

GEZENDE BARAJI ENERJİ TÜNELİNDE SU KAÇAKLARI VE ONARIM ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AN EVALUATION OF WATER LEAKAGE AND LEAK REPAIRS IN THE GEZENDE ENERGY TUNNEL

Uğur Cemal OĞUZBERK

Güzelyalı Mah. Adnan Kahveci Blv.8 Sokak No:3 K5 D10, Çukurova - Adana

Yayına Geliş (Recieved): 30.03.10, Yayına Kabul (Accepted): 15.03.11

ÖZ : Gezende barajı, Ermenek çayı üzerinde İçel-Ermenek il sınırına yakın bir yerde projelendirilmiştir. Önce Gezende barajı inşa edilmiş, daha sonra ise enerji tüneli 02.05.1990 tarihinde bitirilerek işletmeye açılmıştır. Sonraki yıllarda tünelde 490 metrelik kesimde, sülfat minerali zenginleşmesine bağlı önemli su kaçakları olmuş ve tünelin bu kısmında 1996, 1997, 1998, 2000, 2007 yıllarında onarım çalışması yapılmıştır. Onarım çalışmalarının ana nedeni tünelin jipsli ve anhidritli kesimlerinde görülen sülfat iyonu etkisi ile betondaki çatlak ve kırıklara bağlı olarak artan ölçülerde su kaçaklarıdır. Sorunun çözümü için tünel yapıldığı yıllarda uygulanmayan sülfata dayanıklı çimentonun 2007 yılındaki onarım işlerinde uygulanması ile başarılı sonuçlar alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gezende Barajı, su kaçağı, sülfat.

ABSTRACT : The Gezende dam is located on the Ermenek River in the İçel-Ermenek provincial borders. After the completion of the dam structure, the energy tunnel was built and then the dam structure was opened on 02.05.1990. On account of the sulphate enrichment in the underground water, a 490 m section of the energy tunnel was damaged and the water started to leak out of the tunnel during the following years. Therefore, civil engineers worked hard to repair damaged sections of the tunnel in 1996, 1997, 1998, 2000 and 2007. The main reason for the damage was the effect of sulphate ions on the concrete along the section where wall rocks are rich in gypsum and anhydride. The leakage resulted in cracks and fractures in the concrete and hence water leaks. This problem was solved by the use of sulphate resistant cement during the repairs, which had not been used during the excavation of the tunnel.

Key Words: Gezende Dam, water leake, sulphate

GİRİŞ

Gezende barajı ve hidroelektrik santrali, Doğu Akdeniz bölgesinde yer alan Göksu Nehri'ne bağlı Ermenek çayı üzerinde inşa edilmiştir (Şekil 1). Gezende barajından yılda toplam olarak 528×10^6 KW saat elektrik enerjisi elde edilmektedir. Gezende barajına ait başlıca bilgiler aşağıda sunulmuştur (DSİ, 1987).

Bu çalışmaya konu olan enerji tüneli, sol sahilde, uzunluğu 8629 m, iç çapı 5.60 m, en fazla debi 117 m³/s, eğimi = 0.005, tünel giriş kotu 294.92 m, kemer beton kalınlığı 0.45 m'dir. Enerji tüneli baraj eksenine kaynağından 295 m kotunda ve km: 0+000'dan başlayıp, km 8+629 m'de 166 m kotundan açığa çıkmaktadır. Enerji tüneli güzergahında üç yerde 130⁰-170⁰ arasında değişen açılarda dirsek yapmaktadır.



Şekil 1: Gezende barajının yer bulduru haritası.

Figure 1: Location map of the Gezende Dam.

Baraj tipi	Beton ince kemer
Amacı	Enerji Üretimi
Kret kotu	335.00 m
Talveg kotu	264.00 m
Temel kotu	260 m
Temelden yüksekliği	75.0 m
Kret uzunluğu	171.70 m
En yüksek su düzeyi	333.00 m
En düşük su düzeyi	310.0 m

Gezende barajı enerji tünel güzergâhında sondaj kuyuları eksenden 100 - 125 m uzaktan açılmıştır. Sondaj delgisi tek tüplü (B) tipi karotiyerle açıldığı için karot yüzdesi (% 25 - 35) düşük değerde alınmıştır. Proje DSİ Genel Müdürlüğüne intikal edince enerji tünel güzergâhı, ulaşım tünellerini projelendirebilmek için sondaj güzergâhından uzaklaştırılmıştır. Ayrıca açılmış olan söz konusu enerji tünel güzergâhında jeoteknik ve zemin mekaniği deneylerinin hiçbiri yapılmamıştır. Tünelde yeteri kadar yapılmayan jeolojik ve jeoteknik çalışmaların sonucu güzergâhta jips ve anhidrit seviyelerinin bulunduğu tespit edilememiştir.

Aslında bu litolojilerin zararlı etki derecesi bakımından değerlendirilmesi için, sülfat miktarının belirlenmesi gerekmektedir TSE, 3440 (1982). Mühendislik yapılarında en şiddetli etkinin görüldüğü yerler, tünel gibi bir yüzeyi sülfat çözeltisine maruz kalan, diğer yüzeyinde ise buharlaşmanın olduğu elemanlardır. Bu anlamda tünel güzergâhının dış (kaya) kesiminde sülfat zenginleşmesi, tünelin iç kısmında su kesilince buharlaşma etkileri görülmektedir.

Tünel kazısı sırasında 1985 yılında bu makalenin yazarı tarafından tünel açım haritası hazırlanmış ve bu kesimlerdeki jipsli ve anhidritli düzeylerin varlığı ortaya çıkartılmıştır. Sonraki aşamada tünel kazısı sırasında ise, jipsli ve anhidritli bölgelerden alınan örnekler DSİ Genel Müdürlüğü laboratuvarına gönderilerek ince kesitleri hazırlanmış ve kimyasal analizleri yapılmış ve tünel betonuna zararlı olup olmayacağı araştırılmıştır. Bunun nedeni, jips ve anhidrit gibi sülfat içeriği yüksek olan zemin çözeltilerinin, tüneldeki ön kaplama ve kemer betonu içine sızarak, çimentodaki kalsiyum ile reaksiyona girip kalsiyum sülfat oluşturmasıdır (CaSO_4). Sülfat mineralince zenginleşen bu bölgeler daha sonra yeraltı suyu etkisiyle eriyerek sülfat minerali hacmi giderek artmaktadır. Bu değişiklik sonucunda, jips ve anhidrit çevresindeki sert malzeme (marn, dolomitik kireçtaşı ve kumtaşı parçaları gibi), santrale gitmekte olan su basıncına yeteri kadar karşı koyamadığı için, iç basınç etkisi ile tünelin iç yüzeyinde demir donatı açığa çıkacak şekilde çatlak ve boşluklar oluşturmuştur. Ayrıca enerji tüneli km: 6 + 150'de 1.700 lt/s debili su kaçağına neden olan güncel karstlaşma meydana gelmiştir. Bu güncel karstlaşmanın 2007 yılındaki onarımı sırasında drenaj galerisi km: 0 + 248'de diğer bir güncel karstlaşmanın daha meydana geldiği görülmüştür.

