

# BİR KEMER BARAJDAKİ YATAY KONUM DEĞİŞİMLERİNİN FİZİKSEL YORUMU

S. Demirkaya

Yıldız Teknik Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, İstanbul, demirkay@yildiz.edu.tr

## ÖZET

*Deformasyon Araştırması, Geometrik Analiz ve Fiziksel Yorumlama aşamalarından oluşur. Geometrik Analiz, deformasyona konu objenin konum, şekil ve boyut değişimlerine ilişkin bilgi verir. Geometrik Analizin sonuçları, deformasyonun nedenlerinin fiziksel olarak yorumlanmasına katkı sağlar. Fiziksel Yorumlama sürecinde ise deformasyonun nedenleri açıklanmaya çalışılır. Bunun için yük-deformasyon bağıntısı formüle edilir. Yorum, araştırma konusu objeye bağlı olarak, harita mühendislerinin de yer aldığı uzmanlar tarafından yapılır.*

*Fiziksel yorumlamada iki yöntem vardır: Deterministik ve İstatistiksel Yöntem. Deterministik Yöntem, nedenlerden sonuçlara tümdengelimlidir, yani, önsel(apriori) bir yapıya sahiptir. İstatistiksel Yöntem ise, sonuçlardan nedenlere tümevarımlıdır ve sonsal (aposteriori) karakter taşır.*

*Bir kemer barajdaki yatay konum değişimlerinin geometrik analizinden elde edilen bulgular yardımıyla söz konusu yapıdaki değişimlerin fiziksel yorumu yapılmaya çalışılmıştır. Baraj gövdesi üç boyutlu sonlu elemanlar ağı ile bazı düğüm noktaları mansap yüzündeki jeodezik obje noktaları olacak şekilde modellenmiştir. Bu düğüm noktaları için öngörülen yatay konum değişimleri ile geometrik analiz sürecinden bulunan karşılıkları istatistiksel yorumlama yönteminde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, gövdedeki yatay konum değişimlerinin tasarlandığı gibi oluştuğu gösterilmiştir.*

**Anahtar Sözcükler:** Deformasyon Ölçmeleri, Fiziksel Yorumlama, İstatistiksel Model

## ABSTRACT

### PHYSICAL INTERPRETATION OF THE HORIZONTAL DISPLACEMENTS IN AN ARCH DAM

*The deformation study is composed of geometrical analysis and physical interpretation. The geometrical analysis gives us the variations in the position, shape and dimensions of deformable object. The results of geometrical analysis contributes to physical interpretation of deformation mechanism. In the process of physical interpretation may be worked on deformation reasons and prepare the relation of load-deformation. The Physical interpretation can be done depending upon the studied object by the group of specialised enginners including surveying engineers.*

*There are two methods of the physical interpretation: Deterministic and Statistical Methods. Deterministic method has an apriori character as for statistical method carries aposteriori characteristics.*

*In this study, the physical interpretation of the horizontal movements in an arch dam via geometrical analysis results has been studied. The dam body has been modelled in three dimension mesh of finite elements. In this process some nodes of mesh model were being selected as geodetic object points. The predicted horizontal mevements of these points together with geometrical analysis results by means of statistical method has been evaluated. As a result, that they get along with the designed horizontal movements of dam body has been shown.*

**Keywords:** Deformation Surveying, Physical Interpetation, Statistical Method

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada; barajların tasarım, işletim, kontrol ve bakımından, kısacası, barajların güvenlik içinde çalışmasından sorumlu olanların tümü tarafından yadsınamayacak olan, ilk dolumdan başlayarak barajların davranışlarıyla ilgili ölçüm sonuçlarının yorumlanması sorununun önemi vurgulanmaktadır.

Gerçekten bir barajın güvenli olup olmadığı, baraj gövdesine ve çevresine yerleştirilen düzeneklerle yapılan ölçmelerden elde edilen verilerin çokluğu ve çeşitliliği ile orantılı değildir. Asıl sorun; konu ile ilgili uzmanların daha önceki çalışmalarından edindikleri deneyimlerine ve sezgilerine dayanmayan, analiz ve yorumlama yöntemlerinin olanaklarından yararlanmaksızın elde edilen verilerin ne ölçüde sağlıklı olacaktır.

