

HEYELANLAR İÇİN BİR DİNAMİK HAREKET YÜZEYİ MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Mualla YALÇINKAYA, Temel BAYRAK*

ÖZET

Heyelanlar üç boyutlu, zamana ve konuma bağlı karmaşık dinamik sistemlerdir. Zaman sürecinde dinamik etkenler sonucu meydana gelen heyelanlar, topoğrafik yüzeylerin sürekli değişime uğramasına neden olmaktadır. Yüzeysel değişimlerin zamansal davranışlarının görsel olarak izlenebilmesi ve oluşan hareketlerin daha gerçekçi yorumlanabilmesi dinamik değişkenleri içeren yüzey modelleriyle sağlanabilir. Dinamik yüzey modelleri, ölçülmüş noktaların yanı sıra ölçülmemiş noktaların dinamik hareketlerini de extrapolasyonla belirleme algoritmasını içermektedir. Böylece kütle hareketleri bir bütün olarak izlenebilmektedir. Bu makalede, heyelanlar sonucu oluşan yüzeysel değişimlerin belirlenmesi için bir dinamik yüzey modeli oluşturulmuş ve uygulaması yapılmıştır. Modelin oluşturulmasında, etkiyen kuvvet olarak heyelan için dinamik bir değişken olan yer altı suyu seviye değişimleri dikkate alınmıştır. Oluşturulan dinamik hareket yüzeyi modeliyle yüzeyler belirlenmiş ve sonuçlar irdelenerek, yer altı suyu değişiminin heyelan sonucu oluşan yüzey değişimlerinde etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, hareketin nedenini de içeren dinamik yüzey modeliyle, deformasyonların belirlenmesi ve yorumlanmasının daha gerçekçi yapılabildiği görülmüştür.

ABSTRACT

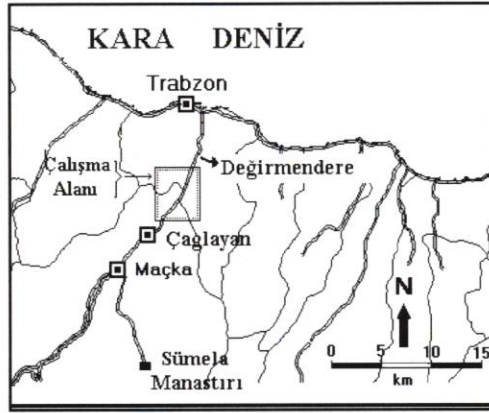
DEVELOPING A DYNAMIC MOVEMENT SURFACE MODEL FOR LANDSLIDES

Landslides have a three dimensional form and a complicated temporal context. They are dynamic systems that are complex in time and space. Landslides occurred due to dynamic factors within time are the cause of changes of topographic surfaces. Visual monitoring of temporal behavior of surface changes and more suitable interpretation of movements can be provided by surface models including dynamic variables. Dynamic surface models have an algorithm determining dynamic movements of points with extrapolation. So, mass movements can be monitored as a whole. In this study a dynamic deformation model was developed for determining surface changes due to landslides and an application of it was made. Underground water level changes being a dynamic variable for landslides were regarded as a causative force in formation of the model. Surfaces were determined by the model and results were interpreted. It was seen that underground water level changes was effectual on surface changes. As a result, it was shown that determination and interpretation of deformations due to landslides could be made more reliable with dynamic surface model including cause of movement.

GİRİŞ

Heyelanlar, çok çatlaklı kaya kütleleri, yamaç molozu yada zemin kütlelerinin belirli bir yüzey boyunca yamaç aşağı doğru hareketi olarak tanımlanır. Heyelan oluşumuna neden olan bir çok faktör vardır. Ancak bu faktörler arasında heyelanları tetikleyen en önemli faktör sudur. Toprak malzemesi içindeki suyun varlığı heyelanın aktif hale gelmesinde önemli bir çok etkiye sahiptir. Su kitlelerin dengesini, eritme, aşındırma, ek yük, boşluk suyu basıncı oluşturma, su içeriğini değiştirme şeklinde etkilemektedir ve dolayısıyla zeminin akıcı hale gelmesine neden olmaktadır. Zaman sürecinde suyun özellikle yer altı suyu seviye değişimlerinin dinamik etkileri sonucu meydana gelen heyelanlar topoğrafik yüzeyleri sürekli değişime uğrattır (Ocakoğlu vd., 2002; Deangeli, Giani, 2001; Flageollet vd., 1999; Zezere vd., 1999/1, 1999/2; Asch vd., 1999; Önalp, 1991, 1983; Tarhan, 1996; British Columbia Home Page).

