV. Sınıfta bulonlama, Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1- 1,5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik bulonlama gerekir (Tablo 3.15 bkz).

IV. Sınıfta püskürtme beton, Tavan kemerinde 100- 150 mm, yan duvarlarda 100 mm (Tablo 3.15 bkz).

IV. Sınıfta çelik destek, Gereken yerde 1,5 m aralıklı ve yer yer hafif profiller (Tablo 3.15 bkz.).

Tünel güzergahı boyunca elde edilen RMR değerleri sonucu destek sistemi seçimi Tablo 4.16'ya göre 1+000.00- 1+500.00 Km ve 1+500.00- 2+000.00 Km arasında III. sınıfta olup, orta kaya grubundadır (Tablo 3.15 bkz).

III. Sınıfta kazı Tavan kemeri ve tabandan ilerleme, tavandan 1,5-3 m ilerleme komple destek, aynaya 10 m uzaklığa kadar (Tablo 3.15 bkz).

III. Sınıfta bulonlama, 3- 4 m uzunlukta sistematik bulonlar, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1,5- 2m aralıklı (Tablo 3.15 bkz).

III. Sınıfta püskürtme beton, Tavan kemerinde 50- 100 mm, yan duvarlarda 30 mm (Tablo 3.15).

III. Sınıfta çelik destek, Yok (Tablo 3.15 bkz).

Tablo 3. 15 Kalıcı destek (tahkimat) sisteminin seçimi (Bieniawski, 1989).

KALICI DESTEK (TAHKİMAT)				
KAYA KÜTLESİ SINIFI	Kazı	Kaya bulonları	Püskürtme beton	Çelik destek
I	Tam kesit, 3m ilerleme	Bir miktar kaya bulonu haricinde destek gerekmez	Yok	Yok
II	Tam kesit, 1,0m-1,5 m ilerleme, komple destek. Ayna 20 m uzaklıkta	Kemerin her 2- 3 m'sinde yer, yer bulonlanıp tel kafesler ile 2-2,5m aralıklı	Gerektiğinde tavan kimerinde 50 mm	Yok
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme, tavandan 1,5-3 m ilerleme komple destek. Aynaya 10 m uzaklığa kadar	3- 4 m uzunlukta sistematik bulonlar, kimerde tel kafesli duvarlar ve kimerde 1,5- 2m aralıklı	Tavan kimerinde 50-100 mm, yan duvarlarda 30 mm	Yok
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme, tavandan 1,5-3 m ilerleme komple destek. Aynaya 10 m uzaklığa kadar destek gerekli.	Tel kafesli duvarlarda ve kimerde 1-1,5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik bulonlama	Tavan kimerinde 100-150 mm, yan duvarlarda 100 mm	Gereken yerde 1,5 m aralıklı ve yer yer hafif profiller
V	Tavan ve tabandan birlikte ilerleme . Tavandan 0,5-1 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlatmadan hemen sonra püskürtme beton uygulanmalı	Tel kafesli duvarlarda ve kimerde 1-1,5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik bulonlama	Tavan kimerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm aynada 50 mm	Çelik destek, 0,75 m aralıklı orta ağır profiller.

Tablo 3. 16 RMR'ye göre izin III ve IV. Sınıfta izin verilebilir net taşıma gücü (Qa)

RMR'ye göre izin verilebilir net taşıma gücü (Qa)					
Kaya kütle sınıf no	I	II	III	IV	V
Kaya kütle tanımı	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Qa (ton/m ²)	600-440	440-280	280-135	135-45	45-30

3.1.4. Tünel Destek Tasarımı ve Uygulanan Tahkimat

Tünel zeminini oluşturan farklı özelliklere sahip kaya birimleri Q ve RMR, zemin birimleri ise Terzaghi sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Sınıflama sonuçlarına bağlı olarak tünel tavanının ve aynasının desteklenmesi amacıyla öngörülen destek sınıfları aşağıda açıklanmıştır.

3.1.4.1. A1 Sınıfı Destekleme

“Stabil” kaya kütlesi olarak adlandırılır. Kaya kütlesi elastik davranış gösterir. Deformasyonlar küçük olup, çok hızlı azalır. Serbest kaya parçaları temizlendikten sonra sökülme eğilimi yoktur. Suyun kaya stabilitesine olumsuz bir etkisi yoktur. Tünel kazısı teorik olarak “tam ayna” olarak yapılabilir. Kazı profilinin büyük olması halinde, kazı genellikle üstyarı ve altyarı kazısı şeklinde sürdürülür. 1+800.00-1+700.00 km arasında del-patlat ile tam kesit aynada ilerleme yapılmış olup herhangi bir deformasyon problemi ile karşılaşılmamıştır. Belirli periyotlarda 50 mm’lik püskürtme beton atılarak ilerlemeye devam edilmiştir.

3.1.4.2. A2 Sınıfı Destekleme

Orta sağlam-orta zayıf kaya ortamını karakterize eder. Blokluk kireçtaşı, kilitaşı, dolomitik kireçtaşı, şist, mikaşist, kalkışist ve mermer araldanması ile ezilme ve fay zonlarının desteklenmesi için A2 destek tipi önerilmektedir. Tünel kazısında ve destekleme sisteminde RMR ve Q sınıflama sisteminde yapılan hesaplamalar sonucu A2 destek sınıfı uygulanmalıdır. A2 destek türü aşağıdaki elemanlardan oluşur.

Tablo 3. 17 A2 Sınıfı destekleme

A2 SINIFI DESTEKLEME	
Destek elemanları	Miktar
Püskürtme Beton (mm)	100-150
Çelik hasır (2.15x5) (Ad)	1,00
Çelik iksa aralığı (m)	Zemin durumuna göre değişir
Kaya bulonu (m)	2,00-4,00
Süren (m)	4,00
Aynaya püskürtme beton (mm)	50
Ayna ilerleme mesafesi (m)	Zemin durumuna göre değişir

3.1.4.3. A3 Sınıfı Destekleme

Duraylılığı düşük, zayıf kaya ortamını karakterize eder. Hoya formasyonu ve pötürge metamorfitlelerine ait tamamen ayrılmış ve suyun etkili olduğu çamurtaşı - kıltaşı - kireçtaşı, şist-mikaşist ve kalkşist araldanmasından oluşan birimlerde RMR ve Q sınıflama sisteminde yapılan hesaplamalar sonucu A3 sınıfı destek tipi önerilmektedir. A3 destek türü aşağıdaki elemanlardan oluşur.

Tablo 3. 18 A3 Sınıfı destekleme

A3 SINIFI DESTEKLEME	
Destek elemanları	Miktar
Püskürtme Beton (mm)	150-200
Çelik hasır (2.15x5) (Ad)	2,00
Çelik iksa aralığı (m)	0,80- 1,00
Kaya bulunu (m)	2,00-4,00
Süren (m)	3,00
Aynaya püskürtme beton (mm)	50
Ayna ilerleme mesafesi (m)	0,50-1,00

Zemin koşullarının kötüleştiği durumlarda zeminin desteklenmesi amacıyla aynada göbek bırakılarak kazı yapılması öngörülmektedir.

