

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 inşası 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 1159 mm'lik hareket belirlenmiş ve killi, doğal bir yatmada gerçekleşen bu kayma hareketinin önlenmesi için alınacak tedbirler yapıma firma tarafından değerlendirilmiştir.

Giriş

Mühendislik yapılarının inşası sırasında ve sonrasında ortamda oluşabilecek deformasyonların ve hareketlerin, gözle veya aletlerle izlenmesi, taşınımın 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 durumsızlığın 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 hassasiyette ölçümleri yapabilen 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, sıcağa karşı dayanıklı ve yüksek sıkışma, dayanımına sahip plastik, veya alüminyum boruların ilksel konumlarından olan sapmaların inclinometre cihazı aracılığıyla belirlenmesi esasına dayanır.

inclinometre aleti

inclinometrenin 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 kuyularının, 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 yer değiştirme sonucu aletin kuyu içinde kalabileceği bir risk ola-

rak değerlendirilmeli ve ioinometre borularının iç yüzeylerinde bulunan olukların pürüzlü olmasına ve alüminyum borularda sıkça rastlanan korozyon olayına bağlı olarak hatalı sonuçların ortaya çıkabileceği düşünülmelidir (Hanna, 1985).

Şekil 1'de ayrıntılan verilmiş olan inklinometre aleti, algılayıcı (prob), kayıt cihazı ve banlar arasındaki bağlantıyı sağlayan kablodan oluşur. Gövdesi, paslanmaz çelikten, yapılmış olan algılayıcıların 2 değişik, tipi bulunmaktadır. Yanal yöndeki hareketlerin izlenmesinde kullanılan düşey inklinometre algılayıcıları (bkz., Şekil 1), bir tekerleklerin bulunduğu düzlemde diğeri ise bu eksene 90° dik durumda bulunan iki adet eksene sahiptir. Bu sayede boruda hem kuzey - güney hem de doğu - batı yönlerindeki sapmalar hesaplanabilir. Algılayıcıların çap ve boyları değişken olup, bu çalışmada 500 mm boyunda, ve 25.4 mm çapında düşey inklinometre algılayıcısı kullanılmıştır. Algılayıcıdan alınan voltaj değerleri, algılayıcının uzun ekseninin düşeyden olan sapması sonucu oluşan açıyla doğru orantılıdır (Şekil 2). Yatay inklinometre algılayıcıları ise düşey yönde meydana gelecek şişme ve oturma miktarlarının saptanmasında, kullanılmakta olup, çap ve boylan yine değişebilmektedir- (Gordon ve Mikkelsen, 1988'),

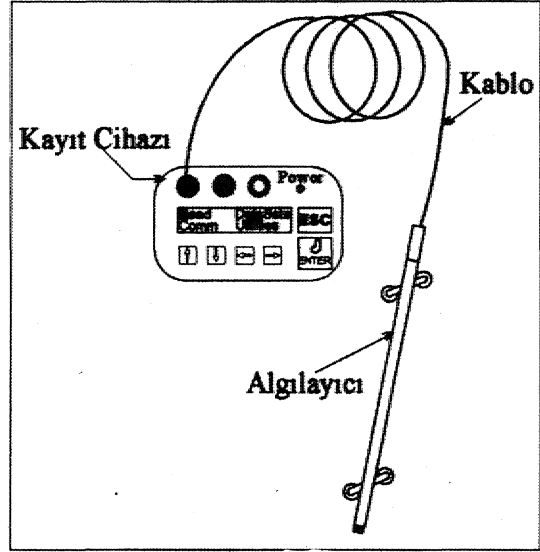
Kayıt cihazı, algılayıcı kullanılarak kuyunun değişik derinliklerinden alınan verilerin saklanması amacıyla kullanılır (bkz. Şekil 1). İnklinometre sisteminde, algılayıcı ile kayıt cihazı birbirlerine, çelik bir kılıf ile çevrilmiş, esnek ve suya karşı oldukça dayanıklı, metrik ve İngiliz sistemine göre bölümlenmiş kablo ile bağlanmaktadır (bkz. Şekil 1).