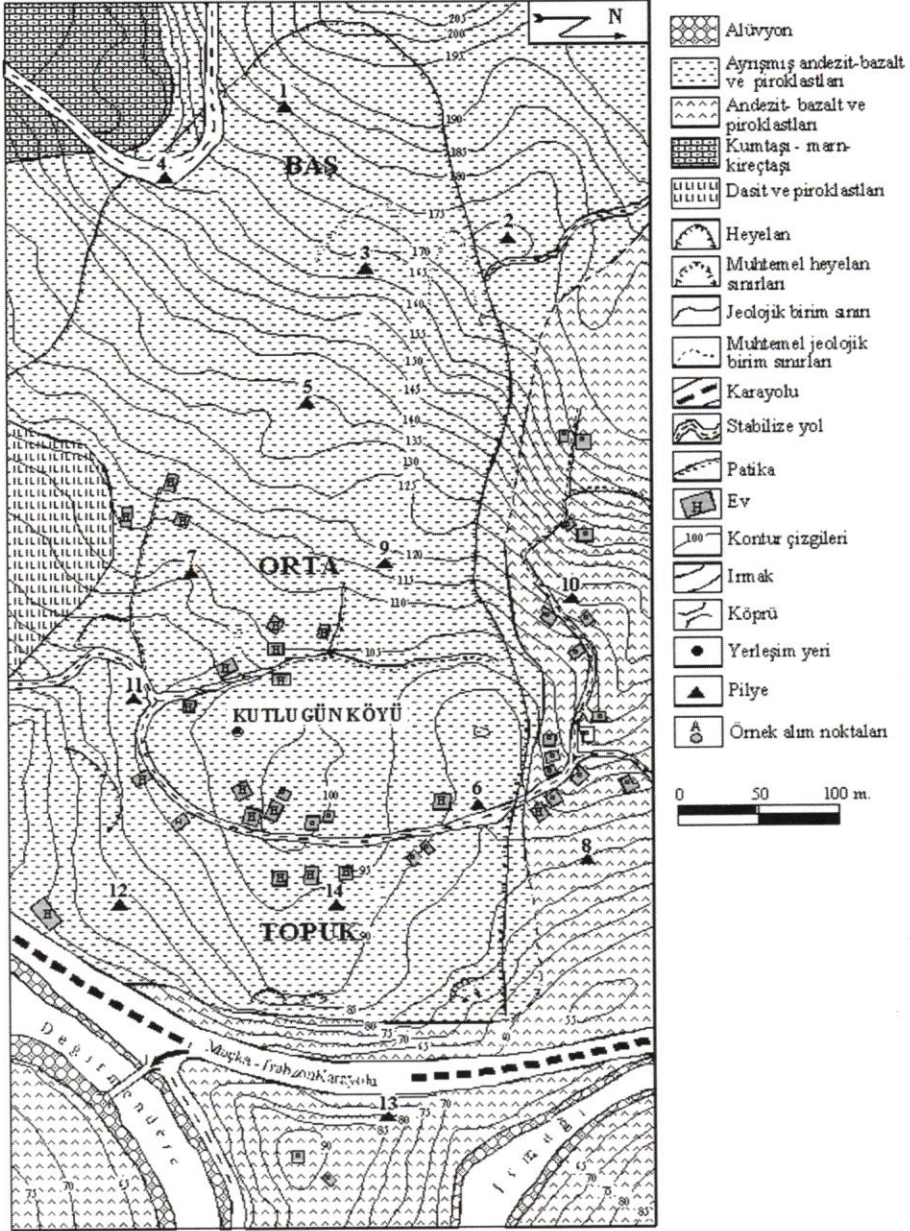
Bu çalışmada, hareketin nedeni olan yer altı suyu seviye değişimleri dikkate alınarak bir dinamik yüzey modeli oluşturulmuştur. Böylece yüzeysel değişimlerin zamansal davranışları görsel olarak izlenebilmiş ve oluşan hareketlerin daha gerçekçi yorumlanması yapılabilmektedir. Bu dinamik yüzey modelinin, ölçülmüş noktaların yanı sıra ölçülmemiş noktaların dinamik hareketlerini ekstrapolasyonla belirleme algoritmasını da içermesi kütle hareketinin bir bütün olarak izlenebilmesini sağlayabilmektedir. Uygulama, Türkiye'nin çok yağış alan Doğu Karadeniz Bölgesinde Trabzon iline bağlı Çaylayan ilçesinde heyelanlı bir bölgede yapılmıştır (Şekil 1).



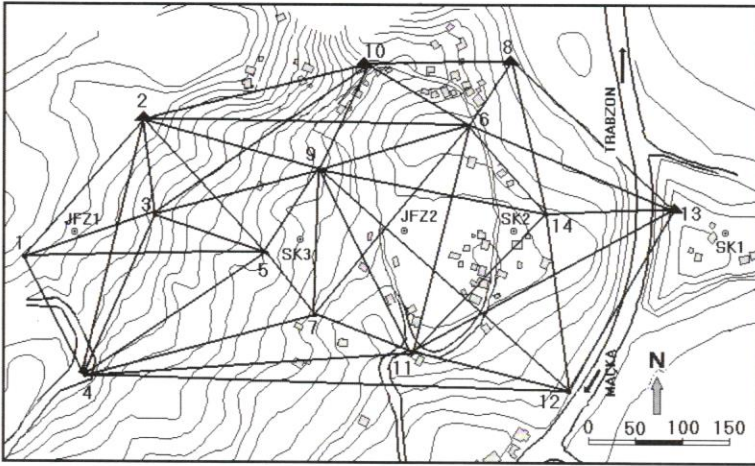
Şekil 1: Çalışma alanı

Heyelanlı bölgede önce, Jeolojik ve Jeofizik çalışmalar yapılmış ve açılan sondaj kuyularından arazide yer altı suyunun olduğu belirlenmiştir. Sonra, bölgedeki heyelanın güncel durumunu belirlemek amacıyla bölgenin jeomorfolojik haritası yapılmıştır (Şekil 2). Bu haritanın gösterdiği sabit ve hareketli zeminlere göre heyelanlı bölge ve çevresini kapsayacak şekilde 14 noktalı bir jeodezik deformasyon ağı tesis edilmiştir (Şekil 3).