Tablo 3. 19 Tünel destek tasarımı ve kaya sınıflama yöntemi

TÜNEL DESTEK TASARIMI VE KAYA SINIFLAMA YÖNTEMİ					
Ayna Km	Destekleme sınıf türleri	D_e	Q	RMR	Kaya sınıfı
0+000.00 -0+500.00	A3	2,50	4,44	28	Zayıf kaya
0+500.00- 1+000.00	A3	2,50	6,66	31	Zayıf kaya
1+000.00- 1+500.00	A2	2,50	9,44	48	Orta Kaya
1+500.00- 2+000.00	A2	2,50	10,00	51	Orta Kaya
RMR: Kaya kütlesi puanlama sistemi, Q: Kaya kütlesi sınıflama sistemi,					
De: Eş değer kazı boyutu					

3.1.4.4. İletim Tünelinde Önerilen Destek Sistemlerinin Uygulanması

Celik Hasır Montajı

Kazı sonrası tünel içinde çelik hasır montajına geçilir. Çağlayan Regülatörü ve HES İletim tünel tipinde kullanılan çelik hasır tipi Q188/188 ve bindirme oranlar da yatay-düşey yönde 30 cm'dir. Montajda dikkat edilecek en önemli husus donatının kaya yüzeyine mümkün olduğunca yaklaştırılmasıdır.



Şekil 3. 10 Çelik hasır montajı

İksa Montajı

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

- a) İksa papuçlarının her iki yanda sağlam zemine basmasının sağlanması,
- b) Her iksa da mutlaka topografik ölçüm yapılmasıdır.
- c) İmalatların usulüne uygun yapılması, çelik hasırda bindirme paylarının ve işbanların işban kulak yerlerine geçip geçmediğinin kontrol edilmesi gerekir.

Sonuç olarak montajı ve topografik teslimatı tamamlanan iksa önce kurulan ve tahkimat elemanları tamamlanmış bulunan iksaya, T18 lik nervürlü çubuklarla tesbit edilir. İşban

demiri adı verilen bu elemanların boyu, iksa aralığından 10 cm fazla bırakılarak bindirme yapılması sağlanır.



Şekil 3. 11 İksa montajı

Shotcrete (Püskürtme Beton)

İletim tüneline shotcrete kuru karışım olarak kullanılmaktadır. Geçici tahkimatın en önemli elemanı olan püskürtme beton uygulamalarında dikkat edilen noktalar;

a-Shotcrete uygulanacak yüzey serbest malzemelerden temizlenir ve yüzeyde su geliri varsa uygun yöntemlerle drene edilir.

b-Çelikhasırın yüzeye iyi sabitlenmesi sağlanır ve shotcrete esnasında esneme yapması engellenir,

c-Malzeme karışımının mutlaka homojen olması sağlanır.

d-Hava basıncı ve su karışım oranı iyi ayarlanmalıdır.

e-Beton santralinden gelen kuru karışım halindeki püskürtme beton fazla bekletilmemelidir.

Kuru sistemde shotcrete atımı hem zaman alıcıdır, hemde çalışan işçilerin maske takmaması halinde ilerde ciddi sağlık sorunlarına neden olacağı bilinmektedir. Bu yüzden tünel içerisinde püskürtme beton atılırken maske kullanılmalıdır.

Bu uygulamada genel prensip malzemenin titreşimli bir elekten doğrudan rotor çemberine alınması ve bu noktada ara bir hava hattı ile rotor gözlerine dolmuş olan kuru karışımın ana hava hattına transferidir. Dönen rotorun sızdırmazlığı kauçuk plakalar (conta) ile temin edilir. Ancak bu sistemde bugün bile toz uygulamadaki önemli problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3. 12 Kuru beton püskürtme makinası

Rutubet, kuru karışımın hazırlanmasında önemli bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. İdeal şartlarda kuru karışımdaki rutubet oranının %3 - %6 aralığında olması istenir. Bu orandaki artma rotor gözlerinde düzensiz dolum seviyelerine ve dolayısıyla püskürtmede kısa kesintilerin yaşanmasına veya hava iletim hattında tıkanmaların oluşmasına neden olabilir.

Ayrıca püskürtme süratinde değişimlere sebep olan bu durum sıçrayan malzeme miktarını artıracaktır. Rutubetin çok az olması da tozu artırıcı etkenlerden biridir.

Kuru karışımın veya betonun püskürtülmesinde esas olan yüzeye dik ve 120 cm uzaklıktan ufak dairesel hareketler ile işlemin yapılmasıdır. Bu gerekli nihai beton kalitesinin yakalanmasında ve sıçrayan malzeme miktarının kontrolünde son derece önemlidir.



Şekil 3. 13 Püskürtme beton (shotcrete) hazırlığı

Özellikle uygulama esnasında yapılan hatalar nedeniyle püskürtme beton kayıp oranı yüksek miktarlara çıkabilmektedir.

Kayıp Püskürtme Beton = Geri Sıçrayan beton+ Fazla kazının doldurulması için kullanılan beton+ Atık beton olarak tarif edilebilir.

Proje dizaynında öngörülen püskürtme beton miktarı, uygulamada bu miktarın 2 katına çıkabilir. Dolayısıyla maliyet hesaplarında önemli bir faktördür.

Tablo 3. 20 Projede uygulanan kuru sistemde shotcrete dizaynı (kg/m^3)

Malzeme	Miktar (kg/m^3)
Çimento (C25, için)	400
Kum (1,5-0) mm	280
Çakıl (9-1,5) mm	1520
TOPLAM	2200

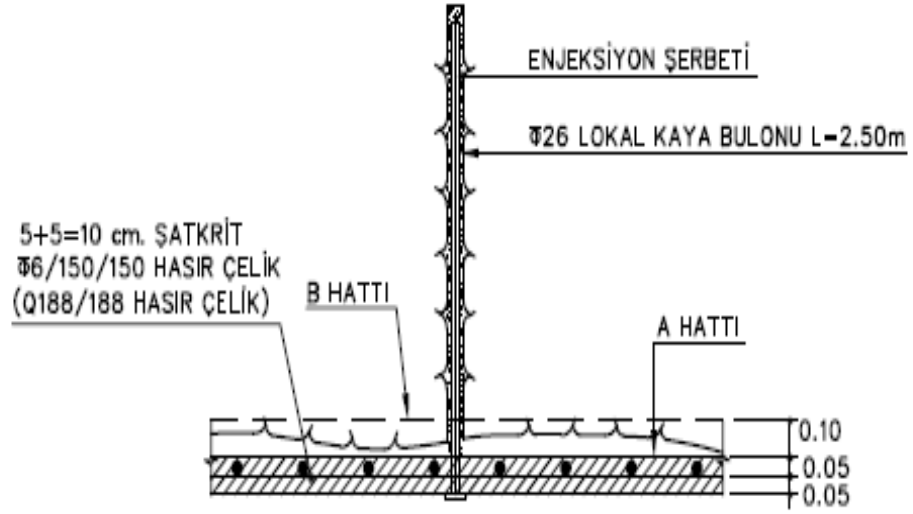
Enjeksiyonlu Kaya Bulonu

Bir delici makine (jumbo) tarafından delinen deliğe enjeksiyon için akıcı beton şerbeti doldurulduktan sonra, bulonun elle itilerek yerleştirilmesi suretiyle yapılır. Projeye göre 2,50 m boyunda, T26' lık nervürlü çelikten özel olarak imal edilir. Bir ucu 6cm dişli ve taşıma plakaları 200/200/100 mm, boyutlarında olup, metrik 24 somun kullanılır, içine yerleştirildiği delik çapı minimum 45 mm dir ve sadece su-çimentodan oluşan enjeksiyonun hazırlanmasında Mai-Pump adı verilen özel makineler kullanılmaktadır. Projede uygulaması 11 adet şaşbeştir. İlk round 6 diğer round da 5 adet olarak çakılmıştır.



