

ALETSEL JEOTEKNİK GÖZLEMLER

Instrumental Geotechnical Observations

Haldun BİNGÖL* Taner TEOMAN* Haluk KUNTER*

ÖZET

Aletsel jeoteknik ölçüm uygulamaları Türkiye 'de çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür çalışmalar tünel, metro, otoyol gibi yapım projelerinde sıklıkla kullanılır ve çok faydalı sonuçlar verir. Aletsel jeoteknik ölçümler gerek uygulamada (inşaat sırasında) gerek projelendirme aşamasında büyük öneme sahiptirler. Bunun nedenlerinden biri projecinin öngördüğü limitlerin pratikte ne ölçüde gerçekleştiğini izlemek ve buna göre adım atmaktır. Bu ölçüm değerlerinden elde edilecek bilgiler, olabilecek çok çeşitli sorunların üstesinden gelmede projeciye ve müteahhite önlem alma konusunda ışık tutacaktır.

Bu bildiride öncelikle jeoteknik aletler kısaca açıklanacaktır. Daha sonra bu aletlerin hangi projelerde kullanılabileceği dile getirilecektir. Son olarak ülkemizde bir otoyol ve tünelde uygulanmış aletsel jeoteknik gözlemlerden çeşitli örneklere değinilecektir.

ABSTRACT

Geotechnical measurement applications have been used in Turkey in variety areas. These applications are often used in construction projects such as tunnel, metro and highways and give useful results. Geotechnical instrumentation has important role both in construction and design stages. One of the reasons for that is to follow designer's foreseen limits in practice and take appropriate steps. Information obtained by these measurements will highlight the designer and the contractor to take precautions by means of overcoming different problems.

In this paper geotechnical instruments shall explain briefly. Afterwards, projects in which these instruments can be used will discuss. We shall give measurement examples from a tunnel and a highway projects of our country.

GİRİŞ

Aletsel jeoteknik ölçümler ülkemizde özellikle son yıllarda önemi artan bir konu haline gelmiştir. Bu artışa metro, hafif raylı sistem, otoyol ve arıtma sistemleri gibi projelerin çokluğu ve bu tür projelerin kapsamlı jeoteknik ölçümlere ihtiyaç göstermesi sebep olmuştur. Yakın geçmişe kadar ülkemizdeki bu tür uygulamalar yabancı firmalar tarafından yapılırdı. Ancak, son yıllarda bu çalışmalar yerli firma ve gruplar tarafından da gerçekleştirilmeye başlanmış ve bu konuda bilgi birikimine neden olmuştur.

ALETSEL JEOTEKNİK ÖLÇÜMLER

Jeoteknik ölçümler in-situ (yerinde) ve arazi performans gözlemleri diye iki genel kategoriye ayrılır. İlki kaya ve zemin karakteristiklerinin sağlamlık, sıkışabilirlik, geçirgenlik gibi niteliklerinin belirlendiği projenin tasarım (dizayn) aşamasında uygulanır. İkincisi, projenin yapım başka bir deyişle uygulama aşamasında ortaya çıkar ve deformasyon, gerilme, basınç ve yük

gibi büyüklüklerin ölçülmesini kapsar. Biz burada ikinci kategoriyle ilgileneceğiz.

Aletsel jeoteknik gözlemlerle yüzey hareketleri, yeraltı deformasyonları, boşluk basınçları, yük, gerilme, basınç ve yapı elemanlarındaki gerilmeler gibi mühendislik parametreler ölçülür. Bu ölçümler yapım ve kazı çalışmalarında bina, dolgu, tünel, istinat yapıları, galeri ve barajların tasarım aşamasındaki varsayımların gerçekleşip gerçekleşmediğini ve öngörülen önlemlerin ötesinde ek önlemler alınıp alınmayacağını belirlemek amacıyla yük, gerilme, basınç, yeraltısu basıncı ve deformasyonların gözlenmesi şeklinde gerçekleştirilir.

