



SAYI: 100

DEVLET SU İŞLERİ  
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

# DSİ TEKNİK BÜLTENİ

# DSİ TEKNİK BÜLTENİ

## Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ  
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

## Sorumlu Müdür

Dr. Yusuf Z. GÜRESİNLİ

## Yayın Kurulu

Dr. Yusuf Z. GÜRESİNLİ  
Kadri YAŞAR  
Bayram TIRYAKI  
Taner ERCÖMERT  
Kemal ŞAHİN  
Nurettin KAYA  
Servan YILDIRIM

## BASILDIĞI YER

İdari ve Mali İşler Dairesi  
Başkanlığı  
Basım ve Foto-Film  
Şube Müdürlüğü

Etilik – Ankara

SAYI : 100

YIL : 2005

Üç ayda bir yayımlanır

## İÇİNDEKİLER

1. Şanlıurfa Tünellerinde Enjeksiyon Çalışmaları..... 1  
(Yazan: Yrd.Doç.Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR)
2. Betonlarda Çelik Lişf Kullanılmasının Etkisi ..... 19  
(Yazanlar: Prof. Dr. Rüstem GÜL,  
Araş. Gör. Oğuz Akın DÜZGÜN)
3. Avrupa Ülkelerinin, Sığ Temellerin Taşıma Kapasitelerini  
Hesaplama Kullandıkları Yöntemlerin  
Karşılaştırılması..... 31  
(Yazanlar: J.G. Sieffert Ch.Bay-Gress  
Çeviren: Araş. Gör. İbrahim ÇOBANOĞLU)
4. Silis Dumanı Kullanımının Betonun İşlenebilirliği  
Üzerine Etkisi .....37  
(Yazanlar: Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU  
Ali UĞURLU)
5. Bağlantılı Buharlaştırma sistemlerinde Suyun Ağır İzotop  
Zenginleşmesi.....53  
(Yazanlar: J.R. Gat ve C. Bowser  
Çeviren: Abdullah DİRİCAN)

# ŞANLIURFA TÜNELLERİNDE ENJEKSİYON ÇALIŞMALARI

Yazan: Yrd.Doç.Dr.M. İrfan YEŞİLNACAR\*

## ÖZET

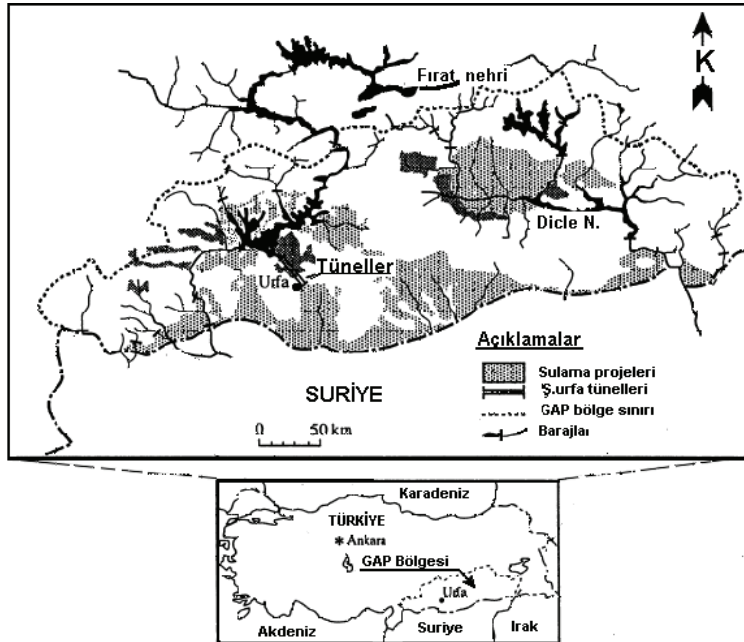
Tünel uzunluğu, kazı tekniği ve sağlayacağı fayda açısından GAP projesinin kilit yapılarından biri hiç kuşkusuz Şanlıurfa tüneller sistemidir.

Bu çalışmayla Şanlıurfa tünellerinin inşa yöntemi, kazı tekniği ve karakteristik özelliklerine kısaca değinilerek, tünellerde yapılan enjeksiyon çalışmaları ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir.