Şekil 3. 14 Çakılmış haldeki enjeksiyonlu kaya bulonu

Enjeksiyon açılan bulon deliklerinden verildikten sonra bulon çakma işlemine başlanır. Bulonların torklama işlemi ise özel amaçla üretilen ve üzerinde bir skala olan tork anahtarı vasıtasıyla yapılır. Torklama kuvveti 50 kN (5000 kg) olup, bu değere karşılık verebilen bulon sağlam kabul edilir. Bulon kontrol metodu, diğer tüm bulon çeşitleri için de geçerlidir.



Şekil 3. 15 İletim tüneline uygulanan enjeksiyonlu kaya bulon uygulaması

Süren Uygulaması

Kazı sonrası dökülmeye meyilli kaya ortamlarında, özellikle sulu bölgelerde, kazıya girmeden önce süren uygulaması yapılır. Çelik iksa üzerinden yatayla maksimum. $5-10^0$ açı yapacak biçimde çakılırlar ve sayıları kazı destek türlerine göre değişir. Projede Uygulama daha çok T26 'lık 4,00 m'lik nervürlü çelikten yapılmış demirden faydalanılmıştır ve enjeksiyonlu çakılarak uygulanmıştır.



Şekil 3. 16 Süren uygulaması

Şekil 3.16’da görüldüğü gibi çakılan sürenler zeminin çok kötü olması su gelirinin fazla olması sonucu meydana gelebilecek göcüklere karşı bir uygulamadır.

Tablo 3. 21 İletim tüneli toplam tahkimat işleri miktarı

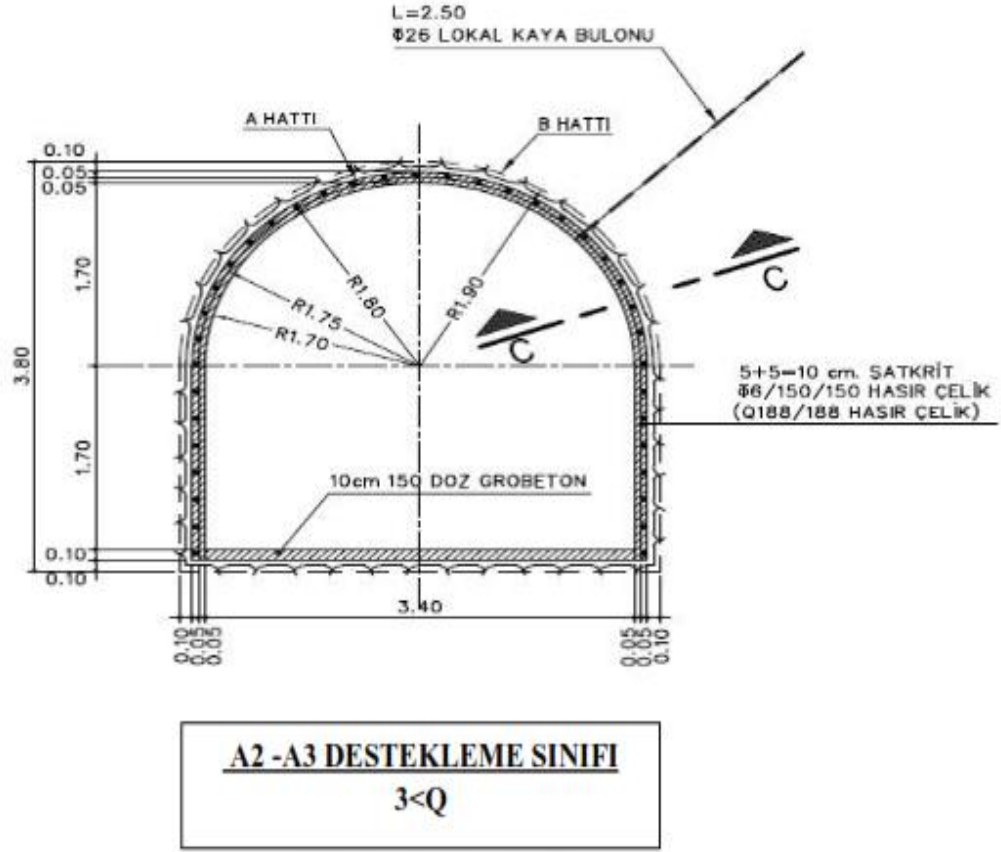
Tahkimat işleri	Miktar	Birim
Shotcrete (400 kg/m ³)	2.038,00	m ³
Çelik iksa	172,39	ton
Tünel kaya bulonu (Enjeksiyon şerbetli) L=2,50m, Ø 26	14.596,00	m
Portal kaya bulonu (Enjeksiyon şerbetli) L=3,00m, Ø 20	198,00	m
Hasır Çelik Q188/188	25,00	ton

Çağlayan Regülatörü ve HES İletim tüneline uygulanan destekleme sistemi A1, A2 ve A3 sınıfı destekleme sistemidir.

Q ve RMR değerleri hesaplanarak kaya sınıflaması yapılmıştır. Kaya sınıflaması olarak III. grup kaya grubu orta kaya grubundadır.

IV. grup kaya grubu zayıf kaya grubudur. Kazı yapıp iksa kurulduktan sonra tahkimat işlemi gerçekleşir.

Tahkimat işlemi bittikten sonra shotcrete uygulamasına geçilir. Projede uygulanan püskürtme beton kalınlığı 50+50= 100 mm'dir.



Şekil 3. 17 İletimin tüneline uygulanan iksa kesiti ve destekleme sınıfı

Yukarı kısımda yapılan hesaplamalar sonucu tünel kesiti için en uygun destekleme sınıfı belirlenmiştir Şeil 3.17'deki kesit projede uygulanan iksa kesitidir.

4. KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Tünel kazısı yapılırken su, havalandırma ve göçük sorunları ile karşılaşmıştır ve bu sorunlar hakkında bahsedilmiştir.

4.1. SU SORUNU

Yeraltı suyu ve uzaklaştırılması tünel inşaatında en önemli sorunlardan biridir. Çatlaklar ve faylar boyunca tünele giren sular, şişme, kabarma ve heyelanların oluşmasına sebep olmaktadır. Tünellerde oluşan suyun uzaklaştırılması ve kazı esnasında çalışmaları engellememesi açısından inceleme alanında kullanılan yöntem drenaj kanalları ve drenaj borularıdır. Tünel güzergahı kazısı yapılırken elde var olan jeolojik formasyon yapısı Hoya formasyonuna ait killi kireçtaşı, kireçtaşı dolomitik kireçtaşı yapılarına rastlanılmıştır, ilerlemenin yapıldığı 0+000.00-0+146.50 Km araları arasında sulu zemine rastlanmazken 0+146.50 Km sonrası kiltası formasyonunu kestikten sonra tünel aynasından su gelmeye başladı, ancak kazı yapılırken çakıllı birime rastlanılmamıştır. Sonuç olarak ayna ekseninden ve tabandan gelen su kazıda zorluk yaşanmasına sebep olduğundan, iksalar arası ara mesafe kısa tutuldu ve gerektiği yerde süren çakıldı.



