



## Makale

# Yamula Barajında Deformasyon Analizi

Temel BAYRAK

Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü 68100 Aksaray,  
tbayrak@nigde.edu.tr

## ÖZET

Deformasyon ölçmelerinin en önemli uygulama alanlarından birisi barajlarda yürütülen deformasyon izleme çalışmalarıdır. Ülkemizde bu ölçme çalışmalarının gerektiği biçimde yapıldığı söylenemez. Bu durum dünyanın birçok yerinde de aynıdır. İlk bakışta gereksiz gibi görünen bu izleme çalışmalarının, ileride faturası çok pahalı olabilecek olası olaylar için alarm zili mahiyetinde olduğu göz ardı edilmemelidir. Belli büyüklüğü aşan bütün barajlarda deformasyon ölçülerinin yapılması zorunludur. Çünkü bu ölçülerden elde edilecek sonuçlara göre bir takım önlemler alınır ya da önlem alınmasına gerek olmadığı tespit edilir. Elde edilen her iki sonuçta işletme açısından önemlidir. Bu çalışmada, kayseri iline 35 km uzaklıkta Kızılırmak nehri üzerinde yapılmış olan Yamula barajının zamansal davranışı yapımından itibaren 1,5 yıl süresince gerçekleştirilmiş dört periyot ölçü ile izlenmiştir. Barajda gerçekleşen deformasyonlarının belirlenmesi amacıyla, çalışmada, statik deformasyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar baraj üzerindeki tüm noktaların hareket halinde olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Statik deformasyon, Yamula barajı

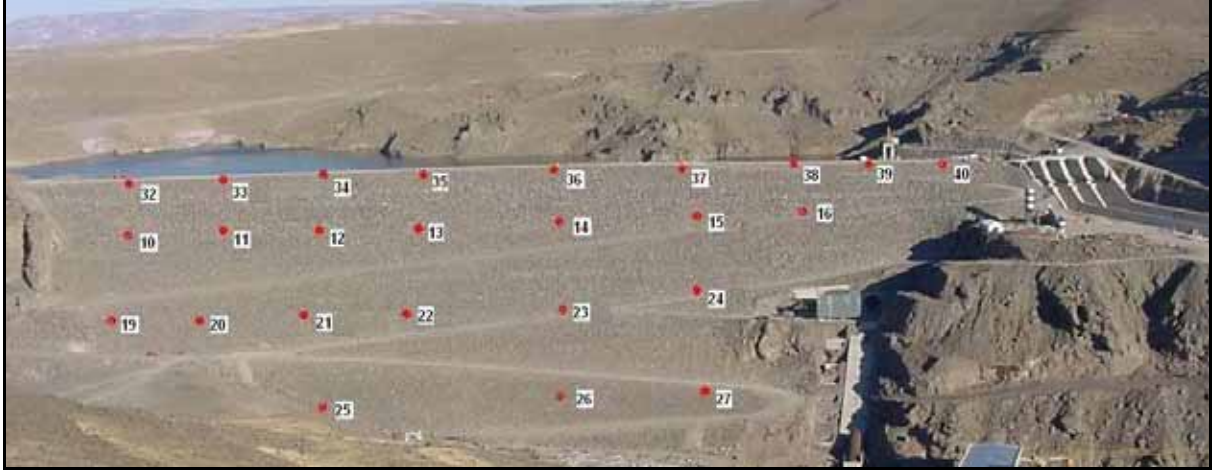
## 1. GİRİŞ

Geçmişte bazı barajların yıkılmasının sonucu olarak (örneğin: Malpassed barajı, Fransa 1959; Vaiont barajı, İtalya, 1963) çeşitli ülkelerdeki otoriteler, barajların yıkılmasını önlemek ve halkın güvenliğini sağlamak için, rezervuarları belirli bir büyüklükteki barajların sistematik olarak jeodezik ve jeofizik ölçülerle izlenmesini kararlaştırmışlardır [6]. Bununla birlikte barajların uzun süreli izlemesine ait sonuçlar ve onların deformasyon davranışları hakkında fazla bilgi yoktur. Bu makalede, yeni inşa edilen Yamula barajının rezervuara su alımı sırasında oluşabilecek deformasyonlarını izlemek için Aralık 2003 ile Nisan 2005 arasında yapılmış dört periyot ölçü analiz edildi. Analiz işlemlerinin yürütülebilmesi için öncelikle bir deformasyon ağı tesis edildi. Barajın deformasyonlarının belirlenmesi için statik deformasyon analiz yöntemi kullanıldı. Ağ düşey ve yatay olarak iki kısımda ele alındı. Sonuçlardan barajın üzerindeki tüm noktaların hareket ettiği görüldü.

