

# ALETSEL GÖZLEMLEME HAKKINDA BİR VAKA ANALİZİ : TAG OTOYOLU

H.Turan Durgunoğlu<sup>(1)</sup>  
Turhan Karadayılar<sup>(2)</sup>  
H. Fatih Kulaç<sup>(2)</sup>  
Selim İkiz<sup>(2)</sup>

## ÖZET

*Aletsel gözlemlenmenin geoteknik mühendisliğindeki uygulamalarından taban zemininin konsolidasyonunun ve oturmaların gözlenmesi, TAG Otoyolu bünyesinde yer alan Km 153+770 yapısı örneğinde bir vaka analizi olarak incelenmiştir. Aletsel gözlemler ile proje aşamasında öngörülen projelendirme önlemlerinin verilen terminler içerisinde ve yeterli güvenlikte uygulanabilmesi sağlanmıştır. Sonuçta, yapılan aletsel gözlemler amaçlanan konsolidasyon yüzdelerine ulaşıldığını doğrulamış, yapım programlaması açısından hız kazanılarak yapının yeterli güvenlikte inşa edilebilmesi sağlanmıştır.*

## ABSTRACT

*A Case Study for Instrumentation and Monitoring : TAG Motorway*

*Monitoring of consolidation of subsoil and settlements, being one of the applications of instrumentation and monitoring in geotechnical engineering practice, is investigated as a case study. For this purpose, the instrumentation and monitoring studies carried out for the case of an underpass at Km 153+770 of TAG Motorway is presented. The verification of design precautions within the given dead-lines and with adequate safety is achieved, by means of monitoring. As a result, it is verified that the aimed consolidation percentages are reached, as well as the assurance of adequate safety along with a gain in construction schedule and timing.*

---

(1) Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Profesörü

(2) Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., İnşaat Yüksek Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde projelendirilen ve inşa edilen otoyollar, geoteknik mühendisliğinin uygulama alanına giren pek çok problem için çözümler geliştirilmesini sağlayarak ülke mühendislik deneyiminin gelişmesine büyük katkıda bulunmuştur.

Bu çalışma kapsamında, inşaatı kısmen tamamlanmış, kısmen devam etmekte olan (Tarsus-Pozantı)Ayrımı-Adana-Toprakkale-Gaziantep (TAG) Otoyolu projesi bünyesinde yürütülen aletsel gözleme çalışmalarından bir örnek, vaka analizi olarak incelenmiştir.

Otoyol yapım programına bağlı zaman kısıtlamalarına uyulabilmesi ve yeterli güvenlikle inşaatın yürütülebilmesi için, özellikle zayıf taban zemini ve zaman bağlı önemli oturmaların olduğu kesimler, özel çözümlerin oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Oluşturulan çözümlerin sıkışık iş programı gözönüne alındığında, yeterli güvenlikte uygulanabilmesinde aletsel gözlemler büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, aletsel gözlemler ile, bu tür sorunlu kesimlerde proje önlemlerinin tahkiki sağlanabilmekte, yapım programlaması ve zaman açısından ekonomi sağlanabilmektedir. TAG Otoyolu bünyesinde Km 153+770'de yer alan altgeçit yapısı bu anlamda tipik bir örnek olup, bu çalışma kapsamında sunulmuştur.