Şekil 4. 1 Karşılaşılan su sorunu

Su sorununun ortaya çıkması sonucu suyun dışarı nakli için iki adet flyth pompa kuruldu bu şekilde su geldiği noktadan pompalanarak borular vasıtasıyla dışarı çıkartıldı. Tünel aynasından çıkan su miktarı saniyede 6 litre olmuştur.

Ayna ekseninden ve tabandan gelen sular bir araya toplanarak kaptaj uygulanmıştır. Daha sonra bir araya toplanan sular bir boru vasıtası ile flyth (dalgıç) pompa çukuruna aktarılmıştır.



Şekil 4. 2 Suyun dalgıç pompa ile dışarı pompalanması

4.2. HAVALANDIRMA SORUNU

Tünel havasında yer alan püskürtme beton ve kazı sırasında oluşan toz, gerekli olan temiz hava miktarı hesaplanarak havalandırma şebekesi vasıtasıyla tünel havasında zararsız olacakları konsantrasyona düşürülmektedir. Hava girişi boşluktan tecrid edilmiş kumaş vb. tüplerle kazı aynasına verilir. Dönüş ise, tünel içerisinden ve geriye doğru gerçekleşir. Fan sistemi devreye zamanında sokulmadığı takdirde püskürtme beton atıldığı zamanda meydana gelen toz insan sağlığı için ciddi sıkıntılara neden olmaktadır. Aynı zamanda aynadan gerçekleşen patlatma sonucu ortaya çıkan zehirli gazlar bu şekilde tünel dışına çıkartılmalıdır.

Tünel havalandırmasında işçi sayısına göre hava miktarı hesabı genellikle yapılmaz. Çünkü, havayı gerektiren sadece işçiler değildir. Mekanizasyonun artması ve işçi sayısındaki azalma, işçi başına olan hava standartını yükseltir.

Hava temiz olduğu zaman bir işçi gereksiniminin 750 lt/dak. veya kabaca 1-2 m³/dak. olduğu bilinmektedir. Ancak zor şartlar için işçi başına 6m³/dak. hava sağlanır.



Şekil 4. 3 Patlatma sonrası ortaya çıkan zararlı gaz

Her patlatma sonucu havalandırma sisteminin çalıştırılmaması durumunda tünel içerisinden zehirli gazların dışarı çıkması için beklenilmesi gerekmektedir, bu bekleme süresi tünelde ilerleme için zaman kaybıdır.

Zaman kaybını önlemek için tünel içerisinde en fazla 100 m ilerleme yapıldıktan sonra fan sisteminin kurulup fantüplerin çekilmesi gerekir. Tünel içerisinde temiz havanın akışını sağlamak hem çalışanlar için hemde işin ilerlemesi için çok önemlidir.



Şekil 4. 4 Tünel içindeki havalandırma sorununun fantüp ile çözümü

4.3. GÖÇÜK SORUNLARI

İletim tüneli kazıları sırasında zemin şartlarının kötü olmasından dolayı 0+200.00 km aynada ilerleme yapılırken göçük meydana gelmiştir. Göçüğün geçilmesi için aşağıdaki uygulamalar yapılmıştır.

Bu uygulamalar; İlk önlem olarak yüzeyin havayla olan temasını kesmek için açık yüzeye püskürtme beton atılmıştır. Buna rağmen hareket devam etmiş ve tavan bölgesinde suyun gelmesinin etkisiyle de boşluk 5-6 m artmış ayrıca dökülen malzeme ebatları da artmıştır. Bu şartlarda aynanın kapatılmasına karar verilerek loder ile çevredeki pasa aynaya sıkıştırılarak kapatılmıştır.

İkinci etapta kapatılan ayna yüzeyi 4.00 metrelik $\phi 26$ mm'lik 15-20 cm ara ile iksa üzerinde çakılarak çelik hasır ve püskürtme betonu ile güçlendirilmiştir.

Üçüncü etapta yüzeyden boşluğu bulacak şekilde iksa omuzlarında ve tavandan delikler açılarak beton pompası ile slump oranı yüksek 25 m^3 'lük beton basılmıştır.

Dördüncü etapta aynada sıkıştırılan pasa loder ile çekilerek 1. takım iksanın 1 ve 2 nolu parçalar yerleştirilip 1m. ilerlenmiştir. Daha sonra 2. Takım iksa parçaları yerleştirilerek 0,80 m ilerleme yapılmıştır.

Ayna ekseninden ve tabandan gelen sular bir araya toplanarak borular vasıtası ile açılan dalgıç pompa çukuruna aktarılmıştır. Bu şekilde eksenden gelen suyun etkisi bir nebze azatılmıştır. Sorunlu göçük bölgesi bu şekilde geçilmiştir.



Şekil 4. 5 Göçük veren ayna

Tünel içerisinde göçük vermeden önce yerinde hemen karar vermek çok önemlidir. Sorunlu bölgelerde zemin fazla bekletilmemelidir. Özellikle su gelirinin fazla olduğu sorunlu bölgelerde kaptaj yapılarak suyun bir araya toplanıp kazı alanından drene edilmesi gerekir. Kazı alanında su geliri her zaman problemdir, göçüğe sebebiyet verir. Göçük verecek ayna bir şekilde kendini gösterir, o esnada hangi uygulama yapılması gerekiyorsa yapılmalıdır.



Şekil 4. 6 Göçüğün tahkimata verdiği zarar

Ayna ekseninden su gelmesi sonucu meydana gelen göçüğün tahkimata verdiği zarar Şekil 4.6'da görülmektedir. Aynaya sıfır olarak kurulan iksanın üstünden sürenlerin zamanında çakılmaması sonucu tahkimat elemanları tekrardan değiştirilmek zorunda kalmıştır. Şekil 4.7'de aynaya sıfır olarak kurulan iksanın üstünden göçüğe sebebiyet vermemek için süren uygulaması görülmektedir.



Şekil 4. 7 Göçük sonucu süren uygulaması

5. PROJENİN EKONOMİK ANALİZİ

5.1. İLETİM TÜNELİ YATIRIM MALİYETİ

Çağlayan Regülatörü ve HES Projesi'nde iletim tüneli maliyet bilgileri Tablo 5.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Projenin ekonomik ömrü 1 yıl sürecek inşaat faaliyetlerinden sonra 50 yıl olarak alınmıştır.

Proje ekonomik analizi yapılırken inşaat başlangıç yılı olarak günümüz kabul edilmiştir ve inşaat faaliyetleri boyunca kredi faizleri göz önüne alınmamıştır. Ayrıca yıllık giderler hesaplanırken sigortalar ve vergiler dahil edilmemiştir.