## 2. YAMULA BARAJI

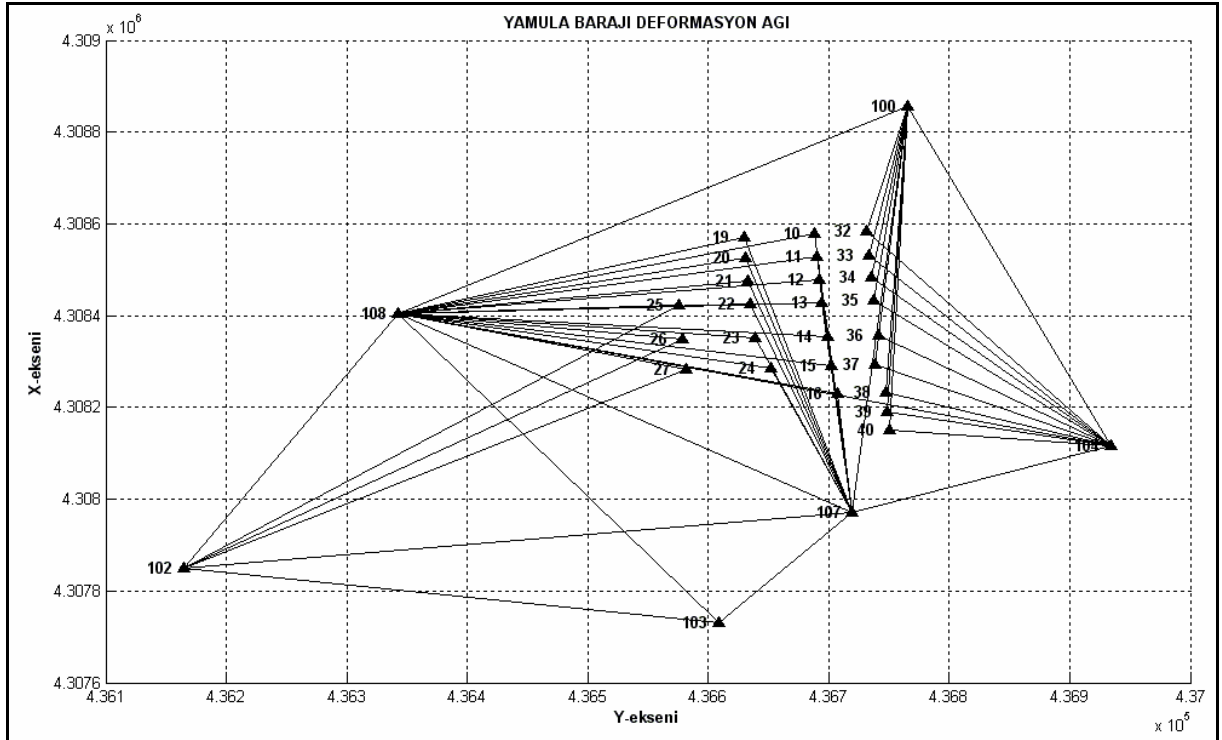
Kızılırmak Nehri üzerinde, Kayseri şehir merkezinin 35 km kuzeybatısında yer alan, Yamula Barajı ve Hidroelektrik Santrali Projesi, Yap-İşlet-Devret modeli ile yapılan enerji ve sulama amaçlı Türkiye'nin önemli projelerinden birisidir (Şekil 1). Yatırım, AYEN Enerji A.Ş.'nin bağlı ortaklığı Kayseri Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Yamula barajı orta ölçekli (yükseklik: 120 m, baraj kreti: 510 m) bir kaya dolgu barajıdır. Baraj elektrik üretmek (depolama kapasitesi yaklaşık 3476 x 106 m<sup>3</sup>) ve nehir akışını kontrol etmek amacıyla 2005 yılında hizmete girmiştir [1].

Yapısal bütünlüğü korumak, yıkılmasını önlemek ve özellikle halkın güvenliğini sağlamak için baraj, tesis edilmiş bir deformasyon ağı yardımıyla izlenmiştir (Şekil 2). Yamula barajı deformasyon ağı, baraj çevresine tesis edilmiş 6 referans noktası ve baraj üzerine tesis edilmiş 25 kontrol noktasından ibarettir.



Şekil 1. Yamula barajından bir görünüş

Ağda 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 ve 40 numaralı noktalar barajın sonradan inşa edilen kısmına ait noktalardır. Bu noktalar sadece Kasım 2004 ve Nisan 2005 periyotlarında gözlenmiştir. Ölçümler Sokkia 530R Total Station ile alınmıştır.



Şekil 2. Yamula barajı deformasyon izleme ağı

### 3. STATİK DEFORMASYON MODELİ

Statik model, bir objede hareket oluşup oluşmadığını, o obje ve çevresini kapsayan deformasyon ağının çeşitli periyotlarda belirlenen nokta koordinat farklarını istatistik olarak eşdeğerlik testi ile saptayan en temel yöntemdir. Statik modelin konusu, deformasyon irdelemesi yapılan objenin karakteristik

noktalarına ait deformasyon vektörlerinin, zamandan ve etkiyen dış kuvvetlerden bağımsız olarak belirlemektir. Bu modelle deformasyonun belirlenmesi için öncelikle obje çeşitli periyotlarda ölçülmeli ve her periyottaki ölçüler ayrı ayrı dengelenmelidir. Ölçme periyotları arasındaki koordinat farkları hem araştırılan objedeki deformasyonu hem de gözlemlerdeki hataları yansıtır. Bu nedenle periyotlar arasındaki koordinat farkları, istatistik yöntemlerle test edilerek deformasyon irdelemesi yapılır. Objeye etki eden yükler ve geometrik reaksiyonlar arasındaki davranışların incelenmesi statik modelin konusu dışındadır. Bu modelde tüm sistemin bir kez ölçülmesi sırasında noktaların sabit kaldığı varsayılır. Bu tanımıyla statik model jeodezik olarak en çok uygulanan bir deformasyon analizi yöntemidir. Basit olarak iki koordinat değerinin karşılaştırılması yerine, ölçülerin tamamının değerlendirildiği istatistik testlere dayalı çeşitli statik deformasyon modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada statik modellerden uygulamada en çok kullanılan  $\theta^2$ -Ölçütü yöntemiyle deformasyon belirlenmesi yapılmıştır.

