

θ^2 -ÖLÇÜTÜ VE GENELLEŞTİRME YÖNTEMLERİ İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Mualla (ÜNVER) YALÇINKAYA
Emine TANIR

ÖZET :

Yerkabuğunda ya da büyük mühendislik binaları ve çevrelerinde oluşan hareketlerin jeodezik olarak belirlemek için obje ve çevresini kapsayan bir Jeodezik Deformasyon Ağı kurulur. Deformasyonu belirlemek amacı ile ağda belirli periyotlarda ölçüler yapılır. Ölçüler çeşitli deformasyon modelleri ile değerlendirilerek oluşan hareketler saptanır. Bu çalışmada, uygulamada en çok kullanılan statik deformasyon modellerinden θ^2 -Ölçütü ve Genelleştirme Yöntemleri incelenmiş ve uygulamaları yapılarak elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Çalışmanın amacı, θ^2 -Ölçütü ve Genelleştirme Yöntemleri ile deformasyonların belirlenmesini inceleyerek bu yöntemlerin birbirlerine göre üstünlüklerini ya da dezavantajlarını belirlemek ve böylece uygulayıcıya, deformasyon belirlemesi yapacağı probleme göre kullanması gereken uygun yöntemi önermektir.

1. GİRİŞ

Yerkabuğunun bazı bölgelerinde ve büyük mühendislik yapılarında meydana gelen şekil değişimlerine genel anlamda deformasyon denilmektedir. Şekil değişimlerinin jeodezik olarak belirlenmesi ve izlenmesi için farklı periyotlarda yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri; bu ölçülerin değerlendirilerek yer, zaman ve değişik fiziksel parametrelere göre hareketlerin belirlenmesi ve yorumlanmasına da deformasyon analizi denilmektedir [Öztürk, E., vd., 1987; Ayan, T., vd., 1994; Hoşbaş, G., 1992; Gürkan, O., 1995; Hech, B.V., 1984; Atasoy, V., vd., 1984].

Çalışmada amaç, deformasyon analizinde kullanılan statik değerlendirme yöntemlerini inceleyerek, bu yöntemleri uygulama kolaylığı, sonuçların güvenilirliği açısından birbirleri ile karşılaştırmaktır. Bunun için en çok kullanılan statik deformasyon yöntemlerinden θ^2 -Ölçütü ve Genelleştirilmiş Yöntemin sayısal uygulamaları yapılmış ve modeller karşılaştırılmıştır.

2. θ^2 - ÖLÇÜTÜ İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Statik değerlendirme yöntemlerinden biri olan θ^2 -Ölçütü ile hareket, zaman ve ob-

jeye etkiyen dış kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenir [Aksoy, A., 1987; Öztürk, E., 1978].

İki ölçü periyodu arasında geçen sürede nokta kümeleri arasında bir değişim olup olmadığına eşdeğerlik testi ile karar verilir. Tüm periyotlardaki ölçüler ayrı ayrı dengele-
nerek, dengeli koordinatlar vektörü x , ve ters ağırlık matrisi Q_{xx} hesaplanır. İki periyot
arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını belirlemek için, periyotlardan elde edi-
len dengeli koordinatların farkları (d) hesaplanır [Atasoy, V., 1988; Aksoy, A., vd.,
1993; Şeker, M., 1995].

$$\underline{d} = \underline{x}_2 - \underline{x}_1 \quad (1)$$

Ağın herhangi bir noktasında deformasyon oluşup oluşmadığını araştırmak için, sı-
fır hipotezi aşağıdaki gibi kurulur [Öztürk, E., 1978].

$$H_0 : \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{x}_1 \\ \underline{x}_2 \end{bmatrix} = \underline{0} \quad (2)$$

d fark vektörüne ait kofaktörler matrisi Q_d

$$Q_d = Q_{xx1} + Q_{xx2} \quad (3)$$

olarak elde edilir. Doğrusal hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etki-
si olan θ^2 -ölçütü aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\theta^2 = \underline{d}^T Q_d^+ \underline{d} \quad (4)$$

Q_d 'nin rangı, ağın geometrik şeklinin ve datum parametrelerinin her iki ölçme peri-
yodunda da aynı kaldığı durumlarda aşağıdaki gibidir

$$h = \text{rang} (Q_{xx1}) = \text{rang} (Q_{xx2}) = u_k - d \quad (5)$$

Burada u_k ağıdaki koordinat bilinmeyenleri, d datum parametresi sayısıdır [Öztürk vd.,
1992; Mierlo, 1978; Ayan, 1983; Başkaya, 1995;] Her iki ölçü kümesinin ortak standart
sapması ve test büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır [Mierlo, J., 1978; Öztürk, E., vd.,
1992; Demirel, H., 1987; Altan, O., vd., 1991].

$$S_0^2 = \sqrt{\frac{v_1^T P_1 V_1 + v_2^T P_2 V_2}{f_1 + f_2}} \quad (6)$$

$$f_i = n_i - u_i + d \quad ; i=1,2 \quad ; f = f_1 + f_2$$

$$T = \frac{\theta^2}{S_0^2 h} = \frac{\underline{d}^T Q_d^+ \underline{d}}{S_0^2 h} \quad (7)$$

$T < F_{h,f,1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerlidir.

Yorum: İki periyot arasında geçen sürede $s = 1 - \alpha$ kadar bir istatistik güvenle nokta kümelerinde hareket gözlenmemiştir.

$T > F_{h,f,1-\alpha}$ ise H_0 hipotezi geçerli değildir.