Birim fiyat olarak DSİ Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı ile Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı 2009 yılı birim fiyat cetvellerindeki rakamlar kullanılmıştır. Yatırım maliyeti olarak gerekli hesaplamalar yapıp, toplam beş milyon sekiz yüz kırk dört bin iki yüz seksen dokuz lira, elli dokuz kuruşluk yatırım yapılmıştır.

Tablo 5. 1 İletim tüneli yatırım maliyeti

SIRA NO	İŞİN TARİFİ	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYATI (TL)	TUTAR (TL)
1	Tünel Kazısı	25.081,78	m ³	140,44	3522485.18
2	Püskürtme Beton	2.038	m ³	250,00	509500,00
3	Çelik İksa (I Profil)	172.385,00	Kg	3,4	586109,00
4	Kaya Bulonu	14.596,00	m	24,5	357602,00
5	Çimento Bedeli (dökme)	2.341,88	ton	137,38	321728.01
6	Ø14 ve Daha Büyük Çaplı Betonarme Demir	292,70	ton	1.368,45	400593.88
7	Tünel Uzunluk Zammı	27.614,71	m	0,20	5522.94
8	Çimento Nakli	2.341,88	ton	12,19	28547.56
9	Demir Nakli	292,74	ton	84,38	24701.02
10	Hasır Çelik	25,0	ton	3.500	87500.0
				TOPLAM	5844289.59

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çağlayan Regülatörü ve HES projesi iletim tüneli güzergahı boyunca yapılan gözlemler ve çalışmalar sonucu tünel zeminini oluşturan farklı özelliklere sahip kaya birimleri Q ve RMR kaya sınıflama sistemlerine göre derecelendirilmiş olup kaya kütle tanımları yapıp, kaya sınıflarının ortalama desteksiz kalma süreleri hesaplanmıştır. Tünel açma yöntemi NATM'dir. Sınıflama sonuçlarına bağlı olarak ve tünel zemininin desteklenmesi amacıyla A1, A2 ve A3 destek sınıflarının uygulanması öngörülmüştür. Bu sınıflamada kullanılan destekleme elemanları; püskürtme beton, çelik hasır, çelik iksa, bulon ve sürenlerdir.

Tünel kazısının kaya ve zemin koşulları, tünel çapına bağlı olarak tam kesit şeklinde yapılması, zemin niteliğinde olan tamamen ayrılmış kaya içinde ve zemin koşullarının kötüleştiği durumlarda, tünel aynasından tünel içine doğru herhangi bir sebeple kayma olasılığının belirmesi durumunda çevresel kazı yapılarak ana kaya destek göbeği olarak bırakılması gerekmektedir. Ayrıca kazının çok problemlili olması durumunda bırakılan destek göbeği püskürtme beton, çelik hasır ve bulon ile güçlendirilmesi önerilir.

Kireçtaşı ve masif şist biriminin geçildiği kesimlerde ilerleme del-patlat ile yapılmıştır. Tünel kazısı boyunca iş makinası olarak kazıcı-yükleyici (beko-loder) ve delik delme makineleri kullanılarak ilerleme yapılmıştır.

Kazı sırasında karşılaşılan sorunlar; göçük sorunu, havalandırma sorunu, ve su sorunudur. Su sorunu ortaya çıkmadan önce su pompaları hazırda bulundurulması gerekmektedir. Aksi takdirde bu yönde bir hazırlık olmaması sonucu tünel içindeki iş programı gecikmeye uğrayabilir.

Göçük sorunu ile karşı karşıya gelmeden önce kazı yapıldıktan sonra, fazla zaman kaybetmeden emniyet shotcrete (püskürtme betonu) atılarak zeminin hava ile teması

kesilmesi gerekir iksa kurulup shotcrete (püskürtme beton) atıldıktan sonra zaman geçmeden süren uygulamasına geçilmelidir. Yerinde karar vermek gerekmektedir.

Havalandırma sorunu çözümü için tünel içerisinde fazla ilerleme olmadan fan tertibatı kurulmalıdır. Aksi takdirde tünel içerisinde püskürtme beton atılırken veya aynada patlatma yapıldıktan sonra tünel içerisinde oluşan toz ve zehirli gazların insan sağlığı için ciddi problemlere neden olacağı unutulmamalıdır.

Püskürtme beton (shotcrete) aliva makinesi ile kuru olarak atılmaktadır. Tünel çapına uygun olarak imal edilmiş mikserler ile beton santralinden getirilen püskürtme beton kuru karışım olduğu için fazla bekletilmemelidir. Kuru sistemde atılan püskürtme betonda dökülme oranı yüksektir. Bu yüzden tünel ilerlemesi devam ettiği sürece proje için belirlenen püskürtme beton miktarının iki katı püskürtme beton kullanılacağı tahmin edilmektedir. Sonuç olarak yaş sistem ile püskürtme beton kullanımı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- BARTON, N.R., LIEN, R., and LUNDE, J., 1974, "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support", *Rock Mech.* 6(4), 189-232.
- BİENIAWSKI, Z.T., 1989, "Engineering Rock Mass Classifications", Pennsylvania, syf.237
- BİENIAWSKI, Z.T., 1976, Rock mass classification in rock engineering. In *Exploration for rock engineering, proc. of the symp.*, (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. CapeTown: Balkema.
- ÇAĞLAYAN REGÜLATÖRÜ ve HES FİZİBİLİTE RAPORU 2012, ATE Enerji Elektrik Üretim San. Tic. Ltd. Şti, syf.276
- ÇEÇEN, E.E., 2007, Kent İçi Tünellerinde Uygulanan Şemsiye-Kemer ve Ayna Donatılama Tekniklerinin Gerilme-Deformasyon Üzerine Etkilerinin Sayısal Analizi, İstanbul Teknik Üniv., Fen Bilimleri Enst., İnşaat Müh. Anabilim dalı Doktora Tezi, İstanbul, syf.272
- DEERE D.U., 1964, "Technical description of Rock Cores for Engineering Purposes," *Rock Mechanics and Engineering Geology*, Vol.1, No. 1, pp. 17-22
- GRİMSTAD, 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*, Fagernes. Oslo: Norwegian Concrete Association pp. 46-66
- JETHWA, J.L., and GOEL, R. K. 1991, Prediction of Support Pressure Using RMR Classification, *Proc. Indian Geotechnical Conference*, Surat India, pp. 203-205
- LOUIS, C., 1986, Theory and Practice in Soil Nailing-Temporary or Permanent Works, *ASCE Annual Convention, Geotech 1986*, Boston, pp. 27-31
- MEHROTRA, V.K., 1992, *Estimation of engineering properties of rock mass* (p.267). Ph.D Thesis. Uttarakhand, India: IIT Roorkee.
- MÜLLER, L., 1978, Removing Misconceptions on the New Austrian Tunneling Method, *Tunnels Tunneling*, Vol. 10, syf.667-671
- PERİNÇEK, D., 1979 a, Güneydoğu Anadolu'da alloktan birimler: 33. Türkiye Jeoloji Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Bildiri özetleri, syf.115-116

