

DEPREM BÖLGELERİNDE YERKABUĞU HAREKETLERİNİN İZLENMESİ (MONITORING CRUSTAL MOTIONS WITHIN EARTHQUAKE AREAS)

Ergün ÖZTÜRK¹, Haluk KONAK¹, Veysel ATASOY²

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Trabzon

email:eozturk@kou.edu.tr

ÖZET

Deprem bölgelerinde oluşan yer kabuğu hareketleri, jeodezik deformasyon ağları kurularak bu ağlarda yapılan yatay doğrultu, düşey açı, eğik uzunluk, yükseklik farkı ve yapay uydu gözlemlerinin farklı zamanlarda elde edilen değerleri eşdeğerlik testleri ile karşılaştırılarak belirlenmektedir. Farklı zamanlarda yapılan gözlemler, her ölçme periyodu için ayrı ayrı uygulanan tanı dengelemeleri ile değerlendirilir ve kaba hatalardan arındırılır. Karşılaştırılan ölçme periyotları arasında geçen zamanda bölgede istatistik yönden anlamlı bir deformasyon olup oluşmadığı θ^2 – Testi uygulanarak belirlenir.

ABSTRACT

The Earth's Crustal movements are determined by geodetic network methods. Observations sets were first adjusted for the purpose of identification of gross errors. The results of this adjustment were accessed to test for the outliers and also model hypothesis were tested. During the adjustment of the identification of the blunders refraction parameters for the points of networks were also determined. Moreover the optimum estimates for the coordinates in the three – dimensional space were also determined by using the stochastic model of the data sets of three different measurements. With these intermediate results a final adjustment were made for each period, and also θ^2 – testing was applied. Another test to determine the points, on which deformations occurred, was also made and the results of the different tests were compared and also analyzed.

1. GİRİŞ

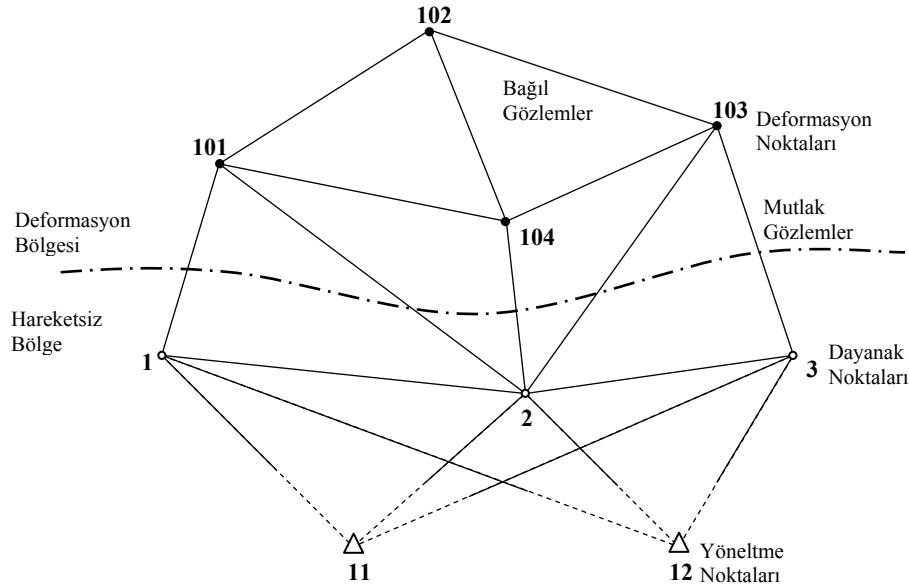
Tektonik kuvvetlerin etkisiyle yer kabuğunda oluşan küçük bölgesel hareketler, şekil değişiklikleri, - maden sahalarından cevher çıkarılması – büyük mühendislik yapıları civarındaki çökmeler – toprak kaymaları – yapılarda, barajlarda, köprülerde ve büyük santrallarda oluşan geometrik değişimler deformasyonlar olarak tanımlanır. Yer kabuğu deformasyonları, gel-git hareketleri, yeraltı su düzeyinde oluşan değişimler, tektonik oluşumlar, maden sahalarından cevher kütlelerinin alınması, yağmurlardan kaynaklanan erozyonlar, barajlarda su toplanması, büyük yapılardan kaynaklanan yüklemeler, kar ve buzul kaymaları gibi nedenlerle oluşabilirler.