Deformasyon Analizi, Geometrik Analiz ve Fiziksel Yorumlama aşamalarından oluşur. Geometrik Analiz, deformasyona konu objenin geometrik değişimlerine (Konum, şekil ve boyut) ilişkin bilgi verir. Geometrik Analizin sonuçları, deformasyonun nedenlerinin nitel bir yorumuna olanak sağlar.

Fiziksel Yorumlama ile deformasyonun nedenleri açıklanmaya çalışılır. Bunun için yük-deformasyon bağıntısı formüle edilir ve yorumlama, araştırma konusu objeye bağlı olarak, ilgili uzmanlar tarafından yapılır (Demirkaya,1993). Üç yorumlama yöntemi vardır:

- Deterministik,
- İstatistiksel ya da
- Bütüncül (Karma) model.

Deformasyona uğrayan objenin materyal özellikleri, geometrisi, etkiyen yükler (kuvvetler) yardımıyla yük-deformasyon ilişkisinin belirlenmesi ve aralarındaki bağıntıların formüle edilmesi deterministik yöntemin çözüm adımlarıdır. Yükler ve deformasyonlar arasındaki denge ve uygunluk koşulları diferansiyel denklemlerle ifade edilir. Bu denklemlerin çözümünde kullanılan yaklaşımlardan en yaygın kullanılanı Sonlu Elemanlar Yöntemidir.

İstatistiksel Yöntemde, objenin materyal özellikleri dikkate alınmaz. Hem etki büyüklüklerine ( Örneğin, baraj gölü su düzeyi ve sıcaklık değişimleri vb.) ve hem de sonuç deformasyon değerlerine ilişkin büyük veri yığınlarına gereksinim duyulur. Etki büyüklükleri (Su düzeyi, sıcaklık, vb) ölçülerinin dikkate alınmadığı durumda İstatistiksel Yöntem; Geometrik Analiz sürecine indirgenir.

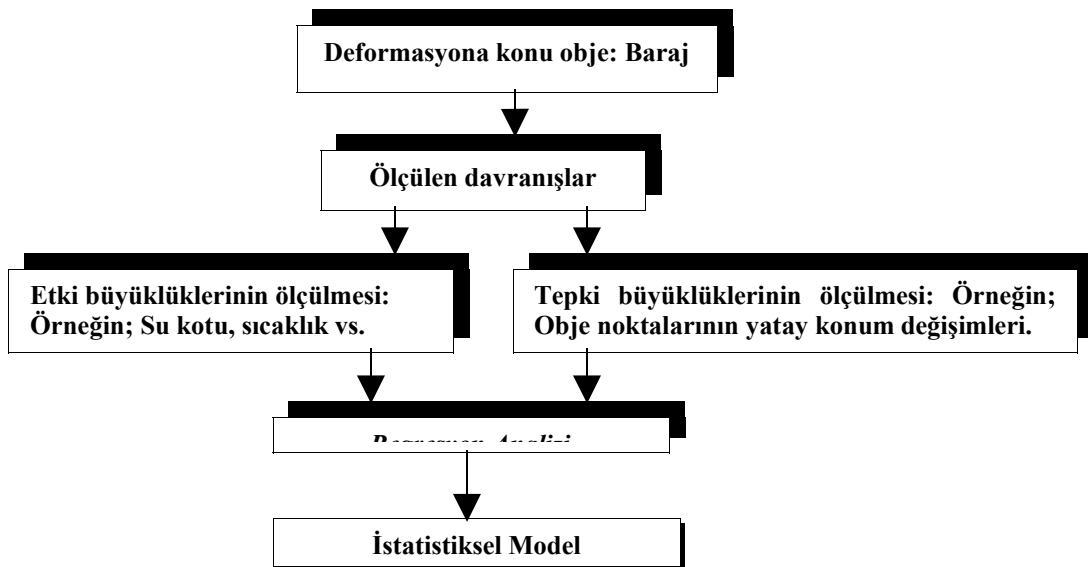
Bütüncül yaklaşım, deterministik ve istatistiksel yöntemlerin birleşimidir. İstatistiksel modelin güvenilirliğinin ölçü sayısı ile doğru orantılı olması barajın ilk dolum ve izleyen bir kaç yıl için kullanımını kısıtlar. Bu aşamada deterministik model üstünlük sağlar. Baraj yapımında kullanılan malzemelerin davranışlarına ilişkin yeterli bilgilere sahip olamama, hesaplamalardaki yaklaşım vb gibi belirsizlikler nedeniyle hesaplanan yatay konum değişimleri ölçülen değerlerinden önemli derecede farklı olabilirler. Bu nedenle, deterministik modelin istatistiksel modelle birleşimi verimliliği artırabilir. Yani, istatistiksel modelden elde edilen, yapının beklenen davranışına ilişkin bilgi deterministik modeli düzeltmek (Kalibre etmek) için kullanılır.