- RABCEWICZ, L., 1963, Bemessung von Hohlraumbauten. Die “*Neue österreichische Bauweise*” und ihr Einfluss auf Gebirgsdruckwirkungen und Dimensionierung. Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Sonderabdruck aus Vol. I/3-4, 224-244. Vienna: Springer Verlag
- ROBERTSON, A., ÜNLÜGENÇ, Ü.C., İNAN, N., TAŞLI, K., 2004, The Misis-Andırın Complex: a Mid-Tertiary melange related to late-stage subduction of the Southern Neotethys in S Turkey. *J Asian Earth Sc.*, 22, 413-453.
- SİNGH, B, GOEL, R.K., 1999, *Rock mass classification - A practical approach in civil engineering*. Elsevier Science Ltd., U.K., 268
- SUNGURLU, O., 1974, VI. Bölge kuzeyinin jeolojisi ve petrol imkanları: Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğlerinden, pp. 85-107
- ULUSAY, R. and SÖNMEZ, H., 2007, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, TMMOB Jeoloji Müh. Odası Yayınları, No: 60, Ankara, syf.292
- ÜNAL, E. 1983, *Development of Design Guidelines and Roof-control Standards for Coal Mine Roofs*, Ph.D. Thesis, Penn. State University, USA, 355 s.
- VARDAR, M., 1979. Yeraltı Kaya Yapıları Mekaniğinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin Ana İlkeleri, Ankrajlar ve Boyutlandırması, DSİ, Ankara
- YAZGAN, E., ASUTAY, H J., GÜLTEKİN, M.C., POYRAZ, N., SİREL, E., ve YILDIRIM, H., 1987, Malatya güneydoğusunun jeolojisi ve Doğu Torosların jeodinamik evrimi. MTA Raporu, No: 2268.
- YAZGAN, E., ve CHESSEX R., 1991, Geology and tectonic evolution of the Southeastern Taurides in the region of Malatya. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 3,11-42

