

Şevlerde hareketlerin izlenmesi için İnclinometre aletinin kullanımı ve bir örnek uygulama

Engin Ertürk

H.Ü. Jeoloji Müh. Böl., Beytepe, Ankara

Bu çalışmada şev hareketlerinin izlenmesinde kullanılan ve hassas ölçüm olanağı sağlayan inclinometre aletinin tanıtımı yapılmış, diğer aletlerle karşılaştırılarak, kullanımı bir örnek uygulamayla sunulmuştur.

Örnek çalışma olarak Gerede - Ankara Otoyolunun inşaatı sırasında 43 + 729 km'sinde açılmış olan bir kuyuda iki değişik tarihte ölçüm yapılmış ve hareketler izlenmiştir. Bu ölçümler sonucunda kuyunun 16.5 metresinde, beklenen NE - SW yönünde 11.59 mm'lik hareket belirlenmiş ve killi, doğal bir yarmada gerçekleşen bu kayma hareketinin önlenmesi için alınacak tedbirler yapımçı firma tarafından değerlendirilmiştir.

Giriş

Mühendislik yapılarının inşaatı sırasında ve sonrasında ortamda oluşabilecek deformasyonların ve hareketlerin gözle veya aletlerle izlenmesi tasarımın önemli bir bölümünü oluşturur. Kaya ve zemin kütlelerinin veya bu kütleler üzerinde ya da içinde inşaa edilen mühendislik yapılarının izlenmesi amacıyla geliştirilmiş aletler genellikle; şev hareketlerinin izlenmesinde kullanılan aletler, yeraltı suyu basınçlarının ve yeraltı suyu seviyesindeki değişimlerin ölçülmesinde kullanılan aletler, kaya ve toprak basınçlarının ölçülmesinde kullanılan aletler ve zemindeki titreşimlerin izlenmesinde kullanılan aletler olmak üzere dört ana grupta toplanmaktadır (Franklin, 1977). Şevlerde, kayma yüzeyinin derinliğinin, konumunun ve şeklinin belirlenmesi, kayan kütle içinde yatay ve düşey yönde gelişen hareketlerin saptanması ve duraysızlığın sınırların tespit edilebilmesi için yüzeyde (geleneksel topoğrafik ölçümler,

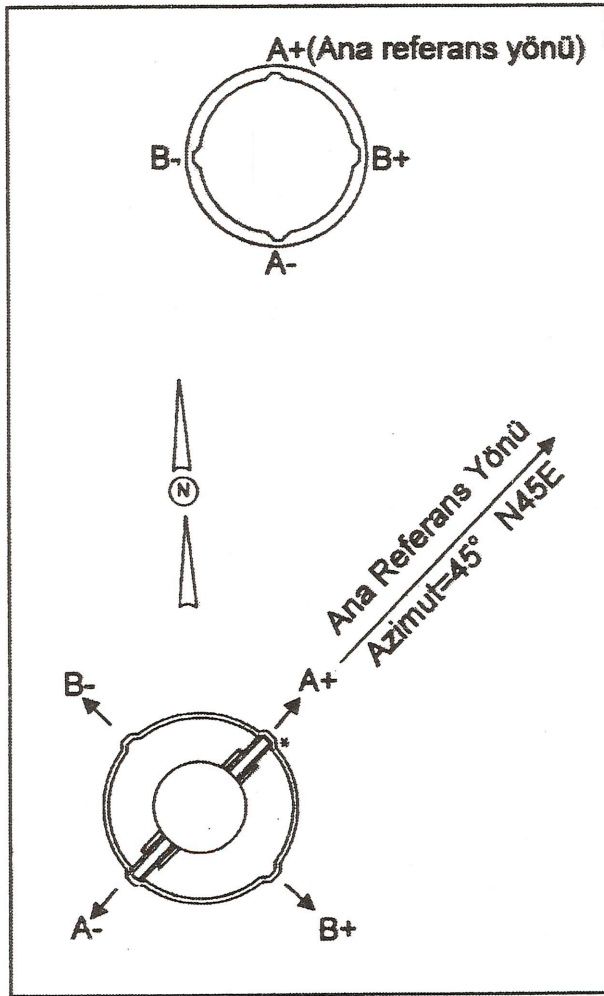
elektronik mesafe ölçerler, fotogrametrik yöntemler, yüzeye yerleştirilen ekstansometreler) ve yeraltıda (sondaj kuyularına yerleştirilen ekstansometreler ve eğim ölçen inclinometreler) kullanılan cihazlar geliştirilmiştir (Ulusay, 1995). Bu çalışmada, heyelanlar, geçici kazılar, toprak ve kaya veya dolgu barajlar, maden galerileri, şevler ve tünellerdeki yatay ve düşey hareketlerin izlenmesi, hareket yüzeyinin saptanması amacıyla Wilson tarafından 1952 yılında geliştirilmiş olan (Wilson ve Mikkelsen, 1977) ve yüzeyde kullanılan diğer yöntemlere göre daha yüksek hassasiyetle ölçümler alabilen inclinometre cihazının kullanımının açıklanması ve bir örnek uygulamanın yorumu amaçlanmıştır.