Jeoteknik ölçüm aletlerinin çok büyük bir bölümü temelde bir transdüser, bir veri toplama sistemi ile bu ikisinin arasındaki iletişimi sağlayan bir iletişim sisteminden oluşmuştur. Transdüser fiziksel değişimi bir çıkış sinyaline çevirir. Veri toplama sistemi basit bir okuyucudan karmaşık otomatik sistemlere kadar değişir. Aradaki iletişim sistemi sinyali veri toplama sistemine aktarma görevini görür. Veri toplama ve iletişim sistemleri yukarıda değindiğimiz gibi çok çeşitlilik

* Belirti Mühendislik Danışmanlık A.Ş.

gösterir. Bunlardan başlıcaları mekanik, hidrolik, pnömatik ve elektrikli olanlar şeklinde sıralanır. Bu başlıkların hepsi kendi içinde pek çok alt bölümlere ayrılır. Ancak, biz burada bunların ayrıntısına girmeyeceğiz.

Aletsel gözlemlerle ölçülen parametrelerin ana başlıkları aşağıda verilmiştir.

- Yeraltı Basıncı,
- Zeminlerdeki Toplam Gerilme,
- Kaya İçindeki Gerilmeler,
- Yapı Eşmanlarındaki Yük ve Şekil Değişirme,
- Deformasyon,
- Isı.

Projede kullanılacak aletsel donanım büyük bir titizlikle seçilmeli ve mühendislik probleme çözüm olacak parametreleri ölçecek şekilde planlanmalıdır. Bilindiği üzere her projenin kaynağı sınırlıdır. Dolayısıyla, aletsel donanımın bizi bir adım öteye götüreceği şekilde seçilmesi ve sorunlara çözüm getirecek veriyi içermesi esas amaçtır. Zaten aletsel jeoteknik gözlemlerin gayesi daha öncede belirttiğimiz gibi, gerçekleştirilen ölçümlerle projenin ilerlemesi hakkında yönlendirici, uyarıcı nitelikteki bilgileri taşımasıdır.

Bir projede kullanılacak aletlerin seçiminde aşağıdaki unsurlar gözönüne alınmalıdır:

- a) Projenin ne uygulaması olduğu (tünel, otoyol, ...),
- b) Proje boyunca karşılaşılabilecek jeolojik birimler (kil, kireçtaşı, ...),
- c) Alanın yapısal jeolojisi (fay, çatlak, süreksizlik ...),
- d) Öngörülen sorunların neler olduğu ve neler olabileceği,
- e) Gözlem yapılacak alandaki kritik yapılar (bina, viyadük, trafo, ...),
- f) Yapılacak gözlemlerde hangi parametrelerin ölçülmesi gerektiği,
- g) Parametrelerin hangi duyarlılıkta gerekeceği ve ne sıklıkta ölçüleceği.

ALETSEL DONANIM SEÇİMİ

Jeoteknik aletsel donanım seçimi ve ölçümler ilk bakışta kolay ve basit gibi görünebilir. Ancak işin içine girdikçe istenilen ve planlanan mühendislik sonuçları elde etmenin o kadar kolay olmadığı anlaşılır. Amaç, sadece bu aletlerin seçimi değil aynı zamanda bunlardan elde edilen sonuçların incelenip projede eşzamanlı olarak gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Uyarı niteliğindeki gözlem sonuçlarına göre ek tedbirler mi almalı, yoksa bazı tedbirler hafifletilmeli mi gibi sebep-

sonuç ilişkilerinin irdelenmesi projenin sağlıklı ve ekonomik olarak sürmesi açısından büyük önem taşır. Zaten sözkonusu ölçümlerin yapılmasının esas sebebi de budur.