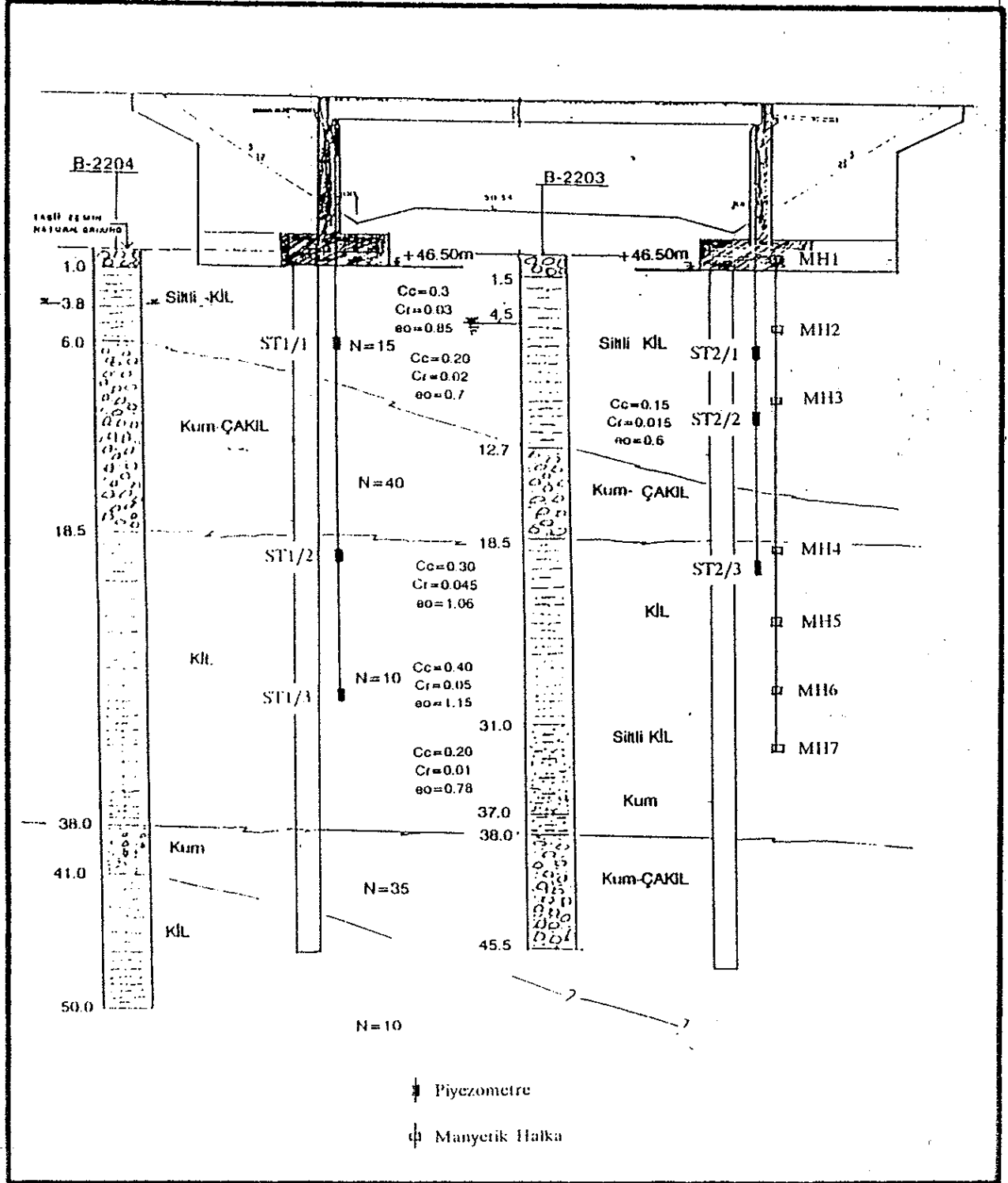
## 2. PROJE VE ZEMİN KOŞULLARI

Aletsel gözlem yapılan altgeçit yapısı TAG Otoyolu Km 153+770'de yer alan İskenderun Doğu Köprülü Kavşağı içerisinde yer almaktadır. Söz konusu yapı iki kenar ayak üzerine oturan prekast kirişlerden müteşekkil 26.0 m açıklıklı bir yapı olarak projelendirilmiştir. Yapının her iki kenar ayağında yaklaşık 10.0 m yüksekliğinde otoyol yaklaşım dolguları mevcuttur.

Yapı yerindeki taban zemini siltli kil ve kumlu çakıl tabakalarının sıralanmasından oluşmaktadır. Yapı yerindeki geoteknik profil Şekil 1'de sunulmaktadır. Temeller altındaki farklı kalınlıktaki ve sıkışabilir nitelikte zayıf kil tabakalarının varlığının yanı sıra, yapılan sondajlarda doğal zemin yüzeyinden itibaren 50.0 m derinlik içerisinde sağlam taban kayaya rastlanmamıştır. Altgeçit yerindeki taban kaya derinliği refraksiyon yöntemi ile tahkik edilmiş ve 100.0 m derinliğe kadar ana kayaya rastlanmamıştır.(1) Yeraltısuyuna doğal zemin yüzeyinden itibaren ortalama 4.0 m derinlikte rastlanmıştır. Bu zemin koşullarında, yüksek üstyapı yüklerinin varlığı da dikkate alınarak altgeçit temelleri kazıklı temeller şeklinde projelendirilmiştir.(2)

Yapı yerindeki zemin koşulları ve laboratuvarında ölçülen geoteknik parametreler ile 10.0 m yüksekliğinde otoyol dolgusu altında, sıkışabilir zemin kalınlığı  $D=38.0$  m olarak belirlenmiş ve dolgu yükü altında 70.0 cm mertebesinde konsolidasyon oturmaları hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan oturma parametreleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

ŞEKİL 1 - TAG OTOYOLU KM 153+770 ALTGEÇİT - GEOTEKNİK PROFİLİ



Ancak, yüksek otoyol yaklaşım dolgularının varlığından ötürü hesaplanan oturmalar sonucu, kazıklar etrafında oluşması beklenen negatif çeper sürtünmesinin varlığı ve kazıkların soketlenebileceği sağlam ana kayaya ulaşılabilir derinliklerde rastlanılamaması nedeniyle, altgeçit yapısı temellerinin inşa edileceği kesimlerde, kum drenler ve önyükleme ile bir zemin ıslahı projesi uygulanmıştır. Yapı yerinde projelendirilen kum drenler ve önyükleme dolgusu konfigürasyonu Şekil 2'de sunulmuştur.