## 1. GİRİŞ

Şanlıurfa Tünelleri Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alır (Şekil 1). GAP (Güneydoğu Anadolu Projesi)' in en büyük kilit yapılarından biri olan tüneller, yaklaşık 358 000 ha cazibeyle ve 118 000 ha pompajla olmak üzere 476 000 ha araziye sulayacak şekilde planlanmıştır. Tüneller sistemi, her biri 7.62 m çapında ve 26.4 km

uzunluğunda iki adet dairesel kesitli, beton kaplamalı tünelden oluşur. Tünellerin toplam uzunluğu, ulaşım ve bağlantı tünelleri dahil 57.8 km' dir. Atatürk barajı gölünden tüneller vasıtasıyla alınan 328 m<sup>3</sup>/s miktarındaki su Harran ve Mardin ovalarına iletilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

İki paralel tünelden oluşmuş sistemde, tünellerin eksenden eksene

mesafesi 40 m' dir. Tünellerden kazı malzemesinin kolay nakledilmesi, kazı ve

\*Harran Üniv.Müh. Fak.  
Osmanbey Kampusu, Ş.Urfa  
mirfan@harran.edu.tr

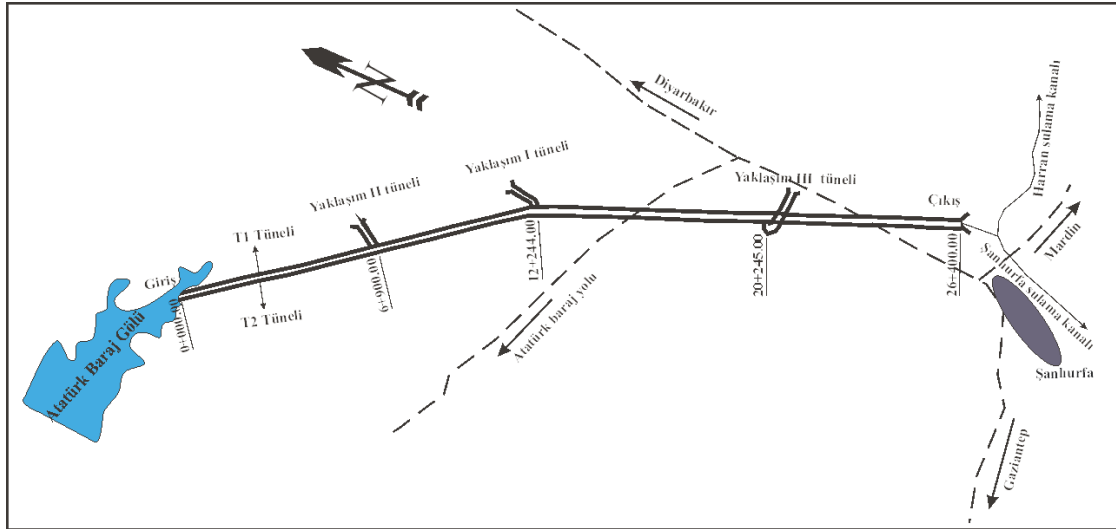
betonlama işlemlerinin aynı anda yürütülebilmesi için tüneller arasında her 500m' de bir irtibat tüneli açılmıştır. İrtibat tüneli toplam 52 adettir. Böyle uzun bir tünelde havalandırmanın iyi yapılabilmesi çok önemlidir. Bu amaçla, bacalar her iki tünele de hizmet vermesi için irtibat tünellerinin ortasına gelecek şekilde açılmıştır. Yaklaşık her 1500 m' de bir baca olup, derinlikleri 65.24 m ila 207.95 m arasında değişmektedir. Toplam baca sayısı 23 adettir.

Tüneller, su akış yönüne göre sol tarafta bulunan tünel T1, sağ tarafta bulunan tünel ise T2 olarak adlandırılmıştır. T1 tünelinin 6+900 km' sinde Yaklaşım-2 tüneli, 12+244 km' sinde Yaklaşım-1 tüneli ve T2 tünelinin 20+245 km' sinde Yaklaşım-3 tüneli bulunur (Şekil 2).

Tünellerin inşasına 1977 yılında başlanmıştır. Bugün itibariyle her iki tünelde faaldir. Tünellerin önemli bazı karakteristik özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

**Çizelge1. Şanlıurfa Tünelleri karakteristikleri**

Tünel tipi	Dairesel teçizatlı beton kaplama
Tünel uzunluğu	Herbiri 26.4 km iki paralel tünel
Tünel eğimi	T1 – 0.62802 m/km T2 – 0.62948 m/km
Tünel kazı çapı	Yaklaşık 9.50 m
Tünel iç çapı	7.62 m
Betonarme kalınlığı	0.95 – 0.40 m
Kaya bulonu miktarı	4.600 ton
Püskürtme betonu miktarı	300.000 ton
Kazı miktarı	3.000.000 m <sup>3</sup>
Beton miktarı	1.150.000 m <sup>3</sup>
Sulanacak alan	476.000 ha
Jeolojik formasyon	Killi kireçtaşı, marn
Hidrolik yük	T1 – 40.25 m; T2 – 39.74 m
Tünel debisi	328 m <sup>3</sup> /s (iki tünel)
Tünel giriş taban kotu	515 m
Tünel çıkış taban kotu	498 m