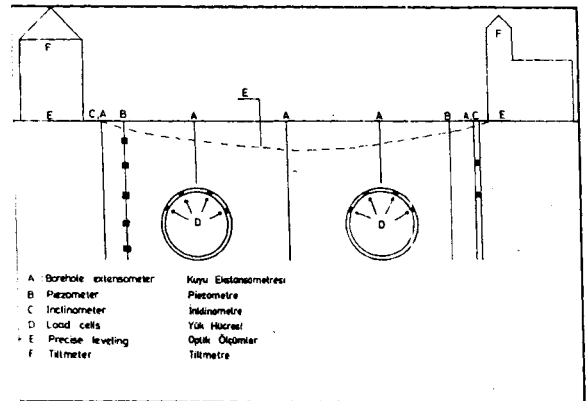
Ters istenmeyen etkileri uyaracak şekilde planlanmış bir gözlem programı kapsamlı aletsel donanıma ve bunların vereceği detaylı verilere ihtiyaç duyar. Bu amaç doğrultusunda kullanılan aletsel donanım inklinometre (eğim ölçer, inclinometer), ekstansometre (uzama ölçer, extensometer), kuyu ekstansometreleri (borehole extensometer), çatlak ölçerler (crackmeter), basınç hücreleri (pressure cell), yük hücreleri (load cell), şekil değiştirme ölçerler (strain meter) ve piezometreler (yeraltı basınç ölçeri, piezometer) gibi ölçüm aletlerinden oluşur. Aşağıda çeşitli yapım çalışmalarında kullanılacak aletsel donanımlar tartışılmıştır.

Yeraltı Kazıları

Yeraltı kazıları zemin ve kaya tünelleri, metro istasyonlarını, maden işletmelerini ve galerileri kapsar.

Stabilite analizi yeraltı kazılarındaki jeoteknik tasarımın önde gelen prensiplerinden biridir. Stabilitayı etkileyen faktörler stratigrafi, yeraltısuyu seviyesi, kaya veya zeminin sağlamlığı, geometri, kazı metodu, destek tip ve yerleştirme sistemi şeklinde sıralanır.

Ülkemizin büyük şehirlerinde son yıllarda hızlanan metro ve hafif raylı sistem inşaatlarında yeraltı kazılarına sıklıkla başvurulmuştur. Özellikle tünel kazıları ve istasyon yerleri ve bu çalışmalarda Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin (NATM) kullanılması aletsel jeoteknik gözlemlerin etkin kullanımını arttırmıştır.

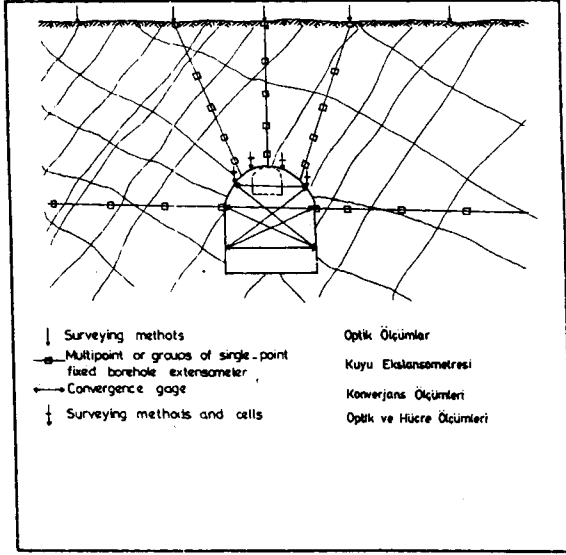


Şekil 1: Zemin tünellerinde aletsel donanım.

Figure 1: Tunnel instrumentation in soil.

Bu sorundan yola çıkarak zemin ve kaya tünelleri için ayrı ayrı hazırladığımız olası jeoteknik aletsel donanım aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Ancak, burada gözden kaçırılmaması gereken husus her projenin eldeki mevcut bilgilerine göre bu aletsel donanım üstünde gerekli revizyon ve düzenlemelerin yapılmasıdır. Şekil 1 'de

zeminlerdeki kazılarda kullanılacak donanım gösterilmiştir. Kaya kazılarında kullanılacak aletsel donanım Şekil 2 'de verilmiştir.



