



## Kralkızı-Dicle sulama tünellerinin yapımında karşılaşılan sorunlar ve uygulanan çözümler

**Gürkan ERDAL**

*Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü, Diyarbakır*

**Mustafa AYHAN**

*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

**Deniz AYDIN\***

*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

[deniz.aydin@dicle.edu.tr](mailto:deniz.aydin@dicle.edu.tr), Tel: (412) 241 10 00 (3580)

Geliş:24.03.2017, Kabul Tarihi: 27.05.2017

### Öz

*Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) projesi kapsamında bulunan Kralkızı-Dicle Cazibe Sulaması 4. Kısım içinde yer alan T1 ve T2 sulama tünellerinin yapımı incelenmiştir. Yapılan jeoteknik etüt çalışmalarının tünel ortamını yansıtmaması nedeniyle ilk olarak açılan T1 tüneline; göçük, akma, taban kabarması, yanal kapanma problemleri yaşanmıştır. Bunun sonucunda bekleme süresi ve maliyet artışı olmuştur.*

*Çalışma kapsamında, tünel açımı esnasında elde edilen verilere de dayanılarak T1 tüneline yaşanan problemlerin aşılmasında kullanılan yöntemler ve alınan önlemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. T1 tüneline kazanılan deneyimden sonra açılan T2 tüneline alınan önlemler sayesinde ilerleme hızı artmış, T1 tüneline yaşanan sorunlar bertaraf edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Tünel; Deformasyon; Yanal baskı; Göçük; Su geliri*

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Yeraltı kazılarında beklenmeyen jeolojik durumlarla karşılaşılması, tünel yapımında maliyeti arttıran temel faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Tünel açımı esnasında karşılaşılan en yaygın sorun; inşası düşünülen tünelin jeolojik etütlerin detaylı yapılmaması, yeterli sondaj kuyuları açılmaması ve haritalamanın doğru yapılmaması gibi ön araştırma raporlarının yetersizliği konusudur (Merritt, 1979).

Kazı esnasında önceden bilinmeyen ve kazı sırasında ortaya çıkan jeolojik problemler iksa tipinin ve kullanılacak iksa adedinin artışına neden olabilmektedir. Aynı şekilde yeraltı suyundan kaynaklı akmalar ve zemin batma problemleri yapımı devam eden projelerde çalışma yöntemlerini, inşa gereçlerinin temin edilmesini ve tüm projenin ilerleyişini etkilemektedir (Merritt, 1979).

Konuyla ilgili yapılmış ve literatürde yer alan çok sayıdaki çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Polat (2010), çalışmasında Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) ile yapılan, Arhavi tüneli verilerini, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş; yapılan analizlerin sonuçlarını değerlendirerek tünellerin güvenli bir şekilde açılmasında önemli yer tutan parametrelerin olası etkilerini ortaya koymuştur.

Eren (2014), baraj, tünel, yüksek yapılar gibi önemli ve pahalı yapıların inşa aşamasındaki ölçümlerin zorunluluğuna ve inşadan sonra yapıların izlenmesine değinmiştir. İzleme işlemlerinin yapılabilmesi için uygun görülen aralıklarla ölçümlerin tekrarlanması, bu işlemlerin ardından deformasyon analizinin yapılması ve ölçülen noktalarda anlamlı hareket olup olmadığının belirlenmesine değinmiştir.

Üçer (2012), geçmiş depremlerde hasar görmüş tünellerin deprem hasar bilgilerinden yararlanarak tünellerin sismik hasar değerlendirilmesinde kullanılmak üzere yeni hasar görebilirlik eğrileri çıkartmıştır. Bu amaçla 17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım

1999 Düzce depremlerine maruz kalan Bolu Tünelleri'ne ait hasar bilgilerini kullanmıştır. Tünellerin çökme yaşanmayan ve hasar düzeyleri ile kurtulmuş kesimleri kayıt altına alınmış ve değerlendirilmiştir.

Şeker (2008), Cezayir'de bulunan Bouira Karayolu Tüneli uygulaması incelenmiş, tünellerden elde edilen verilerle tünel tasarımları yapmıştır. Tünellerin farklı kademelerde inşası modellenerek tünel kaplamalarında ve zemin yüzeyinde oluşacak etkiler anlaşılmaya çalışılmış, tünellerin birbirlerine olan etkileri araştırılmış, deplasman değerleri ve zemin oturmaları incelenmiştir.

Doğruoğlu (2009), zemin ortamlarında açılan şehir içi tünellerde oluşan zemin yer değiştirmeleri ve düşey deplasmanları incelenmiştir. Farklı örtü kalınlıklarına sahip ikiz tüneller üzerinde oluşan yüzey deplasmanlarının dağılımı değişik sayısal analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Seydanlıoğlu (2009), tünel inşaatı esnasında yapıların çevrelerinde oluşan hareketlerin izlenmesi, deformasyon miktarlarının belirlenmesi, bu deformasyonların yapıda herhangi bir hasara neden olup olmayacağına önceden tespit edilmesi, deformasyon ölçümlerinin yapılması ve elde edilen verilerin doğru yorumlanması gerektiği konusuna değinmiştir.

Kaya (2010), Darüşşafaka – Hacıosman metro projesinde zemin incelemeleri ve jeoteknik değerlendirmeler yapmıştır. Bu çalışmada Tünel güzergahında kesilecek kaya ve zeminlerin mühendislik özellikleri irdelenmiş; tünel mühendisliği açısından sınıflandırılmaları yapılmış ve destek grupları verilmiştir.