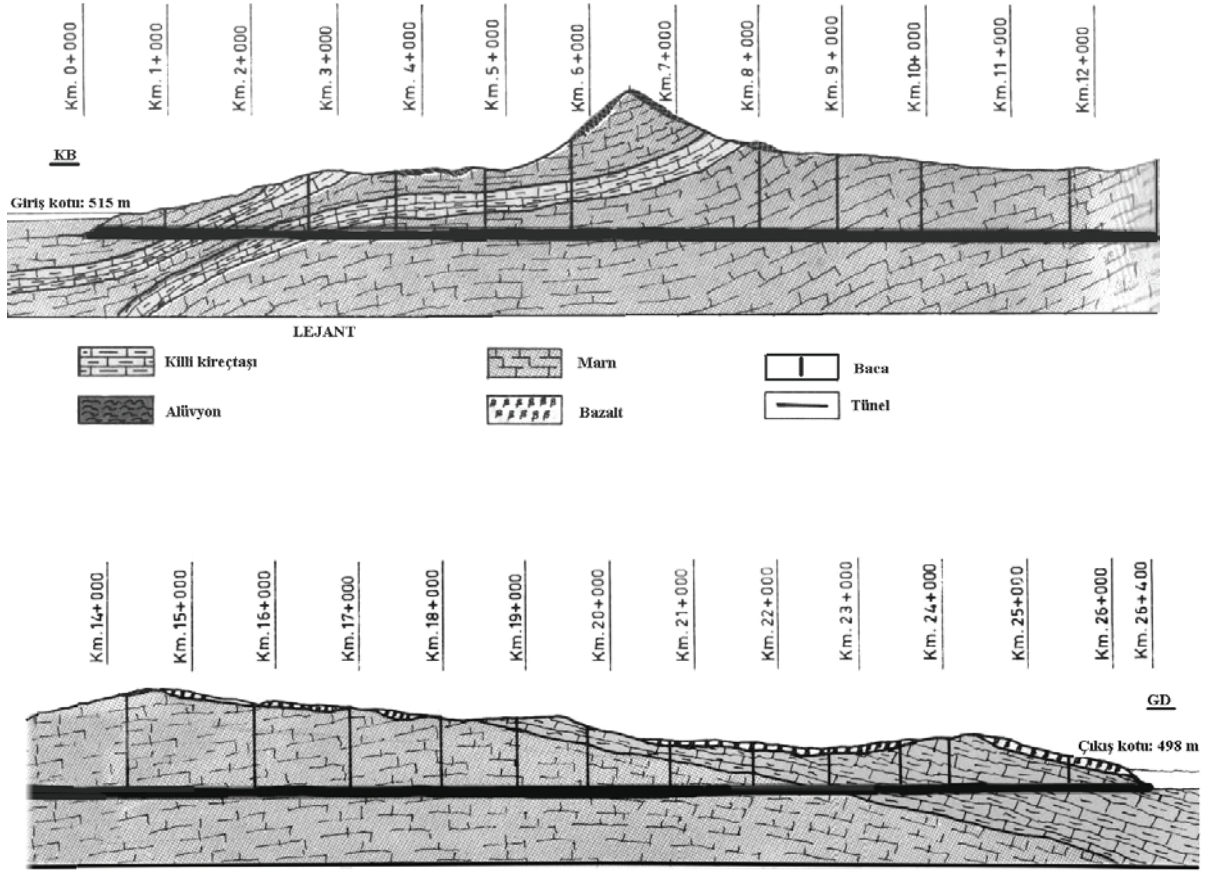


**Şekil 2. Şanlıurfa tünelleri genel vaziyet planı (ölçeksiz)**

## 2. JEOLJİ

Şanlıurfa tünelleri güzergahı boyunca yüzeylenen jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru marn, killi kireçtaşı, bazaltlar ve alüvyonlardır (Şekil 3). Tünel kazısı sırasında sadece marn ve killi kireçtaşı kesilmiştir. Enjeksiyon alışı değeri

açısından bu iki birim arasında önemli bir fark yoktur. Alış değeri bazı zonlarda kırık, çatlak ve ayrışma nispetine göre azda olsa değişiklik gösterir. Genelde alışın fazla olduğu zonlar, beton-kaya kontakındaki aşırı kazı nedeniyle ortaya çıkan boşluklarda görülür.



**Şekil 3. Şanlıurfa tünelleri jeolojik boy kesiti**

## 2.1. Marn

Tabanda bulunan Paleosen yaşlı birim, inceleme alanında geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Görünür kalınlığı 500 m civarındadır. Rengi gri ve kremdir. Katmanlanma, uzaktan ve hava fotoğraflarında belirginse de, arazide, ayrışmadan dolayı belirgin değildir. Tabaka kalınlığı 50-60 cm' dir. Çoğunlukla kil ve  $\text{CaCO}_3$  miktarı birbirine yakındır. Ayrıca arakatman olarak kiltası ve siltaşı da olağandır. Yumuşak bir özellik taşıdığından kazı yönünden önemli sayılabilecek bir problem çıkmamıştır. Bu birimin, hidrojeolojik yönden, akifer özelliği yoktur (Tanrıverdi, 1992).