Deformasyon ağlarının ölçme planı ve uygulanan ölçme yöntemleri, araştırma süresi boyunca aynı kalmasına rağmen yöntemden kaynaklanan sistematik etkiler, karşılaştırılan periyotların tümünde benzer ve aynı büyüklükte ortaya çıkar. Eşdeğerlik testleri sırasında koordinat vektörlerinin farkları ile işlem yapıldığından belirlenen deformasyonları sistematik hatalardan arındırmak mümkündür. İki ölçme periyodu arasında geçen sürede hiçbir noktada deformasyon olmasa bile kaçınılmaz ölçü hataları ya da deformasyonlar nedeniyle, bu ölçülerden elde edilen nokta kümeleri arasında kesin bir eşdeğerlik beklenemez. İki ölçü periyodunda elde edilen nokta kümelerinin birbiri üzerine dönüştürülmesi sonucunda bazı noktalar az çok farklılıklar gösterecektir. Bu farklılığın rasgele hatalardan mı kaynaklandığı, yoksa karşılaştırılan bu iki konum bilgileri kümesi arasında bir değişim mi bulunduğu sorusuna  $\theta^2$ -Ölçütü ile çözüm aranmaktadır.  $\theta^2$ -Ölçütü yönteminde önce tüm periyotlardaki ölçüler ayrı ayrı serbest dengelenerek, dengeli koordinatlar vektörü  $\underline{x}$ , düzeltmelerin kareleri toplamı  $\nu Tpv$ , bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi  $Q_{xx}$  hesaplanır. İki periyot arasında anlamlı nokta hareketi olup olmadığını belirlemek için, periyotlardan elde edilen dengeli koordinatların farkları ( $\underline{d}$ ),

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

olarak hesaplanır. Ağın herhangi bir noktasında deformasyon oluşup oluşmadığını araştırmak için, sıfır hipotezi hiçbir noktada deformasyon yoktur şeklinde

$$H_0 : \underline{x}_2 - \underline{x}_1 = 0 \quad (2)$$

(2)'ye göre kurulur.  $\underline{d}$  fark vektörüne ait kofaktörler matrisi  $Q_d$ , iki grup ölçülerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı ile hata yayılma kuralı uygulandığında,

$$\underline{Q}_d = \underline{Q}_{xx_1} + \underline{Q}_{xx_2} = (\underline{A}_1^T \underline{P}_1 \underline{A}_1)^+ + (\underline{A}_2^T \underline{P}_2 \underline{A}_2)^+ \quad (3)$$

olarak elde edilir. Hipotezin düzeltmelerin ağırlıklı kareleri toplamına etkisi olan  $\theta^2$ -ölçütü,

$$\theta^2 = (\underline{x}_2 - \underline{x}_1)^T \{(\underline{A}_1^T \underline{P}_1 \underline{A}_1)^+ + (\underline{A}_2^T \underline{P}_2 \underline{A}_2)^+\} (\underline{x}_2 - \underline{x}_1) \quad (4)$$

biçiminde elde edilir.  $Q_d$ 'nin rangı, ağın geometrik şeklinin ve datum parametrelerinin her iki ölçme periyodunda da aynı kaldığı durumlarda

$$h = \text{rang} (\underline{Q}_{xx_1}) = \text{rang} (\underline{Q}_{xx_2}) = u_k - d_{\text{datum}} \quad (5)$$

biçiminde hesaplanır. Burada,  $u_k$ , ağdaki koordinat bilinmeyen sayısı,  $d_{\text{datum}}$ , datum parametreleri sayısıdır. Ölçülerin, aynı aletler, aynı meteorolojik koşullarda, aynı ölçme ekibince yapıldıkları

varsayılırsa her iki ölçü dizisinin kuramsal varyansları eşit olur. Her iki ölçü kümesinin ortak standart sapması

$$s_0^2 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2}{f_1 + f_2}} \quad (6)$$

$$f_i = n_i - u_i + d_{\text{datum}} ; \quad i = 1, 2$$

eşitliğinden hesaplanır. Eşdeğerlik testinin test büyüklüğü,

$$T = \frac{\theta^2}{s_0^2 h} \quad (7)$$

olarak hesaplanır. Test değeri T, F-Tablo değeri ile karşılaştırılır.  $f = f_1 + f_2$  olmak üzere,  $T < F_{h,f,1-\alpha}$  ise  $H_0$  hipotezi geçerlidir. Yani iki periyot arasında geçen sürede  $s = 1 - \alpha$  kadar bir istatistik güvenle ağ noktalarında deformasyon gözlenmemiştir denilebilir.  $T > F_{h,f,1-\alpha}$  ise  $H_0$  hipotezi geçerli değildir. Yani iki 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 noktalar tek tek belirlenir. Bunun için ağ noktaları içinde her seferinde bir nokta hareketli, diğerleri sabit olduğu varsayımı ile nokta sayısı kadar  $\theta^2$ -ölçütü değeri hesaplanır. d fark vektörü ve  $Q_d$  kofaktörler matrisi aşağıdaki gibi alt matrislere ayrılır.