Öngen (2015), 5,5 km'lik Üçyol-Fahrettin Altay metro güzergahının tünel zemin/kaya ilişkilerini incelemiş, jeoteknik kesitleri değerlendirmiş; hâkim kaya sınıfı için sayısal modelleme çalışması yapmış, tünel etrafında oluşan deformasyonlar göz önüne alınarak uygulanan kazı ve destekleme sistemleri değerlendirilmiştir.

## Yeraltı kazılarında karşılaşılan jeolojik sorunlar

Tünel açımında karşılaşılan sorunların genel niteliği; zeminin veya kayanın genel yapısı, ana zayıflık düzlemlerinin yönelimi, kayanın ayrışması, yerindeki gerilme, yer altı suyu, litoloji ve sertlik olarak sıralanabilir (Vardar ve Koçak, 2013).

Kaya kütlesi olarak adlandırılan iyi çimentolanmış boşluksuz yapılar yeraltı projelerinde çok az soruna neden olmaktadır. Zemin olarak adlandırılan kayaçların ise gerilmeler ve yeraltı suyu etkileriyle zamana bağlı olarak dayanım ve davranışını önceden tahmin etmek güçleşmektedir. Kaya kütlelerinin düşük dayanımı, yüksek deformasyona uğrama özelliği ve heterojenliği, tünel performansının tahminini zorlaştırır (Özbek, 2005).

Eklemler, tabakalanma, faylar, kayma bölgeleri gibi yapısal özellikler doğru değerlendirildiğinde, açımı yapılacak tünel veya yeraltı yapısında yaşanabilecek aşırı sökülme, zeminde batma ve kullanılacak iksa yöntemleri gibi işlemlerde sorunlar öngörülebilir ve sağlıklı çözümlere ulaşılabilir olacaktır (Merri, 1979).

Bu çalışma kapsamında incelenen tünellerde de bahsi geçen sorunların neticesinde; su geliri ve zemin batması, yanal kapanmalar, akma ve göçükler meydana gelmiş; bu sorunların çözümü için uygulanan yöntemler anlatılmıştır.

## Proje alanı ve jeolojisi

İnceleme alanı Diyarbakır-Çınar ve Mardin-Savur ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. 4. Kısım Ana Kanalı, Diyarbakır-Çınar ilçesinin yaklaşık 13 km kuzeydoğusunda bulunan Çatalarla köyünün 2 km kuzeyinden başlamakta, Bismil İlçesi'nin yaklaşık 25 km güneydoğusunda bulunan Topraklı köyünün 2,5 km kuzeydoğusunda sonlanmaktadır. İnceleme alanına, Diyarbakır-Bismil ilçesi Tepe beldesinden İsapınar köyüne ayrılan asfalt yolla ulaşılmaktadır. Belde ile İsapınar köyü arası yaklaşık 6 km'dir

Proje kapsamında açılan 12 adet sondajdan SK-5, SK-6, SK-7, SK-8, SK-9 nolu sondajlar T1 tüneli güzergahında; SK-10, SK-11, SK-12 nolu sondajlar ise T2 tüneli güzergahında açılmıştır.

### T1 tüneli

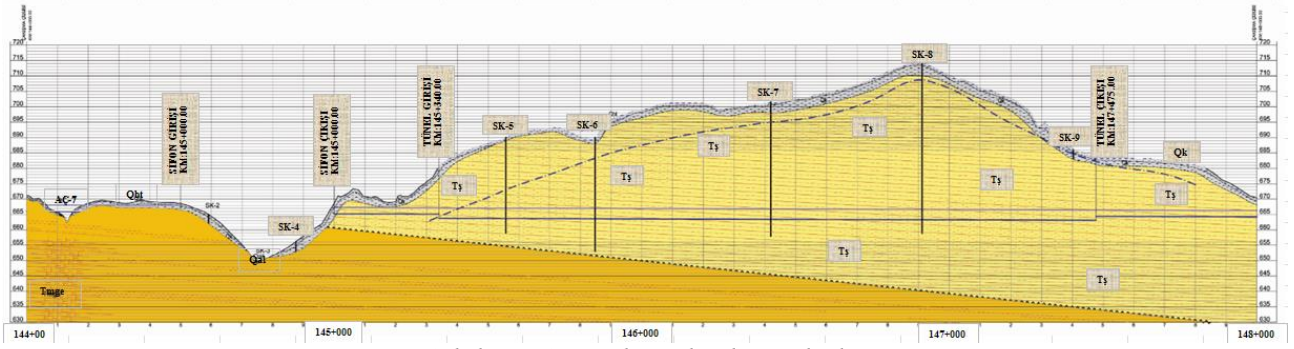
2135 m uzunluğunda olan tünel ortalama 663,75-666,10 kotları arasında açılmıştır. Tünel güzergahında kıltaşı, kumtaşı, çakıltaşı, silttaşı ve yer yer kireçtaşı birimlerinin ardalanmasından oluşan Şelmo formasyonu yayılım göstermektedir.

Şelmo formasyonu'na ait birimler genel olarak zayıf çimentolu ve zayıf dayanımlıdır. Yer yer kumtaşı ve çakıltaşı seviyeleri sert ve dayanımlı bir yapıya sahiptirler. Su ve havayla temas etmesi durumunda kısa sürede ayrışmakta ve dağılmaktadır. Sondaj kuyularından alınan karotlarda da karot yüzdeleri genel olarak düşük, RQD değerleri ise zayıftır.