## 2.2. Killi Kireçtaşı

Paleosen-Alt Eosen yaşlı bu birim alttaki marn ile ardalanmalıdır. Kil oranı az,  $\text{CaCO}_3$  oranı fazladır. Saf kireçtaşından

yaşlı katmanlara, birim içinde rastlanılması olağandır. Lokal olarak sileks nodüllerine de rastlanılmaktadır. Katman kalınlığı 40-50 cm civarındadır (Erguvanlı, 1992). Paleosen yaşlı marn ile bu birim arasında kazı tekniği ve hidrojeolojik özellikler bakımından bir fark yoktur.

## 2.3. Bazaltlar

Güzergah boyunca, yüzeyde, birkaç tepede örtü halinde bazalt görülür. Bunlar Karacadağ volkanizmasının ürünüdür. Pliyosen yaşlı bazaltlar Diyarbakır ve Şanlıurfa ili dolaylarında geniş alanları kaplar ve tünel güzergahında yüzeyde örtü halinde gözlenir.

## 2.4. Alüvyon

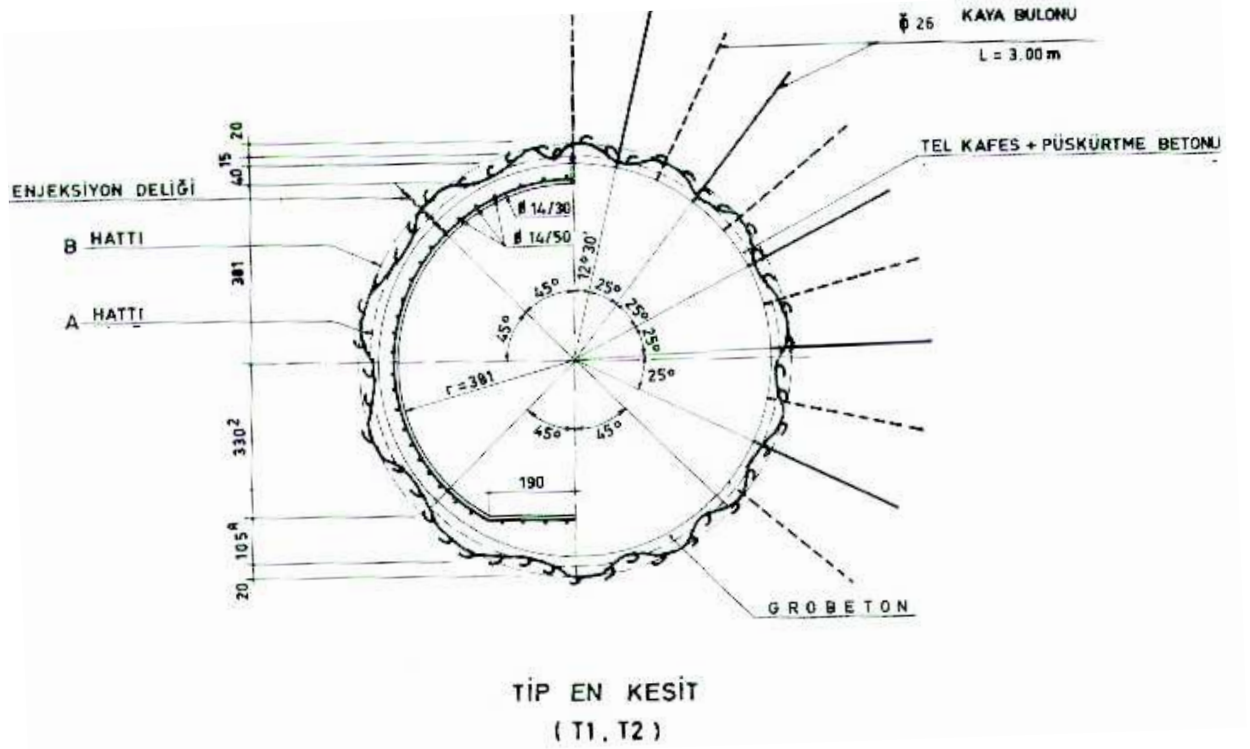
Kuvaterner yaşlı birim, alüvyon, yamaç molozu, toprak örtüsü ve birikinti

konisi şeklinde dere ve tepe yamaçlarında gözlenir. Bu malzemeler lokal olarak akifer özelliği taşıdığından kısmen de olsa sızma problemi olağandır.

İnceleme alanı sismik açıdan pasif bir zonda bulunmaktadır. Bölgede aktif bir fay olmadığı gibi hasar yapıcı depremlerin olma olasılığı da yoktur.

### 3. İNŞA YÖNTEMİ

Şanlıurfa tünelleri yapımı Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemine (NATM) göre yapılmıştır. NATM, tel kafes, çelik iksa ve kaya bulonu ile takviye edilen dış kemerin püskürtme betonu işlemiyle kabuk durumuna getirilmesi yöntemidir (Golser, 1995) (Şekil 4).