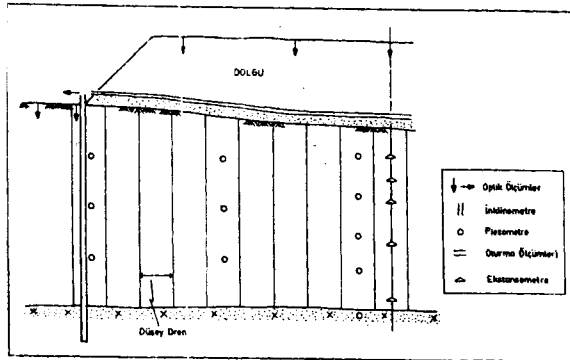
Şekil 2: Kaya tünellerinde aletsel donanım.

Figure 2: Tunnel instrumentation in rock.

Zemin Dolguları

Pek çok durumda temel zeminine ait parametrelerin seçiminde tutucu (konservatif) davranılır. Bu nedenle de yeterli güvenlik faktörü kullanıldığı düşüncesiyle aletsel gözlemler yapılmaz. Ancak, bu tür dolguların uygulamasında bütün bunlara rağmen hatalara beklenenden daha sık rastlanılır.

Bu yüzden aletsel gözlemler yumuşak zemin üstü dolguların tasarım ve yapım aşamalarında önemli bir rol oynar. Bu rollerden belkide en önemlisi dolgunun konsolidasyonu konusudur. Şekil 3 'te zemin üstü dolgularında kullanılacak olası aletsel donanım gösterilmiştir.



Şekil 3: Zemin Üstü Dolgularında Aletsel Donanım

Figure 3: Instrumentation in Soil Embankment

Baraj Dolguları

Aletsel gözlemlerin esas amacı barajın tasarım öngörüşleri doğrultusunda davranıp davranmadığının gözlenmesidir. Bu ifade iki ana gruba ayrılır: birincisi özel temel tipler veya alışılmadık tasarım özellikleri gösteren problemlili alanların gözlenmesi, ikincisi özel problemlerin olmadığı sıradan alanların gözlenmesidir.

Şevler

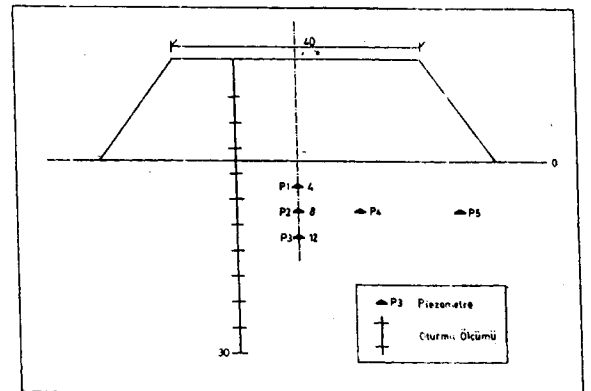
Şev stabilitesinin analizi şevlerin jeoteknik tasarımının başlıca prensiplerindedir. Deformasyon ve yeraltısu basınç ölçümleri şevlerde birincil öncelikli parametrelerdir. Diğer özel ölçümler kaya bulonlarındaki yükler ve ısı ölçümleri gibidir.

Kazıklar ve Kuyu Temeller

Bu tür yerlerde yapılan ölçümler genellikle statik eksenel ve yan yük deneyleri, özel yük deneyleri (yük, hız, deformasyon, şekil değiştirme) ile diğer özel uygulamalar yeraltısu basıncı, oturma gibi sıralanır.

Destekli Kazılar

Bu tür kazıların tasarımı çoğunlukla deneysel (ampirik) prosedürler ve geçmiş deneyimlere dayanır. Bu cins çalışmalarda aletsel gözlemlerden beklenen kazının stabil olup olmadığı ile yakındaki yapılara ters etkilerde bulunup bulunmadığının gözlenmesidir. Yapılacak gözlemler yüzey ve yapıdaki oturmalar, yatay deformasyonlar, çatlak ölçümleri, yeraltındaki oturma ve yatay deformasyon ölçümleri, yük, taban kabarmaları ve yeraltısu basıncı gibidir.