Büyük bir cisimde ya da onun çevresinde oluşan şekil değişiklikleri, genleşme, bükülme, kayma, dönme, çökme ve oturma biçimindedir. Jeodezik deformasyon ölçmelerinin amacı, araştırma bölgesinin davranışlarını modellemek, araştırma konusunu temsil eden bir geometrik model oluşturmak, modelin çevresine göre yatay konum ve yükseklik değişimlerini belirlemek ve oluşan şekil değişikliklerini zamanın bir fonksiyonu olarak elde etmektir. Bu amaçla araştırma konusu cisim bağımsız deformasyon noktaları ile temsil edilir. Bu noktaların

koordinatları belirli zaman aralıkları ile yeniden belirlenir. Başka bir deyişle araştırılan cisim sürekli izlenir.

2. JEODEZİK DEFORMASYON AĞLARININ KURULMASI

Jeodezik deformasyon ağlarında dayanak noktaları ve deformasyon noktaları olarak adlandırılan iki tür nokta bulunur. (Şekil-1.).



Şekil-1: Deformasyon İzleme Ağı.

Güvenilir bir karar verebilmek için dayanak noktalarının ve deformasyon noktalarının toplam sayısı, deformasyon ağının boyutunun (2D, 3D) en az üç katı olmalıdır. Deformasyon araştırmasına konu olan cisimler genellikle üç boyutludur. Bunlardaki şekil değişiklikleri, deformasyon noktalarının hareketleri izlenerek belirlenir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için üç boyutlu (3D) bir deformasyon izleme ağı kurulur. Özel durumlarda yatay ya da düşey hareketler belirlenmek istenirse iki boyutlu (2D) ya da bir boyutlu (1D) deformasyon ağları kurulabilir.

Deformasyon ağının şekli, deformasyon araştırmalarının amacına ve deformasyonu araştırılan cismin şekline bağlıdır. Arazinin topografik durumu ve özel yerel koşullar da ağın şeklini doğrudan etkiler. Ağın jeodezik datumu, onun bir koordinat sistemindeki konumunu ve yönelmesini belirler. Deformasyon araştırmalarında datumun belirlenmesi önemli değildir. Önemli olan ağın başlangıçta bir kez belirlenen datumunun tüm araştırma süresince aynı ve sabit kalmasıdır. Bu koşul, sabit dayanak noktalarının koordinatlarının deformasyon araştırması süresince sabit tutulması ya da rasgele ölçü hatalarının sınırları içinde kalacak biçimde değişmesi yoluyla sağlanır. Dayanak noktalarının koordinatları başlangıçta bir kez belirlenir. İzleyen periyotlarda sabit tutulur ya da ağın datumu sabit kalacak biçimde düzeltilir. Deformasyon noktalarının birbirlerine göre bağıl (relatif) hareketlerinin izlendiği durumlarda ağ serbest datumda hesaplanıp analiz edilebilir.

Deformasyon ağı, izlenen deformasyonları belirlemek için duyarlık ve güvenilirlik açısından yeterli olmalıdır. Başlangıçta seçilen ve birkaç ölçme periyodunda uygulanan ölçme yöntemleri ve ölçü türleri tüm deformasyon araştırmaları süresince aynı kalırsa, bu ölçme yöntemlerinden ve ölçü türlerinden kaynaklanan sistematik hatalar tüm ölçme periyotlarında aynı ve birbirine çok yakın olarak ortaya çıkacaktır. Her ölçme periyodunun değerlendirilmesinden sonra alınan farklarda sistematik etki kalmaz. Belirlenen deformasyonlar sistematik etkilerden arınmıştır. Teknolojideki gelişmeler sonucunda ölçme araçlarında ve ölçme tekniklerinde değişiklik olursa ya da başlangıçta kullanılan ölçme araçlarından artık yararlanılamazsa, en az bir ölçme periyodunda eski ve yeni ölçme araç ve teknikleri birlikte kullanılır. Böylece eski ve yeni yöntemler arasındaki sistematik farklar belirlenebilir.

3. DEFORMASYON ÖLÇÜLERİNİN DENGELENMESİ

Dayanak noktaları, yöneltme noktaları ve deformasyon noktalarından oluşan bir jeodezik deformasyon ağında nokta hareketlerini izleyebilmek için yapılan klasik ölçüler yatay ve düşey doğrultular (r_{ij} , z_{ij}), eğik uzunluklar (d_{ij}), yükseklik farkları (h_{ij}) ve GPS gözlemleri ile belirlenen baz bileşenleridir. (ΔX_{ij} , ΔY_{ij} , ΔZ_{ij}). Bu gözlemlerin dengelenmesi için nokta koordinatları bilinmeyenler olarak seçilir. Gözlemlerle bilinmeyenler arasındaki matematik ilişkilerden yararlanarak fonksiyonel model kurulur. Nokta sayısı p olan üç boyutlu bir deformasyon ağının koordinat bilinmeyenleri $u=3p$ elemanlı bir vektörde toplanabilir,

$$\bar{\underline{x}}^T = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ x_2 \ y_2 \ z_2 \ \dots \ x_p \ y_p \ z_p]$$