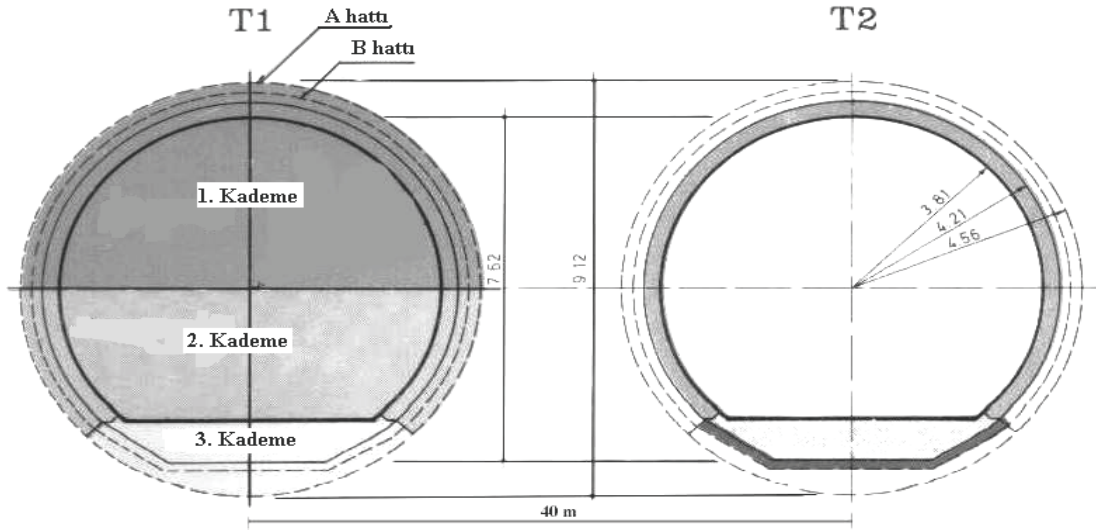
Şekil 4. Şanlıurfa tüneli tip en kesiti

### 4. TÜNEL KAZISI

Şanlıurfa tünelleri kazısı birbirini izleyen üç kademede yapılmıştır. Birinci kademe kazısı, yüksekliği 4.56 m alanı 35 m<sup>2</sup> olan yarım daire şeklinde bir kesite sahiptir. Bu kesit, tünel açma makinası Paurat E 134 veya delme-patlatma yöntemiyle yapılmıştır. Kazı yapılan kısımlar sistematik bulon, tel kafes, ve püskürtme betonuyla desteklenmiştir. Birinci kademe kazısı ve destekleme işlerinden sonra 3.4 m

yükseklik ve 25 m<sup>2</sup> kesit alanlı ikinci kademe kazısı yapılmıştır (Şekil 5).

Daha sonra kazılan kısımlar sistematik bulon, tel kafes, ve püskürtme betonuyla desteklenmiştir. Son olarak yaklaşık 1.16 m yükseklik ve 10 m<sup>2</sup> kesit alanlı üçüncü kademe kazısı yapılmış ve tünel tabanı 15 cm kalınlığındaki grobetonla kaplanmıştır.



**Şekil 5. Şanlıurfa tüneli kazı yöntemi**

## 5. TÜNEL ENJEKSİYONU

Tünel enjeksiyonu işleminde, betonun sertleşmesi bakımından, beton döküm tarihinden itibaren en az bir ay sonra enjeksiyona başlanması son derece önemlidir.

Tünelde genellikle iki tür enjeksiyon yapılır. Birincisi kontakt enjeksiyonu, ikincisi konsolidasyon enjeksiyonudur.

Ayrıca bu işlemlerin başarılı ve güvenli olması için daha sonra kesitler arasındaki muhtemel boşlukları doldurmak amacıyla kontrol enjeksiyonu yapılır. Son olarak, araştırma ve test kuyularıyla bu işlemler denetlenir. Test sonucu başarısız olan kuyular için onarım enjeksiyonuna başlanılır.

Şanlıurfa tünellerinde enjeksiyon ano boyu 12.10 m ve bir anodaki kesit sayısı üçtür. Enjeksiyon kuyu çapı 48 mm' dir. İki irtibat tüneli arasındaki 500 m' lik kısım tüp olarak adlandırılmıştır.

### 5.1. Kontakt Enjeksiyonu

Kontakt enjeksiyonunun temel amacı beton ile zemin arasındaki boşlukları doldurmaktır. Kontakt enjeksiyonu projesinde her kesitte 8 adet enjeksiyon kuyusu açılır (Şekil 6). Birbirini takip eden kesitlerde kuyular şaşırtmalı olarak delinir. Kuyular ano ve kesit numarasıyla belirtilir.