Yorum: İki periyot arasında geçen sürede $s = 1 - \alpha$ kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarından birinde ya da birkaçında deformasyon olduğuna karar verilir. Deformasyon olduğuna karar verildikten sonra, ağda hareket eden noktaları tek tek belirlemek için fark vektörü ve kofaktör matrisi alt matrislere ayrılır.

$$\underline{d} = \begin{vmatrix} \underline{dF} \\ \underline{dB} \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$\underline{Q}_d^+ = \underline{P}d = \begin{vmatrix} \underline{P}_{FF} & \underline{P}_{FB} \\ \underline{P}_{BF} & \underline{P}_{BB} \end{vmatrix} \quad (9)$$

B, hareketli noktalar için indis, F, sabit noktalar için indis, olmak üzere her nokta 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 nokta sayısı kadar aykırılık etkisi hesaplanır. Alt matrisler Gauss-Yöntemi ile indirgenerek,

$$\bar{\underline{d}}_B = \underline{d}_B - \underline{P}_{BB}^{-1} \underline{P}_{BF} \underline{d}_F \quad (10)$$

$$\underline{P}_{FF} = \underline{P}_{FF} - \underline{P}_{FB} \underline{P}_{BB}^{-1} \underline{P}_{BF} \quad (11)$$

değerleri hesaplanır. Bu değerler yardımıyla θ^2 değeri

$$\theta^2 = \underline{d}^T \underline{Q}_d^+ \underline{d} = \underline{d}_F^T \bar{\underline{P}}_{FF} \underline{d}_F + \bar{\underline{d}}_B^T \underline{P}_{BB} \bar{\underline{d}}_B \quad (12)$$

olarak bağımsız iki bileşene ayrılır. $\bar{\underline{d}}_B^T \bar{\underline{P}}_{FF} \underline{d}_F$ sabit olduğu varsayılan noktaya ait aykırılık, $\bar{\underline{d}}_B^T \underline{P}_{BB} \bar{\underline{d}}_B$ hareketli olduğu varsayılan her noktaya ait aykırılıktır.

$$\theta^2 = (\bar{\underline{d}}_B^T \underline{P}_{BB} \bar{\underline{d}}_B)_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (13)$$

Burada p, nokta sayısıdır. Toplam aykırılıktaki payı en büyük olan $(\theta^2)_{\max} = \max(\theta^2_i)$ olan noktada, $s = 1 - \alpha$ kadar istatistik güvenle deformasyon olduğuna karar verilir. Ağda hareket eden başka nokta bulunup bulunmadığını araştırmak için \underline{d} ve \underline{Q}_d^+ 'ye bir S-dönüşümü yapılarak geriye kalan (p-1) noktadan yararlanarak yeni bir datum verilir. 'de deformasyon noktasına ait elemanlar, en son satır ve sütunlara atılır. G ortogonal

matrisi, p sayıda nokta için oluşturulur. E matrisi, köşegen üzerinde ilk sırada datum noktalarına karşılık 1, öteki bilinmeyen parametreler için 0 değeri olmak üzere dönüşüm matrisi S, $H = E G$ eşitliğine göre hesaplanır. \underline{d} ve \underline{Q}_d matrisi

$$\underline{S}_i = I - \underline{G} (\underline{H}^T \underline{G})^{-1} \underline{H}^T \quad (14)$$

$$\underline{d}_i = \underline{S}_i \underline{d} \quad (15)$$

$$\underline{Q}_{di} = \underline{S}_i \underline{Q}_d \underline{S}_i^T \quad (16)$$

biçiminde dönüştürülür. S- transformasyonu, yeni bir dengelemeye gerek kalmadan bir datumdan başka bir datuma geçme işlemidir. i. dönüşümden sonra fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi

$$\underline{d}_i = \begin{vmatrix} \underline{d}_D \\ \underline{d}_N \end{vmatrix} = \underline{S}_i \begin{vmatrix} \underline{d}_F \\ \underline{d}_B \end{vmatrix} = \underline{S}_i \underline{d} \quad (17)$$

$$\underline{Q}_{di} = \begin{vmatrix} \underline{Q}_{DD} & \underline{Q}_{DN} \\ \underline{Q}_{ND} & \underline{Q}_{NN} \end{vmatrix} \quad (18)$$

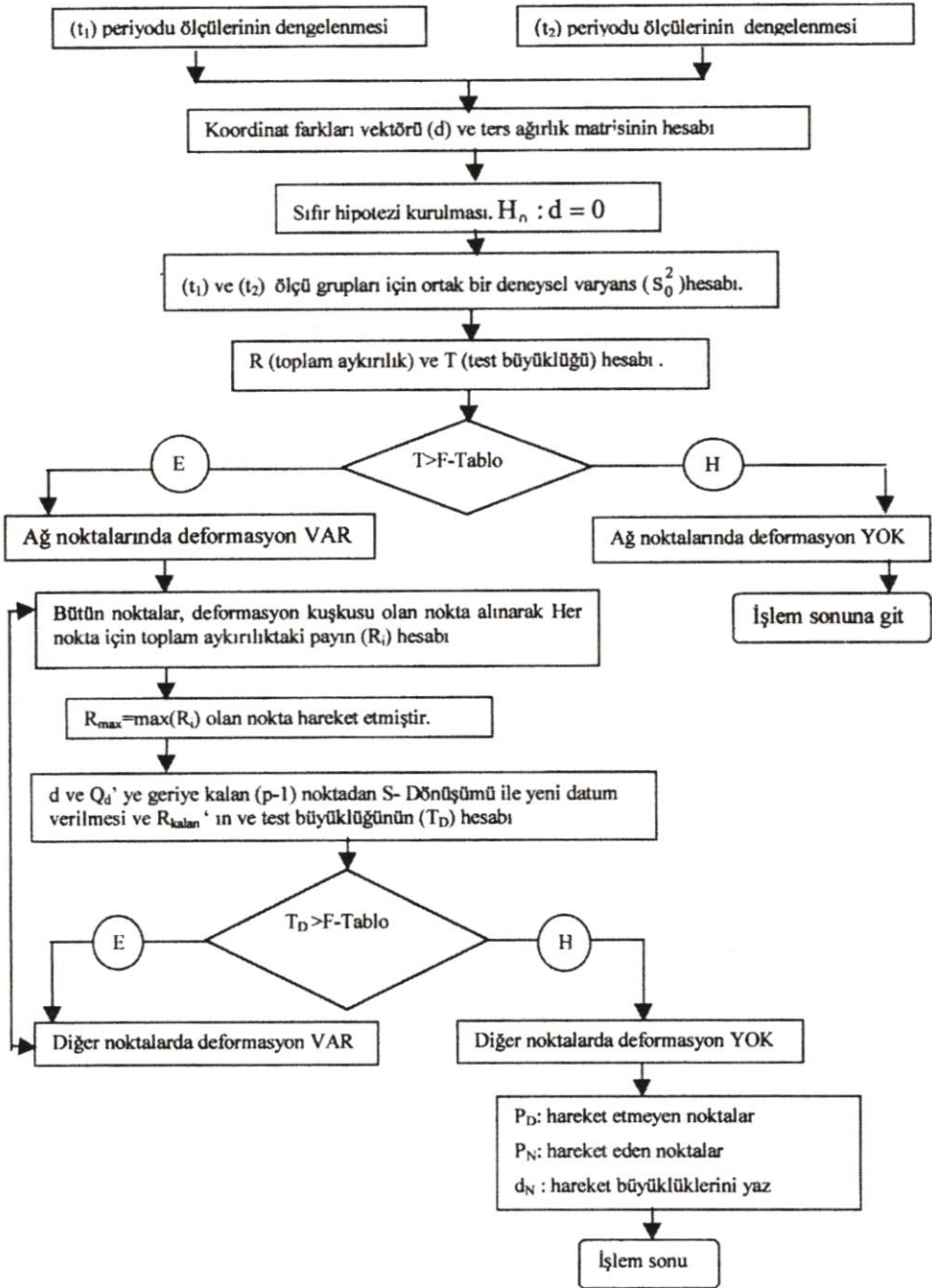
biçiminde alt matrislere ayrılır. D, datum noktalarına ait indis; N, datum dönüşümüne katılmayan noktaları göstermektedir. \underline{d}_N toplam aykırılıktaki payları en büyük olan $(\theta^2)_{\max}$ noktalarına ait \underline{d}_B değerinin dönüşümden sonraki değeridir. i. belirleme adımımdan sonra kalan aykırılık ve serbestlik dereceleri