AÇIKLAMALAR



Şekil 3. Uygulama arazisinin jeolojik ve jeomorfolojik haritası



Şekil 3: Deformasyon ağı

Bölgenin 10 yıllık meteorolojik veriler dikkate alınarak ölçü periyot zamanlarına karar verilmiştir. Bu ölçü periyot zamanlarında, GPS alıcıları ile ağda altı periyotluk ölçü yapılmıştır. Jeodezik ölçüler yapılırken, sondaj kuyularından (SK1, SK2, SK3) da yer altı suyu seviyeleri ölçülmüştür. Sondaj kuyuları araziye temsil edecek kadar çok olmadığından, arazinin uygun görülen yerlerinde jeofizik noktalar (JFZ1 ve JFZ2) seçilmiş ve bu noktalarda jeofizik ölçüler yapılmıştır. Jeolojik ve jeofizik noktalarda belirlenen yer altı su seviyelerinden interpolasyonla jeodezik ağ noktalarının yer altı su seviyeleri hesaplanmıştır. Böylece belirli ölçü periyotlarında, Jeodezik ağ noktalarının koordinatları (x, y, z) ve yer altı su seviyeleri (s) elde edilmiştir. Bu bilgiler yardımıyla zamana bağlı bir fonksiyonla dinamik yüzey modeli oluşturulmuş ve bölgenin dinamik hareket yüzeyleri belirlenmiştir.

DİNAMİK YÜZEY MODELİ

Üç boyutlu bir kinematik yüzey modeli bir polinom olarak (1) eşitliğindeki gibidir (Zippelt, 1998; Liu, 1998; Yalçınkaya (Ünver), 1994; Pelzer, 1987; Chrzanowski vd., 1986; Welsch, 1985; Holdahl, Hardh, 1979; Vanicek vd., 1979; Niemeier 1976).

$$\begin{aligned}
 x_j^{(i)} &= x_j^{(i-1)} + \Delta t_i \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x^k y^l \\
 y_j^{(i)} &= y_j^{(i-1)} + \Delta t_i \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x^k y^l \\
 z_j^{(i)} &= z_j^{(i-1)} + \Delta t_i \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x^k y^l
 \end{aligned} \tag{1}$$

Burada, $(x_j(i), y_j(i), z_j(i))$ ve $(x_j(i-1), y_j(i-1), z_j(i-1))$, (i). ve (i-1). periyottaki j noktasının koordinatlarını; , (i). ve (i-1). periyotlar arasındaki zaman farkını; , polinomun katsayılarını; m, polinomun derecesini göstermektedir. $i = 1, 2, \dots, r$; r, ölçü periyodu sayısıdır.

Heyelanın dinamik hareket yüzeyi, (1) eşitliğinin etkiyen kuvvet olan yer altı suyu seviye değişimlerini içeren bir parametre ile genişletilerek (2) eşitliğindeki gibi oluşturulabilir.

$$\begin{aligned} x_j^{(i)} &= x_j^{(i-1)} + \Delta t_i \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x_j^k y_j^l + \ddot{A} t_i \sum_{l=0}^{n_s} d_l \ddot{A} s_j^l \\ y_j^{(i)} &= y_j^{(i-1)} + \Delta t_i \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x_j^k y_j^l + \ddot{A} t_i \sum_{l=0}^{n_s} d_l \ddot{A} s_j^l \\ z_j^{(i)} &= z_j^{(i-1)} + \Delta t_i \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x_j^k y_j^l + \ddot{A} t_i \sum_{l=0}^{n_s} d_l \ddot{A} s_j^l \end{aligned} \quad (2)$$

Burada, D_{sj} , j noktasının (i). ve (i-1). zamanlarındaki yeraltı su seviyesi değerleri farkını; d yer altı suyu etkisinin katsayılarını; n_s , polinomun derecesini göstermektedir.
 $j = 1, 2, \dots, n$; n, nokta sayısıdır.

(2) eşitliği zamana, konuma ve etkiyen kuvvet olan yer altı suyu değişimine bağlı bir dinamik yüzey modelidir. Polinomun katsayıları (q_{kl} ve d_j) en küçük kareler yöntemiyle hesaplanır. Modelin uygulanmasında birinci adım, tüm periyotlardaki GPS ölçüleri dengelenerek dengeli koordinatların belirlenmesidir. Sonraki adım, dengeli koordinatlar kullanılarak konum ve zamana bağlı olarak oluşturulan hareket yüzeyi polinomundan hareket parametrelerinin hesaplanmasıdır. Hareket yüzeyinin derecesi, genişletilmiş fonksiyonel modelin testi ile belirlenerek en uygun dinamik hareket yüzeyi belirlenmiş olur. Bir $P_j(x_j, y_j, z_j)$ noktası için (1) eşitliğinde verilen kapalı hız fonksiyonu açık olarak aşağıdaki biçimde yazılır (Zippelt, 1998; Holdahl, Hardh, 1979; Niemeier 1976).