EKLER

EK-1. Projenin Türkiye'deki yeri

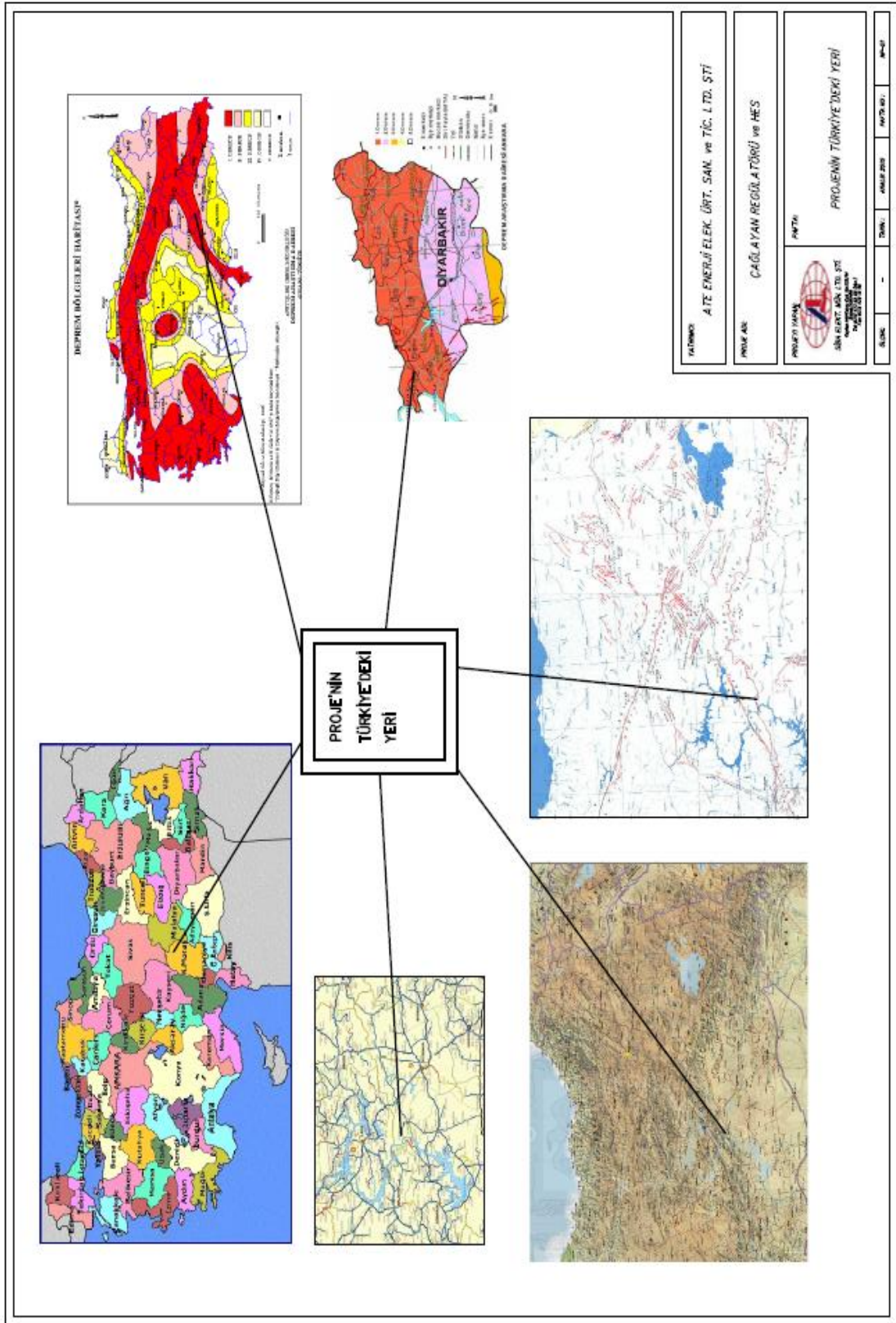
EK-2. Genel yerleşim planı

EK-3. İletim hattı tüneli

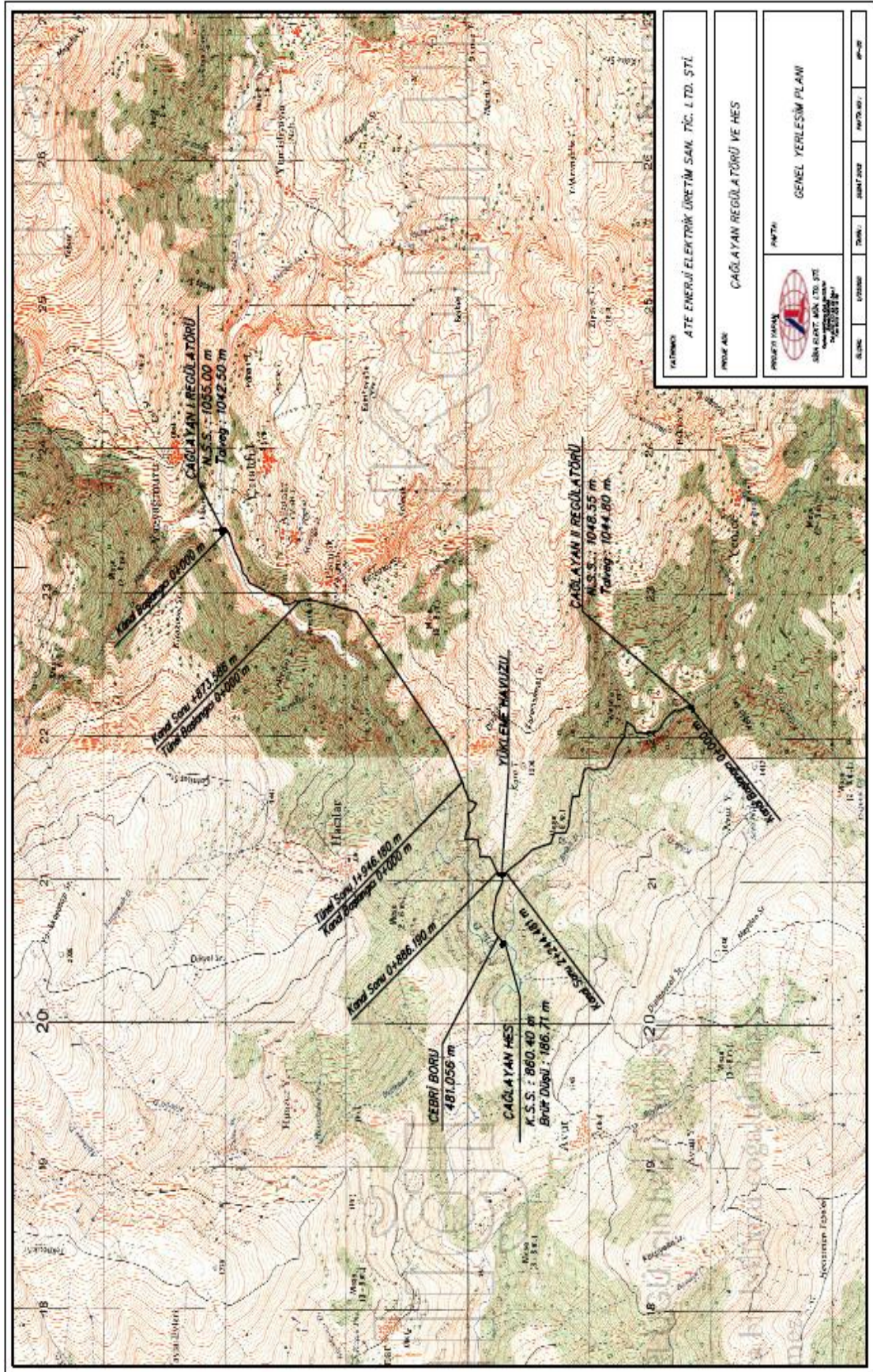
EK-4. Genel yerleşim yeri jeoloji planı

EK-5. İletim hattı giriş tüneli jeoloji planı

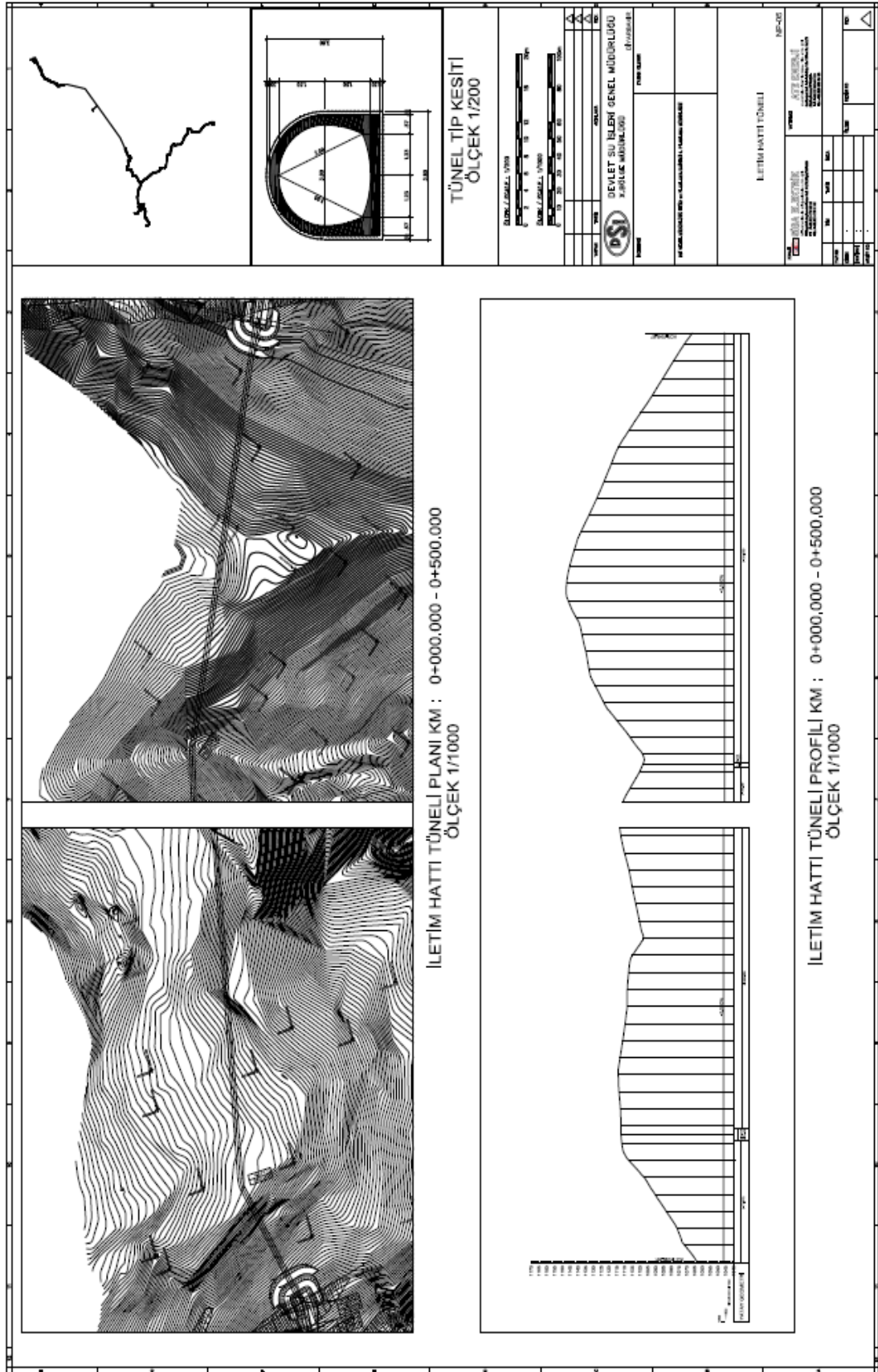
EK-6. İletim hattı çıkış tüneli jeoloji planı