İnklinometre aletinin kullanımı

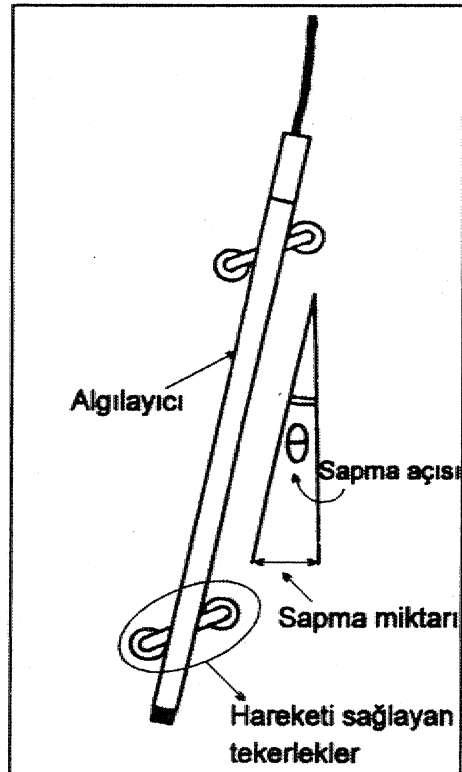
Yanal veya düşey yöndeki defarmasyonların ölçülebilmesi için ilk olarak, hareketin beklendiği yerlere minimum. İTO mm çapında, sondaj kuyularının açılması gerekir. Açılan kuyuların deformasyona uğramasını ve inklinometre borularının kendi eksenleri etrafında

hareket etmesini engellemek için, bentonit çamura, ile doldurulması gerekir.

Açılmış sondaj kuyularına, inklinometre borularının yerleştirilmesi sırasında, Şekil 3'de gösterildiği gibi boruların iç yüzeylerinde bulunan ve birbirleriyle 90° açı yapan oluk çiftlerinden birisi, A+, A- oluk çifti, diğeri ise B+, B- oluk çifti olarak kabul edilir. Algılayıcının daha kolay hareket etmesini ve yanal veya düşey yöndeki defarmasyonların daha yüksek, bir hassasiyet ve doğrulukta ölçülmesini, sağlayan oluklardan A+, A- oluk çifti, A+ oluşu muhtemel hareketin referans yönü olacak şekilde, beklenen hareket yönü ile aynı doğrultuya getirilir. Bu kurala uygun olarak yerleştirilen 3 m boyundaki, inklinometre boruları birbirlerine: özel bağ-



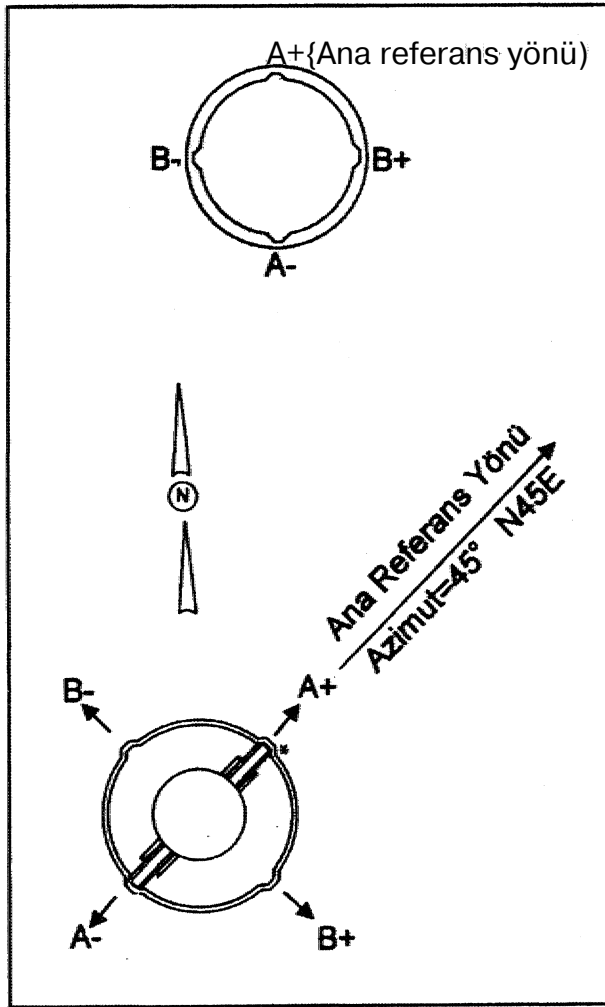
Şekil 1. İnklinometre aleti.