$$F(x_j, y_j, z_j) = q_{00} + q_{10}x_j + q_{01}y_j + q_{20}x_j^2 + q_{11}x_jy_j + \dots \quad (3)$$

(3) eşitliği dikkate alınarak, P_j noktasının t_i zamanındaki koordinatlarının hesaplandığı (2) eşitliği biçiminde yazılır.

$$\begin{aligned} x_j^{(i)} &= x_j^{(i-1)} + F(x_j^{i-1}, y_j^{i-1}, z_j^{i-1}) \Delta t_i + (d_0 + d_1 \Delta s) \Delta t_i \\ y_j^{(i)} &= y_j^{(i-1)} + F(x_j^{i-1}, y_j^{i-1}, z_j^{i-1}) \Delta t_i + (d_0 + d_1 \Delta s) \Delta t_i \\ z_j^{(i)} &= z_j^{(i-1)} + F(x_j^{i-1}, y_j^{i-1}, z_j^{i-1}) \Delta t_i + (d_0 + d_1 \Delta s) \Delta t_i \end{aligned} \quad (4)$$

Burada, i; periyot numarasını, j; nokta numarasını, $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$; t_i ve t_{i-1} zamanları arasındaki zaman farklarını ifade etmektedir. (4) eşitliği açık yazılırsa (5) eşitliği elde edilir.

$$\begin{aligned}
x_j^{(i)} &= x_j^{(i-1)} + \Delta t_1 (q_{00} + q_{10}x_j + q_{01}y_j + q_{20}x_j^2 + \dots) + \Delta t_1 (d_0 + d_1\Delta s) \\
y_j^{(i)} &= y_j^{(i-1)} + \Delta t_1 (q_{00} + q_{10}x_j + q_{01}y_j + q_{20}x_j^2 + \dots) + \Delta t_1 (d_0 + d_1\Delta s) \\
z_j^{(i)} &= z_j^{(i-1)} + \Delta t_1 (q_{00} + q_{10}x_j + q_{01}y_j + q_{20}x_j^2 + \dots) + \Delta t_1 (d_0 + d_1\Delta s)
\end{aligned} \tag{5}$$

Dinamik yüzey modelinin düzeltme denklemleri; $\theta_{xj}^i, \theta_{yj}^i, \theta_{zj}^i$, düzeltmeler; $dx_j^{i-1}, dy_j^{i-1}, dz_j^{i-1}$, başlangıç zamanındaki koordinat bilinmeyenleri olmak üzere (6) eşitliğin-
deki gibi oluşturulur.

$$\begin{aligned}
\theta_{xj}^i &= dx_j^{i-1} + \Delta t_1 \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x^k y^l + \Delta t_1 \sum_{l=0}^{n_s} d_l \Delta s_j^l - (x_j^{(i)} - x_j^{(i-1)}) \\
\theta_{yj}^i &= dy_j^{i-1} + \Delta t_1 \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x^k y^l + \Delta t_1 \sum_{l=0}^{n_s} d_l \Delta s_j^l - (y_j^{(i)} - y_j^{(i-1)}) \\
\theta_{zj}^i &= dz_j^{i-1} + \Delta t_1 \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^{m-k} q_{kl} x^k y^l + \Delta t_1 \sum_{l=0}^{n_s} d_l \Delta s_j^l - (z_j^{(i)} - z_j^{(i-1)})
\end{aligned} \tag{6}$$

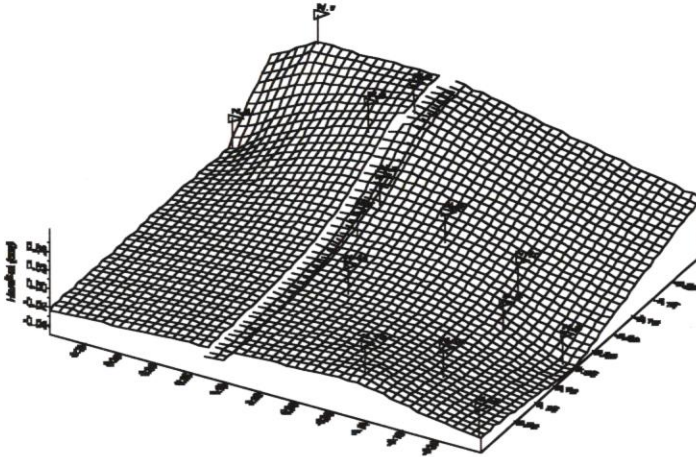
Koordinat bilinmeyenleri (dx, dy, dz) ve polinom katsayıları (q, d) olan bilinmeyenler en küçük kareler yöntemine göre hesaplanır. F fonksiyonunun derecesi, genişletilmiş fonksiyonel model testi ile adım adım belirlenmiştir (Koch, 1999; Yalçinkaya (Ünver), 1994; Yaşayan 1994; Yanıçoğlu, 1986). Böylece hareketin nedeni dikkate alınarak, bölgenin dinamik hareket yüzeyi (F) daha gerçekçi olarak saptanmıştır.