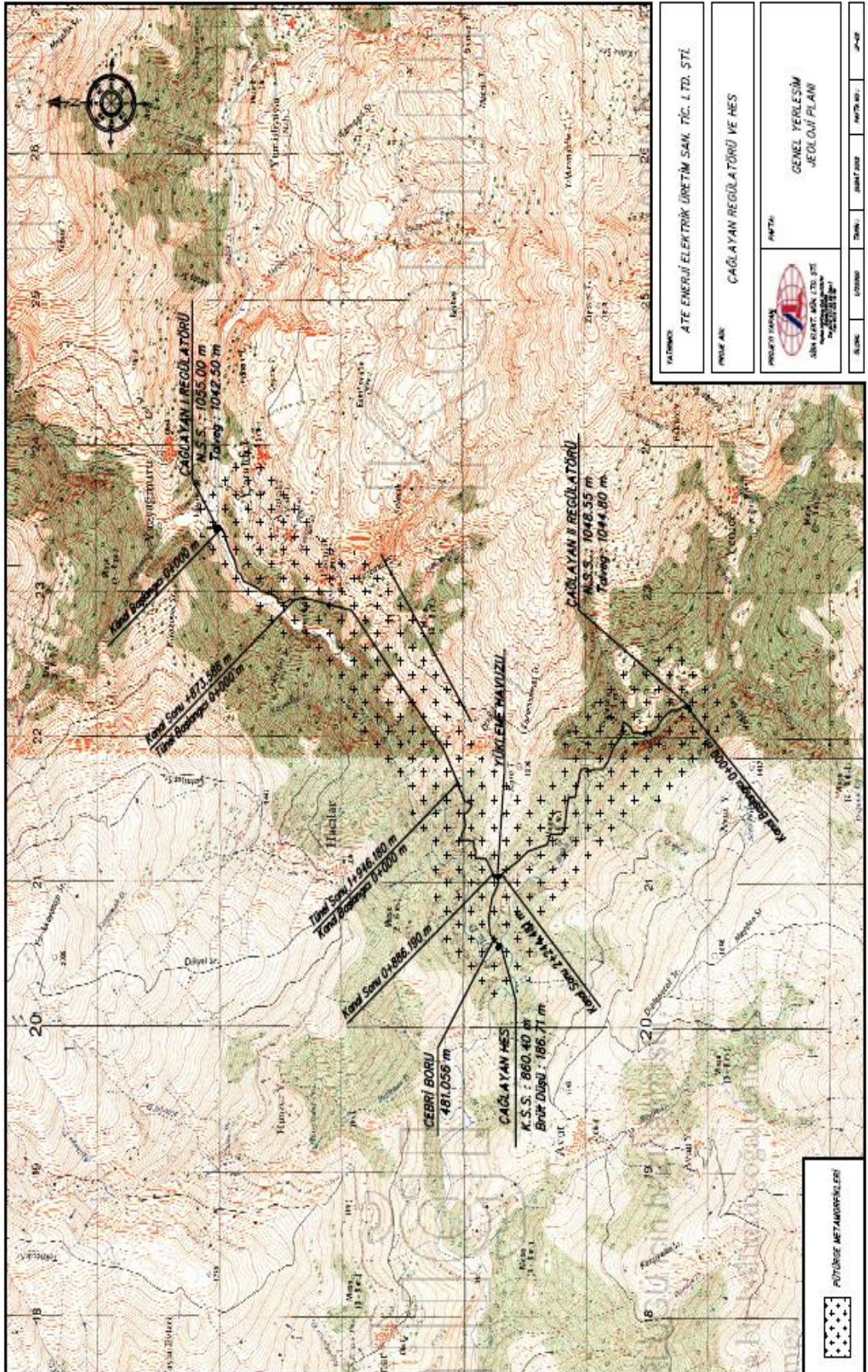
EK-1 Projenin Türkiye'deki yeri



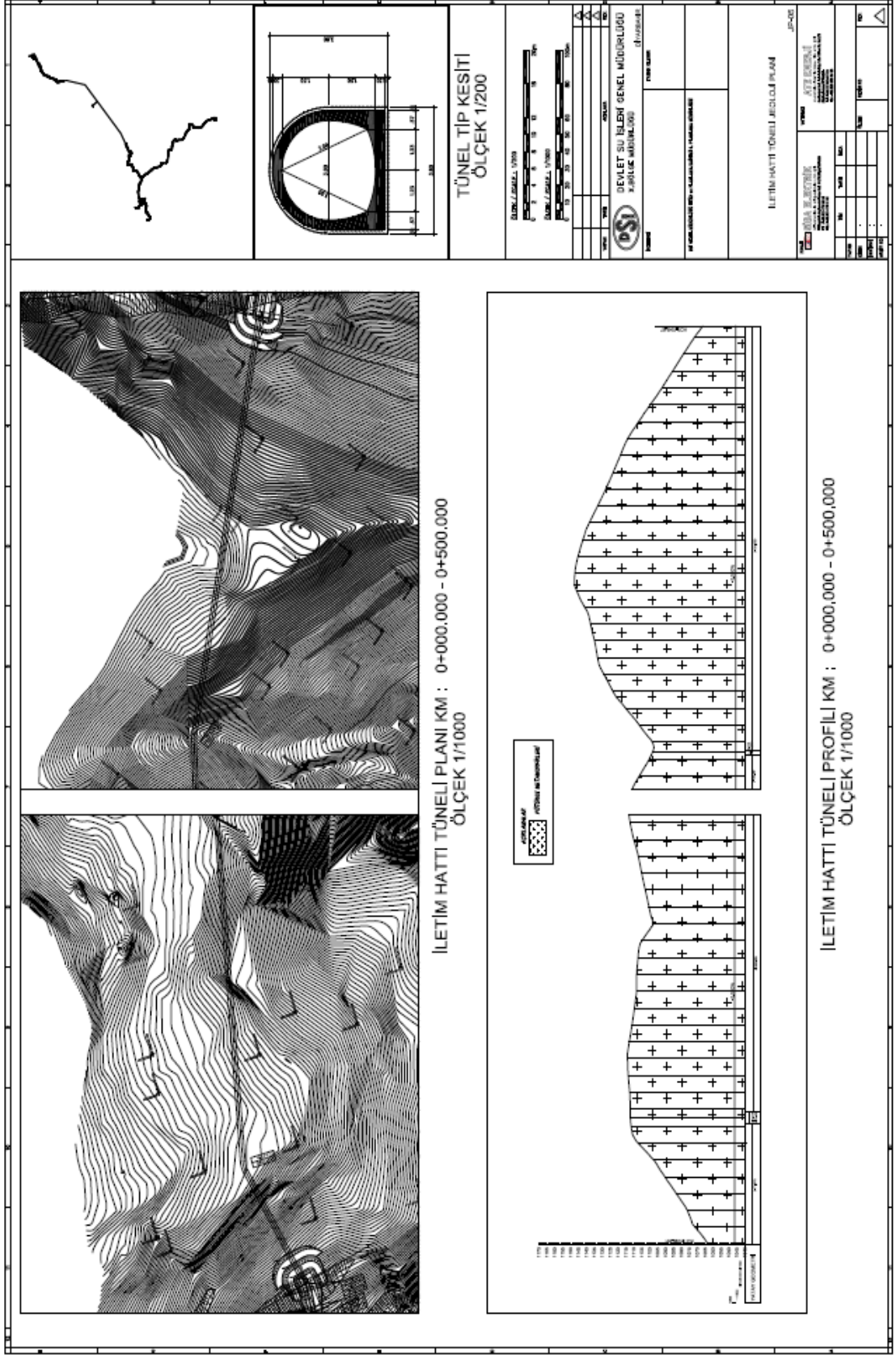
EK-2 Genel yerleşim planı



EK-3 İletim hattı tüneli



EK-4 Genel yerleşim yeri jeoloji planı



EK-5 İletim hattı giriş tüneli jeoloji planı

ÖZGEÇMİŞ

19.09.1986 yılında Diyarbakır ili Çüngüş ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çüngüş’de tamamladı. 2007 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Bu bölümü 2011 yılında tamamladı. Aynı yıl İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Halen Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.