$$(\theta^2)_{\text{kalan}} = \underline{d}_D^T \underline{Q}_{DD}^+ \underline{d}_D \quad (19)$$

$$h_D = h - m, \quad f_D = f - m \quad (20)$$

biçiminde hesaplanır. m, deformasyon olduğu belirlenen noktaya ilişkin koordinatların sayısıdır. Test büyüklüğü, $T_D = \frac{(\theta^2)_{\text{kalan}}}{S_0^2 \cdot h_D} > F_{h_D, f_D, 1-\alpha}$ ise ağda hareketli nokta vardır.

Hareketli noktalar, yukarıda anlatılan işlemler tekrar edilerek belirlenir. Son bir S- dönüşümü ile ağda sabit kalan noktalar P_D deformasyon oluştuğu kanıtlanan noktalar P_N ve deformasyon büyüklükleri \underline{d}_N elde edilir [Pelzer, H., 1971; Dupraz, H., vd., 1979; Gründig, L.V., vd., 1985; Öztürk, E., vd., 1987; Ünver, M., 1994]. Bu yöntemin uygulanmasında izlenmesi gereken işlem adımları Şekil 1'de iş akış şeması olarak verilmiştir.



Şekil 1 : θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizinin akış şeması

3. GENELLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE DEFORMASYON ANALİZİ

Statik değerlendirme yöntemlerinden bir diğeri olan Genelleştirme yöntemiyle de hareket, zaman ve objeye etkiyen dış kuvvetlerden bağımsız olarak belirlenir [Aksoy, A., 1987; Öztürk, E., vd., 1992].

Bu yöntemin esası, (2) başlangıç hipotezinin dengelemede fonksiyonel modelin içine sokularak hareketli nokta ve hareket büyüklüklerinin hesaplanmasıdır. Bu yöntemi uygulamak için şu işlem adımları izlenir.

a) Her iki periyodun ölçüleri ayrı ayrı serbest dengelenir. İki periyot için hesaplanan düzeltmelerin kareleri toplamı sırasıyla ile Ω_1 ve Ω_2 , serbestlik dereceleri de f_1 ve f_2 ile gösterilirse, iki periyodun düzeltmeleri kareleri toplamı ve serbestlik derecesi,

$$\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 \quad ; \quad f = f_1 + f_2 \quad (21)$$

elde edilir. Hiçbir noktada hareket yoktur hipotezinin testi için ağ noktalarına tek koordinat bilinmeyen verilerle toplu dengeleme yapılır. Buna göre dengelemenin fonksiyonel modeli,

$$\begin{bmatrix} 1_1 \\ 1_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} |x_1| \quad (22)$$

şeklinde kurulur. Bu dengeleme sonucunda elde edilen düzeltmelerin kareleri toplamı Ω_H ve dengelemenin serbestlik derecesi f_H ' dir. H_0 hipotezinin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi ve bunun serbestlik derecesi hesaplanır.

$$R_H = \Omega_1 - \Omega \quad ; \quad h = f_H - f \quad (23)$$

Kuramsal varyansın deneysel değeri ve test büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_0^2 = \frac{\Omega}{f} \quad (24)$$

$$T_H = \frac{R_H}{S_0^2 h} \quad (25)$$

$T_H > F_{h,f,1-\alpha}$ ise iki periyot arasında hareket olduğu kararına varılır.

b) Deformasyon olan noktaların belirlenmesi için x_1 vektörü,

$$x_1 = \begin{bmatrix} x_{ID} \\ x_{IH} \end{bmatrix} \quad (26)$$

şeklinde bileşenlere ayrılır. x_{ID} vektöründe bulunan noktalar sırasıyla x_{IH} 'ya çıkarılarak hareketli noktaların belirlenmesine geçilir. x_{ID} , sabit noktaları; x_{IH} , hareketli noktaları göstermektedir [Öztürk, E., vd., 1992; Hoşbaş, G., 1992]. Hareketli noktaların test edilmesi için iki periyot arasında sabit olduğu varsayılan noktalara tek, hareketli olduğu varsayılan noktalara ise iki ayrı koordinat bilinmeyenleri verilerek toplu dengeleme yapılır.

$$\begin{vmatrix} \underline{l}_1 \\ \underline{l}_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \underline{v}_1 \\ \underline{v}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{A}_I & \underline{A}_1 & \underline{0} \\ \underline{A}_I & \underline{0} & \underline{A}_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_I \\ x_1 \\ x_2 \end{vmatrix} \quad (27)$$

$$\underline{K}_{11} = S_0^2 \begin{vmatrix} \underline{Q}_{11} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Q}_{22} \end{vmatrix} \quad (28)$$

