

GÜNCEL YERKABUĞU HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİ

Mualla (ÜNVER) YALÇINKAYA

ÖZET

Güncel yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi, jeodezicilerin karşılaştıkları en önemli problemlerden biri olarak düşünülür. Bu durum, deformasyon ağları kontrol noktaları konum verilerinin mühendislik yapıları gibi tüm insan yapılarının güvenliği ve insan hayatı üzerine olan etkisinden kaynaklanır. Güncel kabuk hareketleri yavaştır ve belirlenmesi zordur. Hareketlerin direkt ölçülmesi ve kısa sürelerde değişimlerin irdelenmesi, karşılaştırılacak referans sistemlerinin farklılığından ve hareketlerin yavaşlığından dolayı normalde olanaksızdır. Bundan dolayı bağıl kabuk hareketleri, periyodik ölçülerle belirlenir. Güncel yerkabuğu hareketlerinin jeodezik olarak belirlenmesi için üç ana model bulunmaktadır. Bunlar, Statik Model, Kinematik Model ve Dinamik Modeldir. Bu çalışmada, güncel yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesinde kullanılması gereken **en uygun statik ve kinematik hareket modelleri** sunulacaktır. Sözü geçen modellerin hesaplanmasında izlenmesi gereken **en uygun hesap yöntemleri** de açıklanacaktır.

ABSTRACT

Determination of Recent Earth's Crustal Movements : *Determination of recent earth's crustal movements is considered to be one of the most important problems facing geodesists. This is due to its effect on the coordinates of control points of the deformation networks and its effect on the human life and on the safety of all man – made engineering structures. The recent crustal movements are slow and difficult to determine. The direct measurements of the movements and recognizing the displacements in short time periods are normally impossible because of the slowness of movements and of different reference systems for comparison. Therefore, relative crustal movements are determined with periodic measurements. To determine recent crustal movements geodetically, there are three deformation models. They are static model kinematic model and dynamic models. In this investigation, **the most appropriate Static and Kinematic movement models** which are used to determine recent crustal movements are explained. In addition; in these models calculation **the most appropriate calculation methods** which are had to fallow are described.*

1. GİRİŞ

Jeodezik ağ yöntemiyle güncel yerkabuğu hareketlerini belirlemek için önce, araştırma yapılan bölge ve çevresinde jeolojik çalışma yapılarak belirlenen sağlam zeminleri de kapsayan bir yerel jeodezik deformasyon ağı kurulur. Ağda farklı periyotlarda ölçüler yapılır. Her periyotdaki ölçüler, kaba hatalı ölçüler ayıklandıktan sonra ayrı ayrı dengelenerek nokta koordinatları hesaplanır /2/. Dengeli koordinatlar çeşitli deformasyon modellerinde veri olarak kullanılarak, bölgede oluşan hareketler belirlenir.

Güncel yerkabuğu hareketlerinin jeodezik olarak belirlenmesi için üç ana model bulunmaktadır. Birinci model, “zamanlar arasında hareket yoktur“ şeklinde sıfır hipotezi kurularak oluşturulan Statik Modeldir. İkinci model, “tüm noktalarda doğrusal ya da ivmesel

hareket vardır“ şeklinde sıfır hipotezi kurularak oluşturulan Kinematik Modeldir. Kinematik modeller, zamana bağlı olarak yalnızca nokta hareketlerinin belirlendiği Kinematik Tek Nokta Modelleri; zamana ve konuma bağlı olarak hareket yüzeylerinin belirlendiği Kinematik Yüzey Modelleri olarak adlandırılır. Üçüncü model de hareketin nedenini de içeren Dinamik Model dir.

Bu çalışmada, güncel yerkağı hareketlerinin belirlenmesinde kullanılan deformasyon modellerinin uygulamalı olarak incelenmesi sonucunda karar verilen kullanılması en uygun statik ve kinematik modeller ile en uygun hesaplama tekniğı açıklanmaktadır. Böylece herhangi bir bölgede güncel yerkağı hareketi belirlemek isteyen uygulayıcıya yararlı olunması amaçlanmıştır.

Güncel yerkağı hareketlerinin belirlenmesinde, statik modellerin incelenmesi sonucu uygulanması en uygun olduğuna karar verilen statik model, F-dağılımına göre hesaplanan θ^2 -Ölçütü ile hareketlerin belirlenmesi modelidir. Deformasyon bölgesi hakkında genel bilgi elde etmek için önce θ^2 -Ölçütü ile nokta hareketleri belirlenmelidir. Daha sonra noktalarda anlamlı düzeyde hareket olması durumunda hareket parametrelerini (konum, hız, ivme), zamana bağlı fonksiyonlarla belirleyen Kinematik Model uygulanır. Kinematik modellerin irdelenmesi sonucu nokta hareketlerinin belirlenmesinde en uygun kinematik modelin, hareket parametrelerini adım adım belirleyen Hannover Yaklaşımı olarak adlandırılan modeldir. Bu modelin hesaplanmasında da kullanılması gereken en uygun hesaplama yöntemi, Kalman-Filtreleme yöntemidir. Böylece noktaların hareket parametreleri de belirlenmiş olur.

Bölgede oluşan hareket bir yüzey fonksiyonundan hesaplanarak geçen zaman içinde oluşan hareketinin yüzeyi çizilebilir. Hareket yüzeyini belirlemek için kullanılması en uygun olduğuna karar verilen model, kinematik model ile hesaplanan nokta hızları kullanılarak hareket yüzeyinin belirlendiği Kollokasyon modelidir. Sayısal uygulamada, Sultanhisar-Yenipazar bölgesinde kurulmuş olan Deformasyon ağında 1978 den 1985'e kadar yapılmış duyarlı nivelman ölçüleri değerlendirilmiştir. Önce θ^2 -Ölçütü ile noktaların statik hareketleri belirlenmiştir. Sonra Kinematik Tek Nokta Modeli, Kalman-Filtreleme Yöntemiyle çözümlenerek kinematik tek nokta hareketleri hesaplanmıştır. Daha sonra da Kollokasyon Yüzey Modeli ile bölgenin hareket yüzeyleri hesaplanmıştır ve çizilmiştir.