UYGULAMA

Bu çalışmada, arazide tesis edilmiş olan jeodezik ağda (Şekil 3), belirlenmiş ölçü periyotlarında (Kasım 2000, Şubat 2001, Mayıs 2001, Ağustos 2001, Kasım 2001, Şubat 2002) GPS ölçüleri ve yer altı suyu seviyeleri ölçüleri yapılmıştır. GPS ölçüleri her periyotta ayrı ayrı dengelenerek dengeli koordinatlar ve varyans kovaryans matrisleri hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak (5) eşitliğindeki gibi oluşturulan dinamik yüzey modeliyle; Kasım 2000–Şubat 2001–Mayıs 2001, Şubat 2001–Mayıs 2001–Ağustos 2001, Mayıs 2001–Ağustos 2001–Kasım 2001, Ağustos 2001–Kasım 2001–Şubat 2002 periyotlarında bölgenin hareket yüzeyleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. (5) bağıntısında verilen modelde dengeli koordinatlar ölçü, koordinat bilinmeyenleri ve polinom katsayıları da bilinmeyenlerdir. Bu modelde polinom katsayıları (q), genişletilmiş fonksiyonel modelin testine göre adım adım hesaplanmıştır. Dengeleme modelinin geçerli olup olmadığının testi ve genişletilmiş modelin testi sonuçları ile hesaplanan katsayılar ve anlamlılıklarına ait kararlar tüm periyotlar için Tablo 1-4’de verilmiştir. Hesaplanan tüm periyotlarda yapılan testler sonucunda Şubat 2001–Mayıs 2001–Ağustos 2001 ve Ağustos 2001–Kasım 2001–Şubat 2002 periyotları için 4. derece yüzey, Kasım 2000–Şubat 2001–Mayıs 2001 ve Mayıs 2001–Ağustos 2001–Kasım 2001 periyotları için 5. derece yüzey anlamlı bulunmuş ve bu hareket yüzeyleri Şekil 3-6’da verilmiştir.

Polinom Katsayıları			Model Hipotezi			Geniştirilmiş Modelin Testi			Katsayılar İçin Karar
			T	q	Karar	Tg	qg	Model İçin Karar	
1	q00	0.00003	1.001	1.810	Geçerli	186.18	43.88	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
2	q10	0.04552	1.001	1.810	Geçerli	44.16	11.98	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
3	q01	-0.16382	1.001	1.810	Geçerli	58.46	7.16	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
4	q20	-0.68661	1.001	1.810	Geçerli	19.84	5.37	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
5	q11	-0.28467	1.001	1.810	Geçerli	15.11	4.55	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
6	q02	0.56056	1.001	1.810	Geçerli	17.20	3.90	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
7	q30	-0.34762	1.001	1.810	Geçerli	6.862	3.53	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
8	q21	0.09018	1.001	1.810	Geçerli	7.511	3.27	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
9	q12	0.05923	1.001	1.810	Geçerli	8.399	3.07	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
10	q03	-0.13241	1.001	1.810	Geçerli	9.301	2.92	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
11	q40	-0.11153	1.001	1.810	Geçerli	8.215	2.81	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
12	q31	0.00547	1.001	1.810	Geçerli	7.226	2.71	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
13	q22	0.04299	1.001	1.810	Geçerli	6.555	2.63	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
14	q13	-0.06344	1.001	1.810	Geçerli	5.736	2.56	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
15	q04	0.06382	1.001	1.810	Geçerli	5.327	2.51	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
16	q50	-0.05296	1.001	1.810	Geçerli	4.662	2.47	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
17	q41	0.01858	1.001	1.810	Geçerli	3.900	2.30	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
18	q32	-0.00187	1.001	1.810	Geçerli	2.997	2.26	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
19	q23	-0.00586	1.001	1.810	Geçerli	2.664	2.22	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
20	q14	0.00958	1.001	1.810	Geçerli	1.997	2.08	Model Geniştirilemez	Anlamsız

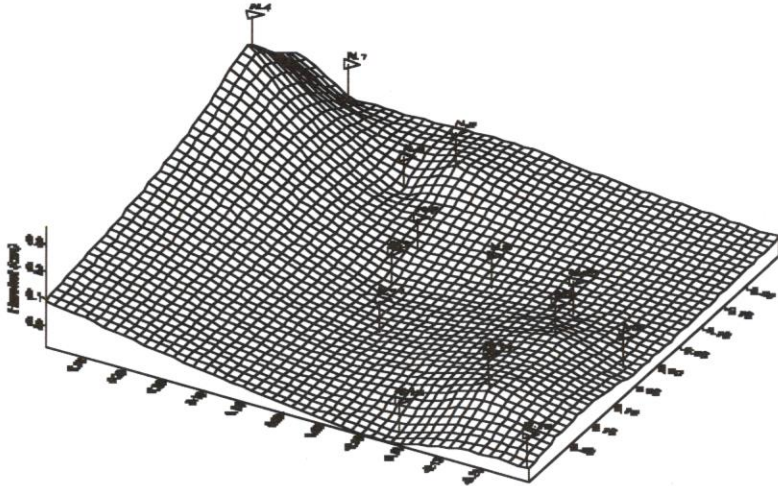
Tablo 1. Kasım 2000 – Şubat 2001 – Mayıs 2001 periyodunda dinamik yüzey modeli le hesaplanan hareket yüzeyi katsayıları ve istatistik test sonuçları