Bu koordinatları belirlemek amacıyla yapılan n sayıdaki jeodezik ölçü (Yatay Doğrultular (r) + Düşey Açılar (z) + Eğik Uzunluklar (d) + Yükseklik Farkları (h) + Baz Bileşenleri (ΔX , ΔY , ΔZ)) bir \underline{L} gözlem vektörü, i ve j durulan ve bakılan noktalar olmak üzere,

$$\underline{L}^T = [r_{ij} \ z_{ij} \ d_{ij} \ h_{ij} \ \Delta X_{ij} \ \Delta Y_{ij} \ \Delta Z_{ij}]$$

ile gösterilir. Gözlemlerle nokta koordinatları arasındaki fonksiyonel ilişkiler, dolaylı gözlemler olarak ele alınır. Fonksiyonel modeldeki yöneltme bilinmeyenleri o_i , ölçek katsayıları λ_i ve refraksiyon katsayıları k_i gibi ek bilinmeyenler düzeltme denklemlerinden normal denklemlere geçmeden önce yok edilir. Fonksiyonel Model,

$$\bar{\underline{L}} = \underline{L} + \underline{v} = \Phi(\bar{\underline{x}})$$

olup burada $\bar{\underline{L}}$, $\bar{\underline{x}}$, ölçülerin ve bilinmeyenlerin dengeli değerlerini, \underline{v} düzeltmeleri, ve $\Phi(\bar{\underline{x}})$ bilinmeyenlerin bir fonksiyonudur. Doğrusal olmayan bu fonksiyonel model, yaklaşık koordinatlardan (\underline{x}_0) yararlanarak doğrusallaştırılırsa, $\bar{\underline{x}} = \underline{x}_0 + \underline{x}$ kesin koordinatlar ve $\bar{\underline{\ell}} = \underline{L} - \Phi(\underline{x}_0)$ alınarak doğrusallaştırılmış fonksiyonel model,

$$\bar{\underline{\ell}} = \underline{\ell} + \underline{v} = \underline{A} \underline{x}$$

olur. Stokastik model olarak gözlemlerin ağırlıkları,

$$P_{r_{ij}} = s_0^2 / m_{r_{ij}}^2, P_{z_{ij}} = s_0^2 / m_{z_{ij}}^2, P_{d_{ij}} = s_0^2 / m_{d_{ij}}^2, P_{h_{ij}} = s_0^2 / m_{h_{ij}}^2$$

$$P_{\Delta X_{ij}} = s_0^2 / m_{\Delta X_{ij}}^2, P_{\Delta Y_{ij}} = s_0^2 / m_{\Delta Y_{ij}}^2, P_{\Delta Z_{ij}} = s_0^2 / m_{\Delta Z_{ij}}^2$$

eşitliklerinden hesaplanır. Burada s_0^2 , deneysel varyansın öncül (a priori) değeridir. Karşılaştırılan ölçme periyotlarının tanı dengelemeleri sonuçları ile,

$$s_0^2 = (\underline{v}_1^T \underline{P}_1 \underline{v}_1 + \underline{v}_2^T \underline{P}_2 \underline{v}_2 + \dots + \underline{v}_k^T \underline{P}_k \underline{v}_k) / (f_1 + f_2 + \dots + f_k)$$

bağıntılarından hesaplanır ve tüm periyotların dengelenmesi sırasında aynı öncül değer s_0^2 den yararlanır. Burada, f_1, f_2, \dots, f_k tanı dengelemelerinin serbestlik dereceleri ve k karşılaştırılan periyotların sayısıdır. Düzeltme denklemlerinden GAUSS'un en küçük kareler ilkesi uyarınca,

$$\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \underline{x} - \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell} = \underline{0}$$

kurulur. Ağda henüz kesin bir datum belirlenmediğinden $\underline{A}^T \underline{P} \underline{A}$ normal denklem katsayılar matrisi tekil yapıda bir matristir. Normal denklemlerden tek anlamlı bir çözüm elde edebilmek için katsayılar matrisinin Psoydo-Tersi(Moore Penrose Inverse) $\underline{Q}_{xx} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^+$ alınır ve ters ağırlık matrisi ile koordinat bilinmeyenleri (\underline{x}), düzeltmeler (\underline{v}) ve soncul deneysel varyans m_0^2 ,

$$\underline{x} = \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell}$$

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{\ell}$$

$$m_0^2 = \underline{v}^T \underline{P} \underline{v} / (n - u + d) = \underline{v}^T \underline{P} \underline{v} / f$$

