

HEYELANLARIN DİNAMİK DEFORMASYON MODELİ İLE BELİRLENMESİ

Mualla (ÜNVER) YALÇINKAYA
Temel BAYRAK

ÖZET :

Deformasyon ölçmeleri ve analizlerinin işlevi, zamana ve konuma bağlı olarak bir objenin hareketlerini ve yer değiştirmelerini araştırmaktır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda hareket zamandan bağımsız olarak statik deformasyon modeliyle ya da zamana bağlı olarak kinematik deformasyon modeliyle belirlenmiştir. Artık günümüzde, zaman ve konumun yanı sıra objeye etki eden dış kuvvetlerin de dikkate alındığı dinamik deformasyon modeli ile hareketlerin belirlenmesi yeni uğraş alanı olmuştur.

Bu çalışmada heyelanlı bir bölgede oluşan hareketin, dinamik deformasyon modeliyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Heyelanı oluşturan etkenler belirlenmiş ve bu dış kuvvetlerin modelin içerisine katılması ile dinamik deformasyon modelinin oluşturulması araştırılmıştır. Uygulama olarak heyelanlı bir bölgede jeodezik deformasyon ağı kurulmuştur. Heyelana etki eden dış kuvvetlerden yeraltı suyu parametresinin etkisi hareket modelinin içine katılarak dinamik deformasyon modeli oluşturulmuştur. Ayrıca heyelanın en önemli dış etkeni olan yeraltı suyu seviyesinin belirlenmesinde kullanılabilecek iki farklı yöntem de önerilmiştir.

1. GİRİŞ

Dinamik deformasyon modelinde, hareketi oluşturan dış etkenler de hareket modelinin içine katılarak hareket, hem zamana, hem konuma, hem de harekete neden olan dış etkenlere bağlı olarak belirlenir. Dinamik modelin oluşturulması için farklı bilim dallarının beraber çalışması gerekmektedir. Farklı bilim dallarının bir araya gelmesindeki zorluk ve modelin kompleks olması nedeniyle dinamik model ile hareket belirlemesi konusunda günümüze kadar az çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın konusu, heyelanların dinamik deformasyon modeli ile belirlenmesi olduğundan, önce heyelanı oluşturan dış etkenler araştırılmıştır. Heyelanın başlıca nedenleri yağış ve buna bağlı olarak yeraltı suları, yüksek eğim, topuktan malzeme kaybı, ayrışma ve bitki örtüsü gibi etkenlerdir. Heyelanın oluşmasındaki en önemli etkenler yağış ve yeraltı suyudur [Önalp, A., 1991].

Bu çalışmada amaç, Heyelanın Dinamik Deformasyon Modelini oluşturmak ve bu-

nun yanı sıra hareketin nedeni olan yeraltı suyu seviyelerini iki ayrı uygulama ile belirleyerek alternatif çözümler önermektedir. Heyelanın nedenlerinden biri olan yeraltı suyu seviyelerinin, her ölçü periyodunda jeodezik veriler ölçülürken belirlenmesi gerekmektedir. Yeraltı su seviyeleri, ya arazide açılmış olan sondaj kuyularından direkt ölçülür, ya da bir difüzyon denklemi yardımıyla bilgisayarda hesaplanır. Yeraltı su seviyeleri, arazinin uygun yerlerinde açılan sondaj kuyularında her ölçü periyodunda ölçülür ve bu ölçüler yardımı ile yer altı suyu haritası çizilerek haritadan ağın her noktasının yeraltı su seviyeleri hesaplanır. Bu değerler veri olarak deformasyon modelinde kullanılarak dinamik model oluşturulur. Noktaların yeraltı su seviyeleri, arazide sondaj kuyuları açmadan farklı bir yöntemle de belirlenebilir. Araziden alınan toprak örnekleri jeolojik olarak laboratuarda analiz edilerek, noktaların basınç alanı difüzyon denklemi yardımıyla hesaplanıp, noktaların yeraltı su seviyeleri, bilgisayar programı yardımıyla kestirilerek belirlenebilir.