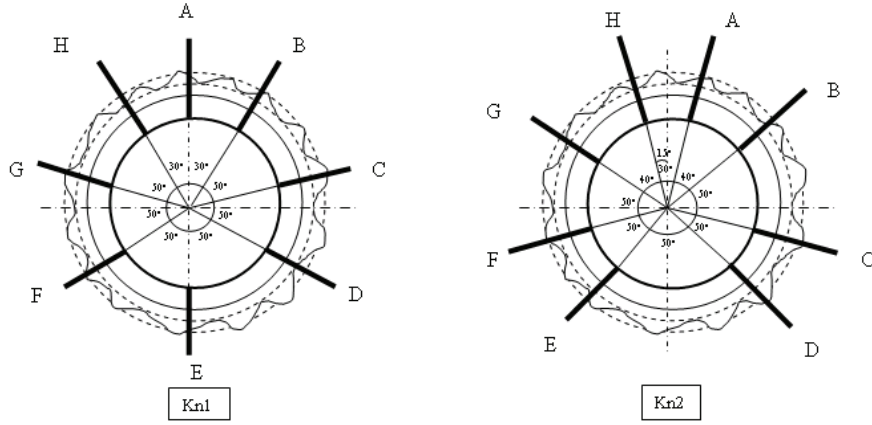
Her kesitte kuyular tepe deliğinden başlamak üzere saat ibresi yönünde "A, B, C, D, E, F, G ve H" harfleriyle gösterilir (Şekil 7).

Kuyu lokasyonları raporlara, örneğin, "Kn 185 – 2/B" şeklinde gösterilir. Bu ifade;

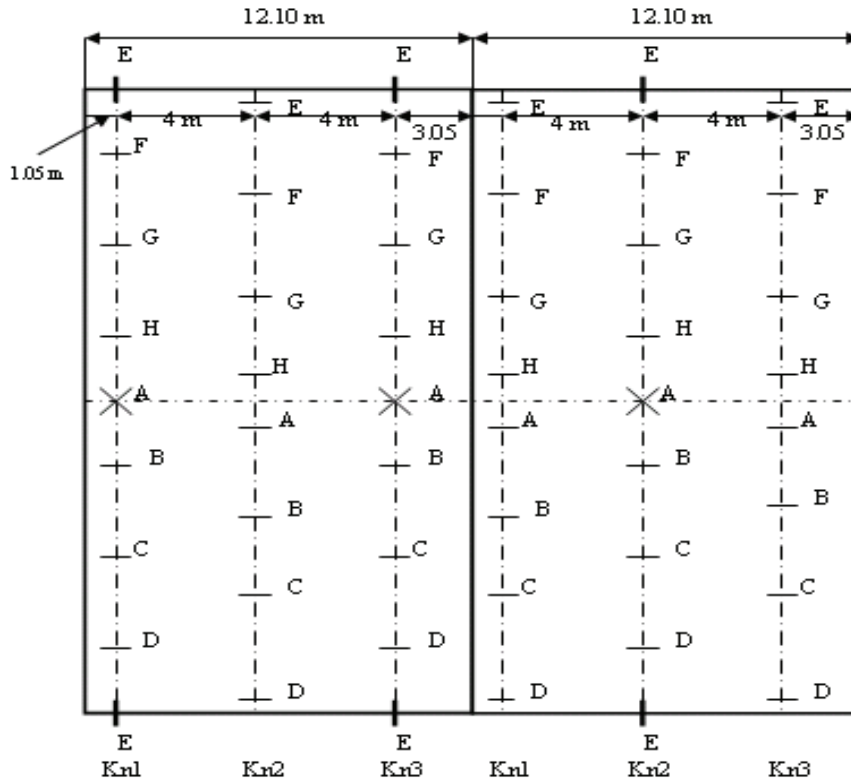
Kn: Enjeksiyon türünü, burada, kontakt enjeksiyonu,  
185: ano numarasını,  
2: kesit numarasını,  
B: enjeksiyon kuyusunun konumunu belirtir.

Kontakt enjeksiyonunda; kuyu derinliği, beton dahil, en az 90 cm boyunda ve enjeksiyon basıncı 3 kg/cm<sup>2</sup> olarak projelendirilmiştir. Ancak uygulamada beton kaya kontağının saptanmasında karşılaşılan güçlükler ve refü basıncının düşük gelmesi nedeniyle proje revize edilmiştir. Bu revizyonun etkileri sonuçlar bölümünde tartışılacaktır. Buna göre; kuyu derinlikleri tavan ve yan kuyularda 2 m, taban kuyularda 2.5 m olarak standart hale getirilmiştir. Refü basıncı ise 5 kg/cm<sup>2</sup> olarak düzenlenmiştir.