İle bulunur. Burada d ağıın datum parametrelerinin sayısı ve f ağdaki fazla ölçü sayısı (serbestlik derecesi) olup serbest dengelenmiş koordinatlar,

$$\underline{\bar{x}} = \underline{x}_0 + \underline{x}$$

ile hesaplanır. Serbest dengelenmiş koordinatlar vektörü $\underline{\bar{x}}$, ölçü vektörü \underline{L} nin doğrusal bir fonksiyonu olduğundan normal dağılımdadır. Sözü edilen büyüklüklerin dağılımları,

$$\underline{L} \sim N(\underline{\bar{L}}, s_0^2 \underline{Q}_{\ell\ell})$$

$$\underline{\bar{x}} \sim N\left\{(\underline{x}_0 + \underline{Q}_{xx} \underline{A}^T \underline{P} \underline{\ell}), s_0^2 \underline{Q}_{xx}\right\}$$

bağıntıları ile gösterilebilir. Karşılaştırılan periyotlar arasında datum birliği sağlamak amacıyla uygulanan bir S-dönüşümü sonucunda elde edilen koordinatlar ve bunların dağılımları,

$$\underline{S} = \underline{I} - \underline{G} (\underline{G}^T \underline{G})^{-1} \underline{G}^T \quad \text{Dönüşüm Matrisi}$$

$$\underline{x}_D = \underline{S} \underline{\bar{x}} \quad \text{Dönüştürülmüş Koordinatlar}$$

$$\underline{Q}_{xxD} = \underline{S} \underline{Q}_{xx} \underline{S}^T \quad \text{Ters Ağırlık Matrisi}$$

$$\underline{x}_D \sim N(\underline{S} \underline{\bar{x}}, s_0^2 \underline{Q}_{xxD}) \quad \text{Dönüştürülmüş Koordinatların Dağılımı}$$

ile hesaplanır.

4. NOKTA KÜMELERİ İÇİN EŞDEĞERLİK TESTİ

Başlangıçta ele alınan jeodezik ağın t_1 zamanında yapılan ölçüleri $\underline{\ell}_1$ ve t_2 zamanında yapılan ölçüleri $\underline{\ell}_2$ vektörlerinde toplanabilir. Ağ noktalarının t_1 zamanındaki koordinatları $\underline{\bar{x}}_1$, t_2 zamanındaki koordinatları $\underline{\bar{x}}_2$ ile gösterilirse dengelemenin matematik modeli ve başlangıç hipotezi,

$$\underline{\ell}_1 + \underline{v}_1 = \underline{A}_1 \underline{\bar{x}}_1 \quad \underline{K}_{11} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{11}$$

$$\underline{\ell}_2 + \underline{v}_2 = \underline{A}_2 \underline{\bar{x}}_2 \quad \underline{K}_{22} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{22}$$

$$H_0 : E\{\underline{\bar{x}}_1\} = E\{\underline{\bar{x}}_2\}$$

biçiminde kurulabilir. Başka bir deyişle her iki periyottan elde edilen dengeli koordinatların gerçek değerlerinin eşit oldukları varsayılabilir. H_0 hipotezi, $\underline{B} \underline{\bar{x}} = \underline{w}$ genel gösterimine benzetilerek,

$$H_0 : \underline{\bar{x}}_2 - \underline{\bar{x}}_1 = \underline{0}$$

$$H_0 : \begin{bmatrix} -\underline{I} & \underline{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\bar{x}}_1 \\ \underline{\bar{x}}_2 \end{bmatrix} = \underline{0}$$

yazılabilir. Bu doğrusal hipotezin genel gösterimdeki karşılıkları,

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} -\underline{I} & \underline{I} \end{bmatrix}, \quad \underline{\bar{x}}^T = \begin{bmatrix} \underline{\bar{x}}_1^T & \underline{\bar{x}}_2^T \end{bmatrix}, \quad \underline{w} = \underline{0}$$

olur. Doğrusal hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi,

$$R = (\underline{B} \underline{\bar{x}} - \underline{w})^T \left\{ \underline{B} (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A}) + \underline{B}^T \right\}^{\dagger} (\underline{B} \underline{\bar{x}} - \underline{w})$$

$$R = (\bar{x}_2 - \bar{x}_1)^T \left\{ (\underline{A}_1^T \underline{P}_1 \underline{A}_1)^+ + (\underline{A}_2^T \underline{P}_2 \underline{A}_2)^+ \right\} (\bar{x}_2 - \bar{x}_1)$$