2. HEYELANLARDA DİNAMİK DEFORMASYON MODELİ

Statik ve Kinematik Deformasyon Modeli ile deformasyonların belirlenmesi için belirli periyotlarda yapılmış jeodezik ölçüler yeterlidir. Dinamik Deformasyon Modeli uygulamaları için deformasyona neden olan etkenlerin belirlenmesi gerekir. Hareketin nedeninin belirlenmesinde farklı disiplinlerin (jeodezi, jeoloji, jeofizik, inşaat vs.) bir araya gelerek çalışması gerekmektedir. Çalışmanın konusu heyelanlı bir bölgedeki hareketin dinamik deformasyon modeli ile belirlenmesidir. Heyelan belirlemesi yapılacak bölgede, öncelikle amaca uygun jeodezik deformasyon ağı tesis edilmelidir. Ağda jeodezik ölçülerin periyodik olarak yapıldığı sırada hareketin nedeni olan parametrelerinde ölçülmesi gerekir. Heyelanı oluşturan en büyük etken yağış ve buna bağlı olarak da yeraltı suyudur. Bu nedenle Dinamik Deformasyon Modelinin oluşturulmasında yağış ve yeraltı suyu parametreleri dikkate alınmalıdır. Yer altı su seviyelerini belirlemek için arazinin uygun yerlerinde sondaj kuyuları açılarak yer altı suyunun olup olmadığı araştırılmalıdır.

Heyelanın belirleneceği bölgedeki yağış zamanları önemlidir. Bu amaçla Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden bölgeye ait 5-10 yıllık yıllık yağış, sıcaklık, nem ve basınç verileri alınıp incelenerek, bölgenin yağış aldığı zamanlar belirlenmelidir. Yağış öncesi ve sonrası ölçü yapılmak istendiğinden bu çalışmalara göre periyodik ölçü zamanları belirlenerek yağış öncesi ve yağış sonrası periyodik ölçüler yapılır. Yeraltı su seviyeleri jeolojik olarak ölçülür. Hareketin nedeni olan noktaların yeraltı su seviyeleri hareket modelinin içine katılarak Dinamik Deformasyon Modeli oluşturulur [Pelzer, H.,1988; Güllal, E., 1999].

Meteorolojik bilgiler ışığında belirlenen ölçü zamanlarında, jeodezik ağda, jeodezik ölçüler yardımıyla noktalara ait konum bilgileri belirlenir. Ağ noktalarına ait jeodezik ölçüler yardımıyla bulunan konum bilgilerinden yararlanarak kinematik yüzey modeli bir polinom olarak (1) eşitliğindeki gibi oluşturulur [Pelzer, H.,1987].

$$X_j^{(i)} = X_j^{(0)} + \Delta t_i \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} \sum_{k=0}^{m-i-j} C_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

$$Y_j^{(i)} = Y_j^{(0)} + \Delta t_i \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} \sum_{k=0}^{m-i-j} C_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

$$Z_j^{(i)} = Z_j^{(0)} + \Delta t_i \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} \sum_{k=0}^{m-i-j} C_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

Burada,

$X_j^{(i)}, Y_j^{(i)}, Z_j^{(i)}$, i.ölçü periyodundaki P_j noktasının koordinatlarını,

$X_j^{(0)}, Y_j^{(0)}, Z_j^{(0)}$, başlangıç ölçü periyodundaki P_j noktasının koordinatlarını,

$\Delta t = t_i - t_0$, i.ölçü periyodu ile başlangıç periyodu arasındaki zaman farkını,

C_{ijk} , polinomun katsayılarını, (m: polinomun derecesini)

$i = 1, 2, \dots, kk$ (kk : ölçü periyodu sayısı)

$j = 1, 2, \dots, n$ (n : nokta sayısı)

göstermektedir [Pelzer, H., 1987; Yalçinkaya, (Ünver), M., 1994].