Bu arada enerji tüneli km: 5 + 970 ile 6 + 457.29 arasından alınan örneklerde yapılan kimyasal analiz sonuçları % 28.75 mek/lt ve 26.87 mek/lt'lik sülfat iyonu zenginleşmesi olduğunu göstermiştir. Bu kesimin kazısı, taban betonunun dökülmesi, kemer betonunun

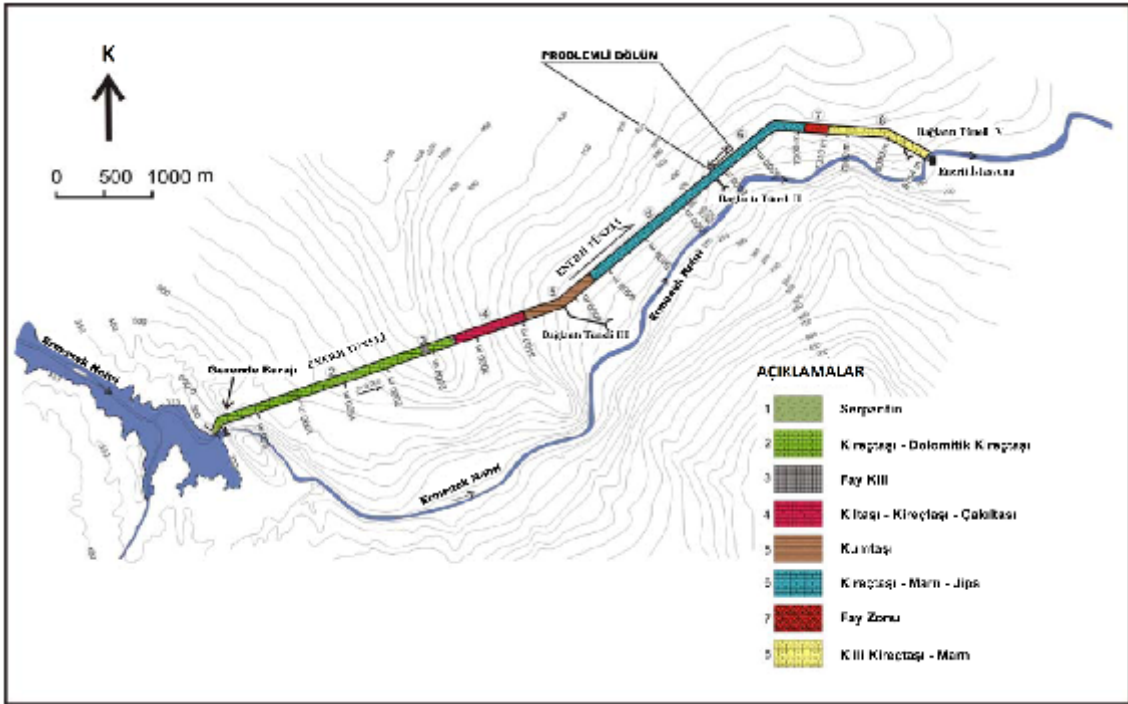
tamamlanması, kontak ve konsolidasyon enjeksiyonu bitirildikten sonra kullanılmakta olan normal Portland çimentosu, sülfata karşı dayanıklı çimentoya dönüştürülmüştür. Portland çimentosundan sülfata karşı dayanıklı çimentoya geçişte çok geç kalındığı için sonraki yıllarda tünelin aynı kilometreleri arasında su kaçakları meydana gelmiş, dolayısıyla tamir çalışmaları yapılması zorunlu olmuştur.

TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı ve çevresinde Mesozoik ve Senozoik yaşlı kaya birimleri bulunmaktadır (Gedik vd., 1978). Tünel güzergâhında en yaşlı birimler, Triyas yaşlı dolomitik kireçtaşları, marn, kumtaşı ve jips ile temsil edilmektedir. Bu kayalar üzerinde Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı tabakaları yer alır. Bu birimlerinde üzerinde ise ofiyolitik melanj tektonik dokanakla gelmektedir. İstifin daha da üst kesimlerinde Miyosen yaşlı konglomera, kiltası, marn ve kireçtaşı bulunmaktadır (Türkmen, 1987; Türkmen ve Demirkol, 1989). Tünel güzergâhından gözlenen bu birimler aşağıda tanımlanmıştır.

Enerji tüneli; km: 0-190 / 0-0.50 (140 m) arasında tektonizma etkisi ile oldukça kırıklı, parçalı ve ezilme zonlu ofiyolit biriminden geçmiştir. Tünelin km: 0-50 / 2+480 arasında kalan kesimi orta kalın katmanlı, eklemli ve kırıklı kireçtaşı biriminde açılmıştır. Söz konusu kireçtaşında oldukça geniş bir fay zonu ile karşılaşmıştır (Şekil 2). Bu kesimden sonra tünel

km:2+480 / 2+746 arasında ince tabakalı, az eklemli, sıkı tutturulmuş ve koyu gri renkli dolomitik kireçtaşında açılmıştır. Tünelde km:2+746 / 3+500 arasında kırılğan ezilmiş, paralanmış, kırmızı killi kireçtaşı bulunmaktadır. Bu kesimde yaklaşık 30-35 metrelik bir fay zonu da geçilmiştir. Tünelin km:3+500 / 4+324 arasında marn, dolomitik kireçtaşı bulunmaktadır. Dolomitik kireçtaşı ve marn ince, orta kalınlıkta tabakalıdır. Kırıklı, ezilme zonlu ve paralanmış seviyeli ve kayma yüzeylidir. Tünelin km:4+324 / 5+970 arasında ise ince tabakalı sıkı çimentolu, eklemli dolomitik kireçtaşları kesilmiştir. Tünelin sorunlu kesimi km:5+970 / 7+045 arasında dolomitik kireçtaşı, anhidrit yumrulu, killi jips ve jips ile marn düzensiz ve farklı kalınlıklarda araldanmaların bulunduğu alandır. Tünelin bu kesiminde kırıklı, faylı, ezilme ve paralanma zonlu olup jipsli bölgeler çok zayıf dayanımlıdır. Jips, marnlı jips ile karışık ve ara tabakalı olarak bulunduğu gibi, saf jips çatlaklarda ve tabaka ara yüzeylerinde dolgu olarak da izlenmektedir. Tünelin km:7+045 / 7+310 arasında kırıklı, parçalı ve ezilme zonlu, orta derece çimentolu kırmızı kil araldanmalı kireçtaşı bulunmaktadır. Tünel de km 7+310 / 7+334 arasında Miyosen yaşlı, kalsiyum karbonat çimentolu, orta derecede tutturulmuş, taban konglomerası saptanmıştır. Tünelin portal kesimlerine doğru ise Km:7+334 / 8+629 arasında marn-kireçtaşı araldanmalı birimler kazılmıştır. Marnlı seviye nemini kaybettiğinde ufalanıp dağılma özelliği göstermektedir.