Şekil 4. Kasım 2000 – Şubat 2001 – Mayıs 2001 periyodunda bölgenin dinamik hareket yüzeyi

Polinom Katsayıları			Model Hipotezi			Geniştirilmiş Modelin Testi			Katsayılar İçin Karar
			T	q	Karar	Tg	qg	Model İçin Karar	
1	q00	-0.00002	1.001	1.810	Geçerli	51.66	43.88	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
2	q10	-1.23647	1.014	1.810	Geçerli	11.44	4.63	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
3	q01	-0.62174	1.015	1.810	Geçerli	10.24	3.86	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
4	q20	-1.35126	1.026	1.810	Geçerli	9.06	3.41	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
5	q11	0.05744	1.026	1.810	Geçerli	8.99	3.12	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
6	q02	1.04428	1.042	1.810	Geçerli	8.82	2.92	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
7	q30	-0.68216	1.044	1.810	Geçerli	7.06	2.76	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
8	q21	0.22628	1.044	1.810	Geçerli	6.26	2.64	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
9	q12	-0.06592	1.044	1.810	Geçerli	6.09	2.55	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
10	q03	0.07001	1.044	1.810	Geçerli	5.29	2.47	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
11	q40	-0.21811	1.044	1.810	Geçerli	4.22	2.40	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
12	q31	0.06485	1.045	1.810	Geçerli	4.19	2.34	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
13	q22	0.01876	1.045	1.810	Geçerli	3.31	2.30	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
14	q13	-0.06652	1.045	1.810	Geçerli	2.43	2.25	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
15	q04	0.11335	1.044	1.810	Geçerli	2.31	2.22	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
16	q50	0.11335	1.044	1.810	Geçerli	2.10	2.18	Model Geniştirilemez	Anlamsız

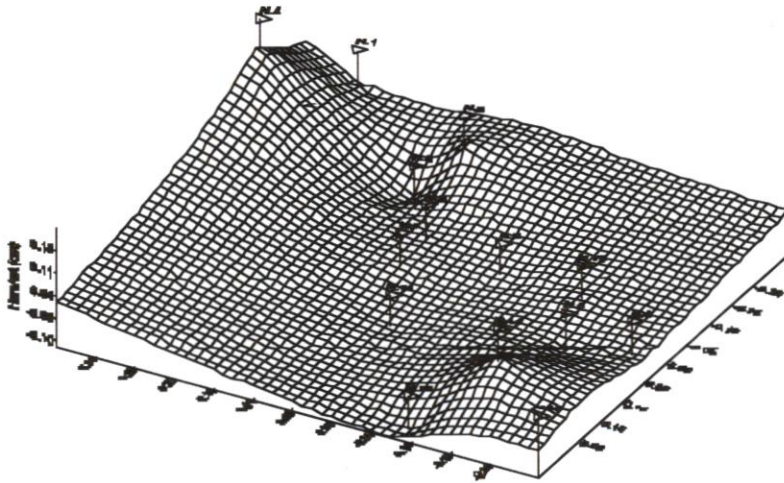
Tablo 2. Şubat 2001 – Mayıs 2001 – Ağustos 2001 periyodunda dinamik yüzey modeli ile hesaplanan hareket yüzeyi katsayıları ve istatistik test sonuçları



Şekil 5. Şubat 2001 – Mayıs 2001 – Ağustos 2001 periyodunda bölgenin dinamik hareket yüzeyi

Polinom Katsayıları			Model Hipotezi			Geniştirilmiş Modelin Testi			Katsayılar İçin Karar
			T	q	Karar	Tg	qg	Model İçin Karar	
1	q00	-0.00001	1.001	1.816	Geçerli	51.43	43.88	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
2	q10	-0.25192	1.008	1.816	Geçerli	27.20	11.98	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
3	q01	-0.83129	1.003	1.816	Geçerli	21.62	7.16	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
4	q20	-2.33160	1.008	1.816	Geçerli	17.19	3.41	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
5	q11	0.36047	1.014	1.816	Geçerli	15.13	3.12	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
6	q02	1.64248	1.035	1.816	Geçerli	14.37	2.92	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
7	q30	-1.09792	1.035	1.816	Geçerli	13.02	2.76	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
8	q21	0.14913	1.037	1.816	Geçerli	10.65	2.64	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
9	q12	0.24940	1.042	1.816	Geçerli	9.34	2.55	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
10	q03	-0.33812	1.035	1.816	Geçerli	8.76	2.47	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
11	q40	-0.37423	1.035	1.816	Geçerli	7.25	2.40	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
12	q31	0.11790	1.035	1.816	Geçerli	6.74	2.34	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
13	q22	0.02445	1.036	1.816	Geçerli	5.08	2.30	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
14	q13	-0.10381	1.036	1.816	Geçerli	4.33	2.25	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
15	q04	0.17940	1.039	1.816	Geçerli	3.99	2.22	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
16	q50	-0.15612	1.038	1.816	Geçerli	3.22	2.18	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
17	q41	0.04841	1.035	1.816	Geçerli	2.31	2.15	Model Geniştirilebilir	Anlamlı
18	q32	-0.21814	1.040	1.816	Geçerli	1.85	2.13	Model Geniştirilemez	Anlamsız