$$\underline{\mathbf{d}} = \begin{vmatrix} \underline{\mathbf{d}}_F \\ \underline{\mathbf{d}}_B \end{vmatrix} \quad (8)$$

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

Burada B, hareketli noktaları ve F, sabit noktaları göstermektedir.  $Q_d$  matrisinin tersi hesaplanarak ağırlık matrisi aşağıdaki biçimde

$$\underline{\mathbf{Q}}_d^+ = \underline{\mathbf{P}}_d = \begin{vmatrix} \underline{\mathbf{P}}_{FF} & \underline{\mathbf{P}}_{FB} \\ \underline{\mathbf{P}}_{BF} & \underline{\mathbf{P}}_{BB} \end{vmatrix} \quad (10)$$

elde edilmiş olur. Her nokta deformasyon kuşkusunu bulunan B noktası olarak ele alınır. Böylelikle her yeni adımda başka bir noktanın koordinatları, alt vektör  $\underline{\mathbf{d}}_B$  olarak yazılır. Bu durumda ağın nokta sayısı p olmak üzere, p kadar aykırılık etkisi hesaplanır. Alt matrisler Gauss yöntemi ile indirgenerek,

$$\bar{\underline{\mathbf{d}}}_B = \underline{\mathbf{d}}_B - \underline{\mathbf{P}}_{BB}^{-1} \underline{\mathbf{P}}_{BF} \underline{\mathbf{d}}_F \quad (11)$$

$$\bar{\underline{\mathbf{P}}}_{FF} = \underline{\mathbf{P}}_{FF} - \underline{\mathbf{P}}_{FB} \underline{\mathbf{P}}_{BB}^{-1} \underline{\mathbf{P}}_{BF} \quad (12)$$

değerleri hesaplanır. Bu değerler yardımıyla  $\theta^2$  değeri

$$\theta^2 = \underline{\mathbf{d}}^T \underline{\mathbf{Q}}_d^+ \underline{\mathbf{d}} = \underline{\mathbf{d}}_F^T \bar{\underline{\mathbf{P}}}_{FF} \underline{\mathbf{d}}_F + \bar{\underline{\mathbf{d}}}_B^T \underline{\mathbf{P}}_{BB} \bar{\underline{\mathbf{d}}}_B \quad (13)$$

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

$$(\theta^2)_i = ( \underline{\underline{d}}_B^T \underline{\underline{P}}_{BB} \underline{\underline{d}}_B )_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (14)$$

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

$$\underline{\underline{S}}_i = I - \underline{\underline{G}} \underline{\underline{G}}^T \quad (16)$$

Dönüşüm matrisi yardımıyla  $\underline{\underline{d}}$  ve  $\underline{\underline{Q}}_d$  matrisi

$$\underline{\underline{d}}_i = \underline{\underline{S}}_i \underline{\underline{d}} \quad (17)$$

$$\underline{\underline{Q}}_{di} = \underline{\underline{S}}_i \underline{\underline{Q}}_d \underline{\underline{S}}_i^T \quad (18)$$

biçiminde dönüştürülür. i.dönüşümden sonra fark vektörü ve bunun ters ağırlık matrisi

$$\underline{\underline{d}}_i = \begin{vmatrix} \underline{\underline{d}}_D \\ \underline{\underline{d}}_N \end{vmatrix} = \underline{\underline{S}}_i \begin{vmatrix} \underline{\underline{d}}_F \\ \underline{\underline{d}}_B \end{vmatrix} = \underline{\underline{S}}_i \underline{\underline{d}} \quad (19)$$

$$\underline{\underline{Q}}_{di} = \begin{vmatrix} \underline{\underline{Q}}_{DD} & \underline{\underline{Q}}_{DN} \\ \underline{\underline{Q}}_{ND} & \underline{\underline{Q}}_{NN} \end{vmatrix} \quad (20)$$

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

$$\theta^2_{\text{kalan}} = \underline{\underline{d}}_D^T \underline{\underline{Q}}_{DD}^+ \underline{\underline{d}}_D \quad (21)$$

olarak hesaplanır. Test büyüklüğü,

$$T_D = \frac{\theta^2_{\text{kalan}}}{s_0^2 \cdot h_D} > F_{h_D, f_D, 1-\alpha} \quad (22)$$

ise ağda hareketli nokta vardır. Yeni hareketli nokta, yukarıda açıklanan işlemler tekrar edilerek belirlenir. Bu işlemlere test büyüklüğü, tablo değerinde küçük oluncaya kadar devam edilir. Son bir S dönüşümü ile ağda sabit kalan noktalar  $P_D$ , deformasyon olduğu kanıtlanan noktalar  $P_N$  ve deformasyon büyüklükleri  $d_N$  elde edilir [2], [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10].