Yüzeyden itibaren belirli derinliklerde oluşabilecek yatay ve düşey hareketlerin izlenmesinde güvenilir bir yöntem olarak kabul edilen inclinometre ölçümleri, yatay ve düşey olarak açılmış sondaj kuyularına yerleştirilecek 3 m boyunda, sıcaklığa karşı dayanıklı ve yüksek sıkışma dayanımına sahip plastik veya alüminyum boruların ilksel konumlarından olan sapmaların inclinometre cihazı aracılığıyla belirlenmesi esasına dayanır.

İnclinometre aleti

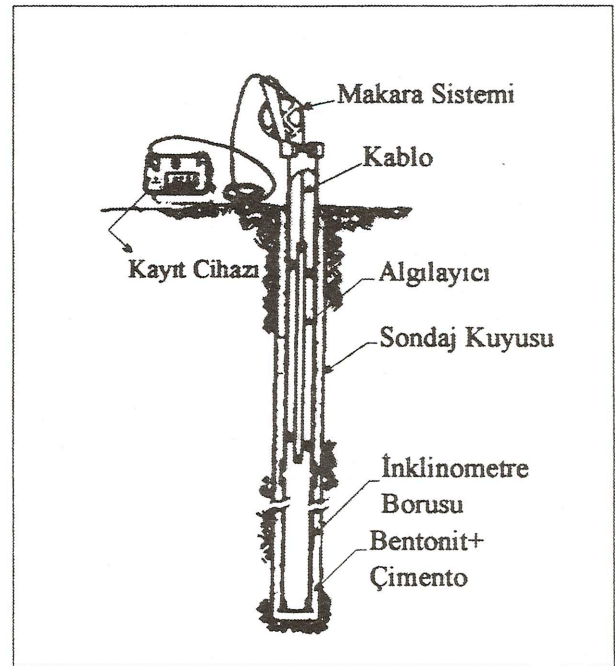
İnclinometrenin genel özellikleri

Yerleştirildikleri sondaj deliğinin eksenine dik yönde oluşan hareketlerin ölçülmesinde kullanılan inclinometreler yardımıyla düşey doğrultudaki deliğin iki tarafında 10 - 20°'lik sapmalar ölçülebilmekte, hareketin yeri, büyüklüğü ve yönü saptanabilmektedir. Uygulaması, sondaj kuyularına yerleştirilen ekstansometrelerden daha basit olan bu yöntem ile hareketlerin üçüncü boyutta da izlenmesi mümkündür. Bir tek inclinometre cihazı kullanılarak çok sayıda sondaj deliğinden ölçüm alınabilmekte ve ölçüm hassasiyetinin diğer yöntemlerden daha yüksek olması sebebiyle kaya kütlelerinde ve zeminde gelişebilecek çok yavaş hareketler de kaydedilebilmektedir. Ölçüm sırasında oluşabilecek önemli bir yerdeğiştirme sonucu aletin kuyu içinde kalabileceği bir risk ola-