2. STATİK MODEL (θ^2 - ÖLÇÜTÜ) İLE HAREKETİN BELİRLENMESİ

Bu yöntemde, ağ noktalarının değişik zamanlarda hesaplanmış olan nokta koordinatlarının oluşturduğu kümelerinin eşdeğerlilik testi ile eşdeğer olup olmadıkları araştırılır. Test sonunda hareket varsa hareketli noktalar belirlenir. İki periyotta yapılmış ölçülerin topluca değerlendirilmesinin matematik modeli aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$K_{LL} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 \\ 0 & Q_{22} \end{bmatrix}$$

l_1 ve l_2	: t_1 ve t_2 zamanında yapılan ölçü vektörleri
v_1 ve v_2	: t_1 ve t_2 zamanındaki düzeltme vektörleri
A_1 ve A_2	: t_1 ve t_2 zamanındaki katsayılar matrisleri
x_1 ve x_2	: t_1 ve t_2 zamanındaki bilinmeyen vektörleri
Q_{11} ve Q_{22}	: t_1 ve t_2 zamanındaki ters ağırlık matrisleri
K_{LL}	: varyans-kovaryans matrisi
σ_0	: birim ölçünün kuramsal ortalama hatası

Her iki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını belirlemek için, periyotlardan elde edilen dengeli koordinatların gerçek değerlerinin eşit oldukları varsayılarak eşdeğerlik testi için hipotez testleri kurulur /1,3,8,21/. H_0 hipotezi,

$$H_0 : x_2 - x_1 = 0 \quad (2.2)$$

$$H_0 : \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = 0$$

$$H_0 : B X + W = 0 \quad (2.3)$$

Biçiminde bir doğrusal hipotezdir. Bu hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi, fark vektörü (d),

$$d = x_2 - x_1$$

ve her periyotun ayrı ayrı serbest dengelenmesinde, singüler matris olan normal denklem matrislerinin tersi Moore-Penrose tersi ()⁺ ile alınarak bulunan Q_{11} ve Q_{22} matrislerinin toplamından hesaplanan d vektörünün ters ağırlık matrisi (Q_{dd})

$$Q_{dd} = Q_{11} + Q_{22} = (A_1^T P_1 A_1)^+ + (A_2^T P_2 A_2)^+ \quad (2.4)$$

değerleri yardımıyla θ^2 – Ölçütü,

$$\theta^2 = d^T Q_{dd}^+ d \quad (2.5)$$

bağıntısından hesaplanır. Q_{dd} nin rangı,

$$h = \text{rang}(Q_{11} + Q_{22}) \quad (2.6)$$

eşitliğinden hesaplanır. Ağın geometrik şeklinin ve datum parametrelerinin her iki ölçme periyodunda da aynı kaldığı durumlarda

$$h = \text{rang}(Q_{11}) = \text{rang}(Q_{22}) = u_k - d \quad (2.7)$$

u_k : Ağdaki koordinat bilinmeyenlerinin sayısı

d : Ağın datum parametreleri sayısı

olur. Birim ölçünün kuramsal varyansının kestirim değeri s_0^2 , aşağıdaki eşitlikten elde edilir.

$$s_0^2 = \frac{v_1^T p_1 v_1 + v_2^T p_2 v_2}{f_1 + f_2} \quad (2.8)$$

$$f_i = n_i - u_i + d \quad i = 1, 2 \quad (2.9)$$

f_i : i. Periyodun serbestlik derecesi
 n_i : i. Periyotdaki ölçü sayısı
 u_i : i. Periyotdaki bilinmeyen sayısı
 d : ağın datum parametresi dir.

Eşdeğerlilik testinin test büyüklüğü T değeri, (2.7) eşitliğinden hesaplanan payın serbestlik derecesi h, (2.9) eşitliğinden hesaplanan f_i değerlerinin toplamından bulunan paydanın serbestlik derecesi $f=f_1+f_2$ ve α yanılma olasılığıyla hesaplanan $(1-\alpha)$ istatistik güven olmak üzere F-tablosundan alınan değer ile karşılaştırılır.

$$T = \frac{d^T Q_{dd}^+ d}{s_0^2 h} > F_{h, f; 1-\alpha} \quad (2.10)$$

ise ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu sonucuna varılır /5,13,28/. Ağda deformasyon oluşan noktaları tek tek belirlemek için d_F , sabit kabul edilen noktalar, d_B ise deformasyon kuşkusu olan noktalar için fark vektörleri olmak üzere fark vektörü d ve ağırlık matrisi Q_{dd}^+ ,

$$d = \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$Q_{dd}^+ = P_{dd} = \begin{bmatrix} P_{FF} & P_{FB} \\ P_{BF} & P_{BB} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. Bu alt matrisler, Gauss yöntemi ile indirgenerek;

$$\bar{d}_B = d_B - P_{BB}^{-1} P_{BF} d_F \quad (2.13)$$

$$\bar{P}_{FF} = P_{FF} - P_{FB} P_{BB}^{-1} P_{BF}$$

kısa gösterimleri ile θ^2 - ölçütü ,

$$\theta^2 = d^T P_{dd} d = d_F^T \bar{P}_{FF} d_F + \bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B \quad (2.14)$$

biçiminde stokastik yönden iki bağımsız bileşene ayrılır. İlk adımda ağın her noktası hareketsiz kabul edilerek F vektöründe toplanır; sonra her nokta tek tek deformasyon kuşkusu bulunan B vektörüne indirilerek her yeni adımda başka bir noktanın koordinat farkı ile θ^2 -ölçütü hesaplanır /5,6,11/.

$$\theta_i^2 = (\bar{d}_B^T P_{BB} \bar{d}_B)_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (n = \text{nokta sayısı}) \quad (2.15)$$