Otoyol yapım programlaması çerçevesinde sözkonusu altgeçit yapısının yer aldığı kesimin 1992 yılı içerisinde hizmete açılması planlanmıştır. Otoyolun hizmete açılacağı tarih ve üst yapı inşası için gerekli süreler dikkate alınarak projelendirilen zemin ıslah projesi ile negatif çeper sürtünmesini tamamen elimine etmeye yönelik  $U=99\%$  konsolidasyonun altı (6) aylık bir sürede elde edilebilmesi için,  $S_d=3.5$  m ara mesafeli,  $L=38.0$  m boyunda, ve  $d=50.0$  cm çapında kum drenler projelendirilmiş ve inşa edilmiştir.(3)

### 3. ALETSEL GÖZLEM VE GÖZLEM CİHAZLARI

Aletsel gözlemler ile proje aşamasında öngörülen konsolidasyon zamanlaması tahkik edilebilmektedir. Böylelikle, sıkışık iş programı çerçevesinde uygulamanın öngörülen terminler içerisinde ve yeterli güvenlikte yürütülebilmesi amaçlanmaktadır.

Aletsel gözlem amaçlı gözlem cihazları önyükleme dolgusu altında oluşan boşluk suyu basınçlarının sönmülmesini gözlemeye yönelik, piyezometreler, ve boşluk suyu basınçlarının yanı sıra oturmaların ve bunların derinlikle dağılımının gözlenmesine yönelik, oturma kolonlarından oluşmaktadır.

TAG Otoyolu Km 153+770 yapısı konumunda iki adet gözlem istasyonu inşa edilmiş olup, ST1 istasyonu (Adana kenarayağı) piyezometre kuyusu, ST2 istasyonu (G.Antep kenarayağı) piyezometre ve oturma kolonu kuyularından oluşmaktadır. İstasyonların konumları Şekil 2'de gösterilmiştir. Aletsel gözlem kuyuları kum drenlerin arasında tam orta noktasında olacak şekilde teşkil edilmiştir. Gözlem aletleri İtalyan SIS Geotecnica firmasından temin edilmiştir.

#### 3.1. Elektrikli Piyezometreler

Elektrikli piyezometreler yerleştirildikleri derinlikteki boşluk suyu basınçlarını gözlemeye yönelik cihazlardır. Bir gözlem istasyonunda birden fazla piyezometre yerleştirilebilmektedir. Elektrikli piyezometrelerin çalışma prensibi piyezometre içindeki hidrolik bölmeye filtreden giren suyun seramik diyaframı yüklemesi sonucu, buna bağlı bir basınç sensörü tarafından basıncın algılanmasına dayanmaktadır. Piyezometreye bağlı kablolar ve okuma cihazı aracılığı ile boşluk suyu basıncı ve değişimleri sürekli olarak gözlenebilmektedir.

TAG Otoyolu Km 153+770 yapısı temellerinde uygulanan zemin ıslahının gözlenebilmesi amacıyla iki ayrı gözlem istasyonunda toplam altı (6) adet piyezometre yerleştirilmiştir. Bu piyezometrelerin derinlikleri Şekil 1'de sunulan yapı geoteknik profilinde gösterilmektedir.

### 3.2. Oturma Kolonu

Oturmaların boşluk suyu basınçları ile birlikte gözlenmesi önem taşımaktadır. Özellikle oturmaların derinlikle değişimi uygulanan zemin ıslahının gözlenmesine yardımcı olmaktadır. Oturma kolonu bir noktadaki oturmaların derinlikle değişiminin zamana bağlı gözlenebilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla, oturmaların gözleneceği derinliklere yerleştirilen manyetik halkalar kullanılmaktadır. Oturmanın gözleneceği derinlikte yatay yönde ankre edilen manyetik halkalar zemin ile birlikte oturabilmektedir. Bu oturmalara ait okumalar ise manyetik halkaların ortasından geçen, ucunda bir sensörü bulunan elektrikli şerit metre ile yapılmaktadır. Böylelikle, herbir manyetik halkanın yerleştirildiği derinlikte oturma okunabilmekte ve sonuçta oturmaların derinlikle değişimi elde edilmektedir.

Sözkonusu altgeçit yapısı konumunda bir istasyonda (ST2) toplam yedi (7) adet manyetik halka ile oturmalar gözlenmiştir. Bu halkaların derinlikleri de Şekil 1'de sunulmuştur.

## **4. GÖZLEM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER**

TAG Otoyolu Km 153+770 altgeçit yapısı temellerinde kum drenler ve önyükleme ile zemin ıslahında oturmaların kazıkların inşasından önce gerçekleşerek, kazıklar etrafında oluşması beklenen negatif çeper sürtünmesinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Otoyol inşaatının hızla devam etmesi ve sıkışık iş programı nedeni ile aletsel gözlemlere önyükleme dolgusu yüksekliği H=7.0 m iken başlanabilmektedir. Bu arada geçen süre zarfında H=7.0 m yüksekliğinde dolgu altında bir kısım oturmalar gerçekleşmiştir.