#### 4. DÜŞEY DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ

Bu bölümde ağın düşey yöndeki analizleri ele alınmıştır. Yukarıda anlatılan modele göre düşey yöndeki eşdeğerliklerini tespit etmek amacıyla 6 adet referans noktası irdelenmiştir. Bu analizi gerçekleştirmek için, öncelikle referans noktalarına ait tüm periyotlardaki yükseklik farklarına ait ölçüler serbest ağ

yöntemiyle dengelenmiş ve uyuşumsuz ölçüler Data-Snooping yöntemine göre saptanarak yinelenmiştir. Referans noktaları için ölçü periyotlarına ait serbest ağ dengelemesi sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yükseklik farklarının serbest dengeleme sonuçları

Dengeleme Girdi ve Çıktıları	Ölçü Periyotları ve İstatistiksel Bilgiler			
	Aralık 2003	Mart 2004	Kasım 2004	Nisan 2005
Yamula Barajı Referans Noktaları Deformasyon Ağı Bilgileri				
Nokta sayısı	6	6	6	6
Ölçü sayısı (n)	11	11	11	11
Bilinmeyen sayısı (u)	6	6	6	6
Datum defekt (d)	1	1	1	1
Serbestlik derecesi (f = n-u+d)	6	6	6	6
Düzeltilmelerin kareleri toplamı	2.365	1.204	1.468	26.691
m <sub>0</sub> (soncul standart sapma)	0.628	0.448	0.495	2.109
s <sub>0</sub> (öncül standart sapma)	0.402	0.602	0.502	1.504
T (test büyüklüğü)	2.447	1.807	1.028	1.966
q (F-tablo değeri)	5.820	5.820	5.820	5.820
Model Hipotezi	Geçerli	Geçerli	Geçerli	Geçerli
Maksimum Yükseklik Hatası m <sub>h</sub> (cm)	0.27	0.19	0.21	0.91
Minimum Yükseklik Hatası m <sub>h</sub> (cm)	0.16	0.11	0.12	0.52
Uyuşumsuz Ölçü	Yok	Yok	Yok	Yok

Dengeleme sonuçlarına dayanarak, Aralık 2003-Mart 2004, Aralık 2003-Kasım 2004, Aralık 2003-Nisan 2005 periyotları arasında geçen süre içerisinde düşey yönde hareket eden referans noktaları belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Referans noktalarının düşey yöndeki periyodik deformasyon analiz sonuçları

Periyodik Karşılaştırmalar	Aralık 2003 Mart 2004	Aralık 2003 Kasım 2004	Aralık 2003 Nisan 2005
Nokta sayısı	6	6	6
Teta kare $\theta^2$	3.90	16.25	27.46
$s_0^2 = (v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2)/(f_1 + f_2)$	0.29	0.319	2.421
h	5	5	5
Test değeri $T = \theta^2/(s_0^2 h)$	2.62	10.17	2.26
F-tablo değeri $q = f_1, f_2, 1 - \alpha/2$	3.89	3.89	3.89
Alfa değeri	0.05	0.05	0.05
Karar	Def. YOK	Def. VAR	Def. YOK

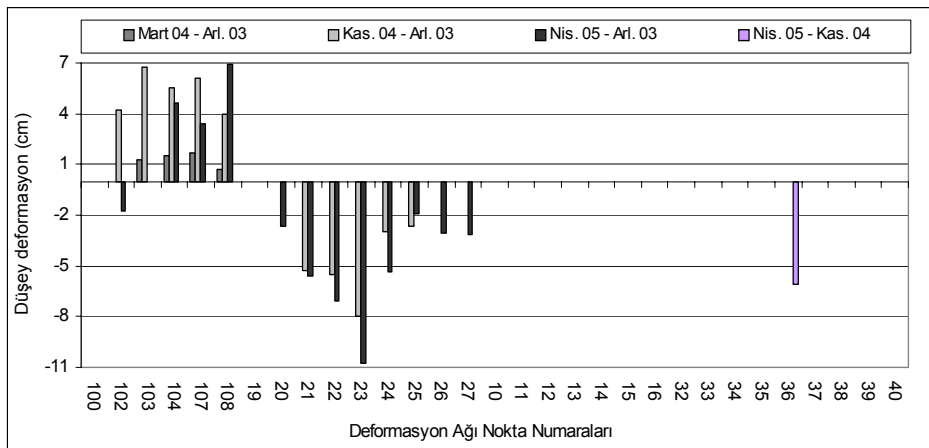
Altı adet referans noktalarına ait düşey yöndeki hareket büyüklükleri hesaplanmıştır (Tablo 3). Tablo 2’ye göre referans noktalarında sadece Aralık 2003-Kasım 2004 karşılaştırmasında deformasyon tespit edilmiştir.