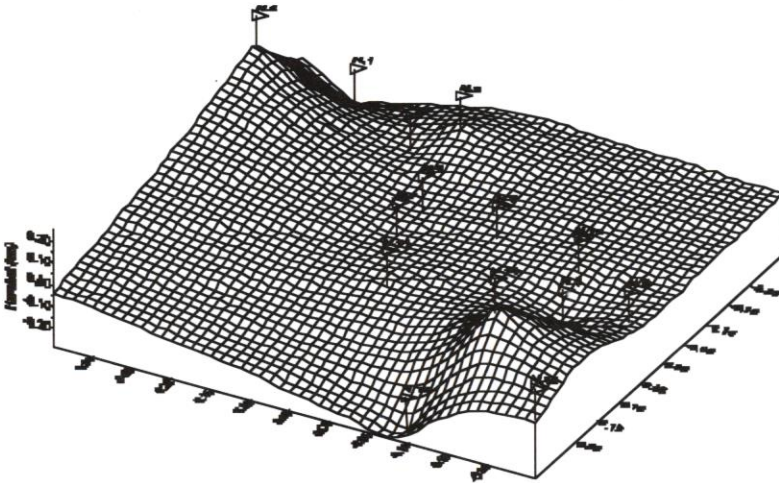
Tablo 3. Mayıs 2001 – Ağustos 2001 – Kasım 2001 periyodunda dinamik yüzey modeli ile hesaplanan hareket yüzeyi katsayıları ve istatistik test sonuçları



Şekil 6. Mayıs 2001 – Ağustos 2001 – Kasım 2001 periyodunda bölgenin dinamik hareket yüzeyi

Polinom Katsayıları			Model Hipotezi			Genişletilmiş Modelin Testi			Katsayılar İçin Karar
			T	q	Karar	Tg	qg	Model İçin Karar	
1	q00	0.00003	1.001	1.810	Geçerli	48.72	43.88	Model Genişletilebilir	Anlamlı
2	q10	0.46109	1.002	1.810	Geçerli	16.44	11.98	Model Genişletilebilir	Anlamlı
3	q01	-0.14301	1.001	1.810	Geçerli	14.66	7.16	Model Genişletilebilir	Anlamlı
4	q20	-0.03493	1.001	1.810	Geçerli	10.25	5.37	Model Genişletilebilir	Anlamlı
5	q11	1.02942	1.003	1.810	Geçerli	9.33	4.55	Model Genişletilebilir	Anlamlı
6	q02	-2.78429	1.011	1.810	Geçerli	8.63	3.90	Model Genişletilebilir	Anlamlı
7	q30	0.30804	1.011	1.810	Geçerli	7.62	3.53	Model Genişletilebilir	Anlamlı
8	q21	0.12776	1.011	1.810	Geçerli	6.85	3.27	Model Genişletilebilir	Anlamlı
9	q12	-0.24350	1.011	1.810	Geçerli	6.03	3.07	Model Genişletilebilir	Anlamlı
10	q03	0.16437	1.011	1.810	Geçerli	5.70	2.92	Model Genişletilebilir	Anlamlı
11	q40	0.08637	1.012	1.810	Geçerli	4.77	2.81	Model Genişletilebilir	Anlamlı
12	q31	0.00813	1.011	1.810	Geçerli	4.55	2.71	Model Genişletilebilir	Anlamlı
13	q22	-0.07434	1.011	1.810	Geçerli	3.59	2.63	Model Genişletilebilir	Anlamlı
14	q13	0.12681	1.011	1.810	Geçerli	2.97	2.56	Model Genişletilebilir	Anlamlı
15	q04	-0.21263	1.011	1.810	Geçerli	2.76	2.51	Model Genişletilebilir	Anlamlı
16	q50	0.65214	1.012	1.810	Geçerli	1.94	2.47	Model Genişletilemez	Anlamsız

Tablo 4. Ağustos 2001 – Kasım 2001 – Şubat 2002 periyodunda dinamik yüzey modeli ile hesaplanan hareket yüzeyi katsayıları ve istatistik test sonuçları



Şekil 7. Ağustos 2001 – Kasım 2001 – Şubat 2002 periyodunda bölgenin dinamik hareket yüzeyi

SONUÇLAR

Heyelanlar üç boyutlu, zamana ve konuma bağlı olarak oluşan kompleks dinamik bir sistemlerdir. Heyelanlar ve etkiyen kuvvetler arasındaki ilişki, zamana ve çalışılan alanın çevresel özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle araştırmada, deformasyonun seyri ve şiddetini anlayabilmek için kompleks bir model olan dinamik yüzey modeli seçilmiştir. Dinamik yüzey modeliyle hareketlerin belirlenebilmesinde farklı disiplinlerin birlikte çalışması gerekmiştir. Bu bağlamda araştırmada, jeodezik, jeolojik, jeofizik ve meteorolojik çalışmalar yapılarak, heyelan için hareketin nedenini de içeren bir dinamik yüzey modeli oluşturulmuş ve hareketler bu modelle belirlenmiştir.