Tünel güzergahında açılan kuyularda yeraltı suyu seviyesine ulaşılmıştır. Yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üzerinde bulunmaktadır. Ancak kumtaşı ve çakıltaşı seviyelerinden beslenime bağlı olarak 1-5 l/s civarında su alınabilmiştir. Tünele gelecek su miktarının da yaklaşık 2-3 l/s mertebesinde olması beklenmekte idi.

Şelmo formasyonu tabaka eğimleri belirgin olmamakla birlikte yatay ve yataya yakın eğimli olup eğim genel olarak tünel çıkışına doğrudur. T1 tüneli boyunca açılan jeolojik sondajlar ise Şekil 1'de; bu sondaj kuyularından elde edilen veriler ise Tablo 1'de verilmiştir.

Alınan karotlar vasıtasıyla kaya kütle indeksi (RMR) puanı 39-32 arasında belirlenmiş, kaya kalitesinin zayıf kaya olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 1. T1 tüneli jeolojik sondajlar

**Tablo 1.** T1 tünel ekseninde açılan temel sondaj kuyularından elde edilen veriler

Kuyu	Birim	Kot (m)	Derinlik (m)	YASS (m)	YAS kotu (m)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi
SK-5	Nebati toprak Şelmo For.	690	31,50	16,75	673,25	0-25	Az-orta
SK-6	Nebati toprak, Kil Şelmo For.	689	37	6,50	682,50	0-25	Az-orta
SK-7	Nebati toprak Şelmo For.	701	45	6,35	694,65	0-25	Az-orta
SK-8	Nebati toprak, Kil Şelmo For.	715	57,50	615	708,85	0-25	Az-orta
SK-9	Nebati toprak, Kil Şelmo For.	686	25	7,05	685,10	0-25	Az

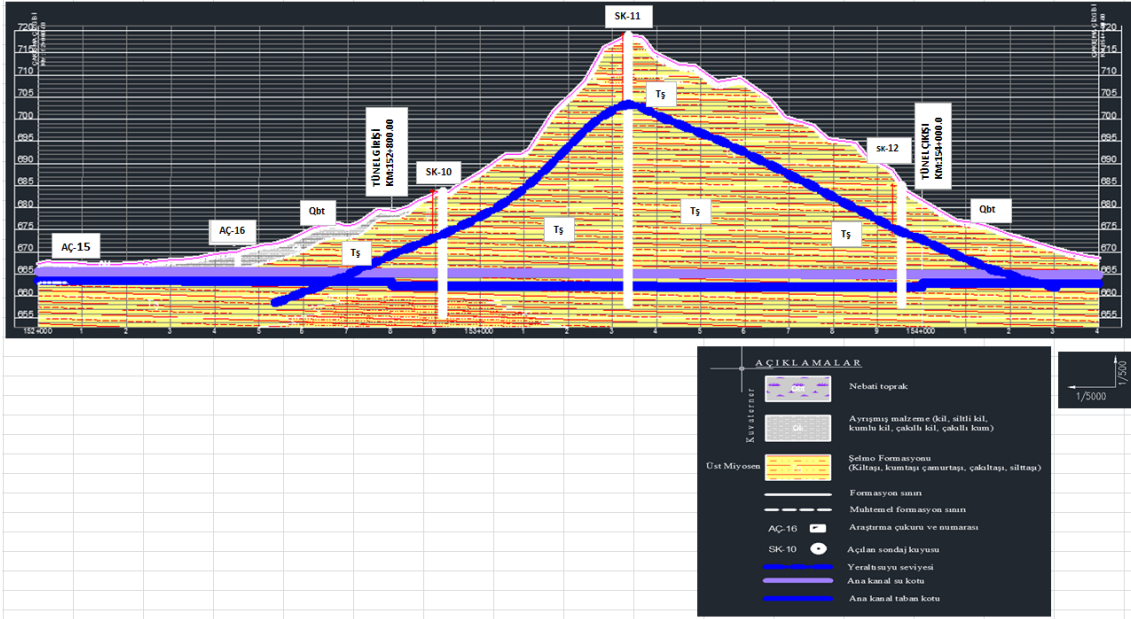
*T2 tüneli*

T2 tüneli 1200 m uzunluğunda olup tünel güzergâhı boyunca 3 adet sondaj yapılmıştır (Tablo 2). Tünel güzergâhı, T1 tüneline olduğu gibi Şelmo Formasyonu içerisinde geçmektedir. Şekil 2’de T2 tüneli boyunca açılan jeolojik sondajlar gösterilmiştir. Söz konusu bölgede Şelmo Formasyonu’nun tabaka eğimleri, yeraltı suyu seviyesi ve tünele gelecek su miktarlarının T1 tüneli için öngörülen seviyelerde olduğu

düşünülmüştür. T2 tüneli açımında geçilecek birimlerin kaya niteliği, yine RMR kaya kütleli sınıflama sistemine göre en iyi ve en kötü şartlarda belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda, T1 nolu tüneldeki kazı şartları, sınıfı ve yapılacak desteklemeler ile alınacak önlemlerin bu tünel içinde geçerli olacağı sonucuna varılmıştır.