Bunlardan toplam aykırılık θ^2 deki payı en büyük olan

$$(\theta^2)_{\max} = \max (\theta_i^2) \quad (2.16)$$

noktada, $S=1-\alpha$ kadar bir istatistik güvenle deformasyon oluştuğuna karar verilir. Ağda deformasyon oluşan başka noktaları araştırmak için koordinat farkları vektörü d ve bunun ters ağırlık matrisi Q_{dd} ye bir S -dönüşümü ile geriye kalan $(n-1)$ noktadan yararlanarak yeni bir dönüşüm yapılır. G , dönüşümün ortogonal ($G^T G=I$) özellikli katsayılar matrisi olmak üzere,

$$S_i = I - G (G G^T)^{-1} G^T$$

$$d_i = S_i d \quad (2.17)$$

$$Q_{didi} = S_i Q_{dd} S_i^T$$

biçiminde dönüşüm yapılır /21/. Bu i . dönüşümden sonra fark vektörü,

$$d_i = \begin{bmatrix} d_D \\ d_H \end{bmatrix} = S_i \begin{bmatrix} d_F \\ d_B \end{bmatrix} = S_i d \quad (2.18)$$

Dönüşüme katılan noktalardan oluşan fark vektörü d_D den yararlanarak (2.15) eşitliğinden tekrar bir θ^2 -ölçütü hesaplanır. Bu ölçütten hesaplanacak test büyüklüğü, F-Tablo değeri ile karşılaştırılarak deformasyon oluşan başka noktaların varlığı araştırılır. Deformasyon varsa aynı işlemlere deformasyon oluşan başka nokta kalmayınca kadar devam edilir. İşlem tamamlandığında hareketsiz kalan noktalar P_D , hareket ettiği kanıtlanan noktalar P_H ve hareket büyüklükleri d_H elde edilir /19,20/.

3. KİNEMATİK MODEL İLE HAREKETLERİN BELİRLENMESİ

Kinematik modeller, hareketi zamana bağlı fonksiyonlarla belirlerler. Kinematik modeller, noktaların hareket parametrelerinin belirlendiği "Kinematik Tek Nokta Modelleri" ve yüzey fonksiyonu ile hareket yüzeyinin belirlendiği "Kinematik Yüzey Modelleri" diye sınıflandırılabilirler. Bu çalışmada, yer kabuğu hareketlerinin kinematik modelle belirlenmesinde, en uygun kinematik tek nokta modeli ve bu modelin en uygun çözüm yöntemi ile en uygun kinematik yüzey modeli açıklanmaktadır.

a. Kinematik Tek Nokta Modeli

Kinematik tek nokta modelinde, ağdaki her noktanın hareketinin büyüklüğü, hızı ve ivmesi belirlenmektedir. Bu büyüklükler, zamana bağlı bir fonksiyonla hesaplanır. Ağdaki noktaların tek tek kinematik hareketlerinin belirlenmesi için çeşitli kinematik tek nokta modelleri vardır. Bu bölümde, araştırmalar sonucu, kinematik modelle hareketlerin belirlenmesi için en uygun model olduğuna karar verilen ve literatürde HANNOVER Yaklaşımı ismiyle bilinen modelin, en uygun çözüm yöntemi olduğuna karar verilen Kalman-Filtreleme yöntemi ile çözümü açıklanacaktır. Kinematik hareket modeli (3.1) eşitliğinde gösterildiği gibidir.

$$x_{k+1} = x_k + a (t_{k+1} - t_k) + \frac{1}{2} b (t_{k+1} - t_k)^2 \quad (3.1)$$

x_{k+1} : t_{k+1} zamanındaki koordinat vektörü
 x_k : t_k zamanındaki koordinat vektörü
 a : t_k zamanındaki hız vektörü
 b : t_k zamanındaki ivme vektörü

(3.1) eşitliğinde görüldüğü gibi t_{k+1} zamanındaki koordinatlar, t_k zamanındaki kinematik hareket parametrelerinden hesaplanmaktadır /12/, /21/, /29/. Hannover yaklaşımında hareket parametreleri, genel modelin (3.1), adım adım çözümüyle hesaplanır. Birinci Adımda statik model (3.2) gibi kurulur ve hesaplama yapılır.

Adım 1 : statik model

$$x_{k+1} = x_k \quad (3.2)$$

Hesaplama sonucunda bulunan ortalama hata m_0 ve (2.8) eşitliğinden hesaplanan ortalama hata s_0 ile hesaplanan test büyüklüğü T değeri; f , payın serbestlik derecesi f_s , paydanın serbestlik derecesi olmak üzere $(1-\alpha)$ istatistik güvenle F-tablosundan alınan değer ile karşılaştırılır.

$$T = \frac{s_0^2}{m_0^2} > F_{f, f_s; 1-\alpha} \quad (3.2a)$$

ise model hız parametresi ile genişletilerek ikinci adıma geçilir.

Adım 2 : Doğrusal model

$$x_{k+1} = x_k + a (t_{k+1} - t_k) \quad (3.3)$$

Doğrusal modelin sonucunda global test yapılır. Sonra genişletilmiş kısımdan ortalama hata m_g hesaplanır. m_g ve s_0 dan yararlanarak genişletilmiş kısmın hesaplanan test büyüklüğü T_g değeri, f , payın serbestlik derecesi f_g , paydanın serbestlik derecesi olmak üzere $(1-\alpha)$ istatistik güvenle F-tablosundan alınan değer ile karşılaştırılır /15/.

$$T_g = \frac{s_0^2}{m_g^2} > F_{f, f_g; 1-\alpha} \quad (3.3a)$$

ise model ivme parametresi ile genişletilerek üçüncü adıma geçilir.

Adım 3 : Karesel model

$$x_{k+1} = x_k + a (t_{k+1} - t_k) + \frac{1}{2} b (t_{k+1} - t_k)^2 \quad (3.4)$$

Karesel modelin de aynı şekilde istatistiksel olarak test edilmesi sonucu hareket modeline karar verilir ve anlamlı hareket parametreleri hesaplanmış olunur /16,18,22/.

(3.1) eşitliğinde verilen en genel kinematik model ile her nokta için ayrı ayrı konum, hız ve ivme bilinmeyenlerini aynı anda dengelemeli olarak hesaplayabilmek için çok sayıda periyotta hesaplanmış dengeli koordinatlara ihtiyaç vardır. Daha az periyotla hareket parametrelerini belirlemek için hesaplamalar, Kalman-Filtreleme yöntemi ile yapılmalıdır.