Şekil 2. Algılayıcının (prob) düşeyden sapması (Graham, 1939),

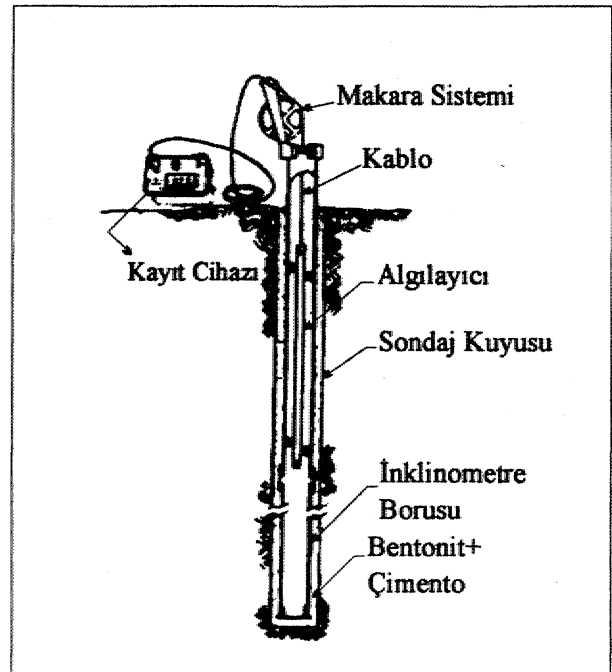
lantlarla eklenerek, kuyu içine kuyunun derinliği kadar boru indirilir (Şekil 4) (Gordon ve Mikkelsen, 1989)..

İnklinometre borularının yerleştirilmesi tamamlandığında kuyu inklinometre ölçümlerine hazır hale gelmiştir. Birinci grup ölçümlerin alınabilmesi için aigıla-

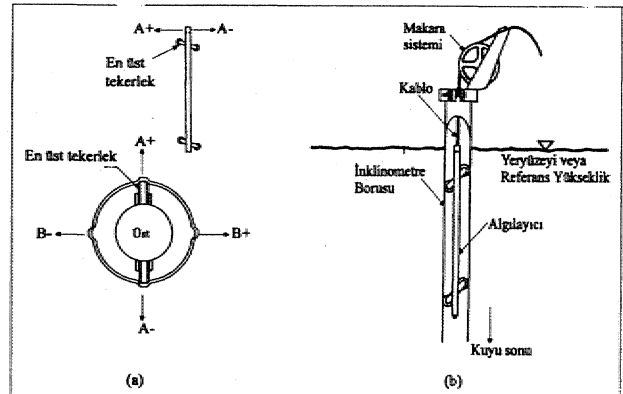


Şekil 3« İnklinometre borusunun detayları (Graham,, 1989).

Yücünün en üst tekerleği ana referans yönüne (A+ oluğuna) 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. Koyu 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, tnkliometre 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 tekrar¹ koyu 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).

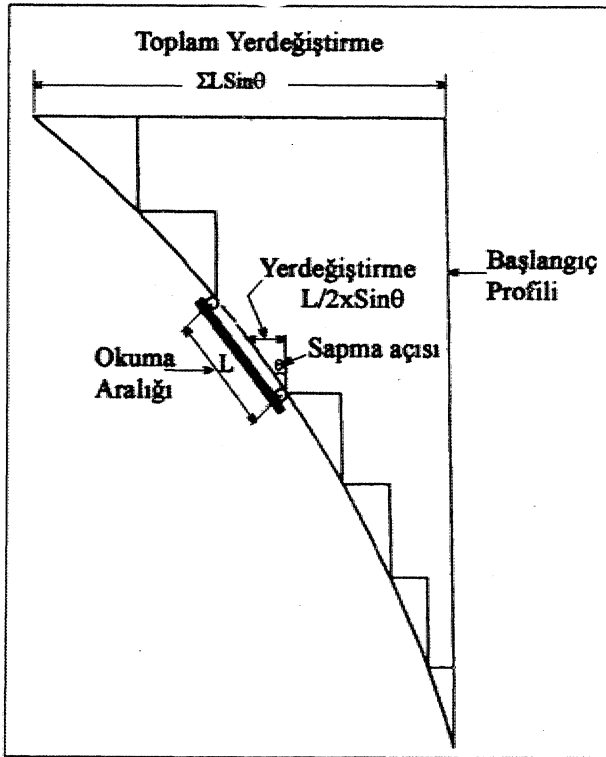
Yücünün 180° çevrilmesine bağlı olarak, aynı derinliklerden alınan A+, A- ve B+, B- değerleri birbirleriyle eşit büyüklükte fakat zıt işaretli, olmalıdır. Ölçüm değerlerinin birbirlerinden farklılaşması, ölçüm hatasının arttığını gösterir.