**Tablo 2.** T2 tünel ekseninde açılan temel sondaj kuyularından elde edilen veriler

Kuyu	Birim	Kot (m)	Derinlik (m)	YASS (m)	YAS kotu (m)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi
SK-10	Nebati toprak Şelmo For.	684	28	9,93	674,07	0-25	Az-orta
SK-11	Nebati toprak Şelmo For.	718	61	15,54	702,46	0-25	Az
SK-12	Nebati toprak Şelmo For.	685	27	1050	674,50	0-25	Az



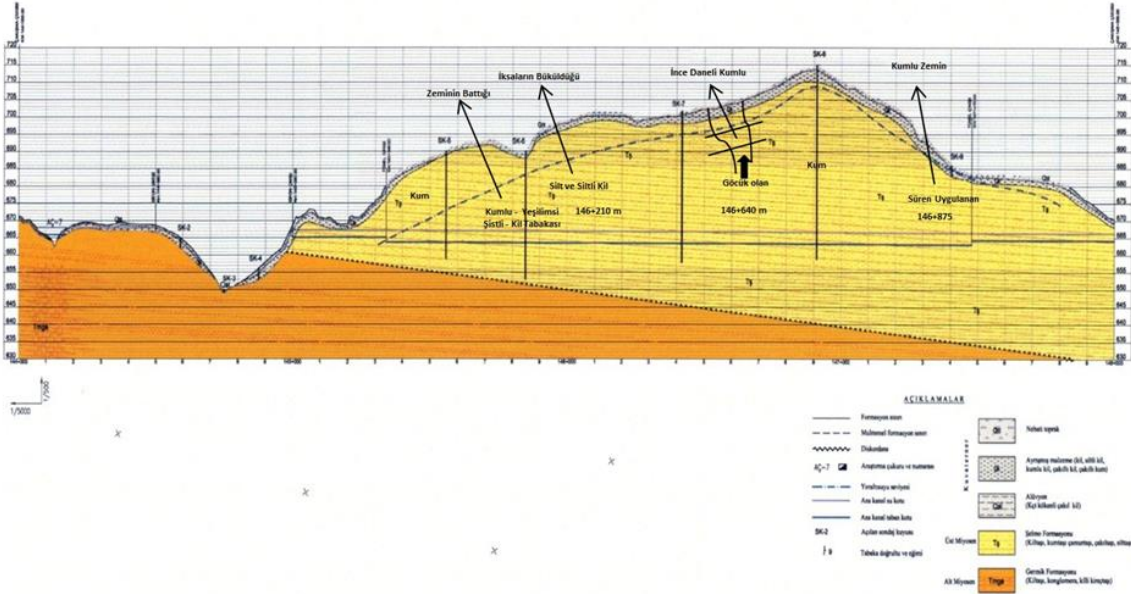
Şekil 2. T2 tüneli jeolojik sondajlar

### T1 ve T2 tünellerinde karşılaşılan sorunlar

#### T1 tüneli

T1 tüneline, jeoteknik etüt yetersizliğinden birimler ve jeolojik yapının tünel ortamını yansıtmadığı görülmüştür. T1 tüneli açımı (Kazı-Destekleme) sırasında; yapılan etüt çalışmalarında öngörülen sorunlardan farklı olarak sık sık formasyon geçişleri, aşırı

miktarda su geliri, akma-boşalma-göçük, yanal basınçlar, ve tabanda çökme veya batma gibi problemlerle karşılaşmıştır. T1 tüneli güzergahında kazı sırasında karşılaşılan bir çok parametre jeolojik raporda belirtilenden farklı olmuştur. T1 tünelinin açımı sırasında yaşanan sorunların km'leri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. T1 tüneline yaşanan sorunları gösterir kesit

#### Su geliri ve zemin batması

T1 tüneli genelinde su geliri ile birlikte tünel tabanında batma problemleri yaşanmıştır. Tünel tabanında bulunan suya doygun hale gelmiş killi, gevşek ve yumuşak malzeme nedeniyle

yükleyici, delici ve kamyonların zemine batması gibi sorunlar yoğun olarak yaşanmıştır. Bu durum tünel açma performansını olumsuz etkilemiştir. Jeoteknik raporda T1 tüneli 145+330 m'de formasyon kiltası olarak



belirtilmiş, ancak tünel açımı sırasında bu kesimde daha çok yeşilimsi kilitli ve ince daneli kumlu zemin ile karşılaşmıştır. Suyun drene olmaması nedeniyle tünel tabanında batmaya müsait balçık bir zemin oluşmuştur (Şek. 4). Tünelde karşılaşılan su geliri; kazı – yükleme, iksa kurulumu, püskürtme beton süreçlerini olumsuz etkilemiştir.

Su gelirinin ortaya çıkardığı bir diğer sorun; kazı sırasında yeraltı suyunun tabakalardaki çatlaklara girerek, çatlak yüzeyindeki malzemenin kohezyon, kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açısını düşürerek çatlaklarla



Şekil 4. Tünel tabanına biriken su



Şekil 5. Zemin kaya dolgusu yapılması

sınırlanmış olan blokların kayarak düşmesine, boşalmalara yol açarak çalışma ortamının güvenliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Bununla birlikte, tünel aynasında biriken su, aynadaki pasanın yumuşamasına sebep olmuş; makinaların ve kamyonların manevra kabiliyetini azaltmıştır.

Yaşanan bu problemi çözmek için öncelikle tabanda iri kaya bloklarında dolgu yapılmış (Şek. 5) ve daha sonra biriken suyun tahliyesi için ince filler malzeme ve membranla drenaj kanalları oluşturulmuştur (Şek. 6).



Şekil 6. Drenaj kanalları yapımı

Göçük ve akmaları önlemek için; kazıdan hemen sonra, desteksiz tabakaların gevşeyerek dökülmesinin önlenmesi amacıyla kazı yüzeyine ve duvarlara yer yer 15 cm'ye varan yaş karışım püskürtme beton uygulanmış ancak tavandaki boşalmalar önlenememiştir (Şek. 7).