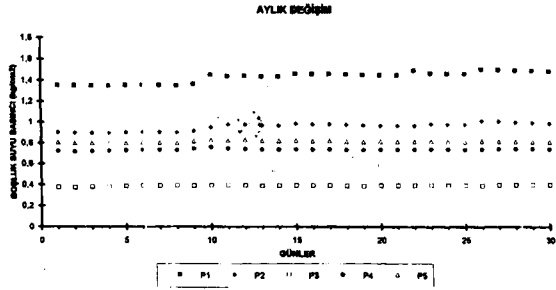
Şekil 4: Gözlem İstasyon Kesiti.

Figure 4: Observation Station.

DOLGUDA ALETSEL GÖZLEM UYGULAMALARI

Güneydoğudaki TAG otoyolu dolgusunda yapılan bu ölçümlerdeki sorun yumuşak zemin üstüne gelen otoyol dolgusunun konsolidasyonu ve yapılan kum drenajların

performansını gözlemek ve bu şekilde dolgu imalatını gereksiz zaman kayıplarına uğramadan tamamlamak idi. Bu nedenle 3 kilometrelik bu arakesime 6 adet gözlem istasyonu kurulmuştur. Her istasyon 5 tane piezometre ile bir tane oturma kuyusundan oluşmuştur. Bir örnek gözlem istasyonunun şeması Şekil 4 'te verilmiştir.



Şekil 5: Aylık boşluk suyu basınç gözlemi.

Figure 5: Monthly pore water pressure monitoring

Boşluk suyu basıncı (pore water pressure) Vibrating Wire (VW; titreşen tel) tekniği ile üretilmiş piezometreler ve okuyucu birim (VW readout unit) kullanılarak ölçülmüştür. Hergün sürdürülen ölçümlerde elde edilen değerler aylık gelişmeleri gösterecek şekilde raporlanmıştır. Bunlara ait bir aylık boşluk suyu basınç gözlemi Şekil 5 'te sunulmuştur.

Yine aynı dolgunun imalatı sırasında gerçekleşen değişik seviyelerdeki oturmaları gözlemek için probu oturma sistemi (Sondex Settlement System) kullanılmıştır. Bu çalışmada değişik derinliklere yerleştirilen sensörlerin bir prob vasıtasıyla ölçülmesi sonucu gerçekleşen oturmalar günlük olarak gözlenmiştir. Bu gözlemlere ait bir örnek Şekil 6 'da verilmiştir.

TÜNELDE ALETSEL GÖZLEM UYGULAMALARI

Ülkemizden verebileceğimiz bir diğer uygulama İstanbul Hafif Raylı Sistemi çerçevesinde yapılan Mevhibe İnönü Tüneli'ndeki gözlemlerdir. Yaklaşık 1500 m uzunluğundaki tünelde çeşitli kesit ve noktalarda oturma, basınç ve konverjans ölçümleri yapılmıştır.

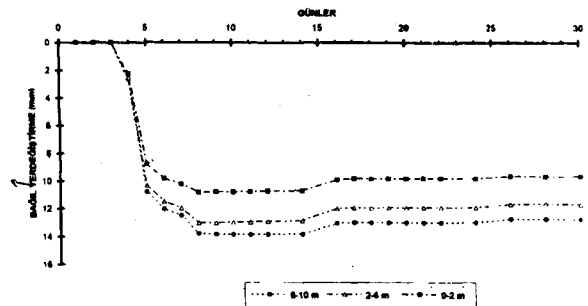
Bağıl yerdeğişirmelerin ölçüldüğü çok noktalı kuyu ekstansometre (MPBX) gözlemleri tünel üstünde Bakırköy Viyadüğü'nü geçtiği yerde tek bir kesitte 3 tane olmak üzere toplam 7 ölçüm noktasında gerçekleştirilmiştir. Tünel boyunca 3 ve 4 'lü çok noktalı kuyu ekstansometreleri (uzamaölçer) yerleştirilmiştir. Gözlem sıklığı tünel aynasının ölçüm kesitine uzaklığına ve deformasyonlara bağlı olarak artırılmış veya azaltılmıştır. Bu ölçümlerden biri Şekil 7 'de gösterilmiştir. Görüleceği üzere ilk 3 günde herhangi bir hareket gözlenmemiştir.