eşitliklerinde

$$d = \bar{x}_2 - \bar{x}_1$$

$$\underline{Q}_{dd} = \underline{Q}_{x_1 x_1} + \underline{Q}_{x_2 x_2} = (\underline{A}_1^T \underline{P}_1 \underline{A}_1)^+ + (\underline{A}_2^T \underline{P}_2 \underline{A}_2)^+$$

yerine konarak elde edilen

$$R = \underline{d}^T \underline{Q}_{dd}^+ \underline{d}$$

eşitliğinden hesaplanır (Pelzer 1971). Buradaki biçim matrisi, \underline{Q}_{dd} ' nin rangı,

$$\underline{C}_H = \underline{Q}_{dd} = \underline{Q}_{x_1 x_1} + \underline{Q}_{x_2 x_2} = (\underline{A}_1^T \underline{P}_1 \underline{A}_1)^+ + (\underline{A}_2^T \underline{P}_2 \underline{A}_2)^+$$

$$h = \text{rang} (\underline{Q}_{x_1 x_1} + \underline{Q}_{x_2 x_2})$$

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

$$h = \text{rang} (\underline{Q}_{x_1 x_1}) = \text{rang} (\underline{Q}_{x_2 x_2}) = u_k - d = f_k$$

olur. Burada u_k ağıdaki koordinat bilinmeyenlerinin sayısıdır. Birim ölçünün kuramsal varyansı σ_0^2 nin kestirim (tahmin) değeri s_0^2 , k karşılaştırılan periyot sayısı olmak üzere,

$$E \left\{ \sigma_{01}^2 \right\} = E \left\{ \sigma_{02}^2 \right\} = \dots = E \left\{ \sigma_{0k}^2 \right\} = \sigma_0^2$$

umut değer bağıntısının geçerli olduğu durumlarda,

$$s_0^2 = (\Omega_1 + \Omega_2 + \dots + \Omega_k) / (f_1 + \dots + f_k) = \Omega / f$$

$$\Omega_i = \underline{v}_i^T \underline{P}_i \underline{v}_i \quad f_i = n_i - u_i + d_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, k$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü,

$$T = \frac{R}{s_0^2 \cdot h} = \frac{\underline{d}^T \underline{Q}_{dd}^+ \underline{d}}{s_0^2 \cdot h}$$

ve bunun olasılık bağıntısı,

$$P \left\{ T > F_{h, f, 1-\alpha} \mid H_0 \right\} = \alpha \quad \text{biçiminde yazılır.}$$

5. EŞDEĞER OLMAYAN NOKTALARIN BELİRLENMESİ

Eşdeğerlik testi sonucunda hesaplanan test büyüklüğü T nin değeri, F -Dağılımının ilgili sınır değerini aşarsa $S=1-\alpha$ kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarından birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda deformasyon oluşan noktaları tek tek belirleyebilmek için \underline{d} fark vektörü ve onun ters ağırlık matrisi,

$$\underline{d} = \begin{bmatrix} \underline{d}_F \\ \underline{d}_B \end{bmatrix}, \quad \underline{Q}_{dd}^+ = \underline{P}_{dd} = \begin{bmatrix} \underline{P}_{FF} & \underline{P}_{FB} \\ \underline{P}_{BF} & \underline{P}_{BB} \end{bmatrix}$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. Bu alt matrisler GAUSS yöntemi ile indirgenerek,

$$\bar{\underline{d}}_B = \underline{d}_B - \underline{P}_{BB}^{-1} \underline{P}_{BF} \underline{d}_F$$

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

kısa gösterimleri ile $H_0 : \underline{B} \bar{\underline{x}} - \underline{w} = \underline{0}$ başlangıç hipotezinin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi,

$$\underline{R} = \underline{d}^T \underline{P}_{dd} \underline{d} = \underline{d}_F^T \bar{\underline{P}}_{FF} \underline{d}_F + \bar{\underline{d}}_B^T \underline{P}_{BB} \bar{\underline{d}}_B$$

biçiminde stokastik yönden bağımsız iki bileşene ayrılır. Eşdeğer olmayan noktaların belirlenmesi sırasında, sırasıyla ağın her noktası deformasyon kuşkusu bulunan B noktası olarak ele alınır. Böylelikle her yeni adımda başka bir noktanın koordinatları, alt vektör \underline{d}_B olarak yazılır. Bu durumda ağın nokta sayısı p kadar aykırılık etkisi,

$$R_i = (\bar{\underline{d}}_B^T \underline{P}_{BB} \bar{\underline{d}}_B)_i \quad i = 1, 2, \dots, p$$

hesaplanır. Bunlardan toplam aykırılık R' deki payı en büyük olan,

$$R_{\max} = \max (R_i) \quad i = 1, 2, \dots, p$$

noktada $(1 - \alpha)$ kadar bir istatistik güvenle deformasyon oluştuğuna karar verilir.