Kontakt enjeksiyonuna ağırlıkça çimento/su oranı 1/1 olan karışımla başlanır. Bu oranda refü basıncına erişilemezse, ağırlıkça çimento/su oranı 7/5 olan karışım verilmeye başlanılır, yine refüye erişilemezse ağırlıkça çimento/su/ince kum oranı 1/1/1 olarak refü sağlanıncaya kadar enjeksiyona devam edilir.



Şekil 6. Şanlıurfa tünelleri kontakt enjeksiyonu delik tertip şekilleri



Şekil 7.Şanlıurfa tünelleri kontakt enjeksiyonu delgi paterni



### 5.1.1. Kontrol Enjeksiyonu

Kontakt enjeksiyonu tamamlanan anolardan başlanarak iki kesitin ortasına ve tavana dik gelecek biçimde 2.5 m derinliğinde kontrol kuyuları açılır. Bu kuyularda kontakt enjeksiyonu kriter ve şartlarına göre enjeksiyona devam edilir. Kontrol enjeksiyonunda amaç iki kesit arasında kalan muhtemel boşlukları doldurmaktır.

### 5.1.2. Test ve Araştırma Kuyuları

Test ve araştırma kuyularının delinmesine başlamadan önce kontakt ve kontrol enjeksiyonu tamamlanan tüpte temizlik yapılır. Tüpte muhtemel sızma varsa gözlemlenerek rapor edilir. Daha sonra kesit ve ano bazında enjeksiyon alış miktarları hesaplanır. Alış miktarı, toplam karışım miktarının toplam kontakt ve kontrol kuyuları boylarına oranı olarak hesaplanır. Kazı sırasındaki jeolojik profil de gözönüne alınarak uygun görülen yerlere test ve karotlu araştırma kuyuları açılması için ilgili kuyuların lokasyonunu gösteren liste (arazi talimatı) hazırlanır.

Test kuyularının derinliği, yukarıda anlatılan esaslar çerçevesinde yapılan değerlendirmelere göre, 2.5 – 4 m arasında önerilir. Araştırma kuyularının boyu 6 m olup karotlu delgi yapılır ve karot üzerinde gözle muayene edilerek varsa çimento izleri teşhis edilerek değerlendirilir. Test işlemi 0-4 m ve 4-6 m olmak üzere iki kademede yapılır.

Bu kuyularda, su testi ve enjeksiyon testi olmak üzere iki test uygulanır. Su testinde, bir kuyunun başarı kriteri 25 litre/m/10 dak.'dır. Bu kriteri sağlayamayan kuyuda enjeksiyon testi yapılır. Enjeksiyon testine ağırlıkça 1/3 (çimento/su) olan karışımla başlanır ve başarı koşulu 7 litre/m/10 dak.'dır. Bu kriteri sağladığı takdirde o kesitteki veya o anodaki kuyuların enjeksiyonunun başarılı olduğu kabul edilir. Aksi takdirde onarım enjeksiyonuna geçilir.

### 5.1.3. Onarım Enjeksiyonu

Su ve enjeksiyon testi sonucunda başarısız olan kuyuya komşu kuyular pas geçilerek kesitteki tüm kuyulara, kontakt enjeksiyonundaki şartlar ve kriterlere göre,

onarım enjeksiyonu yapılır. Bu sayede kontakt ve kontrol enjeksiyonu sırasında rastlanılmayan veya teknik nedenlerden dolayı noksan bırakılan boşluklar doldurulmuş olur.

### 5.2. Konsolidasyon Enjeksiyonu

Konsolidasyon enjeksiyonunun başlıca amacı beton çevresindeki kayaçların stabilitesinin sağlanmasıdır. Konsolidasyon enjeksiyonu, kontakt enjeksiyonu tamamlandıktan sonra delinecek araştırma kuyularından alınan karotların değerlendirilmesi sonucunda zayıf kaya koşulları ve sızma problemleri olan bölgelerde yapılması öngörülmüştür. Konsolidasyon enjeksiyonuna kontakt enjeksiyonun tamamlanmasından 15 gün sonra başlanmalıdır. Bu süre enjeksiyon karışımının priz alması açısından oldukça yararlı ve gereklidir.

Konsolidasyon enjeksiyonu için her kesitte 4 kuyu delinir (Şekil 8). Kuyu tertip şekli saat ibresi yönünde "A, B, C ve D" olarak gösterilir (Şekil 9). Birbirini takip eden kesitlerde kuyular şaşırtmalı olarak delinir. Kuyu boyları beton kalınlığı +6 m' dir.

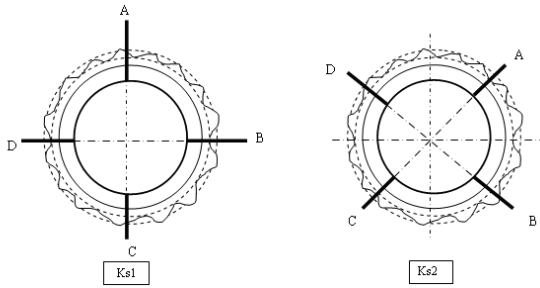
Enjeksiyon 2 kademede yapılır. Birinci kademede 2-6 m, ikinci kademede ise 0-2 m lik zonun enjeksiyonu yapılır. Her iki kademede 5 kg/cm<sup>2</sup> refü koşulu aranır. Refü sağlanana kadar işleme devam edilir.