Burada, x_I , sabit olduğu kabul edilen noktalara ait koordinat bilinmeyenleri; x_i ($i=1, 2$) hareketli noktalara ait koordinat bilinmeyenleri; \underline{A}_I ve \underline{A}_i ($i = 1, 2$) sırasıyla sabit ve hareketli noktalar için katsayılar matrisidir. (27) ve (28) eşitlikleri kısa gösterimle

$$\underline{l}_H + \underline{v}_H = \underline{A}_H \underline{x}_H \quad (29)$$

$$\underline{K}_{11} = S_0^2 \underline{Q}_{11} \quad (30)$$

biçiminde yazılır. x_H koordinatları, sabit kabul edilen noktalara göre kısmi iz minimum yapılarak hesaplanır. Toplu dengelemeden düzeltmelerin kareleri toplamı W_{IHj} hesaplanır. Her nokta için yeni aykırılık ve serbestlik derecesi hesaplanır.

$$\underline{R}_{IHj} = \Omega_{IHj} - \Omega \quad ; \quad h_H = f_{Hj} - f \quad (31)$$

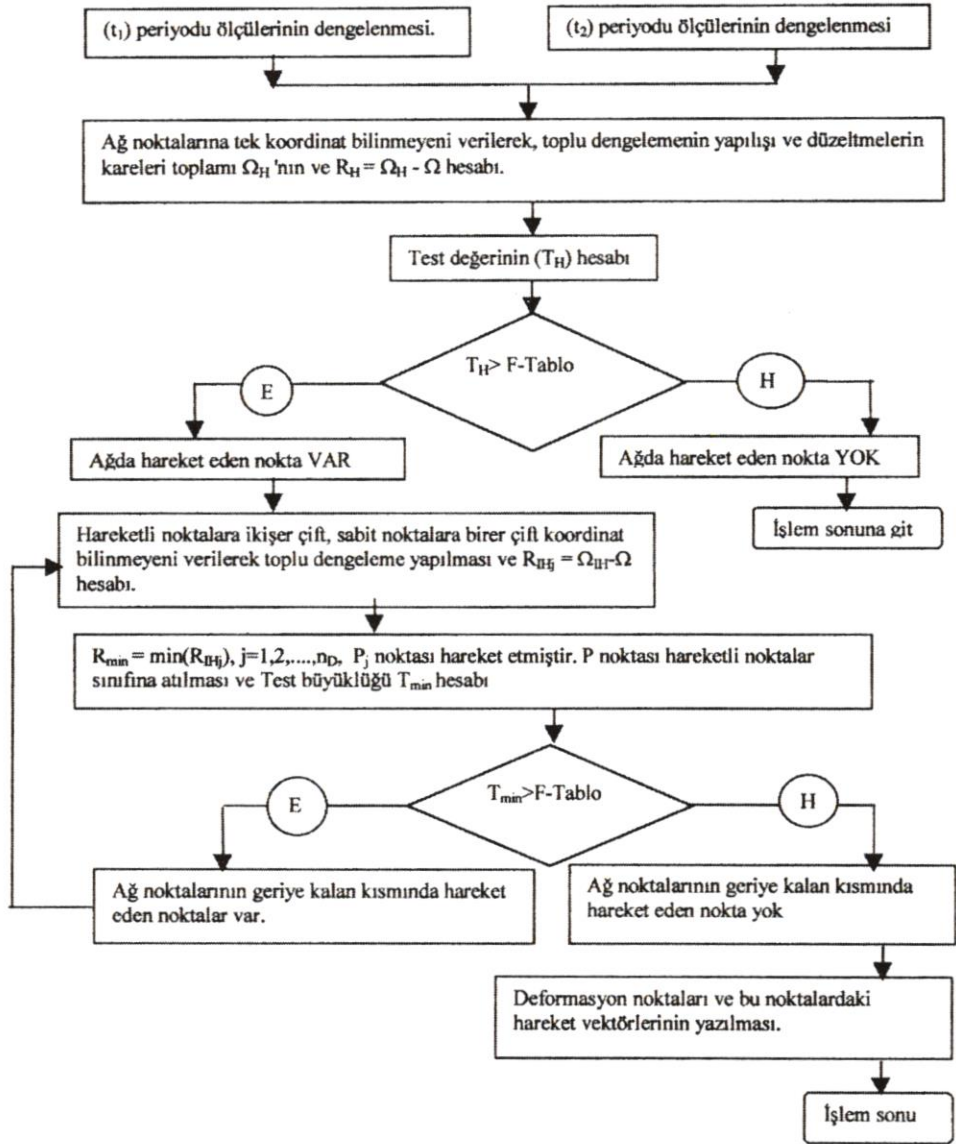
x_I vektöründe bulunan nokta sayısı kadar \underline{R}_{IHj} değeri hesaplanır [Yalçınkaya, M., 1994; Yalın, D., vd., 1993].

$$\underline{R}_{\min} = \min(\underline{R}_{IHj}) \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n_D \quad (32)$$

olan P_j noktasında $s = 1 - \alpha$ kadar istatistik güvenle defomasyon vardır denir. Ağda defomasyon olan başka noktalar bulunup bulunmadığını araştırmak için \underline{R}_{\min} değerinden yararlanarak test değeri