Şekil 2: Enerji tünelinin jeoloji haritası (Türkmen, 2009).

Figure 2: Geological map of the energy tunnel (Türkmen, 2009).

Kireçtaşı seviyeleri ise, kısmen killi olup sağlam tutturulmuştur. Fay ve makaslama zonlarında ezilme ve paralanma özellikleri ile karşılaşılmıştır. Bu birimler üzerinde yer alan yamaç molozlarında santral yolu kazısı yarıldığı sırada, eski heyelan tetiklenmiş ve yapılmakta olan yolda 1.5-2.0 m mertebesinde çökme-kabarma olmuştur. Bu durum, santral yerinin değiştirilmesine ve enerji tünelinin 1200 m uzamasına neden olmuştur.

İNCE KESİT İNCELEMELERİ VE KİMYASAL ANALİZLER

Tünel güzergâhında 55 adet ince kesit tanımlaması ve kimyasal analiz deneyleri yapılmıştır. Deneyler, DSİ Araştırma ve Geliştirme Daire Başkanlığı merkez laboratuvarında yapılmıştır.

İnce kesitlerde jips örnekleri, çeşitli tane iriliklerinde saydam veya yarı saydam, şekilsiz, telsel

ince uzun prizmatik jips taneciklerinden oluşmaktadır. Anhidrit örnekleri tane irilikleri farklı, şekilsiz, telsel anhidrit kristallerinden oluşmaktadır. Bazı kesimlerde özellikle çatlak civarlarında bünyesine su alan anhidrit taneleri jipse dönüşmüştür.

Beton açısından sülfat etkisinin şiddeti, zemin veya suda bulunan sülfat iyonunun konsantrasyonuna bağlıdır. Bu nedenle betonla temas eden sudaki veya zemindeki sülfat miktarının betona zarar verecek düzeyde olup olmadığını ve etkinin şiddetini belirlemek için, zeminden ve yeraltı suyundan örnekler alınarak sülfat içerikleri belirlenmiştir.

Kimyasal analiz sonuçlarına göre, su örneğinde sülfat iyonu içeriğinin 11 688 mg/l, 1381 mg/l ve 1291 mg/l olduğu tespit edilmiştir. Değerlendirme ise Tablo 1'e göre yapılmıştır. Bu verilere göre örnekler orta ve çok zararlı kimyasal sınıfına girmektedir.

Tablo 1: Doğal zeminler ve yeraltı sularından kaynaklanan kimyasal etkiler için etki sınırlarının sınır değerleri (TS EN 206-1, 2002).

Table 1: Table showing limit values of impression boundaries for the chemical effects resulted from natural ground and underground waters (TS EN 206-1, 2002).

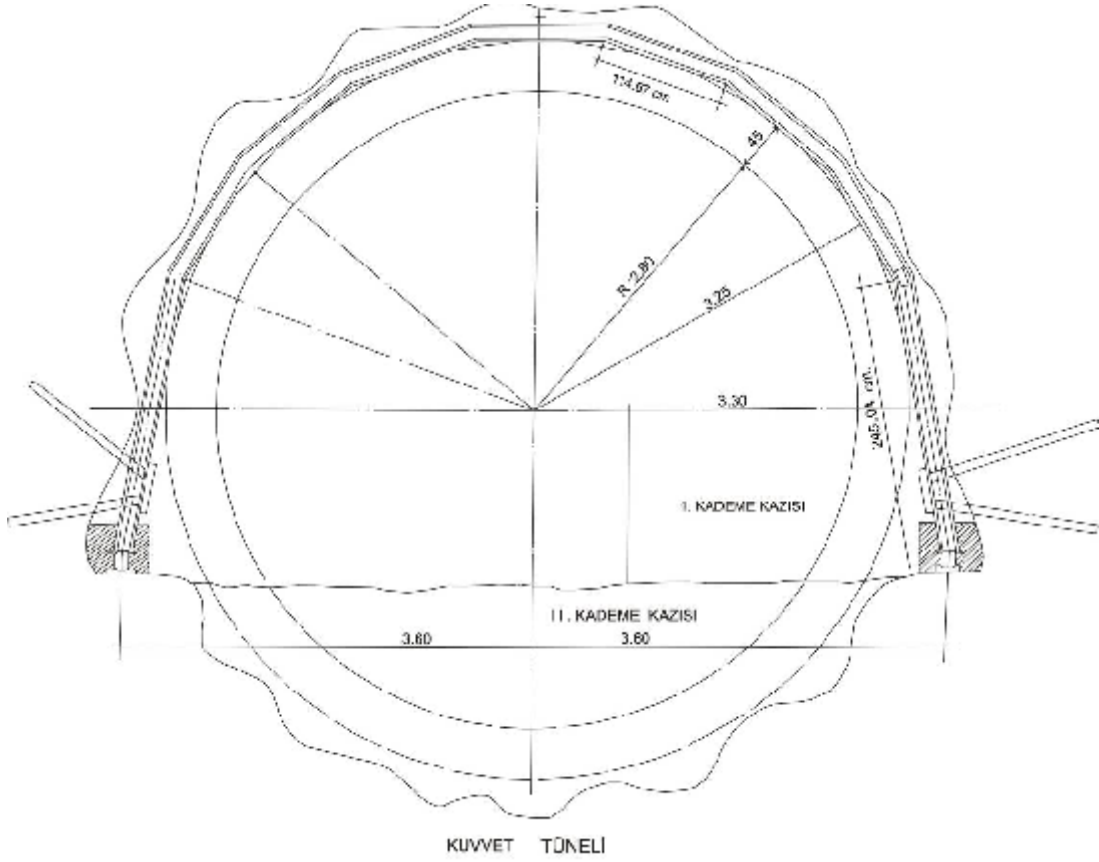
Kimyasal Özellikler	Az zararlı Kimyasal Ortam	Orta Zararlı Kimyasal Ortam	Çok Zararlı Kimyasal Ortam
Yeraltısuyu			
SO ₄ ⁻² mg/l	200 ≤ SO ₄ ⁻² ≤ 600	600 < SO ₄ ⁻² ≤ 3000	3000 < SO ₄ ⁻² ≤ 6000
pH	5.5 ≤ pH ≤ 6.5	5.5 < pH ≤ 4.5	4.5 < pH ≤ 4.5
CO ₂ mg/l (zararlı etkiye sahip)	15 ≤ CO ₂ ≤ 40	40 < CO ₂ ≤ 100	100 < CO ₂ (doygun hale gelene kadar)
NH ₄ ⁺ mg/l	15 ≤ NH ₄ ⁺ ≤ 30	30 < NH ₄ ⁺ ≤ 60	60 < NH ₄ ⁺ ≤ 100
Mg ⁺² mg/l	300 ≤ Mg ⁺² ≤ 1000	1000 < Mg ⁺² ≤ 3000	3000 < Mg ⁺² (doygun hale gelene kadar)
Zemin			
SO ₄ ⁻² mg/kg (toplam)	2000 ≤ SO ₄ ⁻² ≤ 3000	3000 < SO ₄ ⁻² ≤ 12000	12000 < SO ₄ ⁻² ≤ 24000
Asidite, mg/kg	20 < Asidite (Baumann Gully)	Uygulamada karşılaşılmaz	Uygulamada karşılaşılmaz