(1) eşitliği zamana ve konuma bağlı bir kinematik deformasyon modelidir. Bu eşitlikte görüldüğü gibi çeşitli zamanlarda elde edilmiş jeodezik veriler kullanılarak, hareket modeli yalnızca zamana ve konuma bağlı olarak oluşturulmuştur. Bu model kinematik yüzey modelidir. Kinematik modellerde hareketin nedeni dikkate alınmaz. Hareketin nedeninin belirlenip hareket modelinin içine katılması ile dinamik deformasyon modeli oluşturulur. Heyelanın dinamik deformasyon modelini oluşturmak için, heyelan hareketinin en önemli nedeni olan yeraltı suyunun her ölçü periyodunda ölçülerek hareket modeli olan kinematik deformasyon modelinin içine eklenmesi gerekmektedir. Böylece heyelanın dinamik deformasyon modeli, aşağıda (2) eşitliğinde görüldüğü gibi oluşturulmuş olur [Welsch, W., 1985; Vanicek, P., vd., 1977].

$$X_j^{(i)} = X_j^{(0)} + \Delta t_i \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} \sum_{k=0}^{m-i-j} C_{ijk} X^i Y^j Z^k + \Delta t_i \sum_{l=0}^{n_s} d_l S^i$$

$$Y_j^{(i)} = Y_j^{(0)} + \Delta t_i \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} \sum_{k=0}^{m-i-j} C_{ijk} X^i Y^j Z^k + \Delta t_i \sum_{l=0}^{n_s} d_l S^i$$

$$Z_j^{(i)} = Z_j^{(0)} + \Delta t_i \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} \sum_{k=0}^{m-i-j} C_{ijk} X^i Y^j Z^k + \Delta t_i \sum_{l=0}^{n_s} d_l S^i$$

Burada, S yeraltı su seviyesi değerlerini; d1 polinom katsayılarını; ns polinomun derecesini göstermektedir. Bu bağıntılardaki polinomların dereceleri genişletilmiş fonksiyonel modelin testi ile belirlenir.

Heyelanın dinamik deformasyon modelini oluşturmada harekete neden olan en önemli dış kuvvet yağış ve buna bağlı olarak yeraltı suyudur. Jeodezik ağ noktalarının yeraltı su seviyeleri iki farklı yöntemle belirlenebilir.

2.1. Yöntem I

Ağ noktalarının yeraltı su seviyelerini ölçmek için arazinin uygun yerlerinde, Jeolojik çalışmalar sonucu sondaj kuyuları açılır ve bölgede yeraltı suyu olup olmadığı araştırılır. Yeraltı suyu varsa, her ölçü periyodunda sondaj kuyularında yeraltı su seviyeleri jeolojik olarak ölçülür. Bu ölçüler yardımıyla arazinin her ölçü periyodundaki yeraltı suyu haritası çizilir ve haritadan ağ noktalarının her periyottaki yeraltı suyu seviyeleri saptanır. Bu değerler dinamik deformasyon modelinin (2) oluşturulmasında veri olarak kullanılır.

2.2. Yöntem II

Yöntem I'de yeraltı su seviyeleri arazide açılacak olan sondaj kuyularından elde edilmektedir. Sondaj kuyusu açmak zor ve pahalı bir iştir. Ayrıca bu kuyular uzun ölçme periyotları için gerekli olduğundan korunmaları da gerekmektedir. Fakat oluşacak heyelan ya da başka nedenlerden dolayı bu kuyuların korunması olanaksız olabilir. Yeraltı su seviyelerinin daha kolay bir şekilde elde edilmesi, zaten yorucu ve zor iş olan dinamik modelin oluşturulmasında kolaylık sağlayacaktır.