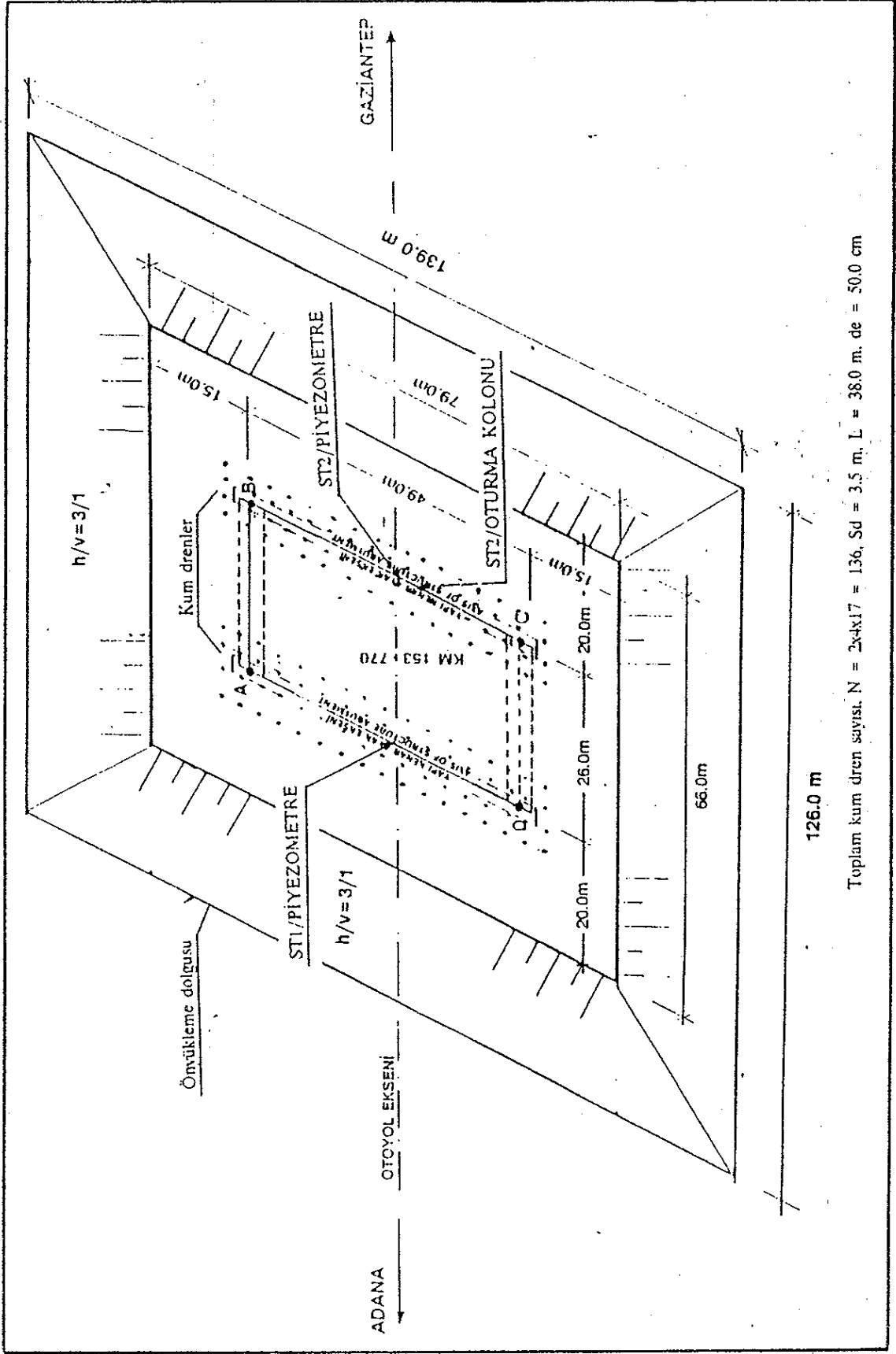
Aletsel gözlemler kuyuların teşkilinden itibaren başlatılmış ve boşluk suyu basıncı/oturma değerleri günlük olarak alınmıştır. Bu okumalara dayanılarak Şekil 3-İla 5'de ölçülen boşluk suyu basınçlarının ve oturmaların zamanla değişim grafikleri sunulmuştur. Aletsel gözlemlere başlandıktan sonra 15.04.1992 tarihinde önyükleme dolgusu inşaatına tekrar başlanmış ve yapılan dolgu ile otoyol kaplama alt kotuna (H= 10.0 m) ulaşılmıştır.

### 4.1. Piyezometre Okumaları

Konsolidasyon zamanlama denkleminin (diferansiyel) kesin çözümü neticesinde aşağıdaki şekilde bir bağıntı elde edilir.

$$\Delta u = A e^{-\alpha t}$$

ŞEKİL 2 - TAG OTYOLU KM 153+770 ALTGEÇİT - ZEMİN İSLAH PROJESİ



burada;

- $\Delta u$  : aşırı boşluk suyu basıncı,  
t : zaman,  
A, B : sabitlerdir(zemin içerisinde bir noktada)

Her iki tarafın logaritmasının alınması neticesinde boşluk suyu basıncının logaritmasının ( $\log(\Delta u)$ ) zamanın (t) lineer bir fonksiyonu olarak ifade edilmesi mümkündür. Böylece, boşluk suyu basıncının (aşırı veya toplam) logaritmik bir eşelde zamana karşı grafik haline getirilmesi durumunda her ikisi arasında doğrusal bir bağıntı gözlenebilmektedir. Bu tür bir grafiğin de doğrusal olarak ekstrapolasyonu mümkün olabilecektir.

Sonuçta, her iki istasyondaki piyezometreler için bu tür grafikler geliştirilmiştir. Bu grafikler Şekil 6 ve 7'de sunulmuştur. Bu grafiklerin doğrusal olarak ekstrapolasyonu ile gelecekteki konsolidasyon tahminleri yapılmıştır.