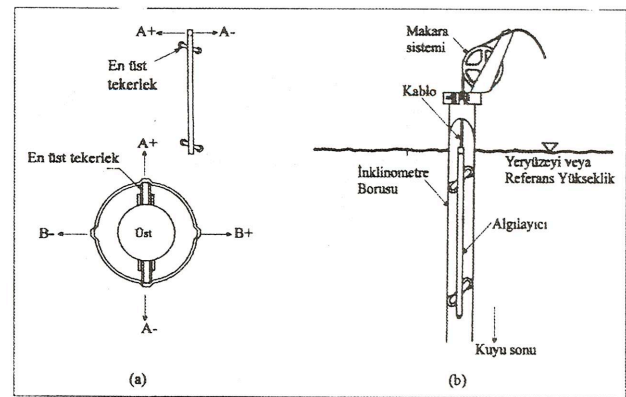


Şekil 3. İnklinometre borusunun detayları (Graham, 1989).

yıcının en üst tekerleği ana referans yönüne (A+ oluşuna) getirilmeli ve kayıt cihazı ile bağlantısı sağlanarak kuyu tabanına kadar yavaş ve dikkatli bir şekilde indirilmelidir (Şekil 5a ve b). Ölçümlerin hatasız alınabilmesi için algılayıcının kuyu tabanına temas etmesi gerekir. Kuyu tabanına indirilen algılayıcı, daha önceden karar verilen ve kayıt cihazına kaydedilen okuma aralığı kadar kablo ile yukarı çekilir ve kısaç yardımıyla sabitlenir. Okuma aralıkları, ölçümlerin daha hassas yapılabilmesi için genellikle algılayıcının uzunluğu kadar alınır (500 mm.). Kayıt cihazının ekranında görülen ölçüm değerleri alete kaydedilir. Bu işlem kuyu başına kadar 0.5 m aralıklarla devam ettirilir ve A+, B+ ölçümleri kaydedilir. İnklinometre borularının düzensizliğinden veya aletin sürüklenmesinden dolayı oluşabilecek hatalı ölçümlerin giderilmesi veya en aza indirilebilmesi ve her derinlik için alınan ölçümlerin doğruluğunun kontrol edilebilmesi için, algılayıcı yüzeye çıktığında 180° çevrilerek tekrar kuyu tabanına indirilir ve ilk grup ölçümlerin alınması sırasında yapılan işlemler tekrarlanarak A-, B- ölçümleri kayıt cihazına yüklenir. Algıla-



Şekil 4. İnklinometre borularının yerleştirilmesi ve inklinometre aletinin genel özellikleri (Gordon ve Mikkelsen, 1988).



Şekil 5. İnklinometre aletinin kullanılması (Graham, 1989).

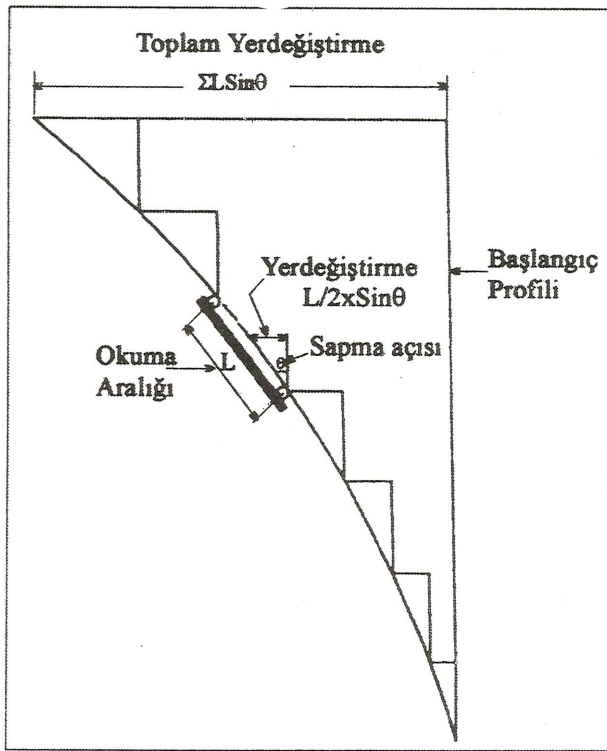
yıcının 180° çevrilmesine bağlı olarak aynı derinliklerden alınan A+, A- ve B+, B- değerleri birbirleriyle eşit büyüklükte fakat zıt işaretli olmalıdır. Ölçüm değerlerinin birbirlerinden farklılaşması, ölçüm hatasının arttığını gösterir.