Tünel çevresinde su gelirinin artması nedeniyle püskürtme beton, henüz prizini almaya zaman bulmadan suyun yıkama etkisi ile zeminden koparak yüksek oranda dökülme problemleri yaşanmıştır. Bu nedenle püskürtme beton uygulaması, agrega ve kimyasal katkı oranları gözden geçirilerek yeniden tasarlanmıştır. Bu da tünel açımı süresini uzatmış ve maliyetleri arttırmıştır.



Şekil 7. Tavanda yaşanan sökülme

#### Yanal kapanmalar

T1 tünelinin hemen hemen tamamının yeraltı su seviyesinin altında açılması nedeniyle kıltaşı olan bölgelerde, kil suya doygun hale gelmiş ve hava teması ile birlikte aktif duruma geçerek hızla şişme, ayrışma ve dağılma özelliği göstermiştir (Şek. 8).

Kilin bu şişme davranışı, T1 tüneline taban kabarması ve yanal kapanma problemlerinin yaşanmasına neden olmuş, iksa ayaklarında içe doğru kayma ve bükülme şeklinde deformasyonlar oluşmuştur. Bu deformasyonlar nedeniyle iksa yayları yaklaşık 45-50 cm kadar tünel içine doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir (Şek. 9).



Şekil 8. Yan duvarlarda akmalar



Şekil 9. İksaların yanal basınçlar nedeniyle bükülmesi

İksa ayaklarında oluşan kayma ve bükülmeleri önlemek için öncelikle; deformasyona uğrayan iksaların arka kısımları tıraşlanmıştır (Şek. 10).



Şekil 10. Bükülen iksaların tıraşlanma işlemi

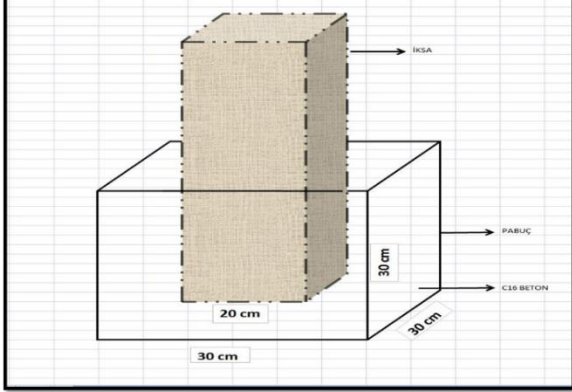
Bu iksaların bükülen kısımları ısıtılıp itilerek orijinal pozisyonuna getirilmiş iksa ayakları arasına 5 metrelik 200'lük profillerle gergiler yerleştirilmiştir (Şek. 11).



Şekil 11. İksa ayaklarının gergiler ile sabitlenmesi



İkinci bir kayma veya bükülme yaşanmaması için söz konusu iksaların ayakları 30x30x30 cm küp şeklinde kalıpların içine C16 beton basılıp sabitlenmiştir (Şek. 12). Bununla birlikte işlem gören iksaların arkasına hasır tel ve püskürtme beton uygulanmıştır.

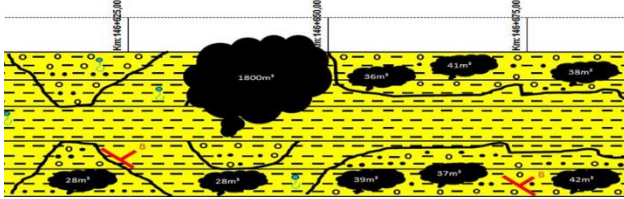


Şekil 12. İksa ayaklarının küp kalıplara alınarak sabitlenmesi

#### Tavanda oluşan akmlar ve göçükler

T1 tünelinin 146+640. metresinde SK-7 ve SK-8 sondaj kuyuları arasında, uzunluğu 10 metre ve yüksekliği 22-25 m arasında değişen büyük ölçekli bir göçük olayı yaşanmıştır (Şek. 13).

Göçük yaşanan bölge jeoteknik raporda “B2 çok gevrek” olarak tanımlanmış ancak göçük olayı ile birlikte bu bölgenin “B3 çok zayıf” kaya kütlesi olarak değerlendirilmesinin daha doğru olacağına karar verilmiştir.



Şekil 13. Tünelde meydana gelen göçük

Bu bölgede açılan sondaj kuyularından da anlaşıldığı gibi tünel yeraltı su seviyesi altında olup, kıltaşı ve kumtaşı birimlerinden geçmektedir. Kıltaşında su ve hava temasına bağlı olarak hızla şişme, ayrışma ve dağılma davranışı yanı sıra su emme oranına bağlı olarak birim hacim ağırlığında artış söz konusudur.

Bununla birlikte kumtaşı ise su varlığı ile birlikte, birim hacim ağırlığında artış ve daha kolay boşalma, akma özelliği kazanmıştır. Bu

faktörlerin yanı sıra kontrolsüz kazı (hızlı ilerleme) ve tünel üzerindeki örtü tabakasının en kalın olduğu ve birimlerin suya doygun birim hacim ağırlıkları da dikkate alındığında tünele etkiyen düşey yüklerin en fazla olduğu kesimde göçük olayı yaşanmıştır.