15.04.92 tarihindeki dolgu yapılmadan önce tüm piyezometreler sabit boşluk suyu basınçları göstermektedir. Bu durumda, ilk 7.0-7.5m'lik dolgu altında konsolidasyonun tamamlandığı sonucuna varılmıştır (bkz. Şekil 3 ve 4).

15.04.92 tarihindeki dolgu neticesinde ST2/1 piyezometresinde ~50 kPa, diğer piyezometrelerde ise yaklaşık 15-20 kPa basınç artışları gözlenmiştir.

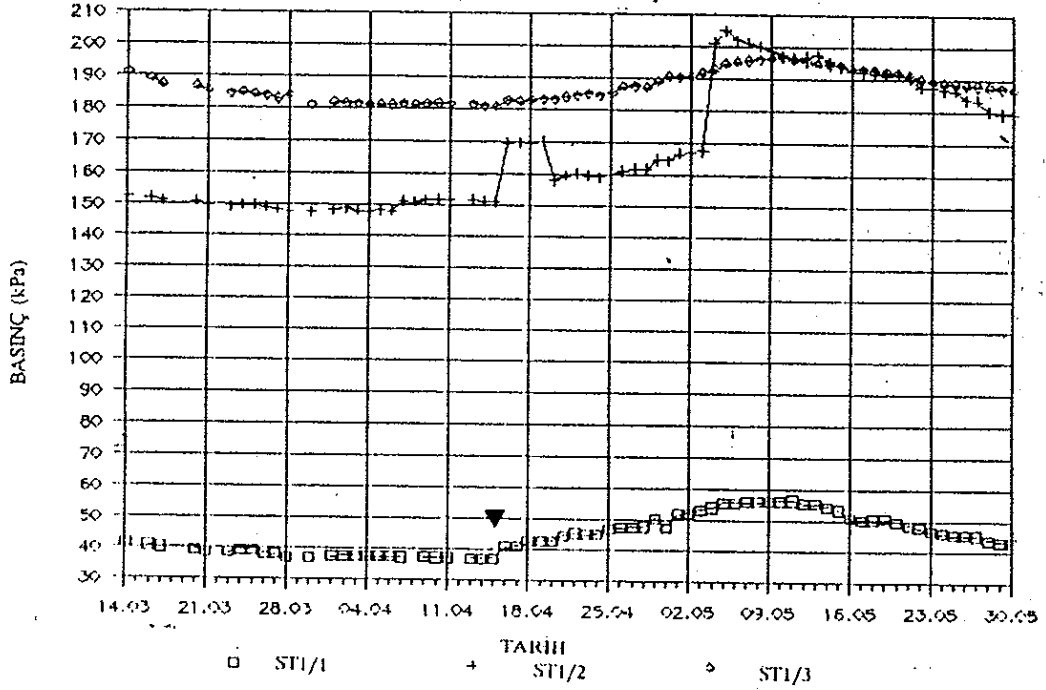
10.05.92 tarihinden sonra son dolgu altında oluşan aşırı boşluk suyu basıncı değerleri düşmeye başlamıştır. Boşluk suyu basıncının logaritmik eşelde zaman ile değişimi grafikleri Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Bu şekillerin incelenmesi neticesinde, son dolgu yüklemesi altında oluşan boşluk suyu basıncının dolgu öncesi (15.04.92) değerlerine inmesi (U = %99 konsolidasyon) için tahmin edilen tarih ST1/1'de 10.06.92, ST1/2'de 25.06.92, ST1/3'de 15.06.92, ST2/1, ST2/2, ST2/3'de ise 11.06.92 olarak belirlenmiştir.