## 2. İSTATİSTİKSEL YORUMLAMA YÖNTEMİ

İstatistiksel Yöntemle Yorumlamada etki büyüklükleri ve konum değişimlerinin regresyon ve korelasyon analizi ile yük-deformasyon ilişkisi açıklanmaktadır (Demirkaya,1993; Taşçı ve Gökalp, 2003).

Baraj deformasyonlarının önceden belirlenmesi için uzun yıllardan beri kullanılmakta olan bu yöntemde deformasyonların doğrusal oldukları varsayımıyla en küçük kareler ilkesi uygulanır ve üç aşamadan oluşur:

1. Deformasyona neden olan etki büyüklükleri ve deformasyon değerlerindeki değişimler yardımıyla bir prediksyon modelinin kurulması,
2. Model parametrelerinin hesaplanması ve
3. Modelin ve parametrelerin test edilmesi.



Şekil 2: İstatistiksel Yöntemde İş Akışı.

### 2.1. Prediksyon Modelinin Kurulması

Deformasyon ve onu doğuran etki faktörleri arasındaki ilişki

$H_0: \mathbf{Ax} = 0$  hipotezine göre

$$\mathbf{d} = \mathbf{Ax} + \mathbf{v} \quad (1)$$

bağıntısıyla tanımlanır.

Burada,

$\mathbf{d}$ : Ölçülen ya da geometrik analizden hesaplanan  $n \times 1$  boyutlu deplasmanlar vektörü,

$\mathbf{x}$ : Etki büyüklüklerini tanımlayan  $u \times 1$  boyutlu bilinmeyenler vektörü,

$\mathbf{A}$ : Elemanları etki büyüklüklerinin fonksiyonları olan  $n \times u$  boyutlu katsayılar matrisi ve

$\mathbf{v}$ : Model kalıntıları vektörüdür.

Su düzeyi değişimleri polinom fonksiyonlarıyla tanımlanırken sıcaklık etkileri trigonometrik fonksiyonlarla ve kalıcı nitelikli deformasyon bileşeni ise doğrusal ya da üstel yapıları fonksiyonlarla ifade edilebilirler.

Zaman değişkeninin fonksiyonu olarak su düzeyi ve sıcaklık değişikliklerinin baraj gövdesindeki bir  $P_i(x,y)$  noktasında oluşturduğu yatay konum değişimi

$$d_i(t) = f_{i1}[h(t)] + f_{i2}[\theta(t)] + f_{i3}[m_k(t)] + v_i(t) \quad (2)$$

biçiminde modellenebilir (Bonaldi et al., 1982).  $f_{i1}$ , su basıncı;  $f_{i2}$ , sıcaklık ve  $f_{i3}$  ise baraj gövdesinin elastik-olmayan davranışı nedeniyle oluşan kalıcı deformasyon bileşeni (drift) ve  $v_i$  model kalıntıları bileşenidir.

Su basıncı bileşeni baraj gölündeki  $h(t)$  su düzeyinin bir fonksiyonudur:

$$h(t) = (h - h_{\min}) / (h_{\max} - h_{\min}), \quad (0 \leq h(t) \leq 1)$$

ile oluşturulan  $h(t)$  su düzeyi değişkeni ile  $f_{i1}[h(t)]$  fonksiyonu

$$f_{i1}[h(t)] = \sum a_i h_i(t), \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

biçiminde tanımlanır.  $n$ , polinomun derecesini gösterir.  $h$ ,  $h_{\min}$  ve  $h_{\max}$ , sırasıyla,  $i$ .nci ölçme dönemine ilişkin su düzeyi ile ölçmelerin yapıldığı dönemlerdeki maksimum ve minimum su düzeyleridir.