İnklinometre ölçümlerinin ilki, sondaj kuyusunun eğri olarak açılmış olabileceği ve kayma hareketinin hızlı bir şekilde gelişebileceği olasılıkları göz önünde bulundurularak, kuyu açıldıktan ve içine inklinometre boruları yerleştirildikten hemen sonra yapılmalıdır. Kuyu herhangi bir harekete maruz kalmadan alınan bu ölçümden elde edilen veriler daha sonra yapılacak ölçümlerde referans olarak kullanılacaktır. Ölçüm aralığı, sondaj verilerinden yararlanılarak, beklenen kayma hareketinin hızına göre seçilmelidir. Hızlı bir hareketin

beklendiği sorunlu bölgelerde açılan kuyularda ölçüm aralıkları daha kısa seçilirken, daha yavaş bir kayma hareketinin beklendiği bölgelerde açılan kuyularda ise ölçüm aralıkları daha uzun seçilebilir.

İnclinometre ölçümlerine ait hesaplamalar

Muhtemel kayma yönü olarak kabul edilen A+ yönünde meydana gelebilecek yanal hareketlerin yeri ve büyüklüğü, farklı derinliklerdeki farklı sapma açılarının algılayıcı yardımıyla hesaplanması sonucu saptanabilmektedir (ASTM D4622 - 86). Kuyu tabanından itibaren her 0.5 m'de bir yukarı çekilen algılayıcı yardımıyla alınan ölçüm değerleri, gerçekte algılayıcının bulunduğu derinliklerde, algılayıcının uzun ekseninin, dolayısıyla inclinometre borusunun düşeyle yaptığı sapma miktarlarını gösterir (Şekil 6).



Şekil 6. İnclinometre prensibi ve hesaplamalar (Wilson ve Mikkelsen, 1977).

İki adet eksene sahip olan düşey inclinometre prob-ları ile ilk ölçümler sonucu A+ ve B+, 180° çevrilmesiyle yapılan ikinci aşama ölçümlerde ise A- ve B- değerleri elde edilir. Kuyunun tabanından yüzeye doğru her 0.5 m'de bir kaydedilen A+, A-, B+, B- değerleri;

$$RDG \text{ (mm)} = \pm (L/2) \times \sin \theta \quad (1)$$

ilişkisiyle saptanmaktadır.

Burada;

RDG = Sapma miktarı

± = Hareketin yönü

L/2 = Algılayıcı (Prob) uzunluğunun yarısı (metrik algılayıcılarda 250 mm'dir)

θ = Algılayıcının uzun ekseninin düşeyle yapmış olduğu sapma açısıdır. (bkz. Şekil 3 ve 6).

Ölçüm değeri (sapma miktarı), sapma açısının sinüsü ile doğru orantılıdır. Diğer deyişle hareket, beklenen A+ yönünde giderek artıyorsa, θ açısı artacak bu da ölçüm değerinin artmasına neden olacaktır. 1 numaralı eşitlikle hesaplanan sapma miktarları, sapma açılarının küçük olmasına bağlı olarak çok küçük değerler olarak bulunacaktır. Kayıt işlemlerinin daha basite indirgenmesi ve birçok gereksiz sıfır rakamıyla işlem yapılmasını ortadan kaldırmak için 1 numaralı eşitlikten bulunan sapma miktarları 100 ile çarpılır.

$$RDG \text{ (10}^{-2} \text{ mm)} = (250 \times \sin \theta) \times 100 \quad (2)$$

Algılayıcının en üst tekerleği A+ oluşunda iken kuyunun her 0.5 metresindeki sapma miktarları 2 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır. Bu sapma miktarları algılayıcının orta noktasının bulunduğu derinliğe aittir. Algılayıcının alt tekerleğinin bulunduğu derinliklerdeki sapma miktarları ise, birinci grup ve algılayıcının 180° çevrilmesiyle yapılan ikinci grup ölçümler sonucu kuyunun aynı derinliklerde hesaplanan, eşit büyüklükte fakat zıt işaretli sapma miktarlarının farkı alınarak bulunur.

Yukarıda anlatılan hesaplamaları basitleştirebilmek ve hesapları grafikler halinde gösterebilmek için Graham (1989) ve Sinco (1990) tarafından bilgisayar programları da hazırlanmıştır.