#### 4.2. Oturma okumaları

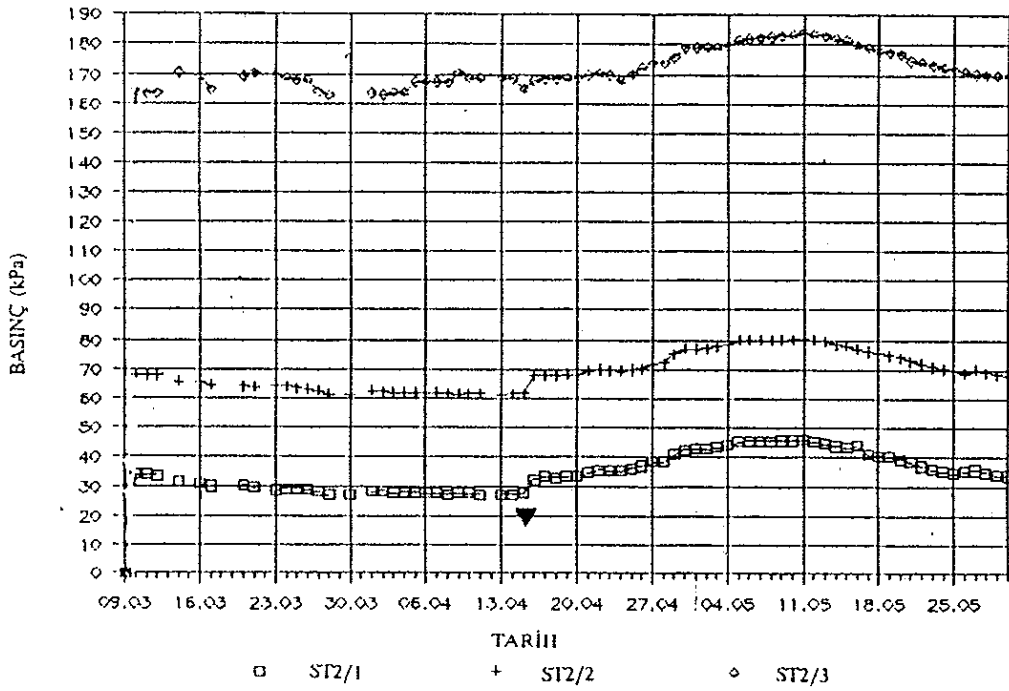
Yaklaşım dolgusunun 7.0 m yükseklikten 10.0 m yüksekliğe çıkarılmasına bağlı olarak gerçekleşen oturmaların derinlikle değişimi zamana bağlı olarak Şekil 5'te sunulmaktadır. Şekil 5'in incelenmesi sonucunda ise, en derinde bulunan manyetik halkada (MH7) toplam 1.5 cm, en üstteki manyetik halkada (MH1) toplam 25.0 cm oturma kayıt edildiği ve ara seviyelerdeki manyetik halkaların ise bu iki değer arasında ve derinleştikçe azalan toplam oturmalar kayıt ettiği anlaşılmaktadır.

Oturma gözlemleri, MR1 dışında, 30.04.92-30.05-92 arasındaki son bir aylık süre içerisinde 0.0-2.0 cm mertebesinde oturma kayıt edildiğini ve oturmaların genelde sabitleştiğini göstermektedir. Piyezometre okumalarından gözlenen boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi ve konsolidasyon, ayrıca okuma ölçümleri ile