Sıcaklık değişimlerinin neden olduğu yatay konum değişimi bileşeninin tanımlanması iki ilkeye dayanır. İlki; gövde içine, menba ve mansap yüzeylerine yakın yerleştirilen termometrelerden alınan sıcaklık ölçüleri kullanır:

$$f_{i2}[\theta(t)] = \sum b_i \theta_i(t) + \sum c_i \Delta \theta_k(t), \quad (i=1, 2, \dots, p; k=1, 2, \dots, q). \quad (4)$$

$\theta_i$ ,  $p$  sayıda termometrede ölçülen sıcaklık değerleri ve  $\Delta \theta_k$  ise  $q$  sayıda termometre çifti için sıcaklık farklarıdır.

İkinci ilke, sıcaklık ölçülerini gerektirmez. Sıcaklıkların eğiliminin yıllar boyunca aynı ve tekrarlı olduğu varsayımına dayanır ve periyodik zaman fonksiyonlarıyla oluşturulur:

$$f_{i2}[\theta_i(t)] = \sum (b_i \sin \omega t + c_i \cos \omega t), \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$n$ , sıcaklık etkisini doyurucu bir şekilde belirlemek için gerekli harmoniklerin sayısı;  $\Delta t$ , örneğin; gün cinsinden, başlangıç ölçüsünden olan zaman farkıdır ( $\omega = 2\pi/\tau$ ;  $\tau = 365$  gün'dür).

Kalıcı deformasyon bileşeni, ölçülebilir büyüklüklerle ilişkilendirmenin zor olduğu bir terimdir. Örneğin; barajın yavaş yavaş kayması gibi, elastik olmayan bir olaydan kaynaklanabilir. Etkinin yapısına bağımlı olarak doğrusal, parabolik ya da üstel fonksiyonlarla gösterilirler. Örneğin; üstel yapıları bir eğilim:

$$f_{i3}[m(t)] = \sum g_k e^{-m_k(t-t_k)}, \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

biçiminde olabilir. Bu eşitlikte  $n$ , eksponansiyel eğilimlerin sayısı;  $m_k$ , eğimi;  $t_k$ , başlangıç zamanı ve  $t$  ise ölçü zamanıdır. Eksponansiyelin negatif işaret taşıması olayın sönümlü, pozitif ise hızlanan bir eğilime sahip olduğu anlaşılır (Bonaldi et al, 1982).

## 2.2. Model Parametrelerinin Hesaplanması

Yukardaki bağıntılarda geçen a, b, c, g ve m katsayıları (1) deki x vektörünü oluştururlar. A matrisi (3), (4) ya da (5) ve (6) esitliklerindeki fonksiyonlarla kurulur. Model parametreleri En Küçük Kareler Yaklaşımı ile hesaplanır.

Bir başlangıç varsayımı olarak, iyi sonuçlar verdiği kanıtlanan ve kolayca genel davranış modeline aktarılabilen (sıcaklık ölçümlerini gerektirmemesi nedeniyle)

$$d(t) = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 + a_3 h^3 + a_4 \sin \omega t + a_5 \cos \omega t + a_6 \sin^2 \omega t + a_7 \sin \omega t \cos \omega t + a_8 e^{-m_0(t_0-t)} + v \quad (7)$$

modeli oluşturulabilir (Bonaldi et al., 1982, Chrzanovski and Chen, 1990).

d(t): Ölçülen yatay konum değişimi değeridir.

h, h<sup>2</sup>, h<sup>3</sup>, sin $\omega$ t, cos $\omega$ t, sin<sup>2</sup> $\omega$ t, sin $\omega$ t cos $\omega$ t, e<sup>-m<sub>0</sub>(t<sub>0</sub>-t)</sup>: Yatay konum değişimine neden olan etkilerin bağımsız değişkenleridir,

a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, ..., a<sub>8</sub>, m<sub>0</sub>, t<sub>0</sub>: Kuramsal d(t) ve ölçülen d<sub>i</sub>(t) konum değişimleri arasında en iyi uyuşumu elde etmek için hesaplanacak parametrelerdir.

v<sub>j</sub>: Ölçülen ve hesapla bulunacak olan konum değişimi arasındaki kalıntıyı gösterir.