$$\underline{T}_{\min} = \frac{\underline{R}_{\min}}{S_0^2 h_H} \quad (33)$$

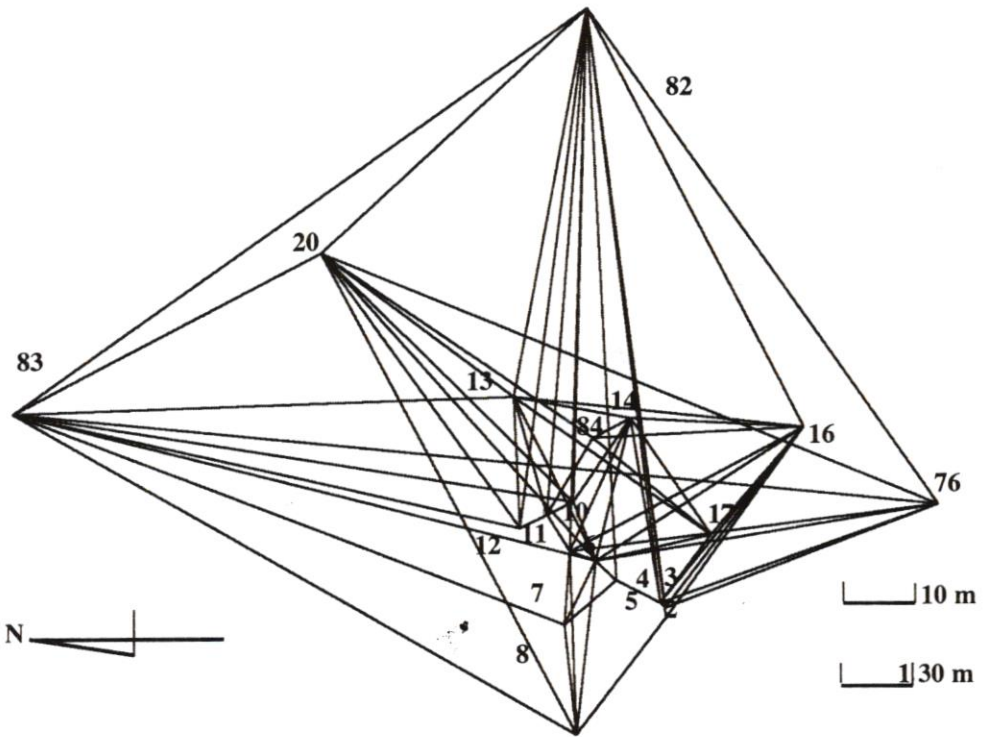
şeklinde hesaplanır. Test değeri, F-Tablo değerini aşarsa (b) bölümünde anlatılan işlemlere test değeri tablo değerinden küçük oluncaya kadar devam edilir. Son adımda hareketli ve sabit noktalar belirlendikten sonra toplu dengeleme işlemi yapılarak hareketli noktalar ve hareket büyüklükleri belirlenmiş olur. Bu yöntemin uygulanmasında izlenmesi gereken işlem adımları Şekil 2'de iş akış şeması olarak verilmiştir.



Şekil 2 : Genelleştirme yöntemi ile deformasyon analizinin akış şeması

4. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulamada, bir maden galerisi ve çevresini kapsayacak şekilde tesis edilen jeodezik deformasyon ağında yapılan ölçüler kullanılmıştır (Şekil 3). Ağ, hareket beklenmesi olmayan sabit zeminler üzerinde tesis edilmiş 20, 76, 82, 83 nolu noktalar ile galerinin üzeri ve yakın çevresine tesis edilmiş 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 84 numaralı noktalardan oluşmaktadır. Ağda Eylül 1998 (t_1) ve Mayıs 1999 (t_2) periyotlarında 111 doğrultu gözlemi ve 54 kenar ölçüsü yapılmıştır. Her iki periyotta da ağdaki nokta sayısı ve ölçü planı aynı kalmıştır. t_1 ve t_2 periyodu ölçüleri serbest ağ dengelemesine göre dengelenmiş ve deneysel varyansların eşdeğer olup olmadığı irdeyerek eşdeğer oldukları görülmüştür.



Şekil 3. Deformasyon ağı

4.1. θ^2 -Ölçütü İle Deformasyon Analizi

θ^2 -Ölçütü hesaplama sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Tablodaki değerler (2.1.) bölümünde açıklanan eşitliklerden hesaplanmıştır. Her adım sonunda hareketli nokta dışında geri kalan noktalarla S-dönüşümü yapılarak diğer adımlara geçilmiştir.

1. ADIM				2. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 71311.42 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 117.26 F-Tablo=1.48 T > F Deformasyon VAR	2	30011.28	R _{MAX} =128752.60 Hareketli Nokta 6 dx=-10.89mm dy=10.93mm	R = 64444.06 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 112.03 F-Tablo=1.49 T > F Deformasyon VAR	2	23123.96	R _{MAX} =63849.47 Hareketli Nokta 3 dx=3.00mm dy= 7.82mm
	3	59027.48			3	63849.47	
	4	1902.25			4	13013.98	
	5	39430.53			5	29262.63	
	6	128752.60			6	19436.36	
	7	39524.63			7	5802.71	
	8	6077.07			8	1055.64	
	9	1080.70			9	7032.92	
	10	983.08			10	25410.60	
	11	20086.69			11	3792.48	
	12	3226.69			12	953.69	
	13	1172.43			13	3492.46	
	14	3926.60			14	254.81	
	16	264.36			16	3093.99	
	17	3488.26			17	241.28	
	20	279.31			20	3169.00	
76	3213.10	76	139.33				
82	124.36	82	269.03				
83	295.37	83	409.74				
84	550.19	84					
3. ADIM				4. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 48838.97 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 70.18 F-Tablo=1.50 T > F Deformasyon VAR	2	461.52	R _{MAX} =30997.84 Hareketli Nokta 5 dx= -4.47 mm dy= 17.95 mm	R = 242.46 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 47.67 F-Tablo=1.52 T > F Deformasyon VAR	2	249.92	R _{MAX} =40163.27 Hareketli Nokta 11 dx= 0.10 mm dy= 9.91 mm
	4	3246.96			4	1526.61	
	5	3099.84			5	8356.55	
	7	20936.99			7	2094.20	
	8	6000.29			8	527.24	
	9	343.27			9	6338.04	
	10	7850.52			10	40163.27	
	11	28953.77			11	7271.47	
	12	4904.17			12	430.17	
	13	830.31			13	2295.36	
	14	2871.17			14	168.62	
	16	184.96			16	1827.71	
	17	1746.22			17	147.05	
	20	208.65			20	2.51	
	76	6.00			76	117.43	
	82	27.74			82	223.23	
83	255.53	83	188.85				
84	300.71	84					