Konsolidasyon enjeksiyonu, zemin alış değerlerinin değerlendirilmesi sonucunda, enjeksiyon projesi revize edilerek, konsolidasyon enjeksiyonu programdan çıkarılmıştır.

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

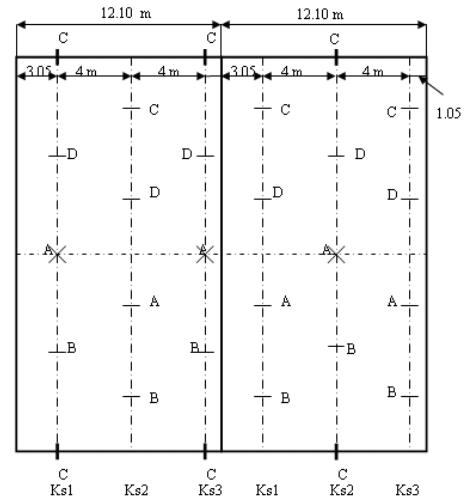
Tüneller, çeşitli mühendislik disiplinlerinin ortaklaşa çalıştığı ve karar verdiği projelerdir. Bu gibi büyük mühendislik yapılarının planlama, araştırma, projelendirme ve inşaat aşamalarında jeoteknik, jeoloji, inşaat ve jeodezi mühendisliği vd. açısından önemli deneyimler elde edilir. Bu deneyimler, bilimsel ve teknik ortamlarda tartışılıp sonuçları yayınlanabilirse gelecekte yapılacak bu tür tesisler için referans olabilir. Aksi takdirde, kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonu bölümünde bahsedildiği gibi

kuyu boyu 90 cm den 2 - 2.5 m ye artırılması ve konsolidasyon enjeksiyonun önce uygulanması daha sonra programdan çıkarılması gibi proje revize edilmek zorunda kalınır ve bu da büyük finans ve zaman kaybına neden olur. Ayrıca, Yaklaşım-1 ve Yaklaşım-2 tüneli T1 tüneline bağlanacak biçimde tasarlanmış ve açılmıştır. Yani Yaklaşım-3 tüneli projeye başlanırken dahil edilmemiştir. Kazı ayna sayısını arttırmak ve proje tamamlandıktan sonra bakım çalışmaları yapmak için Yaklaşım-3 tüneli T2 tüneline bağlanacak biçimde daha sonra tasarlanmış ve açılmıştır.



**Şekil 8. Şanlıurfa tünelleri konsolidasyon enjeksiyonu delik tertip şekilleri**

Bu makalede; Ş.Urfa tünellerindeki enjeksiyon uygulamaları, benzer projelere bir nebze de olsa ışık tutması amacıyla tartışılmıştır. Ayrıca, planlama ve uygulamada yaşanan deneyimler, uygulayıcılara katkı sağlaması açısından vurgulanmıştır.



**Şekil 9. Şanlıurfa tünelleri konsolidasyon enjeksiyonu delgi paterni**

## KAYNAKLAR

- ERGUVALI, K., 1964, Fırat Halfeti Barajı Rezervuarı Jeolojik Etüdü Kısım II (Karakaya-Samsat Arası, E.İ.E.İ. Raporu (Yayınlanmamış), Ankara.
- GOLSER, J., 1995. History, definition and principles of NATM, IACES Bureau of Vienna, NATM Summer course July 2- July 8, 1995, pp. 4/1-4/11.
- KOLARS, J.F., MITCHELL, W.A., 1991, The Euphrates River and the Southeast Anatolia Development Project, Southern Illinois University Press, 297p., U.S.A.
- ÖNALP, A., 1982, İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, KTÜ Yayın No:187, Cilt:1-2, 1224s., Trabzon.
- TANRIVERDİ, İ., 1992, Şanlıurfa Tünelleri Planlama, Araştırma, Projelendirme ve İnşaatı, DSİ, 110s., Ankara.

- TARHAN, F., 1996, Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Müh.-Mim. Fak. Yayın no:41, 384s., Trabzon.
- YEŞİLNACAR, 1990, Şanlıurfa Tünelleri Jeolojik-Jeoteknik Etüdü, Akd.Üniv. Müh. Fak. Jeo. Böl. Bitirme Ödevi (Yayınlanmamış), Isparta.
- YÜKSEL, A., 1997, Enjeksiyon ve Şanlıurfa Tünellerindeki Uygulamaları, HR.Ü. Müh. Fak. İnş. Müh. Böl., Bitirme Ödevi (Yayınlanmamış), Şanlıurfa.