(1) Kalman-Filtreleme Yöntemi ile Çözüm

Kalman-Filtreleme yöntemi ile Doğrusal Modelin çözümü için iki zamandaki nokta koordinatları yeterlidir. Karesel model de ise üç zamandaki nokta koordinatları yeterlidir. Kalman-Filtreleme Yönteminin bilinen diğer yöntemlerden farkı ve olumlu yanı düzgün ve düzgün olmayan hareketlerin belirlenebilmesidir. Ayrıca az sayıda ölçme periyodu ile hesaplama yapılabilmekte ve sonuçlar da statik yöntem sonuçları ile uyuşmaktadır /10,14,17,24,29/. En genel kinematik modelin zamana göre birinci türevi t_{k+1} zamanındaki hızı, ikinci türevi de ivmeyi vermektedir. Buna göre fonksiyonel model ,

$$\bar{y}_{k+1} = \begin{bmatrix} x_{k+1} \\ a_{k+1} \\ b_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & I(t_{k+1} - t_k) & I \frac{1}{2}(t_{k+1} - t_k)^2 \\ 0 & I & I(t_{k+1} - t_k) \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ a_k \\ b_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I \frac{1}{2}(t_{k+1} - t_k)^2 \\ I(t_{k+1} - t_k) \\ I \end{bmatrix} \xi_k \quad (3.5)$$

$$\bar{y}_{k+1} = T_{k+1,k} \hat{y}_k + S_{k+1,k} \xi_k$$

T : prediksyon, yeni durumu elde etme matrisi,

\bar{y}_{k+1} : t_{k+1} zamanında prediksyonla bulunan durum vektörü,

\hat{y}_k : t_k zamanındaki durum vektörü,

$S_{k+1,k}$: gürültü matrisi,

ξ_k : bozucu etkilerin ivme vektörü dür.

ve stokastik model,

$$C_{\bar{y}\bar{y},k+1} = T_{k+1,k} C_{\hat{y}\hat{y},k} T_{k+1,k}^T + S_{k+1,k} C_{\xi\xi,k} S_{k+1,k}^T \quad (3.6)$$

$C_{\hat{y}\hat{y},k}$: t_k zamanındaki durum vektörünün varyans-kovaryans matrisi

$C_{\xi\xi,k}$: t_k zamanındaki bozucu etkilerin varyans-kovaryans matrisi

Bozucu etkilerin varyans-kovaryans matrisi daha önceki deneylere dayalı olarak türetilir.

$$C_{bb} = S_{k+1} Q_{\xi\xi,k} S_{k+1}^T \quad (3.7)$$

Bağıntısından bozucu matris S_{k+1} yardımıyla,

$$C_{\xi\xi,k} = 4(t_{k+1} - t_k)^{-4} C_{bb} \quad (3.8)$$

elde edilir. Burada C_{bb} , noktaların k zamanındaki koordinatların bozucu bileşenleri için oluşturulan köşegen varyans-kovaryans matrisidir /23,25,26,29/. t_{k+1} zamanındaki gözlemler vektörü (L_{k+1}) den oluşturulacak model, (3.5) eşitliğindeki model ile birleştirirse matematik model aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} \bar{y}_{k+1} \\ L_{k+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{y,k+1}^- \\ v_{l,k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ A_{y,k+1}^- \end{bmatrix} \hat{y}_{k+1} \quad (3.9a)$$

$$C_{\hat{y}\hat{y},k+1} = C_{yy,k+1}^- - K_{k+1} D_{k+1} K_{k+1}^T \quad (3.9b)$$

Buradaki kuvvetlendirme (verstärkungsmatrix) matrisi K,

$$K = Q_{yy,k+1}^- A_y^T D_{k+1}^{-1} \quad (3.10)$$

Yeğnime (genleşme, innovation) matrisi d ve onun ters ağırlık matrisi D,

$$d_{k+1} = L_{k+1} - A_y^- \bar{y}_{k+1} \quad (3.11)$$

$$D_{k+1} = Q_{ll,k+1} + A_{y,k+1}^- Q_{yy,k+1}^- A_{y,k+1}^T$$

matrislerinden yararlanarak t_{k+1} zamanındaki durum vektörü (yükseklik bilinm., hız, ivme),

$$\hat{y}_{k+1} = \bar{y}_{k+1} + K_{k+1} d_{k+1} \quad (3.12)$$

ile hesaplanır. Durum vektörünün prediksyonla bulunan değeri ile ölçü arasındaki fark vektörü d, yardımıyla kalman filtreleme yönteminde kurulan kinematik modelin uyumlu olup olmadığı araştırılır.

$$v_y = \hat{y}_{k+1} - \bar{y}_{k+1} = K_{k+1} d_{k+1} \quad (3.13)$$

$$H_0: E \{ d_{k+1} \} = 0 \quad (3.14)$$

$$T = \frac{d_{k+1}^T D_{k+1}^{-1} d_{k+1}}{n_{k+1} s_o^2} < F_{n_{k+1}, f, 1-\alpha} \quad (3.15)$$

ise dengeleme modeli geçerlidir /4,27,30/.

b. Kinematik Yüzey Modeli ile Hareket Yüzeyinin Belirlenmesi

Kinematik Yüzey modelinde hareket yüzeyi, konuma ve zamana bağlı bir yüzey fonksiyonuyla hesaplanır. Yüzey modellerinde oluşan genelleştirmeden doğacak hataların etkisini azaltmak için yüzey modelleri bir sinyalle genişletilerek kollokasyon yöntemi ile hareket yüzeyi belirlenir. Kinematik tek nokta modeli ile hesaplanan nokta hızları veri olarak kullanılarak kollokasyon modelinin fonksiyonel modeli aşağıdaki gibi oluşturulur /25,28/.

$$v_i = A c_{kl} + s + n \quad (3.16)$$

v_i , nokta hızları; s_i , yerel sapmaları; n_i , yapay gözlemlerin rastgele dağılımlı hızlarıdır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & \cdot & \cdot \\ 1 & x_2 & y_2 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_m & y_m & \cdot & \cdot \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_m \end{bmatrix}, c_{kl} = \begin{bmatrix} c_{00} \\ c_{01} \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{kl} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

x_i, y_i : noktaların yatay koordinatları, c_{kl} , yüzey polinomu katsayılarıdır.