Bilindiği gibi tabakalı ortamlarda belli derinliklerde su kitlesi birikmektedir. Ayrıca nehir ve denizlerden süzülen sulara ilave olarak yağmurlar tabakalı ortamda biriken su dinamiğini etkilerler. Tabakalı ortamdaki aşırı sulaşma heyelana neden olur. Amaç tabakalı ortamlarda kaynakların (yağmur ve sızan sular) etkisi altında suyun dağılım dinamiğini belirlemektir. Hidrodinamik teorisine göre bu işlem bir difüzyon (yayılma) denklemi ile sağlanabilir. Bilindiği gibi tabakalı ortamlarda su basıncı (3) eşitliğindeki difüzyon denklemini sağlamaktadır [Rasulov, M. A., 1991].

$$\beta^*h(x,y) \frac{\partial p}{\partial t} = \nabla \left\{ \frac{K(x,y)h(x,y)}{\mu} \nabla p \right\} + q$$

Burada $p=p(x,y)$; t zamanında suyun x,y noktasındaki basıncını, h; x,y noktasındaki suyun derinliğini, β^* tabakalı ortamın difüzyon katsayısını, ∇ ; divergens operatörünü, K; tabakalı ortamın süzülmesini, q ise göz önüne alınan bölgeye düşen birim yağmur+su kaynaklarını göstermektedir. Eğer (3) denklemine uygun başlangıç sınır koşulları eklenirse koşullar çerçevesinde (3) denklemi çözülerek herhangi bir t zamanında ve x,y noktasındaki basınç alanı bulunabilir. Difüzyon denklemi genelde ortam geçiriciliği basıncın fonksiyonu olur. Böyle durumda difüzyon denklemi lineer olmayan kısmi türevli diferansiyel denkleme dönüşür. Bu denklemin çözümü için nümerik yöntemler kullanılır.

Belirlenen ölçü zamanlarında, tesis edilen jeodezik ağda, GPS ölçüleri yardımıyla nokta konumları ölçülürken aynı zamanda yeraltı su seviyeleri sondaj kuyularından ölçülmesine gerek yoktur. Bunun yerine araziden zemin örnekleri alınarak jeolojik analizleri yapıp, toprak malzemesinin yoğunluğu, doygunluk derecesi ve su muhtevası bilgileri yardımıyla herhangi bir t zamanında $p(x,y)$ noktasındaki basınç alanının (3) eşitliğinden hesaplanması gerekir. Basınç alanı yardımıyla her ölçü noktasındaki su derinlikleri hesaplanır ve bu değerler dinamik deformasyon modeli (2)'de veri olarak kullanılır.

3. SAYISAL UYGULAMA

Çalışma bölgesi olarak, heyelanlı bir alan olan Trabzon ili Çağlayan ilçesine bağlı Bulunga Mahallesi ve çevresi seçilmiştir (Şekil 1).

3.1. Çalışma Bölgesinin Jeolojik Yapısı

Çalışılan arazinin hemen hemen tümü, seyrek bir yerleşim dokusu göstermekte olup, fındık ve bahçe tarım alanları ile kaplıdır. Çalışılan alan, heyelanın göçme, çökme, kabarıkma şekillerine bağlı olarak gelişmiş yayvan tepelikler, küçük düzlük ve çukurlarla eğimleri yer yer değişen engebeli bir yamaç morfolojisi sunmaktadır. Yükselti doğa olarak yamaç üst kesimlerinde yüksek, ortalama 150 m civarında, ve Değirmendere'nin kıyı kenarında en düşük kot ortalama 63 metre civarındadır.

Heyelanlarda yamaç dengesinin bozulmasına sebep olan 4 ana etken; su, yüksek eğim, ayrışma ve kazıdır (topukta malzeme kaybı). Doğanın harekete hazır olan jeolojik yapısı da tamamlayıcı nedendir [Ömerbeyoğlu, E., vd., 1991].

Uygulama alanında daha önceden İller Bankasının İnsitu adlı bir şirkete yaptırdığı çalışma sonucu, bölgede oluşan heyelanın en önemli nedeninin yağış ve yeraltı suyu olduğu ortaya çıkmıştır [İller Bankası Gn. Md., 1995].