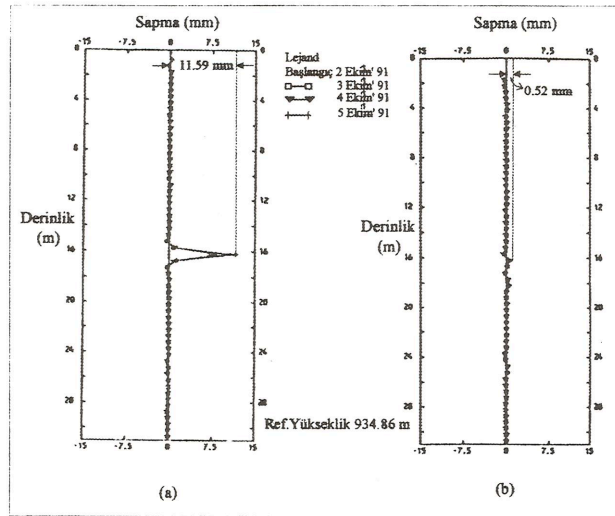
Grafiklerin çizdirilmesi

Arazide kayıt cihazına depolanmış ölçüm değerleri mevcut hazır programlar aracılığıyla bilgisayara yüklenir. Önce kuyunun her 0.5 metresinde bulunan sapma miktarları bir tablo şeklinde hesaplatılır. Bu işlemler belirlenen aralıklarda aynı kuyudan alınan ölçümler için de tekrarlanır. Bilgisayarın bu hesaplamalar sırasında yaptığı işlem, ilk ve ikinci ölçüm sonucu kuyunun aynı derinliklerinde hesaplanan sapma miktarlarını karşılaştırıp, bu ölçüm aralıkları süresince ortaya çıkabilecek hareketleri grafiksel olarak göstermektedir. Kuyudaki mevcut hareketleri üç değişik tipteki grafikte görmek mümkündür.

Artan yerdeğiştirme grafiği:

Bu grafik, her 0.5 m derinlikte meydana gelebilecek gerçek değişimleri gösterir. Yüzeyden itibaren kuyu kadar her 0.5 m derinlikteki değişim miktarlarının derinliğe bağlı olarak işaretlenmesi sonucu çizilen bir grafik-

tır. Bu grafik sayesinde kuyunun her metresindeki değişim miktarları gözlemlenirken, maksimum hareketin gerçekleştiği derinlikler de kolaylıkla belirlenir (Şekil 7).



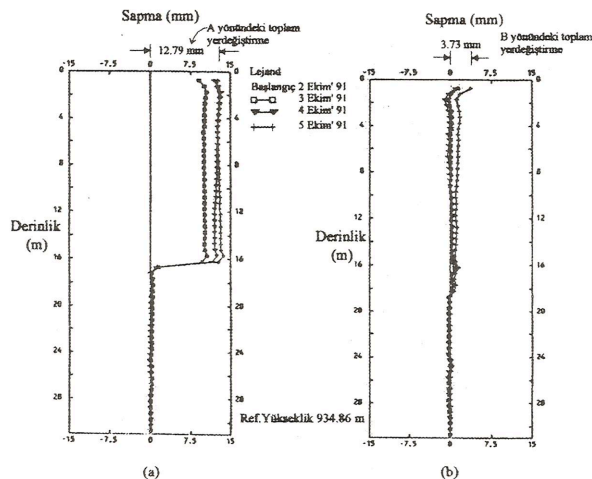
Şekil 7. Artan yerdeğiştirme grafiği, a) A yönünde, b) B yönünde.

Eklenerek artan değişim grafiği:

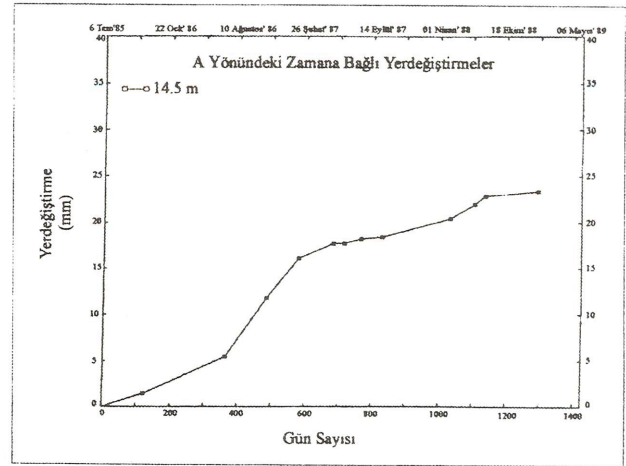
İlk grup ölçümlerden bu yana, kuyuda meydana gelebilecek değişimin toplam miktarı ve en büyük değişimin gerçekleştiği derinliğin tespit edilmesinde kullanılan grafik türüdür. Kuyu tabanından başlamak üzere yüzeye doğru her 0.5 m derinlikteki değişim miktarlarının toplanması ve derinliğe bağlı olarak işaretlenmesi ile çizilir (Şekil 8).