ŞEKİL 3  
TAG OTOYOLU Km 153+770 (ST1)  
BOŞLUK SUYU BASINÇLARI

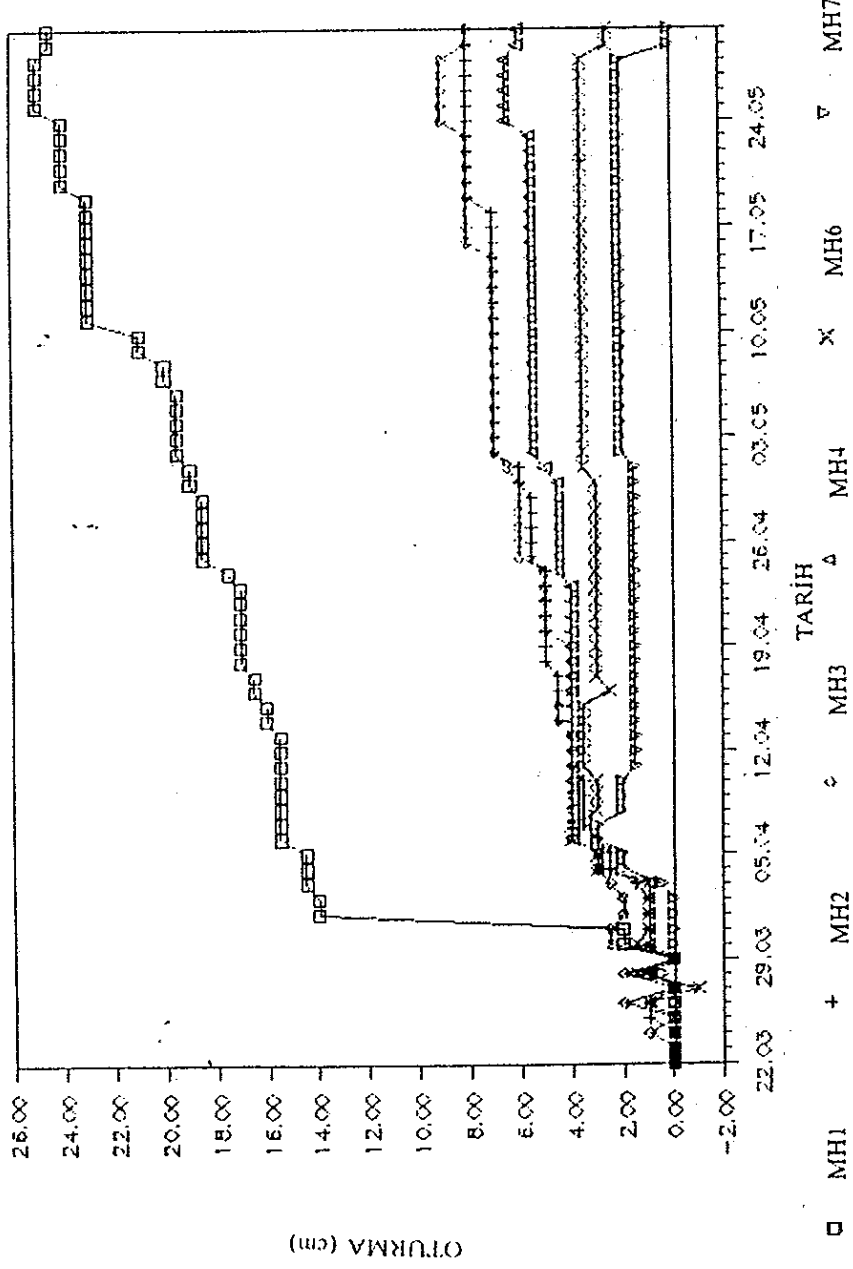


ŞEKİL 4  
TAG OTOYOLU Km 153+770 (ST2)  
BOŞLUK SUYU BASINÇLARI



ŞEKİL 5

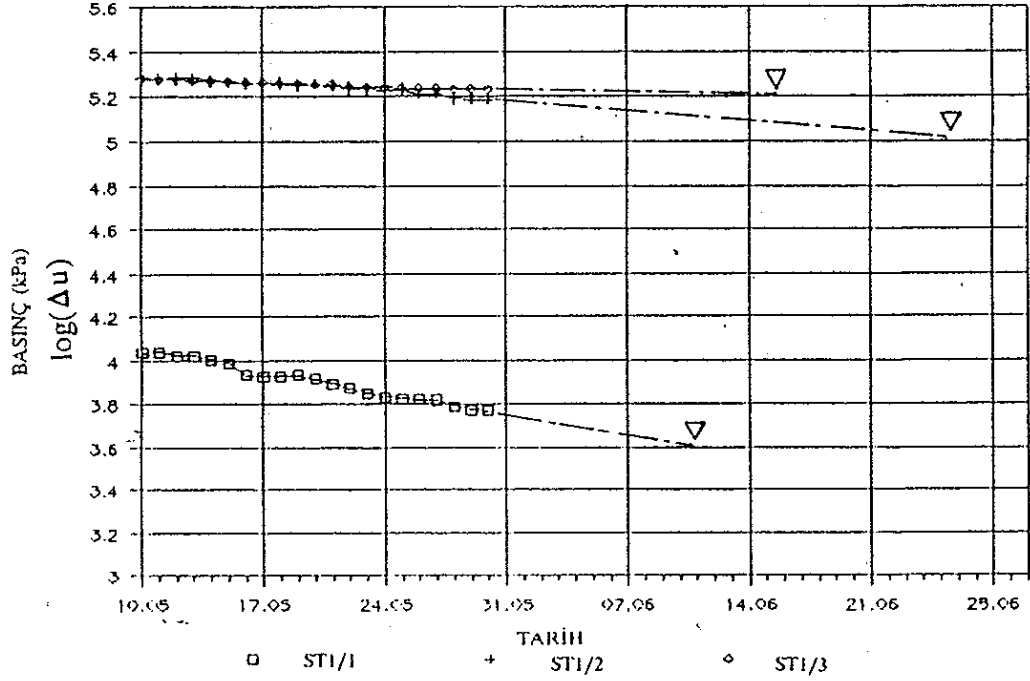
TAG OTOYOLU Km 153+770 (ST2)  
OTURMALAR



ŞEKİL 6

TAG OTOYOLU Km 153+770 (ST1)

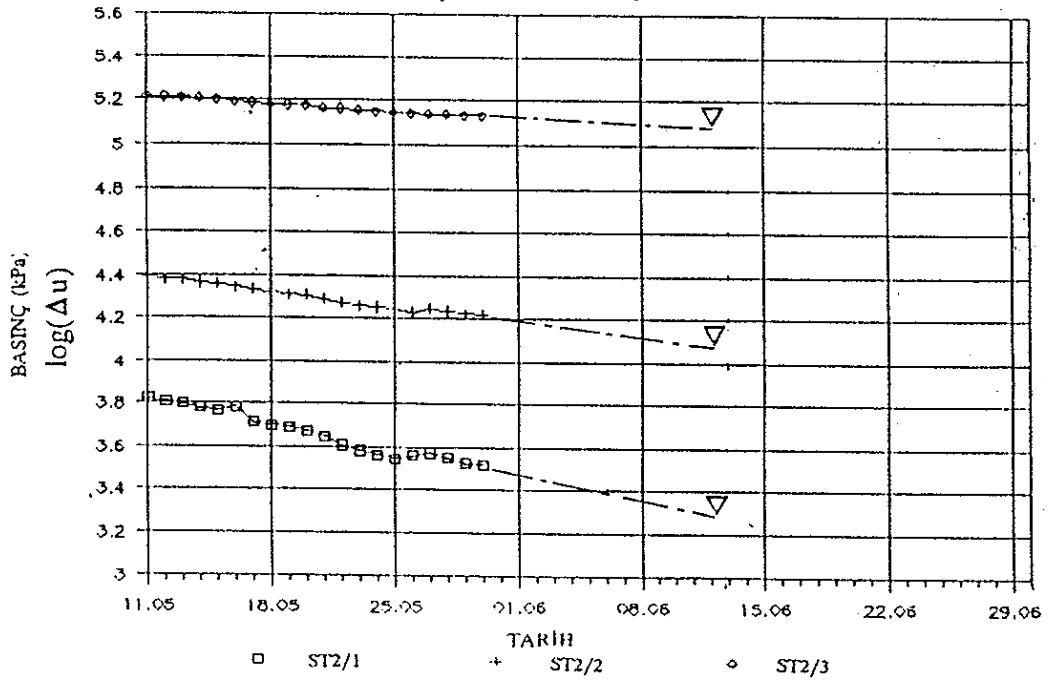
BOŞLUK SUYU BASINÇLARI



ŞEKİL 7

TAG OTOYOLU Km 153+770 (ST2)

BOŞLUK SUYU BASINÇLARI



doğrulanmaktadır. Böylelikle, boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesi ile oturmalar arasında bir korelasyon sağlanabilmiş ve daha sağlıklı değerlendirme yapılabilmektedir.