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 bir¹ 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 axial.ıkla daha kısa seçilirken, daha yavaş bir kayma hareketinin beklediği bölgelerde açılan kuyularda ise ölçüm aralıkları daha uzun seçilebilir,

İnclinometre ölçüm elerine 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). Koyu 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. İncinometre prensibi ve hesaplamalar (Wilson ve Miktelsen, 1977),

İki adet eksene- sahip olan düşey inclinometre prob- lan 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;

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

ilişkisiyle saptanmaktadır,

Burada;

RDG = Sapma miktarı

± = Harekelin yönü

L/2 = Algılayıcı (Prob) uzunluğunun yansı (metrik algılayıcılarda. 2.50 mm'dir)

B = Algılayıcının uzun ekseninin düşeyle yaptığı 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, 0 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,

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

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 bölündüğü derinliğe aittir,, Algılayıcının, alt tekerleğinin, bulunduğu derinliklerdeki sapma, miktarları ise, birinci grup ve algılayıcının. 1.80° çevrilmesiyle yapılan ikinci, grup ölçümler sonucu kuyunun aynı derinliklerde hesaplanan, eşit büyüklükte fakat zıt işaretli sapma, miktarlarının farkı alınarak bulunur.

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

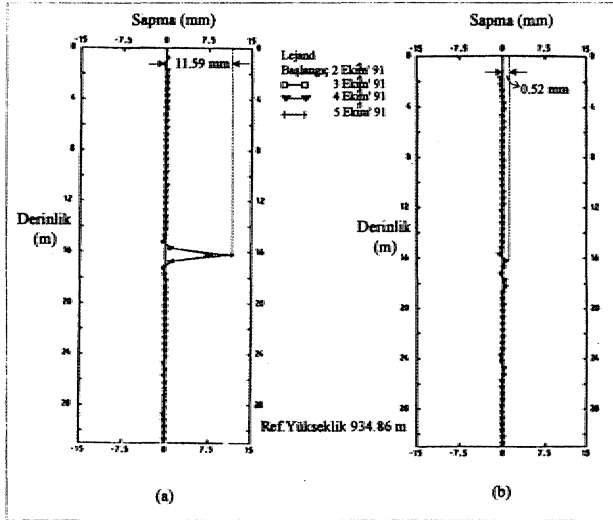
Grafiklerin çizdirilme»

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 gözlenebilirken, maksimum hareketin gerçekleştiği derinlikler de kolaylıkla, belirlenir (Şekil 7),.



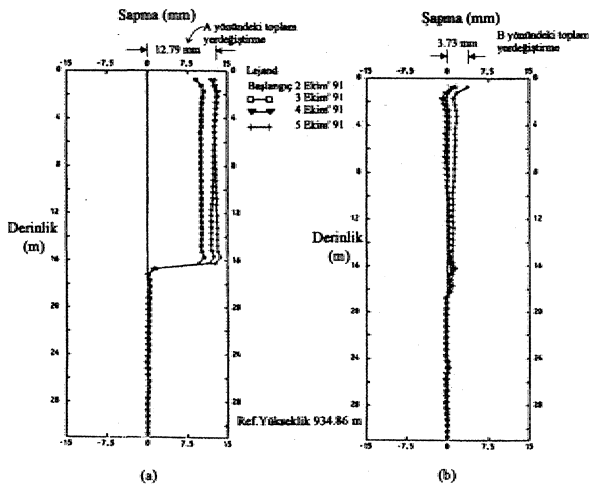
Şekil 7. İki yönde yerdeğiştirme grafiği, a) A yönünde, b) B yönünde.,

Eklenererek artan değişim grafiği:

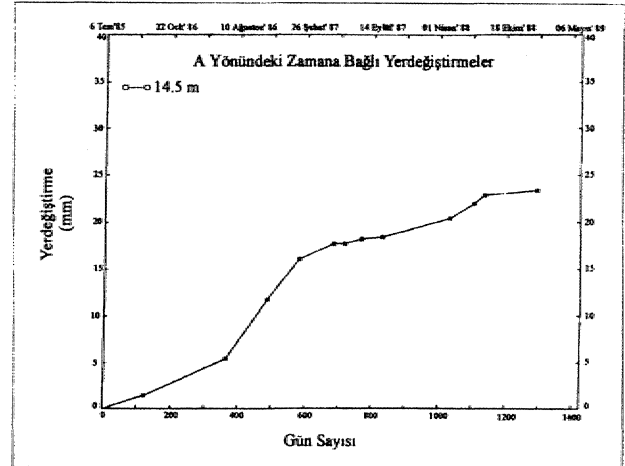
İlk grup ölçümlerden, bu yana, kuyuda meydana gelebilecek değişimin toplam, miktarı, ve en büyük değişimin gerçekleştiği derinliğin tespit, edilmesinde kullanılan grafik türüdür. Kuyu tabanından başlamak üzere yüzeye doğru her 0.5 m derinlikteki değişim miktarlarının toplanması ve derinliğe bağlı olarak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