Ağda deformasyon oluşan başka noktalar bulunup bulunmadığını araştırmak için koordinat farkları vektörü \underline{d} ve bunun ters ağırlık matrisi \underline{Q}_{dd} 'ye bir S -Dönüşümü ile geriye kalan $(p - 1)$ noktadan yararlanarak yeni bir datum verilir. Bu durumda \underline{G} katsayılar matrisi yalnızca geriye kalan $(p - 1)$ noktanın ağırlık merkezine dönüştürülmüş koordinatları ile kurulur (VAN MIERLO 1978),

$$\underline{S}_i = \underline{I} - \underline{G} (\underline{G} \underline{G}^T)^{-1} \underline{G}^T$$

$$\underline{d}_i = \underline{S}_i \underline{d}$$

$$\underline{Q}_{d_i d_i} = \underline{S}_i \underline{Q}_{dd} \underline{S}_i^T$$

Bu i'nci datum dönüşümünden sonra fark vektörü

$$\underline{d}_i = \begin{bmatrix} \underline{d}_D \\ \underline{d}_N \end{bmatrix} = \underline{S}_i \begin{bmatrix} \underline{d}_F \\ \underline{d}_B \end{bmatrix} = \underline{S}_i \underline{d}$$

biçiminde alt matrislere ayrılır. Burada \underline{d}_D ile datum dönüşümüne katılan noktalar ve \underline{d}_N ile datum dönüşümüne katılmayan noktalar gösterilmektedir. \underline{d}_i vektörünün \underline{d}_F ve \underline{d}_B alt vektörlerine ayırma işlemi, toplam aykırılıktaki payları en büyük olan R_{\max} noktalarının tümü \underline{d}_B vektöründe kalacak biçimde gerçekleştirilirse i. belirleme adımından sonra kalan aykırılık (R_{kalan}),

$$R_{\text{kalan}} = \underline{d}_D^T \underline{Q}_{DD}^+ \underline{d}_D$$

eşitliğinden hesaplanır. R_{kalan} 'ın serbestlik derecesi, $h_D = h - m$; m , deformasyon olduğu belirlenen noktaya ilişkin koordinatların sayısı ve olasılık bağlantısı,

$$P \left\{ T_D = \frac{R_{\text{kalan}}}{s^2 \cdot h_D} > F_{h_D, f, 1-\alpha} \mid H_0 \right\} = \alpha$$

olur. Bu yeni eşdeğerlik testi sonucunda ağda deformasyon oluşan başka noktaların da bulunduğu ortaya çıkarsa, ($i + 1$) inci belirleme adımına geçilir. Bu durumda yeni bir S-Dönüşümü ile yeniden datum verilip alt matrislere ayrılacak büyüklükler i'nci adımın \underline{d}_D ve \underline{Q}_{DD} matrisleridir (NIEMEIER 1985). Belirleme adımları tamamlandıktan sonra son bir S-Dönüşümü ile ağda sabit (kararlı) kalan noktalar P_D , deformasyon olduğu kanıtlanan noktalar P_N ve deformasyon büyüklükleri \underline{d}_N elde edilir.

6. GENELLEŞTİRME

$H_0 : \underline{B} \underline{x} - \underline{w} = \underline{0}$ başlangıç hipotezinin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı ($\Omega = \underline{v}^T \underline{P} \underline{v}$) büyüklüğüne etkisi,

$$R = (\underline{B} \underline{\bar{x}} - \underline{w})^T \left\{ \underline{B} (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^+ \underline{B}^T \right\}^+ (\underline{B} \underline{\bar{x}} - \underline{w})$$

eşitliğinden, ölçüler

$$\ell_i + v_i = \underline{A} \bar{x}_i \quad \text{Fonksiyonel Model}$$

$$\underline{K}_{ii} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{ii} \quad \text{Stokastik Model}$$

$$\underline{v}_i^T \underline{P}_i \underline{v}_i = \min.$$

ile dengelendikten sonra ek bir işlemle hesaplanmaktadır. Buna karşın yeni bir dengeleme işleminde $H_0 : \underline{B}\bar{\underline{x}} - \underline{w} = \underline{0}$ başlangıç hipotezini de fonksiyonel modelin içine katarak yapılacak hesaplama çok daha basittir. Söz gelimi bir ağda t_1 ve t_2 periyotlarında yapılan ölçülerden elde edilecek ortak nokta koordinatlarının ($\bar{\underline{x}}_1$) tümünün ya da bir bölümünün eşdeğer oldukları biçiminde bir H_0 hipotezi kurabilmek için bu noktalara her iki ölçme periyodunda aynı nokta numarası, ağın diğer noktalarına her periyod için farklı numaralar verilir. Ölçüler eşdeğer oldukları varsayılan noktalara ilişkin kısmi iz minimum yapılarak topluca dengelenir,