Tablo 1: θ^2 -Ölçütü ile deformasyon analizi

Tablo 1'in devamı

5. ADIM				6. ADIM					
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR		
R = 7295.34	2	292.99	R _{MAX} =5556.82 Hareketli Nokta 7 dx=-9.49 mm dy=5.64 mm	R =4628.42	2	305.31	R _{MAX} =2491.96 Hareketli Nokta 10 dx=-5.76 mm dy= 4.31 mm		
s ₀ ² =16.44	4	1391.11		R =4628.42	4	1558.40			
f= 220	7	5556.82		s ₀ ² =16.44	8	164.77			
	8	1939.51		f= 220	9	467.48			
T =15.30	9	597.97		T =10.43	10	2491.96			
F-Tablo=1.54	10	4756.55		F-Tablo=1.56	12	180.34			
	12	49.34		T > F	13	218.12			
T > F	13	340.98			14	1168.00			
	14	1346.40			16	102.96			
	16	132.90			17	1598.88			
Deformasyon	17	1912.62			20	13.28			
VAR	20	19.68			76	0.85			
	76	0.14			82	137.58			
	82	167.42			83	173.55			
	83	254.16		84	10.02				
	84	17.96							
7. ADIM				8. ADIM					
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR		
R =4012.50	2	225.50	R _{MAX} =1442.42 Hareketli Nokta 17 dx=2.84 mm dy=-0.31 mm	R =3699.22	2	282.13	R _{MAX} =1484.50 Hareketli Nokta 14 dx=1.98 mm dy= -5.41 mm		
s ₀ ² =16.44	4	994.28		R =3699.22	4	1107.67			
f= 220	8	487.20		s ₀ ² =16.44	8	481.54			
	9	425.89		f= 220	9	466.51			
T = 9.76	12	158.65		T = 9.78	12	118.68			
F-Tablo=1.58	13	194.48		F-Tablo=1.60	13	155.50			
	14	1012.06		T > F	14	1484.50			
T > F	16	97.30			16	187.04			
	17	1442.42			20	8.20			
	20	11.06			76	10.80			
Deformasyon	76	0.91			82	137.62			
VAR	82	139.57			83	127.07			
	83	138.56			84	25.16			
	84	37.17							
9. ADIM				10. ADIM					
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR		
R =2422.52	2	266.09	R _{MAX} =1072.73 Hareketli Nokta 4 dx=5.06 mm dy= 8.27 mm	R = 1762.11	2	143.80	R _{MAX} =590.99 Hareketli Nokta 9 dx=6.79mm dy= -0.50mm		
s ₀ ² = 16.44	4	1072.73		R = 1762.11	8	202.14			
f=220	8	412.40		s ₀ ² =16.44	9	590.99			
	9	424.81		f= 220	12	9.43			
T = 7.02	12	29.71		T =5.49	13	323.64			
F-Tablo=1.63	13	381.56		F-Tablo=1.66	16	120.29			
	16	153.12		T > F	20	12.68			
T > F	20	15.87			76	9.67			
	76	6.27			82	157.43			
	82	165.89			83	123.95			
Deformasyon	83	168.66			84	141.51			
VAR	84	90.62							
11. ADIM				12. ADIM					
GlobalTest	No	R _i		KARAR	Global Test	No		R _i	KARAR
R = 1202.03	2	573.88	R _{MAX} =573.88 Hareketli Nokta 2 dx= 7.44 mm dy= 4.62mm	R = 915.21	8	215.43	R _{MAX} =407.54 Hareketli Nokta 84 dx= 1.82 mm dy= 5.21 mm		
s ₀ ² = 16.44	8	224.03		R = 915.21	12	52.14			
f= 220	12	10.87		s ₀ ² =16.44	13	309.78			
T =4.30	13	341.61		f= 220	16	95.62			
F-Tablo=1.70	16	183.29		T =3.71	20	9.97			
T > F	20	6.80		F-Tablo=1.75	76	15.88			
	76	25.24		T > F	82	84.24			
Deformasyon	82	138.27			83	51.16			
VAR	83	86.20			84	407.54			
	84	220.23							

Tablo 1'in devamı

13. ADIM				14. ADIM			
GlobalTest	No	R _i	KARAR	Global Test	No	R _i	KARAR
R = 514.56	8	179.03	R _{MAX} =313.06 Hareketli Nokta 12 dx= 1.69 mm dy=2.15mm	R =446.64	8	364.26	R _{MAX} =364.26 Hareketli Nokta 8 dx= 0.62 mm dy= 8.03 mm
s ₀ ² =16.44	12	313.06		R =17.31	13	17.31	
f= 220	13	65.58		s ₀ ² =16.44	16	129.10	
T =2.41	16	112.83		f= 220	20	101.94	
F-Tablo=1.81	20	77.43		T =2.47	76	78.88	
T > F	76	63.74		F-Tablo=1.88	82	29.15	
Deformasyon VAR	82	31.13	T > F	83	16.53	Deformasyon VAR	
	83	27.03					
15. ADIM							
GlobalTest							
R =214.74							
s ₀ ² =16.44							
f= 220							
T = 1,45							
F-Tablo=1.98							
T < F							
Deformasyon YOK							

θ^2 -Ölçütünün, programlamaya uygun olması ve daha kısa sürede sonuç alınması nedeniyle en uygun yöntem olduğu söylenebilir. q_2 -Ölçütü ile kolaylıkla hesap yapılmasına karşın, bu yöntemde konum değişikliği rasgele ölçü hataları sınırı içinde kalan noktalar da hareketli nokta olarak saptanmaktadır. Ayrıca, nokta sayısının az olduğu ağlarda, özellikle serbest ağ dengelemesinde ağda sabit nokta yoksa değişim gösteren noktalar teker teker ayıklanırsa en son noktalarda hareket varsa bile, ağın serbestlik derecesi kadar elemana sahip noktaların irdelenmesi yapılamamaktadır. Sayısal uygulamada q_2 -Ölçütünün ayırma gücü, diğer yöntemlere göre daha fazla olduğundan söz konusu yöntem ile diğer yöntemlere göre daha çok hareketli nokta belirlenmiştir.

4.2. Genelleştirme Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Genelleştirilmiş yöntemi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Tablodaki değerler (2.2.) bölümünde açıklanan eşitliklerden hesaplanmıştır. Hareketli noktaların x ve y yönündeki hareket büyüklükleri Tablo 2'nin son sütununda verilmiştir.