Dinamik yüzey modelinden, en uygun hareket yüzeyini belirlerken yer altı suyu seviye değişimleri lineer olarak kabul edilmiştir. Yüzey katsayılarının adım adım hesaplandığı modellerden hesaplanan yer altı suyu değişim katsayıları her defasında istatistik olarak anlamlı bulunmuşlardır. Böylece bölge için en uygun hareket yüzeyi, hareketin nedeni de dikkate alınarak daha gerçekçi olarak belirlenmiş oldu. Dinamik yüzey modelinden belirlenen fiziksel bir etki olan yer altı suyu parametresi, hareketlerin yorumlanmasında katkı sağlamış ve böylece daha uygun kararlar verilebilmiştir. Hareket davranışlarının dinamik etki altındaki zamansal seyrinin yorumlanması bu parametrelere dayanılarak yapılabilmektedir. Sonuç olarak, hareketin nedeninin de dikkate alındığı dinamik modellerle, hareketlerin yorumlanmasının daha gerçekçi yapılabileceği söylenebilir. Modelin ölçülmemiş her hangi bir noktanın dinamik hareketini extrapolasyonla belirleme algoritmasını içermesi bölgede oluşan hareketlerin bir bütün olarak görsel bir şekilde izlenebilmesini sağlamıştır. Şekillerden, dinamik yüzey modeli sonuçlarının heyelan morfolojisine uygun olduğu görülmüştür. Yani diğer bir deyişle dinamik yüzey modeliyle hareket yüzeylerinin, etkiyen kuvvet altındaki periyodik değişimleri gerçeğe daha uygun bir şekilde belirlenebilmiştir. Dinamik modelin bu üstünlüklerinin yanı sıra modelin oluşturulmasında, farklı disiplinlerin birlikte çalışmasındaki güçlükler, matematik modelin karmaşıklığı ve ekonomik olmaması modelin olumsuz yanları olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Asch, W.J, Buma, J. Van Beek, L.P.H., 1999, A View on Some Hydrological Triggering Systems in Landslides, *Geomorphology*, 30, 25-35.
- Chrzanowski, A., Chen, Y., Romero, P., Secord, J. M., 1986, Integration of geodetic and geotechnical deformation measurements in the geosciences, *Tectonophysics* 130, 369-383.
- Deangeli, C., Giani, G. P, 2001, Analysis of Debris Flows Triggered by Rainfalls in Northern Italy, ISSMGE TC-11 (Landslides) Proceedings of Conference on Transition from Slide to Flow – Mechanisms and Remedial Measures, Trabzon, CD, 15-16.
- Flageollet, J. C., Maquaire, O., Martin, B., Weber, D., 1999, Landslides and Climatic Conditions in The Barcelonnette and Vars Basins (Southern French Alps, France), *Geomorphology*, 30, 65-78.
- Holdahl, S. H, Hardy, L. R., 1979, Solvability and Multiquadric Analysis as Applied to Investigations of Vertical Crustal Movements, Australia, Proceedings of the IUGG Interdisciplinary Symposium, Recent Crustal Movements.
- Koch, K.-R., 1999, Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models, Springer-Verlag Berlin.
- Liu, Q., 1998, Time-Dependent Models of Vertical Crustal Deformation from GPS-Leveling Data, Surveying and Land Information Systems, Vol. 58, No.1, pp. 5-12.
- Niemeier, W., 1976, Ansätze zur Interpretation der Ergebnisse Geodatischer Deformationsmessungen, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermesungswesen der Universität Hannover, 76, 36-63.
- Ocakoglu, F., Gökceoglu, C., Ercanoğlu, M., 2002, Dynamics of a Complex Mass Movements Triggered by Heavy Rainfall: A Case Study from NW Turkey, *Geomorphology*, 42, 329-341.
- Önalp, A., 1983, İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, K.T.Ü. Basımevi, Cilt 2, Trabzon.
- Önalp, A., 1991, Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanları – Nedenleri, Analizi ve Kontrolü, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 85-95.
- Pelzer, H., 1987, Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungsmodelle, AVN, 94, 2, 49-62.
- Tarhan, F., 1996, Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
- Vanicek, P., Elliott, R., Castle, O. R., 1979, 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.
- Welsch, W., 1985, Kinematische Netzbetrachtung, Vorträge des Kontaktstudiums, Geodatische Netze in Landes Und Ingenieurvermessung, Hannover, 751-779.
- Yalçinkaya (Ünver), M., 1994, Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model İle Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yanıçoğlu, O., 1986, Kalibrasyon Bazı Dengelemesinde Fonksiyonel Model Testi, *Harita Dergisi*, 97, 31-47.
- Yaşayan, R. Y., 1994, Bütünleşik Ağların Dengelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Zezere, J. L., Ferreira, A. B., Rodrigues, M. L., 1999/1, Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering Factors, *Phys. Chem. Earth (A)*, Vol 24, No. 10, 925-934.
- Zezere, J. L., Ferreira, A. B., Rodrigues, M. L., 1999/2, The Role of Conditioning and Triggering Factors in the Occurrence of Landslides: A Case Study in the Area North of Lisbon (Portugal), *Geomorphology*, 30, 133-146.
- Zippelt, K., 1998, Modelbildung, Berechnungsstrategie und Beurteilung von Vertikalbewegungen unter Verwendung von Präzisionsnivelements, *DGK Reihe C*, 343, 3-153.