KAZI VE DESTEK SİSTEMLERİ

Tünel kazıları hava darbeleri delici matkaplar ile delinerek dinamit ve amonyum nitrat sıkılanıp karafitil ile patlatılarak her bir aynada günde 2 m kazı yapılmıştır. Kazıda marn, jipsli marn, ince kumtaşı bantı, anhidrit yumruğu marn, çatlakları jips dolgu marn gibi birimlerde tabakaların düzensiz aralanma gösterdiği kesimlerde ters (U) şeklinde olan tünel, yan duvar ayakları yanlara doğru 30'ar cm açılarak ve kaya kütlesi derecesi arttıkça destekleme değiştirilmiş ve arttırılmıştır (Şekil 3).

Bu kesimlerde:

- Kaya kütlesi orta yerlerde: Destek aralığı 1.0 m
- Kaya kütlesi zayıf yerlerde: Destek aralığı 1.5 m
- Kaya kütlesi çok zayıf yerlerde: Destek aralığı 1.0 m + ön kaplama betonu
- Kaya kütlesi aşırı zayıf yerlerde (ezilme, paralanma zonu, fay zonu) destek aralığı 1.0 m ve + 10 mm çaplı demir teçizli ön kaplama betonu dökülerek, destekleme sistemleri oluşturulmuştur. İksa ayakları, altına 2 II profil iksa yan yana kaynatılarak takoz olarak konulmuş ve yan duvarlara basit ankrajla tutturulmuştur.



Şekil 3: Uygulanan destek projesi.
Figure 3: Support project applied.

ENERJİ TÜNELİNDEKİ ONARIMLAR VE TARİHÇESİ

Gezende Barajı, 02.05.1990 tarihinde bitirilmiş ve işletmeye açılmıştır. Bu yıldan sonra DSİ tarafından belirlenen su kaçakları ve tamirat çalışmaları aşağıda sunulmuştur (Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6).

Tünelde 1996 yılında km: 5+970 - 6+840 arasında isabet eden dere yatağında çeşitli kaynaklar görülmüştür. Bu tarihte su kaçağı 200 lt/sn olarak ölçülmüş ve önemli görülen yerlere kontak enjeksiyonu uygulanmıştır.

Tünelde 1997 yılında (Şekil 4), tünel içinde çatlak görülen km: 6+185 - 6+240 arasında kontak enjeksiyonu 561 delikten/842 m sondaj yapılarak 721 ton çimento kullanılmıştır. Aynı yerlerde konsolidasyon enjeksiyonu da yapılmış ve 121 delikten / 920 m delgi yapılarak 140 ton çimento kullanılmıştır. Bu çalışmada, 100 lt/sn olan su kaçağı 40 lt/sn seviyesine düşürülebilmştir.

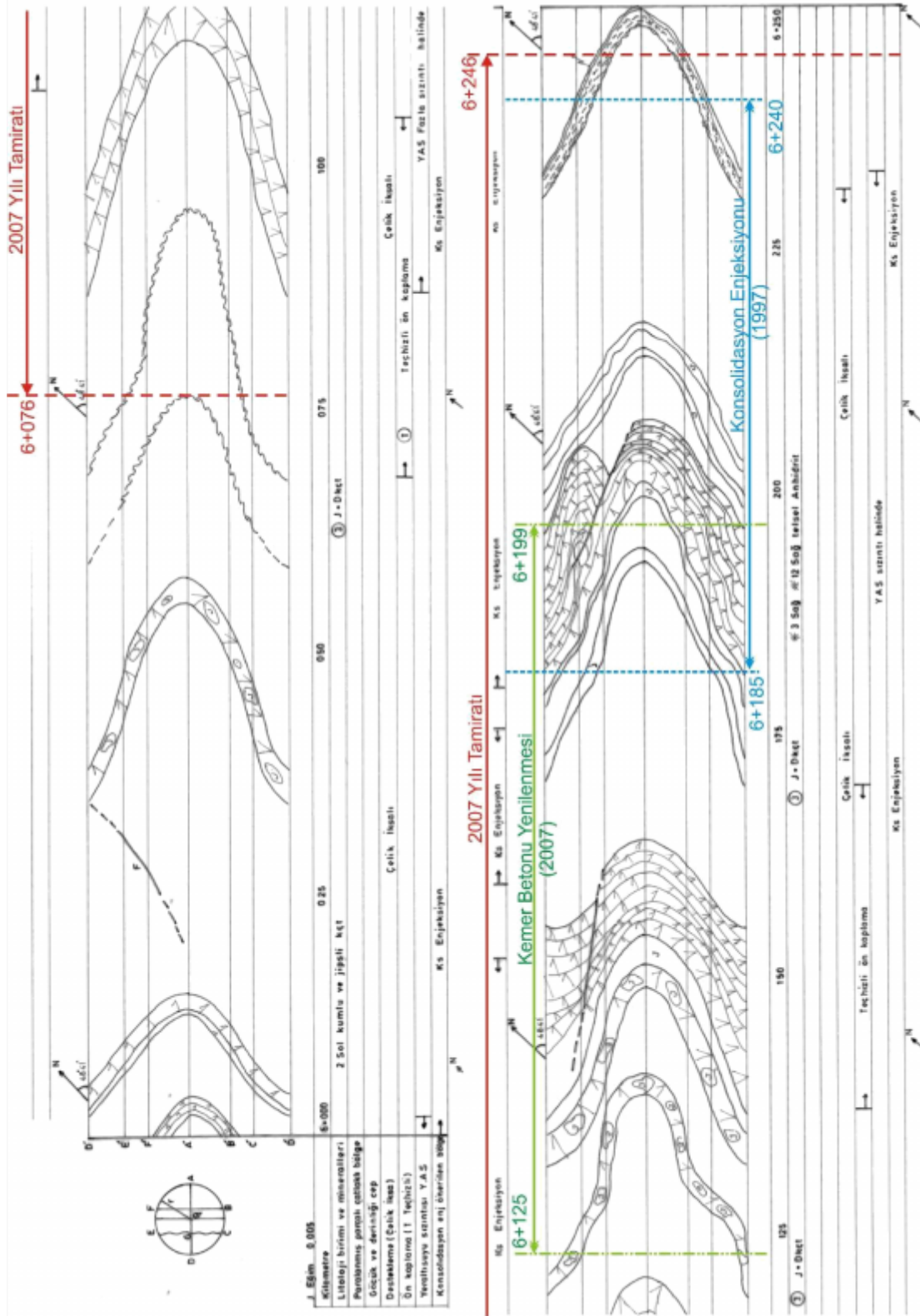
Tünelde 1998 yılında (Şekil 6) km: 5+898 - 5+970 arasında, kontak enjeksiyonu; 727 delikten / 1090 m sondaj yapılmış ve 553 ton çimento kullanılmıştır. Konsolidasyon enjeksiyonu için de; 634 delikten / 6276 m sondaj yapılmış ve 645 ton çimento