Tablo 2. Genelleştirme yöntemi ile deformasyon analizi

1. ADIM				2. ADIM			
GlobalTest	No	R _{HUJ}	KARAR	Global Test	No	R _{HUJ}	KARAR
R = 71452.09 s _e ² = 16.44 f = 220 T = 79.04 F-Tablo = 1.40 T > F Deformasyon VAR	2	64835.97	R _{min} =45098.47 Hareketli Nokta 3	R=45098.47 s _e ² =16.44 f= 220 T =38.65 F-Tablo=1.36 T > F Deformasyon VAR	2	44630.14	R _{min} =27366.62 Hareketli Nokta 11
	3	45098.47			4	42708.14	
	4	49723.56			5	39848.73	
	5	66201.19			6	38231.29	
	6	64584.39			7	35457.42	
	7	61815.76			8	42373.94	
	8	68727.44			9	43608.94	
	9	69732.87			10	34343.22	
	10	60696.28			11	27366.62	
	11	53719.14			12	36218.92	
	12	62572.92			13	44893.18	
	13	71248.07			14	43211.23	
	14	69869.39			16	44892.81	
	16	71402.32			17	44419.07	
	17	69516.36			20	45084.57	
	20	71438.62			76	44767.94	
	76	65999.87			82	45034.90	
82	71443.54	83	45069.23				
83	71422.898	84	43799.93				
84	70149.95						
3. ADIM				4. ADIM			
GlobalTest	No	R _{HUJ}	KARAR	Global Test	No	R _{HUJ}	KARAR
R = 27366.62 s _e ² = 16.44 f = 220 T = 24.85 F-Tablo=1.37 T > F Deformasyon VAR	2	26897.15	R _{min} = 18081.67 Hareketli Nokta 7	R = 18081.67 s _e ² =16.44 f = 220 T =16.92 F-Tablo =1.37 T > F Deformasyon VAR	2	17702.50	R _{min} =13161.04 Hareketli Nokta 5
	4	24973.44			4	15641.45	
	5	22114.24			5	13161.04	
	6	20769.21			6	16143.87	
	7	18081.67			8	16791.16	
	8	24716.69			9	16914.41	
	9	25937.84			10	16187.82	
	10	25800.65			12	18049.40	
	12	27321.12			13	17332.37	
	13	26871.62			14	16083.85	
	14	25248.33			16	17930.29	
	16	27165.67			17	17498.47	
	17	26676.82			20	18065.96	
	20	27354.51			76	17851.40	
	76	27033.37			82	18049.17	
	82	27308.36			83	18058.95	
	83	27336.955			84	16540.08	
84	25607.38						
5. ADIM				6. ADIM			
GlobalTest	No	R _{HUJ}	KARAR	Global Test	No	R _{HUJ}	KARAR
R = 13161.04 s _e ² =16.44 f = 220 T =12.71 F-Tablo=1.38 T > F Deformasyon VAR	2	12772.53	R _{min} =4796.00 Hareketli Nokta 6	R =4796.00 s _e ² =16.44 f = 220 T =4.78 F-Tablo=1.38 T > F Deformasyon VAR	2	4435.82	R _{min} =3299.32 Hareketli Nokta 14
	4	12644.69			4	4228.07	
	6	4796.00			8	4435.79	
	8	12789.96			9	4150.50	
	9	12381.74			10	4180.12	
	10	11140.04			12	4755.00	
	12	13120.72			13	4541.38	
	13	12345.48			14	3299.32	
	14	11155.24			16	4729.95	
	16	13029.62			17	4504.20	
	17	12605.23			20	4790.18	
	20	13146.14			76	4741.15	
	76	12954.30			82	4771.51	
	82	13151.18			83	4694.56	
	83	13060.77			84	3363.03	
	84	11584.36					

Tablo 2. Genelleştirme yöntemi ile deformasyon analizi

Tablo 2'nin devamı

7. ADIM				8. ADIM			
GlobalTest	No	R _{MIJ}	KARAR	Global Test	No	R _{MIJ}	KARAR
R = 3299.32 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 3.40 F-Tablo=1.39 T > F Deformasyon VAR	2	2966.39	R _{min} =2505.79 Hareketli Nokta 13	R = 2505.79 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 2.67 F-Tablo=1.39 T > F Deformasyon VAR	2	2200.83	R _{min} =1848.35 Hareketli Nokta 9
	4	2906.46			4	2217.66	
	8	2985.86			8	2207.45	
	9	2647.96			9	1848.35	
	10	2734.38			10	2144.09	
	12	3269.34			12	2412.18	
	13	2505.79			16	2464.75	
	16	3243.59			17	2325.49	
	17	3141.96			20	2467.29	
	20	3293.23			76	2481.95	
	76	3260.29			82	2492.78	
	82	3273.63			83	2296.37	
	83	3223.66			84	2322.86	
84	2934.98						
9. ADIM				10. ADIM			
GlobalTest	No	R _{MIJ}	KARAR	Global Test	No	R _{MIJ}	KARAR
R = 1848.35 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 2.04 F-Tablo=1.40 T > F Deformasyon VAR	2	1628.44	R _{min} =1482.99 Hareketli Nokta 10	R = 1482.99 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 1.70 F-Tablo=1.41 T > F Deformasyon VAR	2	1251.89	R _{min} =988.40 Hareketli Nokta 4
	4	1602.68			4	988.40	
	8	1836.29			8	1374.46	
	10	1482.99			12	1404.37	
	12	1756.88			16	1423.98	
	16	1799.09			17	1312.88	
	17	1647.62			20	1453.34	
	20	1807.28			76	1444.61	
	76	1820.12			82	1437.22	
	82	1830.00			83	1391.10	
	83	1691.43			84	1346.16	
	84	1681.26					
	11. ADIM				Deformasyon Büyüklükleri		
GlobalTest				NN	dx (mm)	dy (mm)	
R = 988.40 s ₀ ² = 16.44 f = 220 T = 1.18 F-Table=1.41 T < F Deformasyon YOK				4	1.02	1.02	
				10	-6.20	-6.20	
				9	7.19	7.19	
				13	0.27	0.27	
				14	1.80	1.80	
				6	-13.01	-13.01	
				5	-7.45	-7.45	
				7	-9.20	-9.20	
				11	0.16	0.16	
				3	3.65	3.65	

Genelleştirme yöntemi, ağ noktalarının bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon olduğundan kuşku duyulduğu durumlarda kullanılabilir. Verilerin genelleştirme yöntemine göre düzenlenmesi ve toplu dengeleme modelinin kurulması oldukça zor olmasına karşın bu yöntem istatistiksel yönden güvenli sonuçlar verir. Genelleştirme yönteminin ayırma gücü az olduğundan sayısal uygulamada daha az hareketli nokta saptanmıştır.