Hataların normal dağılımlı ve birbirlerinden bağımsız oldukları varsayımı ile parametrelerin "en iyi" kestirimi aşağıdaki fonksiyonun minimum yapılmasıyla elde edilebilir:

$$\Gamma(a_0, a_1, \dots, a_8, m_0, t_0) =$$

$$\sum_{j=1}^n v_j^2 = \sum_{j=1}^n (d_i(t) - d(t))^2 = \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n [d_i(t) - a_0 - a_1 q_j - a_2 q_j^2 - a_3 q_j^3 - a_4 \sin \omega t_j - a_5 \cos \omega t_j - a_6 \sin^2 \omega t_j - a_7 \sin \omega t_j \cos \omega t_j - a_8 e^{-m_0(t_0-t_j)}] = Min.$$

Fonksiyon ve m<sub>0</sub>, t<sub>0</sub> parametreleri arasındaki doğrusal olmayan bağımlılık nedeniyle  $\Gamma$ 'yi minimum yapacak parametrelerin araştırılması güçleşir. m<sub>0</sub> ve t<sub>0</sub> parametrelerini biliniyor varsayarak  $\Gamma$ 'yi minimum yapan a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, ..., a<sub>8</sub> parametreleri hesaplanabilir.

Bunun için  $\Gamma$ 'nin her bir parametreye göre türevleri 0'a eşitlenerek 7 bilinmeyenli 7 doğrusal denklemden oluşan sistem çözülür. Parametreleri doğrusal olan bir modelle çalışıldığı için ölçülerin normal dağılımlı olması varsayımına gereksinim duyulmaz. Bu koşul kestirilen parametrelerin anlamlı olup olmadıklarının test edilmeleri aşamasında gereklidir.

### 2.3. Modelin ve Parametrelerin Test Edilmesi

Modelin davranışının analiz edilmesi için niteliksel bir ölçüt, bağımsız değişkenlerin ve ölçülmüş ve hesaplanmış yatay konum değişimi değişkeninin bir fonksiyonu olarak bir hatalar diyagramının düzenlenmesidir. Bu analiz, modelin fonksiyonel yapısı nedeniyle sistematik hataların varlığının araştırılmasına ve böylece hesaplanmış değişkenler üzerinde gerekli değişikliklerin yapılmasını sağlar.

Regresyon sonuçlarının test edilmesine yönelmeden önce, ölçülen ve hesapla bulunan değerleri arasındaki farkların normal dağılımlı olup olmadıklarını analiz etmek önemlidir. Bu kontrol  $\chi^2$ - Testi ile yapılır.  $\chi^2$ - testi söz konusu örneklemin varyansının ana kütlelin varyansından anlamlı olarak farklı olup olmadığına karar verilmesine olanak sağlar.

Modelin parametreleri hesaplandıktan sonra; kalıntılarının yapısı, regresyonun doğruluğu ve modelin kendini iyileştirme olanakları üzerine yararlı bilgi sağlayacak olan bazı istatistiksel ölçütleri kullanarak regresyon analizi yapılır. Sonra, bir bütün olarak model ve parametreler tek tek test edilir. Regresyon değişkenleri arasındaki çoklu korelasyon katsayısı hesaplanır. Bu katsayı, modelin ölçülen yatay konum değişimlerinin değişimini içeren çözümü yorumlama ölçütüdür ve parametrelerin etkileri üzerine gerçekçi sonuçlar verir. R<sup>2</sup>=1, yani mükemmel bir ön tahmin, R<sup>2</sup>=0, yani önerilen model regresyondan sonraki araştırma için uygun değildir. 1'e yakın R<sup>2</sup> değeri oluşturulan regresyonun daha iyi olduğunu gösterir.

Modelin uygunluğunu değerlendirmek için varyans kestirim değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan F-testi kullanılır. F, yaklaşık olarak 1'e eşit olmalıdır. İki varyans değeri ne kadar farklı ise F değerleri de buna bağlı olarak daha

büyük olur. Bu da regresyonun anlamlı olmasına karşılık gelir. Bu test, modelin tek tek terimlerinin anlamlılığını değerlendirmek için de uygulanabilir. Bu durumda, tek tek her bir parametrenin birbirleriyle korelasyonlu olup olmadıkları ve regresyon nedeniyle varyanstaki küçülmeye katkısı F-testi ile incelenir. Böylece tek tek model terimlerinin katkılarının anlamlı olup olmadıkları ve olası hangi terimin en iyi regresyon ifadesinin araştırılmasında göz ardı edilmesi gereken terim olduğunu saptamak olanaklıdır.