kullanılmıştır. Bu çalışmada, 90 lt/sn olan su kaçağı 60 lt/sn seviyesine düşürülebilmştir.

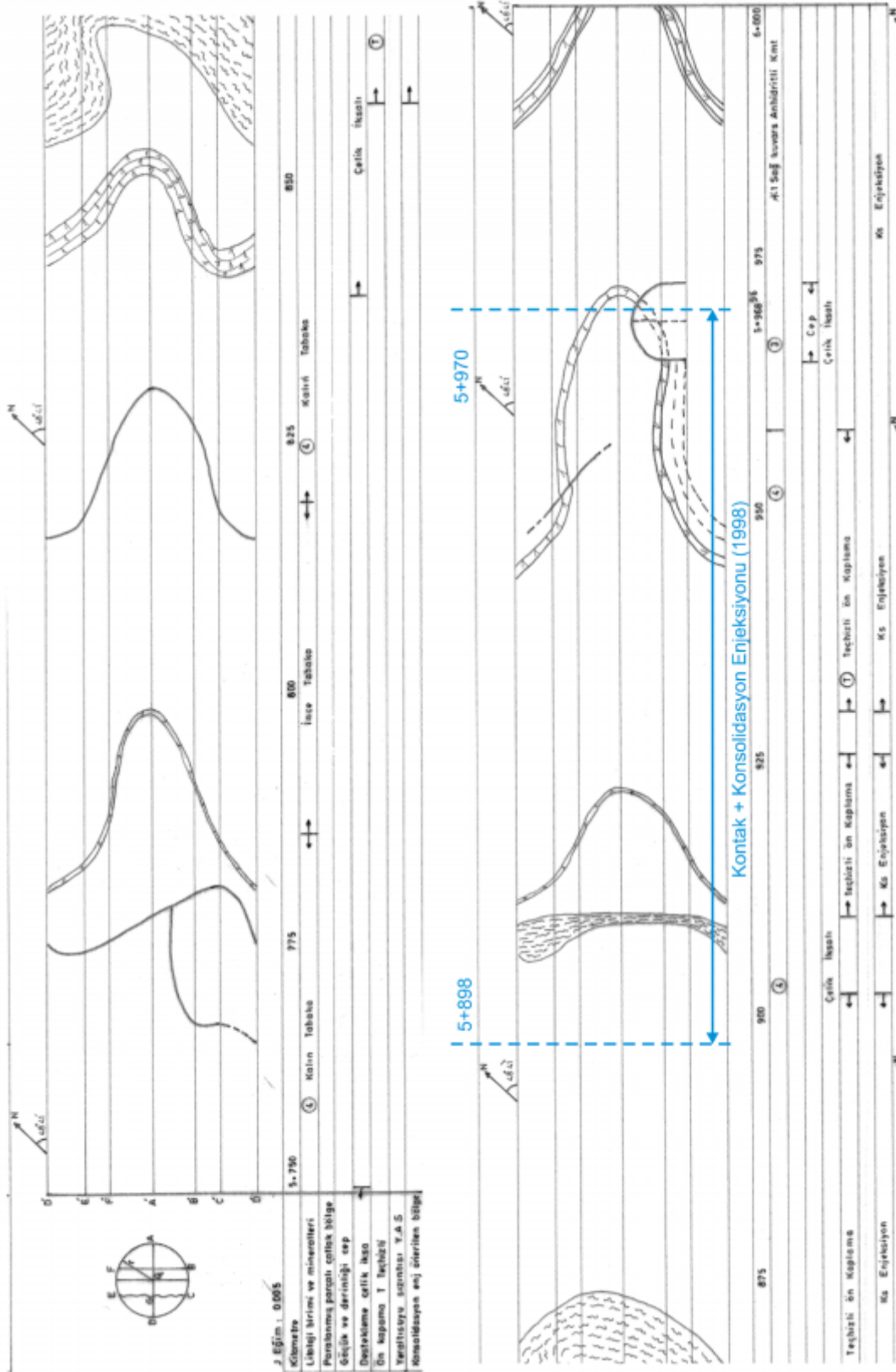
Tünelde 2000 yılında, (Şekil 5) km: 6+417 - 6+598 arasında 6-7 noktadaki su kaçakları 350 lt/s civarında ölçülmüştür. Kontak enjeksiyonda 939 kuyudan/1408 m sondaj yapılmış ve 240 ton çimento kullanılmıştır. Konsolidasyon enjeksiyonunda ise 766 delikten / 5903 m. delgi yapılmış ve 203 ton çimento kullanılmıştır. Bu çalışmada 6-7 noktadaki kaynaklar tamamen kurutulmuştur. Ancak 3 lt/sn olan yeraltısuyu kaynağı akmaya devam etmiştir.