Geçilen birimlerin su içeriği değerleri yer yer %17,0-29,1 arasında değişmektedir. Formasyonun yaklaşık 14,12 kN/m<sup>3</sup> olan kuru birim hacim ağırlığı değeri, suyla birlikte doğal birim hacim ağırlığı 18,23 kN/m<sup>3</sup> e ulaşmıştır. Bir başka deyişle suyun etkisiyle formasyonların birim hacim ağırlıklarında poroziteye bağlı olarak yaklaşık %30'luk bir artış söz konusu olmuştur.

#### Süren uygulamaları

T1 tünelinin zayıf formasyon ihtiva eden kesimlerde 30 cm iksa aralıklarıyla 2-2,5 m, sağlam formasyon ihtiva eden kesimlerde ise; 75 cm'lik iksa aralıklarıyla 10-12 metre günlük ilerlemelere ulaşılmıştır. Jeoteknik sondajlarda T1 tünel aynasının üst kesimlerinin kıltaşı alt kesimlerinin ise kumtaşı olarak belirtilmesine rağmen kazı sırasında bu durum 3 ile 5 metre aralıklarla sürekli değişkenlik göstermiştir.

T1 tünelinin çıkış ağzında kıltaşından geçileceği öngörülmüş ancak kazı sırasında 600. metrede kumlu zeminle karşılaşmış, aşırı akmadan dolayı ilerleme durdurulmuştur. Projede revizyona gidilmiş ve tünelin 40-45 metrelik bu kesimi için 26 mm çapında 4 metre boyunda tor çelikten üretilen sürenler kullanılmıştır (Şek. 14).



Şekil 14. Süren uygulaması



### T2 tüneli

T1 Tünelinde yaşanan kazı ve destekleme problemlerinin T2 tüneline tekrarlanmaması için, destekleme yöntemi ve iksa aralıklarının geçilen birimlerin özelliklerine göre yerinde yapılacak incelemeler sonucunda belirlenmesine karar verilmiştir.

T2 tüneli giriş ağzından itibaren Km: 153+065 – 153+235 arasında 6 nolu kaya kütle sınıfında ve iksa aralığı 0,75 m olacak şekilde kazı-destekleme yapılmıştır. Bu bölgedeki birim, gri renkli gevşek ve zayıf çimentolu kumtaşı, çakıltaşı ve yer yer kil bantlarından oluşmaktadır. Tünel açımı esnasında tavan ve aynadan su gelimi olması ve sık sık tavanda boşalmaların meydana gelmesi nedeniyle, tünel tabanındaki gevşek ve dağılgan olan kum ve kil bataklık bir ortam oluşturmaktadır. Bu bölgede nispeten kemerlenme oluşsa da, 6 nolu kaya kütle sınıfı olarak değerlendirilip iksa aralıklarının 0,50 m olması tercih edilmiştir.

T2 tüneli, çıkış ağzından itibaren Km: 153+515 – 153+425 arası Terzaghi kaya kütle sınıflama sistemine göre; 6 nolu kaya kütle sınıfı olarak tanımlanmış ve iksa aralıkları 0,75 m olacak şekilde seçilmiştir.

Km: 153+425' ten itibaren birim kahve renkli kıltaşı ve yer yer karbonat çakılları içermektedir. Bu bölgede sınırlı kemerleşme olmasına rağmen su geliminin fazla olacağı göz önünde bulundurularak Km: 153+425' ten geriye doğru yapılacak kazıların 6 nolu kaya kütle sınıfında ve iksa aralıklarının 0,50 m olacak şekilde yapılması öngörülmüştür.

T2 tüneli giriş ağzından itibaren Km: 152+800 – 152+816 arasında tünel kazısı kahve renkli kıltaşı ile gri renkli oldukça gevşek ve zayıf çimentolu kumtaşı birimi 6 nolu kaya kütle sınıfı olarak değerlendirilmiştir. Km:152+816 – 152+858 arasında birimin; gri renkli, ince taneli ve çimentosuz olan kumlu olması nedeniyle bu km' ler arasında 1 nolu sürenli tip (Ø 26' lık demir ile yapılan enjeksiyonlu süren) destekleme yapılmıştır. Km: 152+816 – 152+858 arasında tünel aynasında kıltaşı ve kumtaşının ardalanmalı nispeten daha sıkı ve

kendisini tutabilen birimin söz konusu olması nedeniyle 6 nolu kaya kütle sınıfında ve iksa aralığı 0,50 m olacak şekilde kazı destekleme yöntemi uygulanmıştır.

T2 tünelinin 152+858. km' sinden itibaren tünel aynasında kıltaşı ve kumtaşının ardalanmalı olarak gözlemlendiği, bu km'den itibaren çıkışa kadar bir önceki birime nazaran daha sıkı tutabilen bir birim tespit edilmiştir. Tünelin çıkışında ise; kil ve ince dokulu malzemeden dolayı zayıf tavan koşullarında ilerleme hızının azalacağı öngörülmüştür. Bu nedenle km: 152+858' den itibaren yapılan kazıların, projede belirtildiği gibi 6 no'lu kaya kütle sınıfında ve iksa aralığı 0,50 m olacak şekilde kazı destekleme yapılması uygun görülmüştür. T2 tünel kazısı yapılırken tünel tabanının batma problemleri yaşanmaması için zeminde iyileştirilmeler yapılarak ilerleme sağlanmıştır. Zayıf zemin şartlarında iksalar yerleştirilirken iksa ayakları sabitlenerek ve gerekli görülen kesimler gergilerle desteklenerek olası yanal basınçlara maruz kaldığı takdirde bükülmelerin yaşanması engellenmiştir. Normal şartlar altında günlük ortalama 5 ile 7 metre kadar tünel kazısı ve desteklemesi yapılmıştır. Aylık olarak ilerleme zaman zaman 210 metreye ulaşmıştır. Normalde tünellerin bulunduğu mevkiide yeraltı suyu çok fazla olmamasına rağmen mevsimsel yağışların etkisiyle artmış olduğundan, olası dökülmelerin önüne geçmek için püskürtme beton dizaynı yeni katkılarla tekrardan oluşturularak tavan ve yan duvarlara uygulanmıştır. Nitekim yapılan kazı çalışmaları T1 tüneli açımından elde edilen tecrübeyle daha kolay ve hızlı bir biçimde açılmıştır.