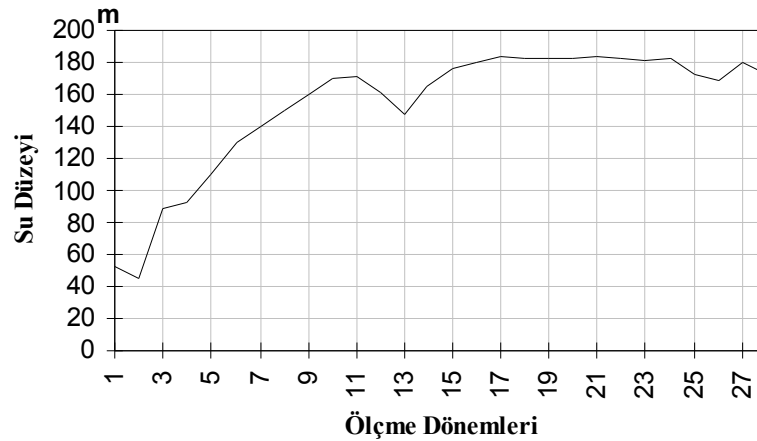
Hesaplanan parametrelerin 0'dan anlamlı bir şekilde farklı olup olmadıkları t-testi ile test edilir. Bu test de F-testi gibi, düşük anlamlılığa sahip katsayıların modelden çıkarılmasına gerek olup olmadığına karar verilmesini sağlar. Katsayıların güven sınırları hesaplanır. Yapılan regresyon analizinin daha doğruluklu olması güven aralığının daha küçük olmasına karşılık gelir.  $a_i$  ve  $a_j$  parametreleri arasında hesaplanan korelasyon katsayısı 0 değerine meyilli ise parametreler korelasyonsuz, 1'e yakın bir değer alırsa katsayılar güçlü bir şekilde korelasyonludur denir.

### 3. UYGULAMA ve BULGULAR

Bu çalışmaya konu olan Oymapınar Barajı, Antalya ili Manavgat ilçesinin 18 km kuzeyinde, Manavgat Çayı üzerinde inşa edilmiştir. Yatay ve düşey kesitte eğriliğe sahip ince kemer gövde yapısıyla türünün ülkemizdeki ilk örneğidir. Hizmete giren barajlar arasında 185m yüksekliği ile ülke sıralamasında dördüncü, elektrik enerjisi üretiminde beşinci ve yeraltı santrali modeli ile ilk sırada yer alır. Kret uzunluğu 360m, kemer kalınlığı 5-20m'dir. En yüksek su düzeyi 184m dir. Su sıcaklığı yaz-kış ortalama 12-13° C ve bölgedeki hava ortalama sıcaklığı da Ocak'ta 10° C, Temmuz'da 30°C dir.

Baraj gövdesinin yatay konum değişimlerini izlemek için kurulan izleme ağı 5 referans ve 25 obje noktasından oluşmaktadır. Bu çalışmada, Temmuz-1983 ve Eylül-1986 arasındaki 28 ölçme dönemine ait verilerden yararlanılmıştır.

Oymapınar Barajının üç boyutlu sonlu elemanlar ağı 5888 düğüm noktası ile birbirine bağlı 4221 elemandan oluşmaktadır. Bu ağın bazı düğüm noktaları jeodezik obje noktaları ile çakışacak şekilde oluşturuldu. Koordinat sisteminin x-ekseni barajın eksteni ve buna dik olan y-ekseni de baraj kreti boyunca uzanmaktadır.