Şekil 1. Uygulama Arazisinin 1/25.000 Ölçekli Memleket Haritası (1960)

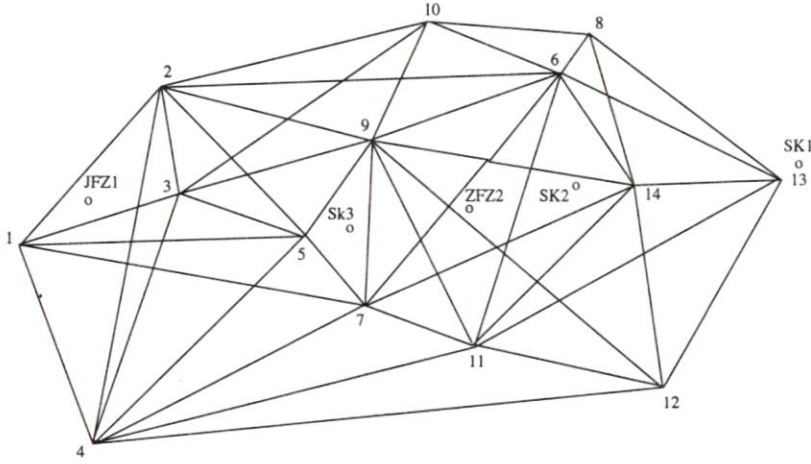


Heyelanlar ve şev kaymalarını tetikleyen en önemli unsur sudur. Heyelanlarda yağışın etkisi özel bir öneme sahiptir. Çalışma alanı yıllık 1000 mm'nin üzerinde yağış almaktadır [Meteoroloji Bölge Md., 2000]. Bölgede meydana gelen heyelanların çoğu yoğun yağışlı dönemlerde ve özellikle de şiddetli sağanaklardan ve kar örtüsünün ağırlık yapmasından sonra meydana gelmektedir. Yamaçlarda duraylılığın kaybında önemli rol oynayan su basıncı statik ve sürekli değil, ani ve geçici bir etki yapmaktadır. Yağmur suyu yamaç üzerinden ortama sızarak birikmekte, kitle hareketinin oluşmasından sonra ise etkisini yitirmektedir. Öte yandan, arazinin jeolojik yapısı ve yüksek eğimler nedeniyle sabit bir yeraltı suyu düzeyinin genelde belirmediği yani yeraltı suyu düzeyinin sürekli değiştiği bilinmektedir [Önalp, A., 1991].

3.2. Yapılan Çalışmalar

3.2.1. Jeodezik Çalışmalar

Heyelanları belirlemek amacı ile şekil 1'de gösterilen bölgede amaca uygun jeodezik deformasyon ağı tesis edilmiştir. Jeolojik olarak hareket beklentisi olmayan yerlerde tesis edilen 3 sabit nokta ve hareket beklentisi olan yerlerde tesis edilen 11 obje noktasından oluşmak üzere 14 noktalı bir jeodezik deformasyon ağı oluşturulmuştur. Ağdaki noktaların tamamı pilye olarak tesis edilmişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2 : Deformasyon Modelleri Uygulamaları İçin Tesis Edilmiş Jeodezik Ağ

Ağda 2, 4 ve 10 numaralı noktalar sabit zemine, 1,3,5,6,7,8,9,11,12,13,14 numaralı noktalar hareket beklentisi olan yerlere tesis edilmiş noktalardır. SK1, SK2, SK3 noktaları sondaj kuyularını göstermektedir. 3 sondaj noktası yeterli olmadığı için Jeofizik olarak yer altı su yüksekliğini elektro-özdirenç yöntemi ile ölçmek için arazide JFZ1, JFZ2 noktalarında da ölçüler yapılmıştır.

Jeodezik Deformasyon ölçüleri, Ashtech GPS alıcıları ile statik ölçme yöntemi kullanılarak periyodik olarak yapılmaktadır ve veriler Geogenius-2000 yazılımıyla değerlendirilmektedir. Ölçülerin serbest dengelemesi, korelasyon dikkate alınarak uyumsuz ölçüler testi ve ağı optimizasyonu yapılmıştır. Ağda şimdiye kadar iki ölçü yapılmıştır. Heelan hareketini dinamik modelle belirlemek için daha çok ölçü periyoduna gereksinim vardır. Bu devam eden bir çalışmadır. Burada şimdiye kadar yapılan çalışmalar ve yapılacak çalışmalar anlatılmaktadır.