RÖPER DERİNLİKLERİ										
GÜN	Rfr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-5.5	-4.03	-0.25	4.655	9.88	14.98	20.01	22.97		
2	-5.5	-4.03	-0.25	4.655	9.88	14.96	20.01	22.97		
3	-5.5	-4.03	-0.25	4.65	9.87	14.96	20.01	22.97		
4	-5.5	-4.03	-0.25	4.645	9.87	14.96	20.01	22.97		
5	-5.5	-4.03	-0.255	4.645	9.87	14.96	20.01	22.95		
6	-5.5	-4.03	-0.26	4.645	9.87	14.96	20.01	22.95		
7	-5.5	-4.035	-0.26	4.645	9.87	14.96	20.01	22.95		
8	-5.5	-4.035	-0.26	4.645	9.87	14.96	20.01	22.95		
9	-5.5	-4.04	-0.26	4.64	9.87	14.96	20.005	22.95		
10	-5.5	-4.04	-0.26	4.64	9.87	14.96	20.005	22.95		
11	-5.5	-4.04	-0.26	4.64	9.87	14.96	20.005	22.95		
12	-5.5	-4.04	-0.26	4.64	9.87	14.96	20.005	22.95		
13	-5.5	-4.04	-0.26	4.64	9.87	14.96	20.005	22.95		
14	-5.5	-4.04	-0.27	4.645	9.865	14.96	20.005	22.94		
15	-5.5	-4.04	-0.27	4.645	9.86	14.955	20.005	22.94		
16	-5.5	-4.04	-0.27	4.64	9.86	14.955	20.005	22.935		
17	-5.5	-4.04	-0.27	4.63	9.855	14.94	20.005	22.935		
18	-5.5	-4.04	-0.27	4.63	9.855	14.94	20.005	22.935	24.73	
19	-5.5	-4.04	-0.27	4.63	9.855	14.94	20.005	22.935	24.73	
20	-5.5	-4.05	-0.27	4.63	9.855	14.94	20.00	22.93	24.72	
21	-5.5	-4.05	-0.275	4.63	9.855	14.94	20.00	22.93	24.72	
22	-5.5	-4.05	-0.275	4.63	9.855	14.94	20.00	22.93	24.72	26.21
23	-5.5	-4.05	-0.275	4.63	9.85	14.94	20.00	22.93	24.72	26.205
24	-5.5	-4.05	-0.275	4.62	9.85	14.94	20.00	22.93	24.71	26.15
25	-5.5	-4.05	-0.28	4.62	9.85	14.94	20.00	22.925	24.695	26.145
26	-5.5	-4.05	-0.28	4.615	9.845	14.935	19.995	22.92	24.685	26.135
27	-5.5	-4.055	-0.285	4.61	9.84	14.93	19.99	22.915	24.675	26.13
28	-5.5	-4.05	-0.28	4.61	9.835	14.93	19.985	22.91	24.67	26.125
29	-5.5	-4.05	-0.28	4.61	9.835	14.925	19.98	22.905	24.665	26.125
30	-5.5	-4.05	-0.28	4.61	9.83	14.925	19.975	22.90	24.66	26.12
TOPLAM (cm)		2.0	3.0	4.5	5.0	5.5	3.5	7.0	7.0	9.0

Şekil 6: Aylık oturma gözlemleri

Figure 6: Monthly settlement observations.