### T1 ve T2 tünellerinin kazı ve destekleme performanslarının değerlendirilmesi

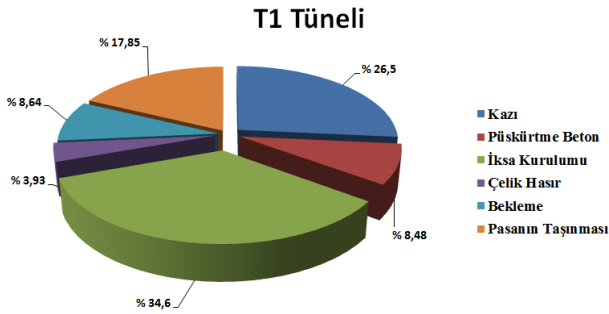
T1 ve T2 tünel kazılarının, büyük bir kısmı zayıf ve yumuşak formasyonlarda açılmış, göçük, aşırı akma ve sökülmelerin olmaması için kontrollü kazı yapılmıştır. Tünellerin günlük, haftalık, aylık ortalama ve en iyi ilerleme hızları Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi T1 de yaşanan göçük, taban batması ve yanal basınç problemleri nedeniyle günlük-haftalık- aylık ortalama ilerleme hızları

T2 tüneline oranla daha düşük gerçekleşmiştir. T1 tüneline yapılan işlemlerin dağılımı Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.

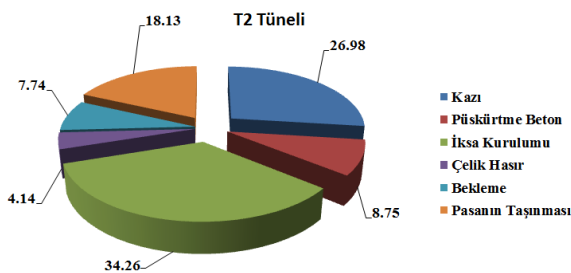
**Tablo 3.** T1 ve T2 tünellerinin kazı performansları

Parametreler	T1	T2
Ort. İlerleme	5,13 m/gün	7,22 m/gün
Ort. İlerleme	35,91 m/hafta	50,54 m/hafta
Ort. İlerleme	153,9 m/ay	216 m/hafta
Maks. İlerleme	5,5 m/gün	7,38 m/gün
Maks. İlerleme	38,50 m/hafta	51,66 m/hafta
Maks. İlerleme	165 m/ay	222 m/ay

T1 ve T2 tünelinin açımı sırasında birim metreye ilerlemeye karşılık yapılan işlemlerin (Kazı-Destekleme) oransal dağılımı Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 15. T1 tüneline yapılan işlemlerin dağılımı.



Şekil 16. T2 tüneline yapılan işlemlerin dağılımı.

Görüldüğü gibi hidrolik (darbeli) kırıcı ile kazı işlemi tüm tünel açımında yaklaşık % 26,5 orana sahiptir. T1 tüneline zayıf formasyonlarda geçtiği halde böylesine yüksek bir orana sahip olmasının nedeni; tünellerde konglomera-

kumtaşının olduğu yerlerde, taneler arasındaki iyi çimentolanma derecesinden dolayı sökümlenme zorlaşması ve dolayısıyla anlık ilerleme hızının düşerek kazıyı olumsuz etkilemiş olmasıdır. Tünellerin zayıf ve akıcı formasyonlarda açılması nedeniyle destekleme işlemlerine harcanan zaman önemli bir orana sahiptir.

## Sonuç

Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) projesi kapsamında inşa edilen zayıf formasyon koşullarında açılan T1 ve T2 sulama tünellerinin, jeolojik jeoteknik yönden öngörülen kazı ve destekleme yöntemleri incelenmiştir. T1 tüneli ekseninde sondaj yoğunluğu 0,092 T2 tüneline ise 0,096 olmuştur.

Genelde projelerin genel özelliklerine ve risk durumuna bağlı olarak sondaj yoğunluğu 0,2-1,5 arasında değişmektedir. Büyük projelerde bu değer en az 1 civarında olmasına özen gösterilir. Dolayısıyla, T1 ve T2 tünellerinde yapılan sondajların sayısı ve metraj açısından yetersizliği söz konusudur. Jeoteknik araştırmaların toplam maliyetinin proje bütçesindeki oranı ortalama %1,6 civarındadır. Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için bu değer %3'e kadar artırılabilir. Birim jeoteknik araştırma yatırımı proje maliyetinde 15 birim kazanım sağlayabilmektedir. Bu değerlerin yapılacak çalışmalar ele alındığında önerilen değerlerin çok altında olduğu görülmektedir.