Şekil 2: Ölçme dönemlerine göre su düzeyi değişimleri grafiği

*Bir Kemer Barajdaki Yatay Konum Değişimlerinin Fiziksel Yorumu*

No	Tarih	Su Kotu (m)	5 Nolu Nokta
1	01.07.1983	52	0.0mm
2	08.08.1983	45	+ 4.5
3	19.08.1983	90	+ 5.0
4	23.08.1983	93	+ 8.0
5	06.09.1983	110	+ 8.3
6	28.09.1983	130	+10.0
7	13.10.1983	140	+ 5.5
8	26.10.1983	150	- 2.0
9	11.11.1983	160	- 11.3
10	24.11.1983	170	-27.0
11	05.12.1983	172	- 28.3
12	20.12.1983	161	- 22.7
13	27.12.1983	148	- 14.3
14	16.01.1984	165	- 29.2
15	06.02.1984	176	- 40.3
16	20.02.1984	180	- 47.0
17	07.03.1984	184	- 53.5
18	15.03.1984	182.5	- 52.7
19	21.03.1984	182.3	- 52.0
20	28.03.1984	183	- 55.3
21	13.04.1984	184	- 54.5
22	09.05.1984	183	- 49.6
23	08.06.1984	181	- 45.5
24	19.07.1984	183	- 51.8
25	18.09.1985	173	- 22.6
26	25.12.1985	169.3	- 31.2
27	04.05.1986	179.8	- 46.0
28	27.09.1986	173	- 24.0

**Tablo 1:** 5 nolu obje noktasındaki yatay konum değişimleri.

No.	$q_{vivi}$	$T_i=v_i/q_{vi}$	Tau: 2.86
1	-0.1947	1.41	Uyuşumlu
2	0.7165	0.91	“
3	-0.2412	0.75	“
4	-0.2204	1.30	“
5	-0.1348	0.78	“
6	-0.0010	0.73	“
7	0.0404	0.38	“
8	0.0426	0.45	“
9	0.0194	1.43	“
10	0.0049	2.23	“
11	-0.0076	1.55	“
12	-0.0338	0.32	“
13	-0.0494	0.38	“
14	0.0199	0.49	“
15	0.0544	0.48	“
16	0.0372	0.22	“
17	-0.0005	0.15	“
18	-0.0246	0.07	“
19	-0.0362	1.10	“
20	-0.0375	1.63	“
21	-0.0146	0.49	“
22	0.0632	0.33	“
23	0.0581	0.75	“
24	-0.1228	0.18	“
25	0.0157	1.23	“
26	-0.0115	0.73	“
27	0.0259	1.21	“
28	0.0323	1.65	“

**Tablo 2:** Uyuşumsuz Ölçü Testi.

Testin Anlam Düzeyi:  $\alpha=0.05$

Serbestlik Derecesi:  $f=21$

Kalıntıların Karesel Toplamı:  $[vv]=20.65226$

Standart Sapma:  $s_0=0.992$

Global Test:

Katsayılar	St.Sap.(s <sub>ai</sub> )	T=ai/s <sub>ai</sub>	t	Karar	Güven Sınırı
a <sub>0</sub> =+6.974	0.576	12.114	2.52	Anlamlı	± 1.45
a <sub>1</sub> =-53.178	0.834	63.764	“	“	± 2.10
a <sub>2</sub> =+8.838	0.369	23.925	“	“	± 0.93
a <sub>3</sub> =-3.126	0.288	10.837	“	“	± 0.73
a <sub>4</sub> =-2.608	0.305	8.541	“	“	± 0.77
a <sub>5</sub> =-3.292	0.278	11.833	“	“	± 0.70
a <sub>6</sub> =-5.209	0.592	8.791	“	“	± 1.49

**Tablo 3:** Bilinmeyen Katsayıların Anlamlılık Testi

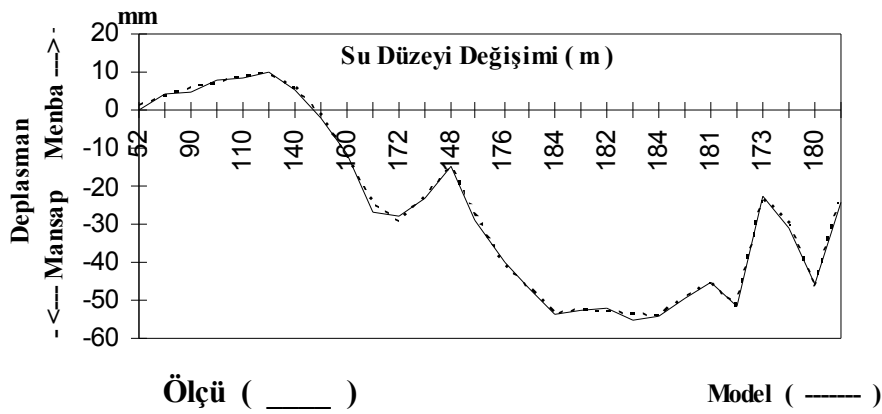
Çoklu Belirleme Katsayısı:  $R^2 = 0.9986$