Stokastik model de tek nokta modelinden hesaplanan varyans kovaryans matrisinin hızlara karşılık gelen kısmından oluşan C_{nn} ile sistematik etkilerin (sinyallerin) kovaryans matrisi C_{ss} den oluşmaktadır.

$$C_{nn} = \sigma_0^2 Q_{aa} = \sigma_0^2 Q_{nn} \quad (3.18)$$

$$C_{ss} = \sigma_s^2 Q_{ss} = \sigma_s^2 \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdot & \cdot & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \cdot & \cdot & r_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

σ_0, σ_s , sırasıyla yapay gözlemler ve yerel sapmalar için seçilen kuramsal ortalama hatalardır. r_{ij} kovaryans değerleri, deneylere dayalı olarak elde edilen kovaryans fonksiyonlarından hesaplanır. Örneğin Hirvonen kovaryans değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{1}{1 + \left(\frac{s_{ij}}{s_0}\right)^2} \quad (3.20)$$

s_{ij}, s_0 , değerleri sırasıyla i ve j noktaları arasındaki uzaklık ile ağıdaki ortalama uzaklıktır.

En küçük karelerin minimum olması koşulu,

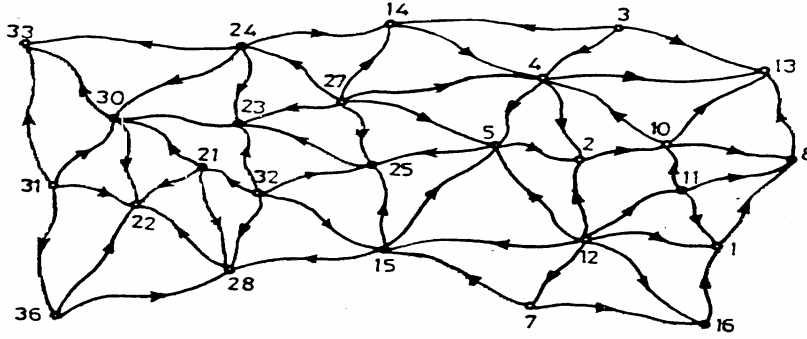
$$s^T Q_{ss}^{-1} s + n^T Q_{nn}^{-1} n \Rightarrow \min. \quad (3.21)$$

sağlanarak çözüm yapıp polinom katsayıları c_{kl} hesaplanır. Böylece bölgenin hareket yüzeyini belirleyen fonksiyon hesaplanmış olur. Bölgede ölçülmemiş herhangi bir noktanın hareketi ekstrapolasyonla hesaplanabilir /9/.

4. SAYISAL UYGULAMA

Uygulamada, Batı Anadolu çanağının (graben) Sultanhisar-Yenipazar bölgesinde MTA çalışanlarınca 2x1 km'lik bir alanda kurulan deformasyon nivelman ağında (Şekil-1), 1978 yılından başlayarak 1985 yılına kadar her yıl yapılan duyarlı nivelman ölçüleri kullanılmıştır. Bu bölge diri fay kuşağı üzerinde bulunmaktadır /31/.

Bölgede, Anadolu plakasının batıya hareketinin, Yunan makaslama zonu boyunca frenlenmesi nedeniyle Doğu-Batı doğrultuda sıkışma olmakta, Kuzey-Güney doğrultuda da bir açılımla karşılanılmaktadır. Bölgede dört grabenleşme evresi bulunmaktadır. Bölgedeki grabenler, bir sıkışma fayını izleyen ve onu dik yönde gelişen çekme gerilmelerine bağlı olarak gelişen faylarla meydana gelmiştir /31/, /32/.



Şekil-1 : Sultanhisar-Yenipazar deformasyon nivelman ağı

Her periyotta yapılan ölçüler, datum birliği sağlamak için aynı yaklaşık koordinatlar kullanılarak ayrı ayrı serbest ağ yöntemiyle dengelenmiş ve noktaların dengeli yükseklikleri hesaplanmıştır. Bu değerler veri olarak kullanılarak bölgede oluşan statik ve kinematik hareketler hesaplanmıştır. Önce her periyot için statik model olan θ^2 -Ölçütü yöntemiyle nokta hareketleri belirlenmiştir. Sonra kinematik model (3.1), Hannover Yaklaşımına göre adım adım hesaplanarak hareket parametreleri belirlenmiştir. Statik model, (3.2a) eşitliğine göre global test edilmiştir. Sonra gerekirse model hız parametresi ile genişletilerek Doğrusal Model (3.3) ile hareket parametresi hesaplanmış ve fonksiyonel modelin genişletilmesinin testi (3.3a)'ya göre yapılarak modeli genişletmenin anlamlı olup olmadığına karar verilmiştir. Anlamlı ise model daha da genişletilerek Karesel Model (3.4) ile çözüm yapılarak aynı testler yapılmıştır. Çeşitli periyotlar için istatistik test sonuçları ve karar verilen hareket modelleri (statik, doğrusal, karesel), Tablo - 1 de toplu olarak gösterilmiştir.

Tablo-1 : Kinematik Tek Nokta Modelinin çeşitli periyotlarda karar verilen hareket modelleri

	1978-79	1978-79-80	1979-80	1979-80-81	1980-81	1980-81-82	1981-82	1981-82-83	1982-83	1983-84	1983-84-85	
Global Test	s_0	3.56	2.86	5.32	1.75	1.77	2.19	7.37	3.51	7.16	2.07	1.99
	m_0	2.86	5.93	1.75	4.23	2.19	3.47	3.51	7.01	1.70	1.99	3.40
	T	1.54	4.29	9.21	5.84	1.53	2.51	4.42	3.99	17.67	1.07	2.92
	q	1.56	1.56	1.56	1.56	1.54	1.56	1.96	1.56	1.56	1.56	1.56
Fonksiyon Modeli Genişletme Testi	s_0	2.86	5.93	1.75	1.75	2.19	2.19	3.51	7.01	1.70	1.99	1.95
	m_0	4.25	2.67	2.50	1.33	3.23	2.18	5.30	6.61	2.19	2.75	2.87
	T_g	2.21	4.93	2.04	1.73	2.17	1.01	2.28	1.12	1.66	1.91	2.16
	q_g	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.96	1.88	1.78	1.88
KARAR	DOĞRUSAL $x_{k+1} = x_k + a \Delta t$		DOĞRUSAL $x_{k+1} = x_k + a \Delta t$		DOĞRUSAL $x_{k+1} = x_k + a \Delta t$		DOĞRUSAL $x_{k+1} = x_k + a \Delta t$		STATİK $x_{k+1} = x_k$		KARESEL $x_{k+1} = x_k + a \Delta t + 1/2b \Delta t^2$	

Her periyot için karar verilen hareket modellerinin çözümü sonucu hareket belirlenen noktalar ve hareket büyüklükleri Tablo (2, 3, 4)'de verilmiştir.