Tablo 3. Referans noktalarının Aralık 2003 – Kasım 2004 dūşey yöndeki analiz sonuçları

Periyot: Aralık 2003 – Kasım 2004								
NN	$\theta^2$	h	$s_0^2$	T	f-tablo	q	Karar	dh (cm)
103	16.25	5	0.31	10.1	5,12,0.975	3.8	VAR	1.68
107	8.29	4	0.31	6.4	4,12,0.975	4.1	VAR	0.98
	2.30	3	0.31	2.4	3,12,0.975	4.4	YOK	
<b>Hareketli Noktalar</b>				<b>103, 107</b>				
Sabit Noktalar				100, 102, 104, 108				

Tablo 4. Deformasyon ađına ait tüm noktaların dūşey yöndeki analiz sonuçları

Yükseklik Farkları Deformasyon Analizi Özeti (cm)					
NN	Aralık 2003 Mart 2004	Aralık 2003 Kasım 2004	Aralık 2003 Nisan 2005	NN	Kasım 2004 Nisan 2005
100				10	
102		4.23	-1.77	11	
103	1.25	6.74		12	
104	1.48	5.52	4.60	13	
107	1.71	6.14	3.38	14	
108	0.71	3.96	6.89	15	
19				16	
20				32	
21		-5.26	-5.61	33	
22		-5.54	-7.09	34	
23		-8.01	-10.79	35	
24		-2.97	-5.36	36	-6.12
25		-2.66	-1.88	37	
26			-3.06	38	
27			-3.14	39	
				40	



Şekil 3. Dūşey yöndeki analiz sonuçlarının grafik gösterimi

Tablo 3'ün karar sütunundaki "Def. VAR" deformasyon var, "Def. YOK" ise deformasyon yok anlamındadır. Tablo 3'ten referans noktalarından 103 ve 107 numaralı noktaların hareketli olduğu görülmektedir. Bu irdelemeden sonra yukarıda anlatılan modele göre tüm ağ deformasyon analizine tabi tutulmuştur. Deformasyon analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e ait grafik gösterim Şekil 3'te verilmiştir.

## 5. YATAY DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ

Bu bölümde ağın yatay yöndeki analizleri ele alınmıştır. Yukarıda anlatılan modele göre yatay yöndeki eşdeğerliklerini tespit etmek amacıyla 6 adet referans noktası irdelenmiştir. Bu analizi gerçekleştirmek için, öncelikle referans noktalarına ait tüm periyotlardaki doğrultu ölçüleri serbest ağ yöntemiyle dengelenmiş ve uyuşumsuz ölçüler Data-Snooping yöntemine göre saptanarak yinelenmiştir. Ölçü periyotlarına ait serbest ağ dengelemesi sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Doğrultu ölçülerinin serbest dengeleme sonuçları

Dengeleme Girdi ve Çıktıları	Ölçü Periyotları ve İstatistiksel Bilgiler			
	Aralık 2003	Mart 2004	Kasım 2004	Nisan 2005
Yamula Barajı Sabit Noktalar Deformasyon Ağı Bilgileri				
Nokta sayısı (u)	6	6	6	6
Doğrultu ölçü sayısı (n)	22	22	22	22
Bilinmeyen sayısı (2u)	12	12	12	12
Yöneltilme bilinmeyen sayısı (w)	6	6	6	6
Datum defekt (d)	4	4	4	4
Serbestlik derecesi ( $f = n - 2u - w + d$ )	8	8	8	8
Düzeltilmelerin kareleri toplamı	336.754	418.758	244.542	179.886
$m_0$ (soncul standart sapma) (cc)	6.488	7.234	5.528	4.741
$s_0$ (öncül standart sapma)	6.602	6.602	6.602	6.602
T (test büyüklüğü)	1.035	1.201	1.425	1.938
q (F-tablo değeri)	3.971	3.971	3.971	3.971
Model Hipotezi	Geçerli	Geçerli	Geçerli	Geçerli
Ortalama Nokta Konum Hatası $m_h$ (cm)	0.35	0.40	0.30	0.25
Uyuşumsuz Ölçü	Yok	Yok	Yok	Yok

Dengeleme sonuçlarına dayanarak, Aralık 2003-Mart 2004, Aralık 2003-Kasım 2004, Aralık 2003-Nisan 2005 periyotları arasında geçen süre içerisinde yatay yönde hareket eden referans noktaları belirlenmiş (Tablo 6) ve onlara ait yatay yöndeki hareket büyüklükleri hesaplanmıştır (Tablo 7 ve 8).

Tablo 6'ya göre referans noktalarında Aralık 2003 - Kasım 2004 ve Aralık 2003 - Nisan 2005 karşılaştırmalarında deformasyon tespit edilmiştir. Tablo 6'nın karar sütunundaki "Def. VAR" deformasyon var, "Def. YOK" ise deformasyon yok anlamındadır. Tablo 7 ve 8'den referans noktalarından 103, 107 ve 108 numaralı noktaların hareketli olduğu görülmektedir.