"Yerdeğiştirme - zaman" grafiği:

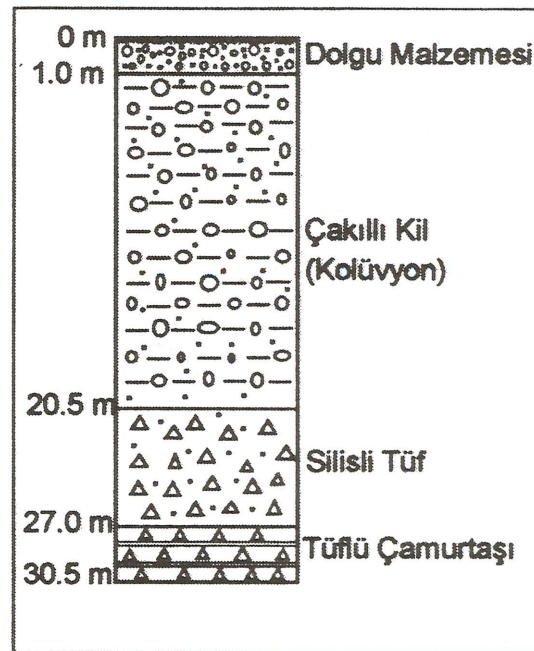
Bu grafik türü ise seçilmiş herhangi bir derinlikte zamana bağlı olarak artan hareket değişim miktarları-



Şekil 8. Eklenerek artan değişim grafiği, a) A yönünde, b) B yönünde.



Şekil 9. Yerdeğiştirme - zaman grafiği (Graham, 1989).



Şekil 10. 43 + 729 km. kuyu litolojisi.

nın izlenmesine yardımcı olur. "Yerdeğiştirme - zaman" grafiğinde, en büyük hareketin beklendiği derinlikteki değişim miktarının zamana bağlı olarak artışı görmek mümkündür (Şekil 9).

Örnek uygulama

Gerede - Ankara Otoyolunun yapımı sırasında 43 + 729 km'de açılmış ve Şekil 10'da kesiti verilmiş olan kuyuda 2 ve 5 Ekim 1991 tarihlerinde iki adet ölçüm yapılmıştır. (Çizelge 1 ve 2)

Sonuç olarak, 2 - 5 Ekim tarihleri arasındaki sürede A+ yönündeki (beklenen hareket yönü) sapma miktarı

Çizelge 1. 2 Ekim 1991 tarihinde alınmış ölçüm değerleri.

Birinci Grup Ölçümleri (Algılayıcının en üst tekerleği A+ oluşunda)		İkinci Grup Ölçümleri (Algılayıcının en üst tekerleği A- oluşunda)		Fark A	Fark B
A+	B+	A-	B-	(A+) - (A-)	(B+) - (B-)
+1789	-596	-1799	+622	+3588	-1218

35.88 mm'den 47.47 mm'ye çıkarken, B yönündeki sapma miktarı başlangıçta B- yönünde ve 12.18 mm iken ikinci ölçümde 11.66 mm'ye inmiştir. Buna göre;

A yönündeki değişim,

Yerdeğiştirme_A = (+47.47) - (+35.88) = +11.59 mm (bkz. Şekil 8 ve 9)

B yönündeki değişim ise,

Yerdeğiştirme_B = (-11.66) - (+12.18) = +0.52 mm olarak hesaplanmıştır (bkz. Şekil 8 ve 9).

"Yerdeğiştirme" büyüklüğünün işareti, kaymanın hangi yönde gerçekleştiğini gösterir. Yerdeğiştirmenin işareti "+" ise bu hareketin beklenen yönde, "-" ise beklenen yönün tersinde geliştiğini gösterir.