Tünelde 2006 yılında km: 5+970 - 6+840 arasında isabet eden dere yatağında 250 - 300 lt/sn civarında su kaçağı olduğu tespit edilmiştir. Bu sefer herhangi bir onarım yapılmamıştır.

Tünelde 2007 tarihinde (Şekil 4), DSİ IV. Bölge Müdürlüğü rasat servisinin ölçümünde su kaçağının 1700 lt/sn seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan onarım projesi gereği tünel nihai kemer betonunun kırılarak yenilenmesine karar verilmiştir. Enerji tünelinde su kesildikten sonra tünelin taban betonunda, sol yan duvarlarında çeşitli çatlak ve donatının açığa çıktığı deformasyonlar izlenmiştir (Şekil 7 ve 8).



Şekil 4: Tünel jeoloji açımın haritası.
Figure 4: Geological map of the tunnel.



Şekil 6: Tünel jeoloji açılım haritası.

Figure 6: Geological map of the tunnel.



Şekil 7: Kemer betonu ile su tutucu arasında meydana gelen çatlak (km 6+125 sol yan).
Figure 7: Cracks occurred between the arch concrete and waterbars (km 6+125 left side).



Şekil 8: Kemer betonu sol yan duvardaki donatı meydana gelen boşluk (km 6+125).
Figure 8: Cavitations occurred on the left of side of the wall reinforcement of arch concrete (km 6+125).

Kemer betonu kaldırıldığında km:6+157'de radyal çatlak görülmüştür. Söz konusu çatlak 15-20 günde kemer betonu kaldırıldığı için genişlemiştir (Şekil 9).

Enerji tüneline kazı destek sırasında ön kaplama betonu kaldırıldığında km:6+147'de güncel karstlaşma olduğu izlenmiştir (Şekil 10). Ayrıca km 6+157 de ise, ana çatlaklı bölge kaldırılınca serbest malzeme boşalımı olmuştur (Şekil 11). Serbest malzeme kaldırıldığında, destekleme elemanı çelik destekler açığa çıkmıştır (Şekil 12).



Şekil 9: Ön kaplama betonundaki çatlak (km 6+157 sol yan)
Figure 9: Crack in the pre-coating concrete (km 6+157 left side)



Şekil 10: Km 6+150'deki kiriş betonu altında oluşan boşluk
Figure 10: Karstification under the girder concrete in km 6+150.



Şekil 11: Ön kaplama betonu kaldırılınca oluşan göçük (km 6+157 ±4m).
Figure 11: Collapse occurred after the removal of the pre-coating concrete (km 6+157 ±4m)



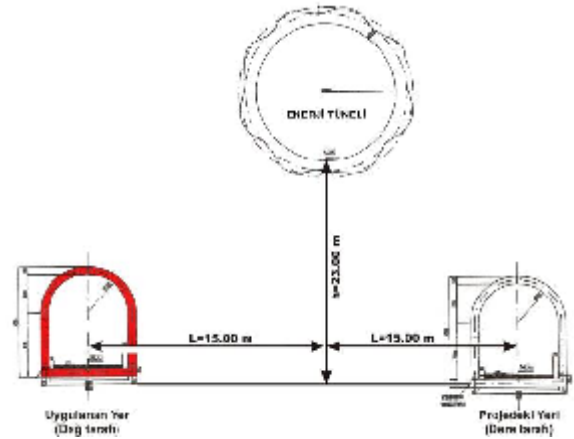
Şekil 12: Yan duvardaki kaplama betonu kaldırılınca oluşan güncel karstlaşmanın bir bölümü (km 6+157 ±4m).

Figure 12: A part of recent karstification exposed after the pre-coating concrete at the side wall was removed (km 6+157 ±4m).

Bu olumsuz gelişme üzerine alınan karar gereğince km: 6+076 - 6+246 arasındaki 170 m'lik kesimde kontak ve konsolidasyon enjeksiyonu yenilenmiş ve km: 6+124 - 6+198 arasındaki 74 m'lik kesimde mevcut kemer betonu kırılarak kaldırılmış ve tekrar kemer betonu yenilenmiştir. Kontak enjeksiyonu, 6+075.96 ile 6+124.96 arasında 3.0 m aralıklardaki kesitlerde yapılmıştır. Her kesitte 6 adet kuyu açılarak kuyular arasında 60° lik açı olmuştur. Delgi işlemi kayada 0.50 m yapılmış ve kontak enjeksiyonu yapılan kuyularda, konsolidasyon enjeksiyonuna geçilmesi için 15 gün beklenmiştir. Konsolidasyon enjeksiyonu uygulanma-sında 3.0 m aralıklı tek ve çift kesitlerde her kesitte 6 adet kuyu açılmıştır. Konsolidasyon enjeksiyonu km.6+075.96 / 6+124.96 ile 6+198.96 / 6+245.96 arasında delik boyları tünel çapı kadar (5.60 m) km:6+124.96 / 6+198.96 arasında tünel çapı + 2 m (7.60 m) açılmıştır. Enjeksiyonlar iki kademede yapılmıştır. Kontak ve konsolidasyon enjeksiyonları, DSİ Teknik Şartnamesi'ne uygun olarak daralan ano sistemine göre yapılmıştır. En az iki anoda (+8 metrelik) çalışma yapılarak enjeksiyonlara 1/3 karışımla başlanıp, 1000 lt verildikten sonra dönüşsüz alış devam ediyorsa 1/3 karışıma geçilip 1000 lt verildikten sonra dönüşsüz alış devam ediyorsa 1/1 karışıma geçilip 1000 lt verildikten sonra dönüşsüz, alış devam ediyorsa 7/5 %25 kumlu karışıma (çimento ağırlığının % 25 kadar kum ilave edilerek) geçilmiştir. Refu koşulu olarak kontak enjeksiyonunda 20 dk.10 lt ve altında alış olursa sulu kuyularda 0 alış olursa konsolidasyon enjeksiyonu I ve II. kademelerin alışları 20 dk . da 15 lt ve altında olursa refu şartı sağlanmış olarak kabul edilmiştir. Kontak enjeksiyon basınçları tavan ve taban yan kuyularda 2 kg/cm², yatay kuyularda 2.5 kg/cm², tavan ve tavan yan kuyularda 3 kg/cm²'dir.