Tablo 6. Referans noktalarının yatay yöndeki periyodik deformasyon analiz sonuçları

<b>Periyodik Karşılaştırmalar</b>		<b>Aralık 2003 Mart 2004</b>	<b>Aralık 2003 Kasım 2004</b>	<b>Aralık 2003 Nisan 2005</b>
Nokta Sayısı		6	6	6
Teta Kare	R	425.226	1302.474	1018.049
$s_0^2$	$(v_1^T P v_1^T + v_2^T P v_2^T)/(f_1 + f_2)$	47.220	36.331	32.290
h		10	10	10
Test Değeri	$T = R/(s_0^2 h)$	0.901	3.585	3.153
F-tablo Değeri	$q = f_1, f_2, 1 - \alpha/2 \rightarrow (10,16,0.975)$	2.986	2.986	2.986
Alfa		0.05	0.05	0.05
Karar		Def. YOK	Def. VAR	Def. VAR

Tablo 7. Referans noktalarının Aralık 2003 – Kasım 2004 yatay yöndeki analiz sonuçları

Periyot: Aralık 2003 – Kasım 2004									
NN	R	h	$s_0^2$	T	f-tablo	q	Karar	dy (cm)	dx (cm)
103	1302.474	10	36.331	3.585	(10,16,0.975)	2.986	Def. VAR	-0.68	0.18
108	1179.847	8	36.331	4.059	(8,16,0.975)	3.125	Def. VAR	0.04	0.37
107	801.542	6	36.331	3.677	(6,16,0.975)	3.341	Def. VAR	-0.29	0.66
	204.200	4	36.331	1.405	(6,16,0.975)	3.729	Def. YOK		
<b>Hareketli Noktalar</b>			<b>103, 107, 108</b>						
Sabit Noktalar			100, 102, 104						

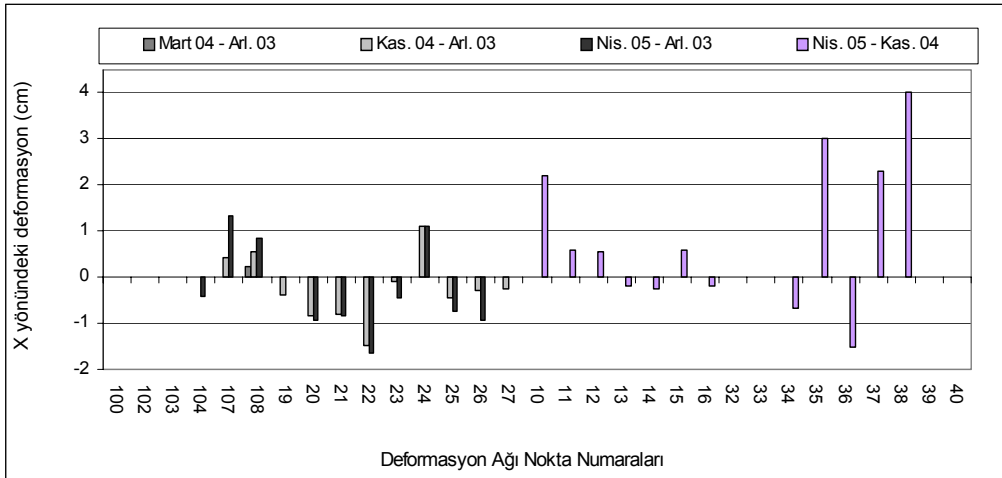
Tablo 8. Referans noktalarının Aralık 2003 – Kasım 2004 yatay yöndeki analiz sonuçları

Periyot: Aralık 2003 – Nisan 2005									
NN	R	h	$s_0^2$	T	f-tablo	q	Karar	dy (cm)	dx (cm)
107	1018.049	10	32.290	3.153	(10,16,0.975)	2.986	Def. VAR	-0.46	0.23
103	812.427	8	32.290	3.145	(8,16,0.975)	3.125	Def. VAR	-0.20	0.24
	594.371	6	32.290	3.068	(6,16,0.975)	3.341	Def. YOK		
<b>Hareketli Noktalar</b>			<b>103, 107</b>						
Sabit Noktalar			100, 102, 104, 108						

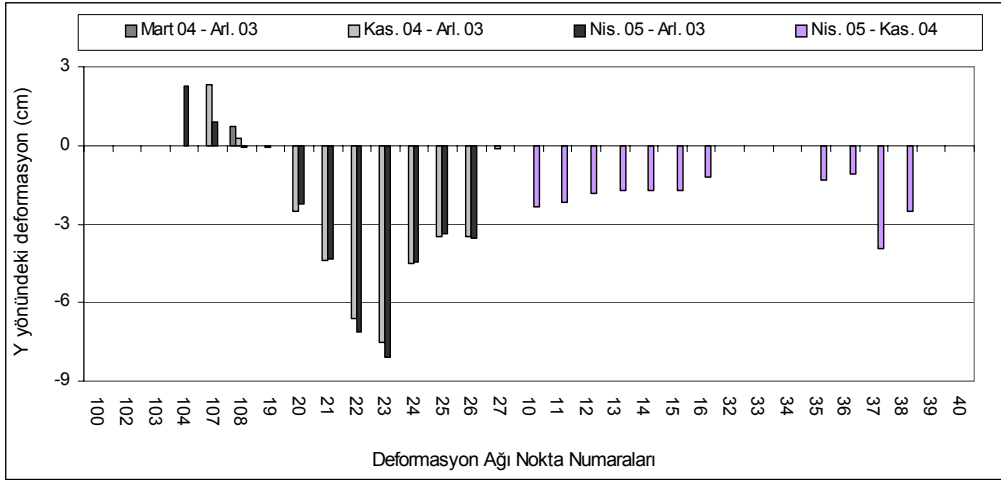
Bu irdelemeden sonra yukarıda anlatılan modele göre tüm aę deformasyon analizine tabi tutulmuştur. Deformasyon analizi sonuçları Tablo 9'de verilmiştir. Tablo 9'a ait grafik gösterim X koordinatı için Şekil 4'te ve Y koordinatı için Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 9. Deformasyon ağına ait tüm noktaların yatay yöndeki analiz sonuçları