Yukarıda verilen örnek uygulamada inklinometre borusunun 16.5 metresinde A+ yönünde 11.59 mm, B+ yönünde ise 0.52 mm lik bir yerdeğiştirmenin olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, killi, doğal bir yarmada gerçekleşen bu kayma hareketi oldukça hızlı bir hareket olarak nitelendirilmiş ve sonuçlar, alınabilecek tedbirlerin değerlendirilmesi için yapımcı firmaya gönderilmiştir.

Sonuçlar ve tartışma

İnklinometre aletinin kullanımının sunulduğu ve örnek bir uygulamaya ait sonuçların değerlendirildiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Önemli mühendislik yapılarında mm boyutunda dahi oluşacak hareketlerin izlenmesinde kullanılacak aletlerden biri de inklinometredir. Yerleştirildikleri sondaj deliğinin eksenine dik yönde oluşan hareketlerin izlenmesinde kullanılan inklinometreler yardımıyla, hareketin yeri, büyüklüğü ve yönü saptanabilmektedir.

b) Bir tek inklinometre cihazı kullanılarak çok sayıda sondaj deliğinden ve değişik derinliklerden ölçüm alınabilmekte ve ölçüm hassasiyetinin yüksek olması sebebiyle kaya kütlelerinde ve zeminde gelişebilecek çok yavaş hareketler de kaydedilebilmektedir.

Çizelge 2. 5 Ekim 1991 tarihinde alınmış ölçüm değerleri.

Birinci Grup Ölçümleri (Algılayıcının en üst tekerleği A+ oluşunda)		İkinci Grup Ölçümleri (Algılayıcının en üst tekerleği A- oluşunda)		Fark A	Fark B
A+	B+	A-	B-	(A+) - (A-)	(B+) - (B-)
+2380	-564	-2367	+602	+4747	-1166

c) Yüksek hassasiyette ölçümler alabilen inklinometre aleti oldukça pahalı olup, ölçüm sırasında oluşabilecek önemli bir yerdeğiştirme sonucu aletin kuyu içinde kalabileceği önemli bir risk olarak değerlendirilmelidir.

d) Yapılan örnek uygulamada kuyunun 16.5. metresinde beklenen yönde 11.59 mm'lik bir kayma hareketi belirlenmiş ve hareketin önlenmesi için alınabilecek tedbirler yapımcı firma tarafında değerlendirilmiştir.

KATKI BELİRTME

Arazi çalışmaları ve hesaplamalar sırasındaki yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisi Birol Kurucuoğlu'na ve görüşlerinden yararlandığım Doç. Dr. Reşat Ulusay ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Candan Gökçeoğlu'na teşekkür ederim.

DEĞİNİLEN BELGELER

- A.S.T.M., 1991, Standart Test Method for Rock Mass Using Inclimeters, D 4622 - 86 A.S.T.M. Subcommittee D 18.12 on Rock Mechanics.
- Franklin, J.A., 1977, The monitoring of structures in rock, Rock Mechanics Review, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 14, Great Britain, p. 163 - 192.
- Gordon, E.G. and Mikkelsen, P.E., 1988, Deformation measurements with inclinometers, Transportation Research Record 1169, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, 15 p.
- Gordon, E.G. and Mikkelsen, P.E., 1989, Measurements of ground movement with inclinometers, Proceeding of the 4th. International Geotechnical Seminar, Field Instrumentation and Insitu, Nanyang Technical Institute, Singapore, p. 235 - 246.
- Graham, P.J., 1989, GTILT Inclimeter data reduction computer program, Mitre Software Corporation, 9636 - 51 Ave 200 Alberta, Canada, 53 p.
- Hanna, T. H., 1985, Field instrumentation in geotechnical engineering, Trans. Tech. Publ., 843 p.
- Sinco, 1990, Data Mate Manager Software, Albion Place N. Seattle, U.S.A. 110 p.
- Ulusay, R., 1995, Şev stabilitesinde hareket izleme çalışmalarının önemi, yeri ve uygulamadan örnekler, M.T.A. Genel Müd. Konferans Notları, Ankara, 46 s.
- Wilson, S.D. and Mikkelsen, P.E., 1977, Foundation instrumentation: Inclimeters Report FHWA TS - 77 - 219, U.S. Department of Transportation, 96 p.