#### 4.3. Yapım Programlaması

Ölçümlerin alındığı ön yükleme dolgusu ile otoyolun Km 153+770 yapısının her iki tarafındaki yaklaşım dolguları, bir kenar ayak için her iki dolgu yükü altında oluşacak gerilmeler bakımından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda yaklaşık 10.0m derinlikte, ön yükleme dolgusunun nihai otoyol yaklaşım dolgusundan yaklaşık 60 kPa ( $\approx 3.0m$  dolgu) daha fazla gerilme artışına neden olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, yaklaşım dolgusu üzerine uygulanacak olan üstyapının yaklaşık 75 cm'lik kaplamasını 1.0 m yüksekliğinde dolguya eşdeğer alarak, mevcut ön yükleme dolgusunun son otoyol yaklaşım dolgusuna göre yaklaşık 2.0 m sürşarj yapılmış (10.0 m derinlik altında) etkiye haiz olduğu söylenebilir.

TAG Otoyolu Km 153+770 altgeçit yapısı konumunda, otoyol yaklaşım dolguları altında oluşacak gerilmelerin yol açacağı tüm konsolidasyon oturmalarının 10.04.92 tarihindeki ön yükleme dolgusu altında gerçekleşmiş olduğu, ön yükleme dolgusunun mevcut durumu altında  $U = \%99$  konsolidasyona ise takriben 15.06.92 tarihi itibarıyla ulaşılacağı belirlenmiştir.

Sonuçta, altesel gözlemler yardımı ile ön yükleme dolgusunun yaklaşık 2.0 m ek sürşarj dolgusu etkisi, ek bir güvenlik faktörü olarak kabul edilerek, sözkonusu altgeçit yapısı için 15.06.92 itibarıyla, ön yükleme dolgusunun kaldırılacağı, kazık ve üstyapı imalatına geçilebileceği sonucuna varılmıştır.

#### **5. SONUÇ**

TAG Otoyolu Km 153+770'de yer alan altgeçit köprüsü temelleri için uygulanan zemin ıslahı ile, yapı temellerinin yeterli güvenlikte ve otoyolun hizmete açılacağı tarihler dikkate alınarak verilen terminler içerisinde tamamlanması amaçlanmıştır. Temeller altındaki farklı kalınlıktaki ve sıkışabilir nitelikte zayıf kil tabakalarının varlığı nedeniyle yapı temelleri konumunda oluşması beklenen konsolidasyonun oturmalarının kum drenler ve önyüklemeye ile hızlandırılması projelendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında uygulanan zemin ıslah projesinin aletsel olarak gözlenerek, yapım programlaması ve güvenlik açısından değerlendirmesi sunulmuştur. Yapılan aletsel gözlemler amaçlanan konsolidasyon yüzdelerine ulaşıldığını doğrulamış, ve sonuçta, yapım programlaması açısından hız kazanılarak yapının yeterli güvenlikte inşa edilebilmesi sağlanmıştır.

## TEŞEKKÜR

*Sözkonusu kesime ait geoteknik uygulama projesi çalışmaları Tekfen Mühendislik proje grupları bünyesinde ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapı yerindeki kum drenler ve kazıklar TREVİ grubu tarafından inşa edilmiştir. Makaleye konu olan aletsel gözlemler bünyesindeki piyezometre ve oturma kolonları SIS Geotecnica, Milano firmasından temin edilmiş ve aletlerin yerleştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Tüm proje çalışmaları boyunca devamlı koordinasyon ve işbirliğini gerçekleştiren, özellikle böyle bir uygulamada önerilen arazi ölçümlerinin gerçekleştirilmesini temin eden TEKFEN-IMPRESIT J.V. merkez ve şantiye grubu teknik elemanlarına ve kontrollük teşkilatı TEMAT-DAR-DMM J.V.'in proje grubu teknik elemanlarına teşekkür ederiz.*

## REFERANSLAR

- (1) TAG Otoyolu, İskenderun Doğu Kavşağı Km 153+770 Yapısı, Sismik Refraksiyon ve Rezistivite Etüdü, Kasım 1990, ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş.*
- (2) TAG Otoyolu, İskenderun Doğu Kavşağı Km 153+770 Altgeçit Köprüsü, Kum Dren Uygulaması ile Temel Zemini İyileştirmesi Projesi ve Temel Hesabı, Şubat 1991, ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş.*
- (3) TAG Otoyolu, İskenderun Doğu Kavşağı Km 153+770 Altgeçit Köprüsü, Aletsel Gözlem Verileri ve İmalat Programı, Haziran 1992, ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş.*