Tablo-2 : 1978-1979 ve 1979-1980 periyotlarında Statik ve Kinematik Modellerle hareket belirlenen noktalar ve hareket parametreleri

1978-1979					1979-1980				
NN	Statik Model	Kinematik Model			NN	Statik Model	Kinematik Model		
	Yük. Bil. Mm	Yük. Bil. mm	Hız mm/yıl	İvme mm/yıl ²		Yük. Bil. mm	Yük. Bil. mm	Hız mm/yıl	İvme mm/yıl ²
1	-22.36	----	----		1	-8.91	----	----	
13	-8.27	-7.22	----		3	4.47	7.00	----	
14	-21.96	-8.93	-18.94		4	----	4.03	----	
15	-13.48	-12.43	-12.15		10	-5.75	----	----	
16	-14.85	-15.15	-16.15	----	13	-2.17	----	----	
25	-5.64	-5.12	----		14	-20.26	-21.91	----	
28	----	3.66	----		15	-7.92	-6.09	-6.65	
32	7.66	4.85	----		16	-3.00	-1.87	-13.62	
36	13.11	16.31	16.32		23	----	5.12	----	
					28	8.77	10.88	6.94	
					31	10.83	----	----	
					32	16.00	----	----	
					33	-17.00	-6.05	----	
					36	17.00	18.15	----	

Tablo-3 : 1980-1981 ve 1981-1982 periyotlarında Statik ve Kinematik Modellerle hareket belirlenen noktalar ve hareket parametreleri

1980-1981					1981-1982				
NN	Statik Model	Kinematik Model			NN	Statik Model	Kinematik Model		
	Yük. Bil. Mm	Yük. Bil. mm	Hız mm/yıl	İvme mm/yıl ²		Yük. Bil. mm	Yük. Bil. mm	Hız mm/yıl	İvme mm/yıl ²
1	-22.36	----	----		3	----	7.55	----	
7	----	4.06	----		5	8.14	----	----	
10	----	-4.72	----		7	----	7.86	----	
11	----	-4.88	----		8	5.96	----	----	
13	-8.27	----	----		10	----	-9.61	----	
14	-21.96	----	----		11	-8.65	-10.95	----	
15	-13.48	----	----		12	8.77	----	----	
16	-14.00	-11.49	-12.45		13	-15.55	-9.18	----	
25	-5.64	-4.81	----		14	----	-7.70	----	
28	----	----	----		15	----	-7.83	-13.43	
32	-7.66	3.68	----		16	-4.97	-8.15	-21.09	
36	13.11	----	----		23	----	10.59	----	
					25	----	-8.54	-12.46	
					28	13.88	----	----	
					30	12.48	----	----	
					31	-8.99	-16.98	----	
					33	-16.86	-16.28	-23.75	
					36	23.43	11.82	----	

Tablo-4 : 1982-1983 ve 1983-1984-1985 periyotlarında Statik ve Kinematik Modellerle hareket belirlenen noktalar ve hareket parametreleri

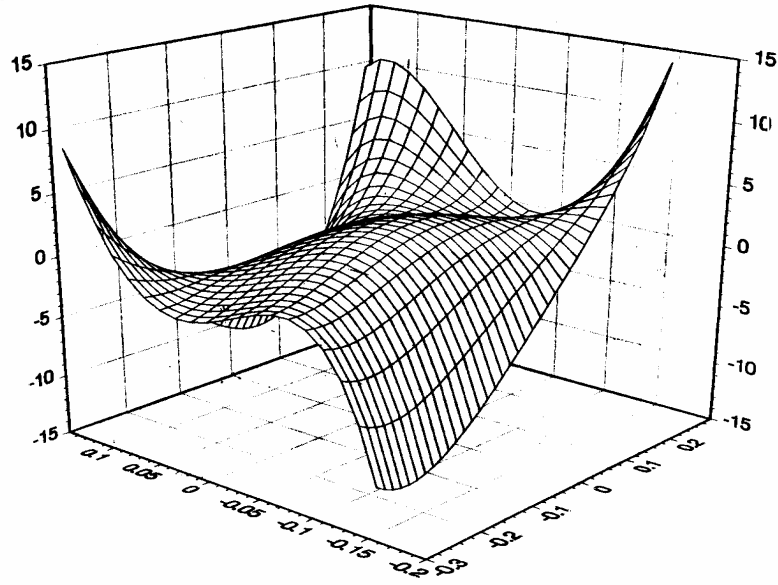
1982-1983					1983-1984-1985				
NN	Statik Model	Kinematik Model			NN	Statik Model	Kinematik Model		
	Yük. Bil. mm	Yük. Bil. mm	Hız mm/yıl	İvme mm/yıl ²		Yük. Bil. mm	Yük. Bil. mm	Hız mm/yıl	İvme mm/yıl ²
1	-8.21	-4.70			3	-2.88	----	----	----
10	-8.71	----			4	2.44	----	----	----
13	----	-13.08			5	2.80	----	----	----
14	----	-6.84			8	3.25	----	----	----
15	-12.41	-12.51			11	----	-3.11	-6.55	----
16	-8.16	-10.02			14	-4.73	-11.34	-6.76	----
24	----	-6.20	----	----	16	-15.36	-14.86	-7.46	----
25	-6.84	-10.96			23	3.28	----	----	----
28	11.48	----			24	3.00	----	----	----
30	----	2.94			25	----	-2.01	-4.89	----
31	-9.75	----			33	----	-17.09	-21.86	-9.13
33	-6.83	-15.18			36	2.56	8.61	13.75	----
36	11.07	10.82							

Tablo (2,3,4) incelendiğinde, statik ve kinematik modellerle yapılan hesaplamalar sonucunda, her iki modelde hareketli olduğu belirlenen noktaların, hareket büyüklüklerinin birbirine yakın ve hareket yönlerinin de aynı olduğu görülür.