Konsolidasyon enjeksiyon kuyularında ise, I. kademe için 3.5 kg/cm², II. kademe için 2.5 kg/cm², yatay kuyularda I. kademe için 4 kg/cm², II. kademe için 3 kg/cm², tavan ve tavan yan kuyularda I. kademe için 5 kg/cm², II. kademe için 3.5 kg/cm² olarak uygulanmıştır.

Drenaj galerisi, enerji tünelinin onarım kısmının 23 m alt kotuna ve eksenden 15 m. dere tarafına gelecek şekilde projelenmiştir. Önceden açılıp terk edilen drenaj galerisi içinden 136 m ulaşım 325 m drenaj galerisi açılması Mart 2008 tarihinde bitirilmiştir (Şekil 13). Drenaj galerisinde, enerji tüneline olduğu gibi kazı sırasında saptanan jips, jipsli anhidrit tabakalarının devam ettiği izlenmiştir (Şekil 14). Drenaj galerisinin kontak enjeksiyonu tek kesitte tavanda bir, çift numaralı kesitte tavan yanlarda iki adet olmak üzere ana kayada 0.50 m delgi açılarak enjekte edilmiştir. Drenaj galerisinde drenaj deliği (80+260) m.lik bölümde 12 m aralıklarla, tavanda her kesitte 3 adet kuyu açılmıştır. Kuyu derinliği 30 m ve 110 mm çapında açılarak drenfleks malzeme yerleştirilmiştir. Galeri de tek kesit ile çift kesit arasında 3.0 m'lik mesafe bulunmaktadır.



Şekil 13: Drenaj tünelinin lokasyonu.

Figure 13: Location of the drainage tunnel.



Şekil 14: Drenaj galerisinde güncel karstlaşma (km 0+253).
Figure 14: Recent karstification in the drainage gallery (km 0+253).



Şekil 15: Drenaj galerisi kazılarında gözlenen jips ve jipsli marl tabakaları

Figure 15: Gypsum and gypsum-bearing marl layers observed in the drainage gallery excavations.

DEĞERLENDİRME

Doğada bulunan sülfat iyonları betona nüfuz ederek burada çimentonun hidrasyonu ile oluşan kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ve kalsiyum alüminat hidratlarla (C-A-H) reaksiyona girerek, sırasıyla alçı ve etrenjit adı verilen ürünler oluşturmakta ve bu ürünlerin her ikisi de betonda genişlemelere ve dolayısıyla çatlama ve bozulmalara yol açmaktadır. Enerji tüneline de

tabaka aralarından yeraltı suyu basıncı ile jips ve anhidrit minerali değişimi, erimesi betondaki çimentoyu ve demiri korozyona uğratmıştır. Bu da kemer betonunda dışa doğru olan basınç etkisiyle esnemeye ve sonrasında kırılma-betonda çatlama, sonrasında taban betonu ile kemer betonu birleşim yerinde yer yer 8-10 m uzunluğunda çatlaklara neden olmuştur. Esneme ve basınçlı akan tünel suyu kaviteyle betondan plakalar kopararak kemer betonundaki demir donatının açığa çıkmasına neden olmuştur.

Doğal zeminler ve yeraltı sularından kaynaklanan kimyasal etkiler için etki derecesine bağlı alınması gereken öneriler Tablo 2’de sunulmuştur. Bu sınıflamada tanımlanan etki ortamına göre duraylılığın sağlanması için, betonun su/çimento oranı, dayanım sınıfı, çimento dozajı ve tipi açısından bazı sınırlamalar getirilmiştir. Genel olarak, betonun zarar görmemesi için geçirimsiz ve kaliteli beton kullanılmalıdır (Aydın ve Yiğiter, 2005). Tünel inşası sırasında sülfat iyonu zenginleşmesi olan düzensiz ardalı birimlere temas eden, ön kaplama betonu ve nihai kaplama kemer betonu tünel inşası sırasında sülfat iyonuna karşı dayanıklı çimento ile yapılmamış, ancak sonraki yıllarda betondaki çatlaklardan ciddi su kayıplarından dolayı sülfata karşı dayanıklı çimento ile onarım çalışmalarının yapılması gerekli olmuştur.

Tablo 2: Doğal zeminler ve yeraltısularından kaynaklanan kimyasal etkiler için öneriler (TS EN 206-1, 2002).

Table 2: Suggestions for chemical effects sourced by natural ground and groundwater (TS EN 206-1, 2002).

	Az zararlı kimyasal ortam	Orta zararlı kimyasal ortam	Çok zararlı kimyasal ortam
En büyük su/çimento oranı	0.55	0.50	0.45
En küçük dayanım sınıfı	C30/37	C30/37	C35/45
En az çimento içeriği (kg/m^3)	300	320	360
Diğer Koşullar	Sülfata Dayanıklı Çimento	Sülfata Dayanıklı Çimento	Sülfata Dayanıklı Çimento

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gezende barajı enerji tüneline kazısından önce yeterli sondaj ve laboratuvar çalışması yapılmadığı için, tünel kazısı sırasında jips ve anhidritli düzeyler tespit edilememiştir. Tünel kazısı sırasında ise jips, anhidrit gibi sülfatlı mineral zenginleşmesi olduğu ve kazı sırasında alınan örneklerde kimyasal analiz sonuçlarının (sülfat iyonu miktarının %26.87 ile %28.75 miliekivalan/litre), tünel kemer betonuna zararlı olacağına belirlenmesine rağmen, tünel kemer betonunda ve enjeksiyonda kullanılacak çimento cinsi, sülfata karşı dayanıklı çimento ile değiştirilmemiştir. Bu arada tünel kazı ve desteklemesi devam etmiş ve sülfatlı minerallerin yer yer aşırı seviyede olduğu izlenmiştir. Bu duruma rağmen enerji tüneline Km: 5+970 – 6+457²⁹ arasının kazısı, taban betonu, nihai kaplama kemer betonu ve enjeksiyon çalışmaları sülfat iyonuna

karşı dayanıklı çimento kullanılmadan bitirilmiştir. Tünelin bu kesimlerinde zamanında kullanılması gereken sülfat iyonuna karşı dayanıklı çimento kullanılmadığı için, sonraki aşamada tünelin bu kesimlerde çeşitli tarihlerde su kaçakları olmuş ve yine bu kesimlerde önemli maddi kayıplara neden olan onarım çalışmaları yapılmıştır. Enerji tüneline aynı kilometreler arasında müteaddit kereler kontak-konsolidasyon enjeksiyonları yapılmasına rağmen tam başarı elde edilememiştir. 2007 yılında yapılan onarım çalışmaları km: 6 + 0.75 ile 6 + 245.96 arasında 3 m aralıklı kesitlerde 30 derece şaşırtmalı, her kesitte 6’şar delikten kontak ve konsolidasyon enjeksiyonu yenilenmesi ile beraber km : 6 + 124.96 ile 6 + 198.96 arasında kalan 74 m kemer betonu yenilenmiştir. Betonun yenilenen bölgedeki konsolidasyon enjeksiyonu delik boyları 7.60 m (tünel çapı + 2 m) derinlikte açılmıştır.