$$\underline{\ell}_1 + \underline{v}_1 = \underline{A}_1 \begin{bmatrix} \bar{\underline{x}}_1 \\ \bar{\underline{x}}_1 \end{bmatrix} \quad \underline{K}_{11} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{11}, \underline{K}_{12} = \underline{0}$$

$$\underline{\ell}_2 + \underline{v}_2 = \underline{A}_2 \begin{bmatrix} \bar{\underline{x}}_1 \\ \bar{\underline{x}}_2 \end{bmatrix} \quad \underline{K}_{21} = \underline{0}, \underline{K}_{22} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{22}$$

En genel durumda ölçülerin t_1, t_2, \dots, t_k zamanlarında k kez yapıldıkları varsayılsa, ortak nokta koordinatlarının tümünün ya da bir bölümünün umut değerlerinin ölçme periyotlarının hepsinde aynı kaldıklarını öngören,

$$H_0 = E\{\bar{\underline{x}}_{I_1}\} = E\{\bar{\underline{x}}_{I_2}\} = \dots = E\{\bar{\underline{x}}_{I_k}\} = E\{\bar{\underline{x}}_I\}$$

bir umut değer bağıntısı, H_0 hipotezi olarak ele alınabilir. Bu durumda toplu dengelemenin fonksiyonel modeli,

$$\begin{bmatrix} \underline{\ell}_1 \\ \underline{\ell}_2 \\ \vdots \\ \underline{\ell}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{v}_1 \\ \underline{v}_2 \\ \vdots \\ \underline{v}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A}_{I_1} & \underline{A}_{N_1} & \underline{0} & \dots & \underline{0} \\ \underline{A}_{I_2} & \underline{0} & \underline{A}_{N_2} & \dots & \underline{0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{A}_{I_k} & \underline{0} & \underline{0} & \dots & \underline{A}_{N_k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\underline{x}}_I \\ \bar{\underline{x}}_{N_1} \\ \vdots \\ \bar{\underline{x}}_{N_k} \end{bmatrix}$$

$$\underline{K}_{\ell\ell} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \underline{Q}_{11} & \underline{0} & \dots & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Q}_{22} & \dots & \underline{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{0} & \underline{0} & \dots & \underline{Q}_{kk} \end{bmatrix}$$

kısa gösterimle,

$$\underline{\ell} + \underline{v}_H = \underline{A}_H \bar{\underline{x}}_H$$

$$\underline{K}_{\ell\ell} = \sigma_0^2 \underline{Q}_{\ell\ell}$$

biçiminde kurulur. H_0 hipotezine alınan noktalar için kısmi iz minimum yapılarak elde edilen dengeli koordinatlar \bar{x}_H ile gösterilirse, toplu dengelemeden elde edilen düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamı,

$$\Omega = \underline{v}_H^T \underline{P}_H \underline{v}_H = (\underline{\ell} - \underline{A}_H \bar{x}_H)^T \underline{P}_H (\underline{\ell} - \underline{A}_H \bar{x}_H)$$

olur. Her periyoda ilişkin ölçülerin ayrı ayrı dengelenmesi sonucunda elde edilen düzeltmeler v_i ve bunların ağırlık matrisleri \underline{P}_i ile gösterilip,

$$\Omega_i = \underline{v}_i^T \underline{P}_i \underline{v}_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$\Omega = \sum \Omega_i \quad , \quad f = \sum f_i$$

bağıntılarından yararlanarak H_0 hipotezinin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi ve bunun serbestlik derecesi,

$$R_H = \Omega_H - \Omega \quad , \quad h = f_H - f$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Kuramsal varyans σ_0^2 nin deneysel değeri,

$$s_0^2 = \Omega / f$$

olur. Bu durumda eşdeğerlik testinin test büyüklüğü ve bunun olasılık bağıntısı için,

$$T_H = \frac{R_H}{s_0^2 \cdot h}$$

$$P \{ T_H > F_{h, f, 1-\alpha} \mid H_0 \} = \alpha$$

eşitlikleri geçerli olur. Eşdeğerlik testi sonucunda hesaplanan test büyüklüğü T_H nin değeri, F-Dağılımının sınır değerini aşarsa, $S=1-\alpha$ kadar bir istatistik güvenle, ölçme periyotlarının tümünde ortak olan P_j datum noktalarının birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir. Deformasyon oluşan noktalardan birini belirleyebilmek için, koordinatları \bar{x}_I vektöründe bulunan datum noktalarından herbiri sırasıyla bu vektörün dışına çıkartılır. Her defasında yeni aykırılıklar, R_j , yeniden hesaplanır ve