(Tablo-2)'de görüldüğü gibi 1978-1979 periyotlarında 14 numaralı noktanın statik modelle hesaplanan yükseklik bilinmeyi -21.96 mm, kinematik modelle bulunan yükseklik bilinmeyi -8.93 mm ve hızı -18.94 mm/yıl dır. Aynı tabloda 16 numaralı noktanın statik modelle hesaplanan yükseklik bilinmeyi -14.85 mm, kinematik modelle bulunan yükseklik bilinmeyi -15.15 mm ve hızı -16.15 mm/yıl dır. Aynı noktaların (Tablo-4)'deki değerleri de şöyledir. 1983-1984-1985 periyotlarında 14 numaralı noktanın statik modelle hesaplanan yükseklik bilinmeyi -4.73 mm, kinematik modelle bulunan yükseklik bilinmeyi -11.34 mm ve hızı -6.76 mm/yıl dır. 16 numaralı noktanın statik modelle hesaplanan yükseklik bilinmeyi -15.36 mm, kinematik modelle bulunan yükseklik bilinmeyi -14.86 mm ve hızı -7.46 mm/yıl dır. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi statik model ile kinematik model ile bulunan hareket büyüklükleri yakın ve hareket yönleri aynıdır.

Bölgede yapılan jeolojik olarak tektonik hareketlerin belirlenmesi sonucunda düşey boyutta bölgede yaklaşık -1 cm/yıl hareket olduğu saptanmıştır. Yani bölgede yılda yaklaşık 1 cm civarında çökme görülmektedir. Bu sonuç yapılan uygulama sonuçlarıyla uyumaktadır /33/.

Her periyot için bölgenin hareket yüzeyi, Kollokasyon yüzey modeli (3.16) ile belirlenmiştir. Örnek olarak 1982-1983 periyotlarındaki hareket yüzeyi Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil-2 : Kollokasyon modeli ile 1982-1983 periyotlarında hesaplanan hareket yüzeyi

5. SONUÇ

Jeodezik yöntemlerle güncel yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde statik, kinematik veya dinamik modeller kullanılabilir. Literatürde çeşitli statik ve kinematik modeller bulunmaktadır. Bu çalışmada, çeşitli statik modeller ve kinematik modellerle ayrı ayrı güncel yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi uygulamalarının yapılması sonucunda güncel yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde kullanılması en uygun olacağına karar verilen statik model ve kinematik model ile en uygun hesaplama tekniği açıklanmıştır. Böylece herhangi bir bölgede güncel yer kabuğu hareketi belirlemek isteyen uygulayıcıya en uygun yol önerilmek istenmiştir.

Statik modellerin irdelenmesi sonucunda, en uygun statik modelin θ^2 -Ölçütü ile hareketin belirlenmesi modeli olduğu belirlenmiştir. θ^2 -Ölçütünde, ağ noktalarından bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon olduğu hakkında bilgiye gereksinim olmadan hesaplama kolaylıkla yapılabilmektedir.

Kinematik modellerin irdelenmesi sonucu karar verilen en uygun tek nokta hareketlerinin belirlendiği kinematik model Hannover Yaklaşımı modelidir. Bu modelin hesaplanması için en uygun çözüm tekniği de Kalman-Filtreleme (Süzgeçleme) yöntemidir.

Genel kinematik modelde hareket parametrelerinin (koordinat bilinmeyenleri, hız, ivme) aynı anda belirlenmesi için fazla periyotta yapılmış ölçülere gereksinim vardır. Ayrıca ara sonuçlarda elde edilememektedir. Hannover Yaklaşımında hareket parametreleri adım adım elde edilmektedir. Ara sonuçlar istatistiksel yöntemlerle test edilerek uygun hareket modeli elde edilebilmektedir. Az sayıda ölçme periyodu ile hareket parametrelerini belirleyebilmek için de Hannover Yaklaşımı modeli, Kalman-Filtreleme yöntemi ile hesaplanmalıdır. Kalman-Filtreleme

yönteminin diğer yöntemlerden farkı ve olumlu yanı düzgün ve düzgün olmayan hareketlerin belirlenebilmesidir. Zaman periyotları arasındaki sabit bozucu ivme ve sistem gürültüleri dikkate alınıp modellendirilerek çözüm yapılmaktadır.

Kinematik yüzey modellerinin irdelenmesi sonucu karar verilen en uygun kinematik hareket yüzeyi belirleme modeli de Kollokasyon yüzey modelidir. Bu modelde veri olarak tek nokta modelinden elde edilen hızlar veri olarak kullanılmaktadır. Kollokasyon modelinde yerel sapmalar ve yapay gözlemlerin hataları da modellendirilmektedir.

Bölgede yapılan jeolojik olarak tektonik hareketlerin belirlenmesi sonucunda düşey boyutta bölgede yaklaşık -1 cm/yıl hareket olduğu saptanmıştır. Yani bölgede yılda yaklaşık 1 cm civarında çökme görülmektedir. Jeolojik araştırma sonuçları, uygulama sonuçlarıyla uyusmaktadır /33/.

Sonuç olarak, güncel yer kabuğu hareketlerinin belirleneceği bir bölgede izlenmek üzere önerilen en uygun yol şu şekildedir. Önce statik model (θ^2 -Ölçütü) ile nokta hareketleri hakkında ön bilgi elde edilmelidir. İkinci olarak Hannover Yaklaşımı modeli, Kalman-Filtreleme tekniği ile çözümlenerek noktaların hareket parametreleri hesaplanmalıdır. Son olarak da Kollokasyon Yüzey modeli ile bölgenin hareket yüzeyi belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- /1/ Aksoy, A., Ayan, T., Deniz, R., Yalın, D., v.d. : Türkiye'de Yer kabuğu Hareketlerinin Yersel Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları, Türk Haritacılığının 100. Yılı, TUJJB ve TUFUAB Bilimsel Kongreleri Bildiri Kitabı, 358-370, 1995.
- /2/ Ayan, T. : Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 72, 1992, 38-46, 1992.
- /3/ Buck, U. : Statische Analyse Ingenieurphotogrammetrischer Deformationsmessungen, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, 76, 1-35, 1976.
- /4/ Cross, P. A. : Advanced Least Squares Applied to Position-Fixing, Polytechnic of East London, London, 1990.
- /5/ Demirel, H. : S-Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurulayı, 641-670, Ankara 1987.
- /6/ Demirel, H. : Sıklaştırma Ağlarında Datum Tanımlama ve Bağlantı Noktalarının Test Edilmesi, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 72, 47-56, 1992.