Hesaplama yapılan yöntemlerle hareket ettiği saptanan noktalar ve hareket büyüklükleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deformasyon belirleme yöntemleri ile hesaplanan hareketli noktalar ve hareket büyüklükleri

No	θ^2 -Ölçütü yöntemi		Genelleştirme Yöntemi	
	dx (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dy (mm)
2	7.44	4.62		
3	3.00	7.82	3.65	7.07
4	5.06	8.27	1.02	6.56
5	-4.47	17.95	-7.45	17.88
6	-10.89	10.93	-13.01	12.63
7	-9.49	5.64	-9.20	5.03
8	0.62	8.03		
9	6.79	-0.50	7.19	-9.69
10	-5.76	4.31	-6.20	3.66
11	0.10	9.91	0.16	10.10
12	1.69	2.15		
13			0.27	-7.58
14	1.98	-5.41	1.80	-8.16
16				
17	2.84	-0.31		
20				
76				
82				
83				
84	1.82	5.21		

Galerinin üzerinde ve yakın çevresinde bulunan 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 17, 84 noktalarında hareket beklentisi vardır. Tablo 4’de görüldüğü gibi 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14 nolu noktalarda iki yöntemde de hareket saptandığından bu noktaların kesin hareket ettiği kararına varılmıştır. 2, 8, 12, 13, 17, 82, 84 nolu noktalar kritik noktalardır.

5. SONUÇ

Çalışmanın amacı, uygulamada en çok kullanılan statik deformasyon modellerinden en çok kullanılanları olan θ^2 -Ölçütü ve Genelleştirme yöntemlerini incelemek ve deformasyon belirlemesi yapmak isteyen uygulayıcıya bu yöntemlerden kullanması gereken en uygun olanını önermektir.

θ^2 -Ölçütü, programlamaya en uygun yöntemdir. Bu yöntemin ayırma gücü Genelleştirme yöntemine göre daha fazla olduğundan rasgele ölçü hataları içindeki hareketler deformasyon olarak yorumlanır. İnsan hayatının söz konusu olduğu uygulamalarda

bu yöntemin uygulanması daha güvenilirdir. Genelleştirme yöntemi, θ^2 -Ölçütü'ne göre uygulanması daha zordur. Çünkü, Genelleştirme yönteminde toplu dengeleme modelinin kurulması zordur ve her adımda yeni bir dengeleme işlemi yapılması gerekir. Ağ noktalarının bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon olduğu biliniyorsa genelleştirme yöntemi uygulanabilir ve istatistik olarak da güvenli sonuçlar verir.

Sonuç olarak, depremlerin önceden kestirimi, heyelanların belirlenmesi, maden ocaklarında oluşan hareketlerin belirlenmesi, baraj ve büyük mühendislik binalarında oluşan hareketlerin belirlenmesi gibi sonuçların hayati derecede önemli olduğu çalışmalarda, oluşan hareketler statik olarak belirlenmek isteniyorsa, ayırma gücü fazla olan θ^2 -Ölçütü yöntemi kullanılabilir. Ağ noktalarının bir bölümünde daha başlangıçta deformasyon olduğu bilindiği durumlarda da genelleştirme yöntemi ile hareket belirlemesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Aksoy, A., Jeodezik Verilerin Matematik İstatistik Testlerle İrdelenmesi, TürkiyeI. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Şubat 1987.
- [2] Aksoy, A., Ayan, T., Deniz, R., Seeger, H., Franke, P., Altınar, Y., Hirsch, O., Bautsch, P., Kuzey Anadolu Taşkesti ve Gerede Kesiminde Yerkabuğu Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi Çalışmaları ve Bazı Analiz Sonuçları, Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, İstanbul, Kasım 1993.
- [3] Altan, O., Ayan, T., Heyelan Bölgelerinde Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Uygulama, KTÜ Türkiye I. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Kasım 1991.
- [4] Atasoy, V., ve Öztürk, E., Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Sonuçların Yorumu, TMMOB Harita Kadastro Mühendisliği Dergisi, sayı 50-51, 1984.
- [5] Atasoy, V., Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Yerkabuğu Hareketlerinin İrdelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,1988.
- [6] Ayan, T., Deformasyonların Saptanmasında Kontrol Ağının İkiye Ayrılması Yöntemi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 45-46-47, 1983.
- [7] Başkaya, B., S- Transformasyonu ve Yatay Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.
- [8] Demirel, H., Jeodezik Ağlarda Datum Tanımları ve Dengeleme Sonuçlarına Etkileri, Prof. Burhan Tansuğ Fotogrametri ve Jeodezi Semp., Ankara, 1987.
- [9] Dupraz, H., Niemeier, W., Pelzer, H., Analyse von Deformationsmessungen durch Klaffunszerlegung, Deformationsanalysen, ZfV, H. 4, Hannover, 1979.

[10] Gründig, L.V., Nevreither, M., Bahndorf, J., Deformationanalyse und S-Transformation, ZFV, Heft 4, Stuttgart, 1985.

[11] Gürkan, O., Marmara Bölgesi Batı Kesimindeki Yerkabuğu Hareketlerinin Yerel Yöntemler ve GPS ile İzlenmesi, 5. Harita Kurultayı, Ankara, 1995.

[12] Hech, B.V., Zur Geometrischen Analyse von Deformationen Lagenetzen, AVN,91, Kashuhe, 1984.

[13] Hoşbaş, G., Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.

[14] Mierlo, J., A Testing Procedure for Analysing Geodetic Deformation Measurements, Second International Symposium on Deformation Measurements by Geodetic Methods, Bonn 1978.

[15] Öztürk, E., Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi q2- Ölçütü, Harita Dergisi, 85, 1978, 44-52

[16] Öztürk, E., Atasoy, V., Karahan, Z., Uysal, K., Akyazı Dokurcun Vadisinde Kurulan Jeodezik Ağda Yatay Kabuk Hareketlerinin Araştırılması, Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Şubat 1987.

[17] Öztürk, E., Şerbetçi, M., Dengeleme Hesabı III, KTÜ Basımevi, Trabzon, 1992.

[18] Pelzer, H., Zur Analyse Geodetischer Deformationsmessungen, DGK, R.C., Nr.164, München, 1971.

[19] Şeker, M., Düşey Kontrol Ağlarında Deformasyon Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.

[20] Ünver, M., Düşey Yöndeki Yerkabuğu Deformasyonlarının Kinematik Model ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enst., Trabzon, 1994.

[21] Yalçınkaya, M., Tanır, E., Deformation of Movements on Mining Areas By Static Deformation Models, 11 st ISM International Congress, Polond, 2000.

[22] Yalın, D., ve Aksoy, A., Gerede Mikrojeodezik Ağında Noktalar Arasındaki Yükseklik Farklarını Belirlemek Amacıyla Yapılan Ölçme ve Değerlendirme Çalışmaları, Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, İstanbul, Kasım 1993.