Bu nedenle ilk açılan T1 tüneline kazısı sırasında jeoteknik raporda öngörülmemiş; göçük, taban batması, aşırı sökülme, su geliri, yanal basınç problemleriyle karşılaşmıştır. Dolayısıyla tünel ilerleme hızı düşmüş, kazı ve destekleme çalışmaları olumsuz etkilenmiştir. T1 tüneline ortalama ilerleme hızı, günlük 5,13 m iken, haftalık 35,91 m ve aylık ise; 153,9 m olmuştur. Farklı kazı ve destekleme önlemleri alınarak bu sorunlar giderilmiştir.

T1 tüneline açımından sonra aynı bölgede, benzer formasyon ve koşullarda T2 tüneline açılmıştır. T1 tüneline açımından elde edilen

deneyim gerekli kazı destekleme önlemleri alınarak, T2 tüneline benzer sorunların yaşanması önlenmiştir. T2 tüneline ortalama ilerleme hızı, günlük 7,22 m iken, haftalık 50,54 m ve aylık ise; 216 m olarak gerçekleşmiştir. Ortalama günlük ilerlemede %41 oranında artış gerçekleşmiştir.

T1 ve T2 tünellerinde yapılan ön çalışmaların (Jeolojik etüt) yetersizliği, tünel ortamını yansıtmaması gibi eksiklikler tünel açımı sırasında uzun süre beklemelere ve maliyet artışlarına sebep olmuştur.

Başarılı bir tünel projesinin gerçekleştirilmesi için temel şartın kapsamlı bir şekilde yapılmış jeoteknik etüt ve buna uygun şekilde seçilmiş kazı ve destekleme çalışmaları olduğu bir kez daha anlaşılmıştır.

## Kaynaklar

- Doğruoğlu, M.T. 2009. Tbm Metodu İle Açılan İkiz Tünellerde Meydana Gelebilecek Deformasyonların Sonlu Elemanlar Metodu Ve Numerik Hesaplarla Tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 26-27,36-47.
- Eren, M. 2014. İki Farklı Yöntemle (Natm-Tbm) İle Açılan Bir Tünelde Düşey Deformasyon/Deplasman'ların Belirlenmesi:M5 Metro Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 5-7.

- Kaya, B. 2010. İstanbul Metrosu, Şaft 10 Şantiyesi Anahat Tünellerinin Mühendislik Jeolojisi Özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde Üniversitesi, Niğde, 23.
- Merritt. H.A, 1979 Yeraltı Kazılarında Jeolojik Sorunlar ve Araştırma Yöntemleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Ocak sayısı.
- Özbek, A. 2005. Yeraltı Kazılarında (Tünellerde) Yerdeğiştirme Vektörünün İzlenmesi ve Ayna İlerisindeki Ortamların Tahmini. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, C. 18, İstanbul, sayfa 171.
- Polat, D. 2010 Natm Metodu Kullanılarak Tünel Tasarımı ve Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 9,14-15.
- Seydanlıoğlu, A. 2009. Metro Tünellerinde Deformasyon Ölçmeleri 4.Levent – Ayazağa Metro Hattı Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 4-20.
- Şeker, Ö. 2008. Yeni Avusturya Tünel İnşa Yöntemi Prensiplerine Göre Tünel Kaplama Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 10-23.
- Üçer, S. 2012. Tünellerin Sismik Davranışı Ve Sismik Hasar Değerlendirmesi: Bolu Tünelleri Üzerine Bir Çalışma. *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 18-22.
- Vardar, M., Koçak, C. 2013. İnşaat Jeolojisi Ders Notları. Maden Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

## Problems and solutions during the opening of the Kralkızı-Dicle tunnels

### Extended abstract

*In this study, the construction of T1 and T2 irrigation tunnels in the Kralkızı-Dicle Gravity Irrigation Section 4, which is part of the Southeastern Anatolia Project (GAP) project, was examined.*

*Within the scope of the project 12 drill holes opened and drillings called SK-5, SK-6, SK-7, SK-8, and SK-9 are on the route of T1 tunnel and drillings called SK-10, SK-11, and SK-12 are on the route of T2 tunnel.*

*According to the data obtained from drillings two tunnels pass through the Şelmo Formation. The units belonging to Şelmo Formation has weak cement and weak strength structure in generally. But it has also partly durable construction at the sandstone and pebble stone levels. If these structures contact with water and air, they disintegrate and scatter in a short time.*

*In the drilling studies, the core percentages are generally low and the RQD values are weak, although the water level is low or occasionally anhydrous.*

*The rock mass index score was determined between 32 and 39 according to taken cores throughout the tunnel that is why the rock quality is weak.*

*Due to the fact that the geotechnical survey studies do not reflect the tunnel environment, in the T1 tunnel opened first several problems was occurred such as dent, flow, base swelling, lateral closure. These problems resulted in increases in waiting time and costs.*

*In the scope of the study, the methods used to overcome the problems experienced in the T1 tunnel and the precautions taken are explained in detail based on the data obtained during the tunnel opening. Thanks to the measures taken in the T2 tunnel opened after the experience gained in the T1 tunnel, the speed of advance has been increased and the problems experienced in the T1 tunnel have been eliminated.*

*The daily, weekly and monthly average velocities were lower than the T2 tunnels because of dent, flow, base swelling, lateral closure T1.*

*T2 tunnel was completed more quickly with controlled excavation and support as a result of the experience gained from the problems occurred in the T1 tunnel.*

*The average daily-weekly and monthly advance rates increased by 41% in the T2 tunnel.*

*As a result of the evaluations, it is once again understood that the basic condition for a successful tunnel project is a comprehensive geotechnical survey and corresponding this data to choose excavation and support works.*

**Keywords:** Tunnel, Deformation, Dent, Flow, Base swelling, Lateral closure.