Doğrultu Ölçüleri Deformasyon Analizi Özeti (cm)									
NN	Aralık 2003 Mart 2004		Aralık 2003 Kasım 2004		Aralık 2003 Nisan 2005		NN	Kasım 2004 Nisan 2005	
	dy	dx	dy	dx	dy	dx		dy	dx
100							10	-2.33	2.22
102							11	-2.18	0.58
103							12	-1.83	0.57
104					2.28	-0.43	13	-1.73	-0.18
107			2.33	0.41	0.91	1.34	14	-1.74	-0.24
108	0.74	0.24	0.29	0.55	-0.06	0.86	15	-1.72	0.59
19			-0.08	-0.38			16	-1.19	-0.19
20			-2.52	-0.84	-2.24	-0.92	32		
21			-4.41	-0.80	-4.34	-0.84	33		
22			-6.61	-1.48	-7.12	-1.66	34	0.00	-0.67
23			-7.50	-0.10	-8.09	-0.44	35	-1.32	3.02
24			-4.51	1.09	-4.66	1.09	36	-1.09	-1.51
25			-3.51	-0.44	-3.38	-0.75	37	-3.96	2.31
26			-3.49	-0.30	-3.55	-0.92	38	-2.53	4.02
27			-0.15	-0.24			39		
							40		



Şekil 4. X koordinatı yönündeki analiz sonuçlarının grafik gösterimi



Şekil 5. Y koordinatı yönündeki analiz sonuçlarının grafik gösterimi

## 6. SONUÇ

Yamula barajı deformasyon ağı 6 referans 25 kontrol noktasından oluşmuştur. Bu ağda deformasyon analizi düşey ve yatay yönde olmak üzere ağı iki kısma ayırarak yürütülmüştür. Her iki kısımda öncelikle referans noktalarının eşdeğer olup olmadığı tespit edilmiştir. Bu araştırmanın sonucunda düşey yönde 103 ve 107'nin hareketli olduğu, yatay yönde ise 103, 107 ve 108'in hareketli olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan ağın deformasyon analizi için yeterli olduğu görülmüştür. Sonraki aşamada ağa ait tüm noktalar ve ölçüler kullanılarak ağ analiz edilmiştir. Düşey yönde 100 hariç diğer referans noktalarının hepsinin hareket ettiği, yatay yönde ise 100, 102, 103'ün sabit kaldığı ve 104, 107, 108'in hareket ettiği görülmüştür. Düşey yönde hareket eden referans noktalarının ilk iki karşılaştırma sonuçlarından yükselme eğilimi gösterdikleri fark edilmiştir. En son karşılaştırma sonuçlarından eski hallerine dönüş trendine girdikleri görülmüştür. Ancak 108 numaralı nokta bundan hariç tutulmalıdır. Çünkü 108 tüm karşılaştırma periyotlarında yükselme eğilimi göstermeye devam etmiştir.

Kontrol noktalarından düşey ve yatay yönde genelde artış gösteren bir hareket şekli tespit edilmiştir. Hareketler düşey yönde maksimum -11 cm, membadan mansaba doğru yani Y koordinatı yönünde ise maksimum -9 cm civarında gerçekleşmiştir. Maksimum hareketler barajın ortasındaki noktalarda gerçekleşmiştir. Kenarlara doğru hareket miktarları azalmıştır.

## 7. REFERANSLAR

1. Ayan T., "Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizine Genel Bakış", İ.T.Ü. Dergisi, 40, 21-25, İstanbul, 1982.
2. AYEN ENERJİ Web P.: <http://www.ayen.com.tr/tesislerimiz/tesislerimiz.asp>, Ocak 2006.
3. Bayrak T., "GPS deformasyon ağlarının  $\theta^2$ -Ölçütü ile analizi, bir program ve uygulama örneği", 9. Türkiye Harita ve Bilimsel Teknik Kurultayı, 31 Mart - 4Nisan, Ankara, 2003.
4. Koch K.-R., "Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models", Springer-Verlag Berlin, 1999.
5. Öztürk E., "Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin İrdelenmesi  $\theta^2$ -Ölçütü", Harita Dergisi, 85, 44-52, 1978.

6. Stella I P., Stathis C S., “Ladon dam (Greece) deformation and reservoir level fluctuations: evidence for a causative relationship from the spectral analysis of a geodetic monitoring record”, *Engineering Structures*, Vol. 27, pp. 361-370, 2005.
7. Tanır E., “Deformasyon Analizinde Statik Deęerlendirme Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
8. Yalçınkaya M., Tanır E., “Determination of Movements on Mining Areas by Static Deformation Models”, 11th International Congress of the International Society for Mine Surveying”, *Proceedings*, 331-344, Cracow Poland, 2000.
9. Yalçınkaya M., “Monitoring crustal movements in west Anatolia by precision leveling”, *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 129, No. 1, pp. 44-49, 2003.
10. Yalçınkaya M., Bayrak T., “Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlugün Landslide in Northeastern Turkey”, *Natural Hazards*, Vol. 34, pp. 91–110, 2005.