3.2.2. Jeolojik Çalışmalar

Arazinin jeolojik yapısını incelemek amacı ile araziden toprak zemin örnekleri alınmıştır ve her periyotta alınmaya devam edilecektir. Örnekler KTÜ Müh. Mim. Fak. Jeoloji bölümü laboratuvarlarında analiz edilmektedir. Analiz sonucu toprak malzemesinin yoğunluğu, doygunluk derecesi ve su muhtevası değerleri elde edilmektedir. Bu değerler, dinamik modelin oluşturulmasında gerekli olan difüzyon denkleminde (3), veri olarak kullanılarak noktalardaki yeraltı su seviyeleri belirlenmektedir. Noktalardaki yeraltı su seviyelerini başka bir yöntemle belirlemek amacı ile daha önce açılmış sondaj kuyularından su yükseklikleri ölçü periyotlarında ölçülerek arazinin yeraltı suyu haritası çizilmiştir. Bu haritadan ağ noktalarının yer altı su seviyeleri belirlenmektedir. Bu işlemler, her ölçü periyodunda tekrar edilecektir.

3.2.3. Jeofizik Çalışmalar

Heyelan sahalalarında uygulanan jeofizik yöntemlerle bir heyelanın; yeryüzünde gözlenemeyen sınırları, kayma yüzeyinin derinliği, heyelan bölgesindeki değişik malzemelerin dağılım düzeni, yer altı suyunun durumu, filtrasyon akışının yönü ve hızı, temel kayanın derinliği, yapı ve bileşimi gibi özellikler saptanabilmektedir. Özdirenç sondajı uygulamasıyla özdirençin derinlikle değişimi belirlenerek kayan kütle kalınlığı, kayma düzleminin konumu ve yeraltı suyu derinliği ortaya çıkarılabilir [Gelişli, K., vd., 1991].

Bu çalışmada, arazide bulunan sondaj kuyularının azlığı nedeni ile arazinin toprak kalınlığı ve yeraltı suyu derinliği gibi bilgileri daha iyi belirlemek için, Şekil 2'de de görüldüğü gibi arazide seçilen JFZ1 ve JFZ2 noktalarında Jeofizik olarak Elektrik-Özdirenç Yöntemi ile yer altı suyu yüksekliği belirleme çalışmalar yapılmıştır.

3.2.4. Meteorolojik Çalışmalar

Bölgede heyelan hareketini oluşturan en büyük etken yağışlardır. Bu nedenle ölçüleri yağışlardan önce ve sonra yapmak gerekir. Bu amaçla periyodik ölçülerin hangi zamanlarda yapılacağını belirlemek için meteorolojiden bölgenin 10 yıllık hava durumu bilgileri alınmıştır. Bu bilgiler ışığında sıcaklık değişimi, nem ve yağış grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler incelenerek, yağış öncesi ve sonrası ölçü yapılmak istendiğinden hangi aylarda ölçü yapılacağına karar verilmiştir. Buna göre yılın 1, 3, 5, 7, 9 ve 11. aylarında jeodezik, jeolojik ve jeofizik ölçüler yapılacaktır.

4. SONUÇ

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda hareketler, zamandan bağımsız olarak statik deformasyon modeliyle ya da zamana ve konuma bağlı olarak kinematik deformasyon modeli ile belirlenmiştir. Farklı disiplinlerin (Jeodezi, Jeoloji, Jeofizik, İnşaat, vs.) bir araya gelerek hareketin nedenini de belirleyip matematik modelin içine koyarak oluşturulan zamana ve dış etkenlere bağlı dinamik deformasyon modeli ile hareketi belirleme konusunda, hem farklı disiplinlerin bir araya gelmesindeki zorluk, hem de modelin karmaşık olması nedeni ile bugüne kadar az çalışma yapılmıştır.