- /7/ El-Fiky, G. S. : Distribution of Vertical Crustal Movement Rates in the Tohoku District, Japan, Predicted by Least-Squares Collocation, Journal of Geodesy, Volume 71, Number 7, 423-432, 1997.
- /8/ Heck, V. B. : Zur Geometrischen Analyse von Deformationen Lagenetzen, AVN, 91, 10, 357-364, 1984.
- /9/ Hein, W. G.,
Kistermann, R. : Mathematical Foundation of Non Tectonic Effects in Geodetic Recent Crustal Movement Models, Proceedings of the IUGG Interdisciplinary Symposium, In: Recent Crustal Movements, 315-334, Australia, Aralık 1979.
- /10/ Holdahl, R. S.,
Hardh, L. R. : Solvability and Multiquadric Analysis as applied to Investigations of Vertical Crustal Movements, Proceedings of the IUGG Interdisciplinary Symposium, In: Recent Crustal Movements, Australia, 1979.
- /11/ Gründig, L., Bahndorf, J.,
Neureither, M. : Deformations analyse und S-Transformation, ZfV, 4, 151-160, 1985.
- /12/ Gubler, E. : The Determination of Recent Crustal Movements from Precise Levelling Data, A. Review, Proceedings of sixth International Symposium on Recent Crustal Movements, In: Recent Crustal Movements, 423-434, California, Temmuz 1977.
- /13/ Kapman, V. G. : Asymptotische Prüfung von L1-Klaffungen im Kongruenzmodell der Deformationsanalyse, AVN, 98, 7, 221-229, 1991.
- /14/ Kersting, N.,
Welsch, W. : Kinematic Models for Analysing Recent Vertical Crustal Movements and their Comparison in Application to the Test Network Pfungstadt, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements Western Europe, Determination of Height Changes, 619-631, Hannover, Eylül 1986.
- /15/ Koch, K. R. : Parameterschätzung und Hypothesentests, Ferd. Dummlers Verlag, Bonn, 1987.
- /16/ Leonhard, Th.,
Niemeier, W.,
Pelzer, H. : Determination of Vertical Crustal Movements from different Regional Levelling Concept of the Computing Centre, The Workshop on Precise Levelling, 451-465, March 1983.

- /17/ Leonhard, Th., Niemeier, W. : A Kinematic Model to Determine Vertical Movements and its Application to the Testnet Pfungstadt, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements Western Europe, Determination of Height Changes, 587-598, Hannover, Eylül 1986.
- /18/ Malzer , H., Schmitt,G., Zippelt, K. : Recent Vertical Movements and their Determination in the Rhenish Massif, Proceedings of the IUGG Interdisciplinary Symposi, In: Recent Crustal Movements 167-176, Australia, Aralık 1979.
- /19/ Niemeier, W. : Statistical Tests for Detecting Movements in Repeatedly Measured Geodetic Networks, Proceedings of sixth International Symposium on Recent Crustal Movements, In: Recent Crustal Movements, 335-351, California, Temmuz 1977.
- /20/ Niemeier, W. : Deformationsanalyse, Geodatische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Kodrad Wittwer, Stuttgart, 1985.
- /21/ Öztürk, E., Şerbetçi, M. : Dengeleme Hesabı, Cilt III, Trabzon, K.T.Ü. Basımevi, 1992.
- /22/ Pelzer, H. : Zur Bestimmung von Recenten Höhenänderungen im Bereich der Deuchen Nordseeküste, ZfV, 106, 111-122, 1981.
- /23/ Pelzer, H. : Statische, Kinematische und Dynamische Punktfelder, In: Geodatische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, 225-262, Hannover, 1985.
- /24/ Pelzer, H. : Application of Kalman- and Wiener-Filtering on the Determination of Vertical Movements, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements Western Europe, In: Determination of Height Changes, 539-555, Hannover, Eylül 1986.
- /25/ Pelzer, H. : Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungsmodelle, AVN, 942, 49-62, 1987.
- /26/ Welsh, W. : Kinematische Netzbetrachtung, Vortrage des Kontaktstudium, In : Geodatische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung, 559-619, Hannover, Şubat 1985.

- /27/ Wolfgang, H. : Zur Positionsschätzung im Gestarten KALMAN-Filter am Beispiel eines Manövrierenden Wasserfahrzeuges, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, 143, 37-60, 1986.
- /28/ Wuhan, V. L. G. : On the Separability of Deformation Models, ZFV, 11, 555-563, 1987.
- /29/ Zippelt, K. : Recent Vertical Movements in the Testnet Pfungstadt Conception, Application and Results of the Karlsruhe Approach, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements Western Europe, In: Determination of Height Changes, 599-617, Hannover, Eylül 1986.
- /30/ Zippelt, K., : Modellbildung, Berechnungsstrategie und Beurteilung von Verticalbewegungen unter Verwendung von Prazisionsnivellments, DGK, Reihe C, 343, 3-153, 1988.
- /31/ Özpınar, Y., Küçük, B., v.d. Denizli ilinin Sismotektonik Özellikleri ve Denizli Betonu Üzerine Bir İnceleme, Isparta Mühendislik Fakültesi 7. Mühendislik Haftası, 25-29 Mayıs, Isparta, 1992.
- /32/ Özpınar, Y. Denizli-Acıpayam Batısının Jeolojik, Pertografik ve Petrokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1987
- /33/ Şimşek, S. Denizli-Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Kaynakları, İ.Ü. Yerbilimleri Fakültesi Dergisi, 3, 2, 145-162, 1982.