$$R_{\min} = \min(R_j) \quad j = 1, 2, \dots, n_D$$

n_D : Periyotların tümünde ortak olan datum noktalarının sayısı

olan P_j noktasında $S = 1 - \alpha$ kadar bir istatistik güvenle deformasyon oluştuğuna karar verilir. Ağda deformasyon oluşan başka noktalar bulunup bulunmadığını araştırmak için R_{\min} büyüklüğünden yararlanarak yeni bir test büyüklüğü T_{\min} hesaplanır. Bu test

büyüklüğü de F-Dağılımının ilgili sınır değerini aşarsa, koordinatları \bar{x}_1 vektöründe kalan datum noktalarının her biri sırasıyla bu vektörün dışına çıkartılarak deformasyon belirleme işlemine devam edilir. Ağ noktalarından bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon bulunduğu kuşku duyulduğu durumlarda bu yöntemle kolayca deformasyon irdelenmesi yapılabilmektedir. Verilerin genelleştirilmiş modele göre düzenlenmesinin oldukça yorucu olması sakıncası gözardı edilirse her zaman istatistik yönden güvenli çözüme ulaşılabilir.

7. ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SONUÇLARININ YORUMU

Deformasyon izleme ağlarındaki yer değiştirmeler anlamlılık testlerinden sonra tekrar kullanılabilirler. Deformasyonların kaynakları fiziksel ve istatistik yorumlama modelleri ile irdelenebilirler. Geometrik - istatistik yöntemlerle araştırılıp fiziksel – teknik yöntemlerle yorumlanabilirler. Geometrik – istatistik yöntemle yorumlama jeodezicilerin görevidir. Onların eğitim düzeylerine ve yeteneklerine bağlıdır. Deformasyon izleme ağının korelasyon, kestirim ve yaklaşık değer sorunları jeodezi uzmanlarınca giderilir. Deformasyonların irdelenmesi ve yorumlanmasına ilişkin kararlar, diğer komşu uzmanlık alanlarının (jeoloji, jeofizik, inşaat) temsilcileri ile birlikte verilir. Yerkabuğu hareketleri, toprak kaymaları ve yapılarıdaki deformasyonların izlenmesinde deformasyon vektörünün büyüklüğü yüksek bir istatistik güvenle (>%95) belirlendikten sonra gerekli önlemlerin alınmasına karar verilir. Sonuçların yorumlanması jeodeziciler, jeofizikçiler, jeoloji mühendisleri, zemin mekaniği mühendisleri ve inşaat mühendislerinin katıldıkları disiplinler arası bir ortak çalışmayla gerçekleştirilir.

KAYNAKLAR

- /1/ Fubara, D.M.J. : Three-Dimensional Adjustment of Terrestrial Geodetic Network. The Canadian Surveyor Sept. 1972.
- /2/ Heck, B., E.Kuntz, B.Meier-Hirmer, : Deformationsanalyse Mittels Relativer Fehlerellipse, AVN 1977, 78-87.
- /3/ Koch, K.R. : Ein Automatisches Testverfahren Zur Aufdeckung Von Punktverschiebungen Bei Der Deformationsanalyse. Int. Kurs Für Ingenieurvermessung, Zurich 1980.
- /4/ Mierlo van, J. : A Testing Pecedure for Analysing Geodetic Deformation Measurements. Deformation Measurements by Geodetic Methods. FIG Symposium. Bonn 1978.
- /5/ Niemeier, W. : Deformationanalyse. Geodätische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II. Stuttgart 1985.
- /6/ Öztürk, E. , Atasoy, V., Konak, H. Erdkrusten Bewegungen in Nord Anatolischen Verwerfungszone. Int. Seminer on Earthquake Prognostic. Guangzhou – China 1989.

- /7/ Öztürk, E., Atasoy, V.,
Konak, H. Dreidimensionale Deformationsuntersuchungen in Nord
Anatolischen Verwerfungszone. Int. Seminar on
Earthquake Prognostic. Berlin 1991.
- /8/ Öztürk, E., Şerbetçi, M Dengeleme Hesabı Cilt III. KTÜ Yayınları Trabzon 1992.
s.350-364.
- /9/ Pelzer, H. Zur Analyse Geodätischer Deformations Messungen.
DGK C 164. München 1971.
- /10/ Wolf, H. Ausgleichsrechnung, Formeln zur Praktischen
Anwendung. Bonn 1975.