Enerji tünelinin km: 5 + 970 ile 6 + 456 arasındaki invert betonu, kemer betonu, ilk kontak ve konsolidasyon enjeksiyon çalışmaları tamamlandıktan sonra tünelde ve onarımlarda sülfat iyonuna karşı dayanıklı çimento kullanılmışsa da, sülfat mineralizasyonu zengin olan baraj yerinde sorunlar bitmeyecektir. Ayrıca, tünel güzergâhında yeteri kadar önemi kavranmayan heyelan, santral yerinin değiştirilmesine, enerji tünelinin 1200 m uzamasına neden olarak, tünel maliyetini arttıran diğer bir unsur olmuştur.

2007 yılı onarımında enerji tüneli taban kotuna göre 23 m alt kotta ve 15 m yanda ve dere yatağı tarafında drenaj galerisi açılmıştır. Bu onarım sırasında yapılan proje hatası, drenaj galerisi enerji tünelinin dağ tarafına alınarak kısmi olarak önlenmiştir. Tünel içinden açılan kontak ve konsolidasyon enjeksiyon kuyuları enerji tüneline kontak ve konsolidasyon enjeksiyon delikleri kazı yüzeyinde ve aynı kesitte birbirine yakın iki delik arasında 4.5 m mesafe olduğu için delik boyu, kontak enjeksiyonunda 0.5 m, konsolidasyon enjeksiyon delik boyu 5.60 m ve 7.60 m olduğu düşünülürse; aynı kesitte birbirine yakın olan iki kuyu ışınal olarak birbirinden uzaklaşacağı için tünel kemer betonu çevresinde gereken sağlamlığın elde edilmesi mümkün olamayacaktır. Böylece tünel çevresindeki anakaya gereken dirence ulaşmamıştır. Drenaj galerisinde, drenaj deliklerinin 12 m aralıklı kesitlerde galeri ve tünel eksenine dik düzlemde farklı boylarda üçer adet açılmış olması da istenen amaca hizmet etmekten çok uzaktır. Ancak, 2007 yılı tamirat sonrasında enerji üretimine başlandıktan sonra 2 veya 3 drenaj deliğinden Kasım 2008 tarihi itibarıyla 3 lt/sn debili su drene edilmektedir.

Gelecek için önerilebilecek çözümlerin çok pahalıya malolacağı kesindir. Şimdiden mekanik kazı ile servis yolu gibi yeni tünel açılması, jips ortamına önemli miktarda beton uygulandıktan sonra, gerektiğinde enerji tüneline uygun bir yerinden bağlanması daha uygun görülmektedir. Bu şekilde bir yandan kazı için masraf yapılırken enerji üretimi de aksamamış olacaktır. Nitekim, 490 m'lik jipsli bölgenin 171 m'lik kesiminde enjeksiyon yenilenmesi ve bu km'ler arasında kalan bölgede 74 m'lik tünel betonu yenilenmesi kesinlikle son olmayacaktır. Nitekim sadece 2007 yılı tamirati ve elektrik üretim kaybı birlikte değerlendirildiğinde, yaklaşık 70.350.000 TL'lik bir kayıp olmuştur. Bu veriler, tünellerde jeolojik ve jeoteknik çalışmaların zamanında ve amaca uygun olarak yapılmasının ne kadar kritik bir öneme sahip olduğunu ve tünel kazısı sırasında elde edilen jeolojik ve jeoteknik verilerin hızlı değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. 1997-2000 arasındaki onarımları dikkate alınırsa, 2007 yılı onarım giderleri ile birlikte düşünüldüğünde toplam kaybın daha da artacağı kesindir.

SUMMARY

During the excavation of the Gezende dam energy tunnel, it was a surprise for the engineers to find out extremely weak sedimentary beds rich in gypsum and anhydrite occurrences. The problem arose from insufficient well drilling and laboratory studies that should have been carried out before the construction started. Moreover, chemical analyses of samples taken from these lithologies showed that they would cause damage on the tunnel concrete. However, this problem was disregarded and eventually the engineers continued to use the cement which was not resistant against sulphates. The tunnel excavation/support was continued even though they observed extreme levels of sulphate minerals in some sections of the tunnel. Eventually, the construction of the tunnel was completed by using ordinary cement which is not resistant against sulphate ions. Consequently, the tunnel started to leak water due to considerable damage in the cement. In 2007, 74 feet of concrete has been renewed with consolidation. Repairs of the cement along the tunnel caused significant financial loss. The case presented in this paper signifies the importance of geological and geotechnical studies that should be conducted before starting such large tunnel excavations and the need for rapid assessment of the problems when encountered during the construction. When the 1997, 1998, 1999 and 2000 repairs are taken into account together with the repairment costs in 2007, it appears that the total figure will certainly increase in the years to come.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Aydın, S., Yiğiter, H., 2005,** Betonarme açısından sorunlu zeminler ve alınacak önlemler, TMMOB İMO İzmir Şubesi Bülten, sayı 20, 22-26.
- DSİ, 1987,** İçel, Mut, Gezende barajı ve hidroelektrik santrali projesi, DSİ IV Bölge Müdürlüğü, Konya, 27 s.
- Gedik A., Birgili S., Yılmaz H., Yoldaş, R., 1979,** Geology of the Mut-Ermenek-Silifke (Konya, Mersin) area and petroleum possibilities. TJK Bult 22/1:7-27 (in Turkish)
- TSE 3440, 1982,** Zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak betonlar için yapım kuralları, Ankara.
- TSE EN 206-1, 2002,** Beton, Bölüm I: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, TSE, Ankara.
- Türkmen, S., 1987,** Geological investigation of Gezende Dam and its surroundings area. MS Thesis, University of Cukurova, Adana-Turkey, p. 150.
- Türkmen S., Demirkol C., 1989,** Geological investigation of surrounding of Gezende Dam (Mut). J Eng Archit Fac 4 (1): 17-36.
- Türkmen, S., 2010,** Water leakage from the Power tunnel of Gezende dam, Southern Turkey: a case study, Environ Earth Sci., 61, 419-427.