Hareketin kestirimi için periyodik ölçüler sonucu elde edilen verilere gereksinim vardır. Verinin arzu edilen kalitede olması çok önemlidir. Bu gibi çalışmalarda veri sağlayan yöntemler çoktur. Heyelan hareketi içeren konularda yer bilimleri (jeoloji, Jeofizik, Jeodezi, Zemin Mekaniği vs.) ayrı ayrı çalışmalar yapmaktadır ve kendilerine özgü veriler toplamaktadırlar. Ülkemizdeki heyelan çalışmalarının çoğu jeodezik verilerden yoksundur.

Bu çalışmada, jeodezik veriler ile diğer disiplin gruplarına ait verilerin beraber kullanılarak deformasyon analizinin yeni bir uğraş alanı olan dinamik deformasyon modeli yardımı ile heyelan hareketlerinin belirlenmesi işleminin yapılması amaçlan-

mıştır. Çalışmada hem dinamik deformasyon modelinin kurulması hemde hareket nedeni olan parametrelerin elde edilmesinde alternatif çözümler önerilmiştir.

Heyelanlı bir bölgede oluşan hareketin dinamik deformasyon modeli ile belirlenmesi için hareket nedeni olan yeraltı suyu seviyeleri iki farklı yöntemle elde edilebilir. Çalışmada Yöntem II, Yöntem I'e alternatif olarak sunulmuştur. Yöntem I'de sondaj kuyularının açılması, arazi koşullarına göre zor olabilir ve aynı zamanda yüksek maliyet gerektirir. Ayrıca süregelen çalışmalar için korunması olanaksız olabilir. Pahalı ve zaman alıcı sondaj kuyusu açma işlemleri yerine Yöntem II'de önerildiği gibi araziden alınacak zemin örneklerinin jeolojik olarak analiz edilmesi ile her noktadaki yeraltı su seviyesi değerleri, bir bilgisayar programı yardımıyla hesaplanabilmesinin kolaylığı ortadadır.

KAYNAKLAR

- [1] Gelişli, K. ve Çınar, H. : Heyelan Araştırmalarında Jeofizik Yöntemlerin Kullanımı, K.T.Ü. Türkiye 1. Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Trabzon , 27-29 Kasım 1991.
- [2] Güllal, E. : Deformasyon Ölçüleri Analizinde Dinamik Modelleme, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, İstanbul, 1999/2.
- [3] İller Bankası Genel Müdürlüğü : Trabzon Kenti İçme Suyu İletim Hattı Heyelanlı Bölüm Etüd, Proje ve Mühendislik Hizmetleri Rapor Kitabı, Ankara, Ağustos 1995.
- [4] Meteoroloji Bölge Müdürlüğü : Trabzon'un Hava Durumu Verileri, 2000.
- [5] Ömerbeyoğlu, E. ve Sevinç, O. N. : Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanları ve Karayollarımız, K.T.Ü. Türkiye 1. Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Trabzon, 27-29 Kasım 1991.
- [6] Önalp, A. : Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanları – Nedenleri, Analizi ve Kontrolü, K.T.Ü. Türkiye 1. Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Trabzon, 27-29 Kasım 1991.
- [7] Pelzer, H. : Ingenieurvermessung, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 1988.
- [8] Pelzer, H. : Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungsmodelle, AVN, 94, 2, 1987.
- [9] Resulov, M. A. : Identification of the Saturation Jump in the Process of Oil Displacement by Water in a 2D Domain, Vol 319, No.4, Dokl RAN, 1991.
- [10] Vanicek, P., Elliott, R., and Castle, O., R. : Four-dimensional Modelling of Recent Vertical Movements in the Area of the Southern California Uplift, Proceedings of Sixth International Symposium on Recent Crustal Movements, California, 1977.
- [11] Welsch, W. : Kinematische Netzbetrachtung, Vortrage des Kontaktstudiums, Geodatische Netze in Landes Und Ingenieurvermessung, Hannover, 1985.
- [12] Yalçınkaya (Ünver), M. : Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon, Haziran 1994.