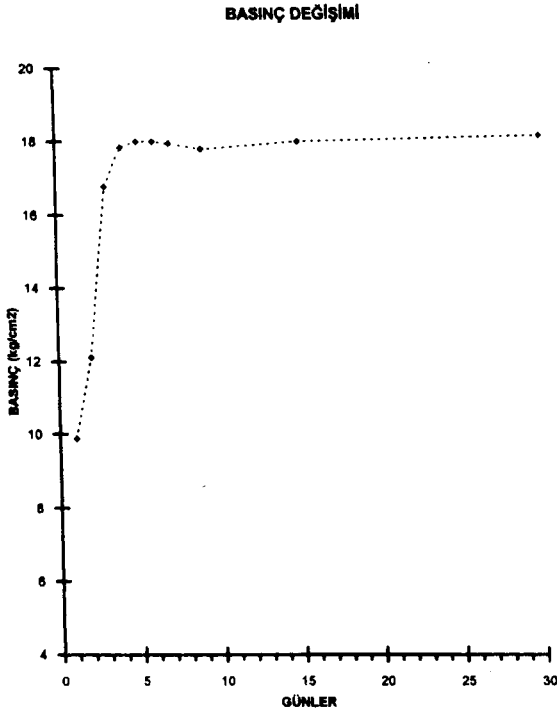
Buna karşılık tünel aynasının kesiti geçmeye başladığı 4. günde sensörlerde yerdeğiştirme hareketi başlar. Bunu izleyen gün en büyük sıçrama gözlenir ki bu tarihte tünel aynası tümüyle ölçüm kesitini geçmiştir. Daha sonraki bir kaç gün boyunca hareketin ivmesi azalarak devam eder. Hareket izleyen günlerde durağanlaşır ve kesilir.



Şekil 7: Kuyu ekstansometre gözlemleri

Figure 7: Borehole extensometer monitoring.

Yine tünelde 5 radyal ve 5 teğetsel olmak üzere toplam 10 tane basınç hücresi bir kesite yerleştirilerek kaplama betonunun performansı gözlenmiştir. Kullanılan donanım Vibrating Wire türü basınç hücreleri ile VW okuyucu birimdir. Bu kesitte yapılan ölçümlerden bir tanesi Şekil 8 'de verilmiştir. Şekilden izlenebileceği gibi basınç ilk 4 günde yükselmiş sonra artış ivmesi azalmıştır. Daha sonraki günlerde yapılan ölçümlerde artış bitmiş ve düzgün olarak seyretmiştir.



Şekil 8: Basınç hücresi gözlemleri.

Figure 8: Pressure cell observations

SONUÇLAR

Aletsel jeoteknik ölçümler büyük kapsamlı projelerin tümünde planlanır ve uygulanır. Ülkemizde de gelişen teknolojiyi yakından izleyen bu tür ölçümler daha sık kullanılmaya başlanmıştır.

Bu gözlemler projenin önemli temel taşlarından biridir. Ölçümlerin nasıl, nerede ve hangi sıklıkta gözleneceği konusuna özen göstermeli ve planlama ona göre yapılmalıdır. Çünkü bu ölçümler projenin izleyen aşamalarında atılacak adımlar için başka bir deyişle karar alma aşaması için önemli bilgiler taşıyacaktır.

Bu ölçümler projeci için belirleyici ve uyarıcı nitelikte bilgiler taşır. Yapım projelerinde etkin olarak kullanılan aletsel jeoteknik gözlemlerle projenin ilerleyişi ve tasarım parametrelerinin uygulamadaki sonuçları hakkındaki gerekli veriler toplanmış olur. Kurulan gözlem aletleri bir ters etki ortaya çıktığında bir uyarı görevini görür. Böylelikle kritik bir durum ortaya çıkmadan önlem alma şansı doğar. Bundan sonraki işlem projecinin mevcut koşullar altında karar vermesine kalmıştır.

KAYNAKLAR

- Belirtı A.Ş. 1992, Geotechnical Measurement Proposal For İncirli (Mevhibe İnönü) Tunnel, İstanbul*
- Belirtı A.Ş. 1992, İstanbul Metrosu Jeoteknik Ölçümler Hakkında İş Teklifi, İstanbul*
- Dunncliff, J. 1988, Geotechnical Instrumentation For Monitoring Field Performance, Wiley Publication, New York*
- Hunt, R.E. 1984, Geotechnical Engineering Investigation Manual, McGraw-Hill Book Company, New York*