"Yerdeğiştirme - zaman" grafiği:

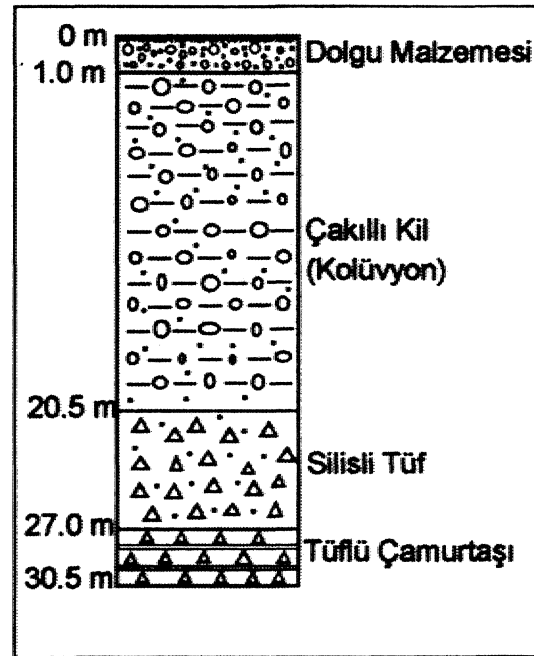
Bu grafik türü ise seçilmiş herhangi bir derinlikte zamana bağlı, olarak artan, hareket değişim miktarları-



Şekil 8. Eklenererek 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- nı 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+ olduğunda)		İkinci Grup Ölçümleri (Algılayıcının en üst tekerleği A- olduğunda)		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;

Ä 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).

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

Yukarıda verilen, örnek uygulamada inMinometre borusunun 16.5 metresinde A+ yönünde 11.59 mm., B+ yönünde ise 0.52 mm Jik 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

İnclinometre Metinin 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 inclinometredir. Yerleştirildikleri sondaj deliğinin eksenine dik yönde oluşan hareketlerin izlenmesinde kullanılan inclinometreler yardımıyla, hareketin yeri, büyüklüğü ve yönü saptanabilmektedir.

b) Bir tek inclinometre: cihazı kullanılarak, çok sayıda sondaj deliğinden ve değişik, derinliklerden ölçüm alınabiliyor 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+ olduğunda)		İkinci Grup Ölçümleri (Algılayıcının en üst tekerleği A- olduğunda)		Fark A	Fark B
A+	B+	A-	B-	(A+) - (A-)	(B+) - (B-)
+2380	-564	-2367	+602	+4747	-1166

c) Yüksek hassasiyette ölçümler alabilen inclinometre 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 mmlik 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 Biroi Kuncinoğlu'na ve görüşlerinden yararlandığım Doç. Dr. Reşat Ulsay ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Candan Gökçeoğlu'na teşekkür ederim.

DEĞİNİLEN BELGELER

- A.S.T.M., 1991, Standart Test Method for Rock Mass Using, Inclinometers., D 4622 - 86 A.S.T.M. Subcommittee D 18- 12 on Rock Mechanics.
- Franklin J.Ä., 1977., Time monitoring of structures in rock. Rock Mechanics Review, Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & 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 Ins.itui, Nanyang Technical Institute, Singapore, p. 235 - 246.
- Graham, P.J., 1989, GTILT Inclinometer data reduction computer program, Mitre Software Corporation, 9636 - 13 Ave. 2,00 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 Piece N. Seattle, U.S.A. 1.10 p.
- Ulusay, R., 1995, Şev stabüfesinde hareket izleme çalışmalarının önemi, yeri. ve uygulamadan örnekler, M.T.A. Genel Müd. Konferans Notlan, Ankara, 46 s.
- Wilson, S.D. and Mikkelsen, P.E., 1977, Foundation instrumentation: Inclinometers Report FHWA. TS - 77 - 219, U.S. Department of Transportation., 96 p,