Çoklu Korelasyon Katsayısı:  $R = 0.9993$  (  $n=28$ ,  $\alpha=0.05$  için Sınır Değer:  $R_T = 0.36$ )

$F = 2124.8970$

$F_T = 3.84$  ( $f_1=6$ ,  $f_2=21$ ;  $\alpha=0.05$  için)

**KARAR:**  $F > F_T$  olduğundan regresyon katsayıları anlamlıdır.



**Şekil 3:** 5 nolu obje noktasının ölçülmüş ve modellenmiş konum değişimleri

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Oymapınar Barajının mansap yüzündeki 5 nolu obje noktasındaki yatay konum değişimlerinin fiziksel yorumu istatistiksel yöntemle gerçekleştirilmiştir.

3.derece polinom ve fourier serisinden (1 yıllık tam ve 6 aylık devirli) oluşan fonksiyonun ölçülere en iyi uyan model olduğu görülmüştür:

$$a_0 + a_1 \cdot h^3 + a_2 \cdot \sin \omega t + a_3 \cdot \sin 3 \omega t + a_4 \cdot \cos \omega t + a_5 \cdot \cos 2 \omega t + a_6 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t;$$

$$6.974 - 53.178 \cdot h^3 + 8.838 \cdot \sin \omega t - 3.126 \cdot \sin 3 \omega t - 2.608 \cdot \cos \omega t - 3.292 \cdot \cos 2 \omega t - 5.209 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t.$$

183m su kotunda baraj gövdesine etkiyen su kuvveti altında gövdenin yatay konum değişimleri Sonlu Elemanlar Yöntemiyle (Deterministik Yöntem) hesaplanmıştır (Gülal, 1999). Betonun elastiklik modülü,  $E = 20\,000 \text{ MN/m}^2$  ve poisson oranı:  $\nu = 0.20$  değerleri alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda jeodezik obje noktalarıyla çakışan eleman düğüm noktalarındaki deformasyonlar Tablo 4'te gösterilmektedir. Su düzeyi değişiminin neden olduğu hidrostatik kuvvet altında baraj gövdesinde oluşan en büyük yatay konum değişiminin değeri (5 nolu obje noktasında) mansap doğrultusunda  $52.8 \text{ mm}$ ' dir.

Nokta No.	dx (mm)	Dy (mm)
5	-52.8	+1.4
12	-50.5	+0.7
18	-41.5	+0.4
22	-29.6	+0.1
25	-18.0	0.0

$$dx \begin{cases} (-) \rightarrow Mansap \\ (+) \rightarrow Menba \end{cases}, \quad dy \begin{cases} (-) \rightarrow Sol \\ (+) \rightarrow Sağ \end{cases}$$

**Tablo 4:** Sonlu Elemanlar Yöntemi ile oluşturulan baraj modelinde en büyük düşey kesit üzerindeki noktalar için öngörülen yatay konum değişimleri.

Bunun sonucunda kemer barajın tasarımında; gövdenin yatay konum değişimlerine ilişkin öngörülen varsayımın doğruluğu kanıtlanmıştır.

Bu çalışmada sunulmaya çalışılan İstatistiksel yöntemin; deformasyona konu objenin mekanik özelliklerine ilişkin veriler olmadan barajın bundan sonraki davranışlarına ilişkin tahminler açısından önemli bilgiler elde edilmiştir.

İstatistiksel yöntemin yetkin olarak kullanılabilmesi, yani güvenilir bir deformasyon modeli tanımlamak için hem su düzeyi, sıcaklık vs değişimleri hem de yatay konum değişimi büyüklüklerini kapsayan nispeten büyük miktarda veriye gereksinim duyulmaktadır. Bunun yanında, elde edilen prediksyon modeli başka yapılar için için genelleştirilemez.

Deformasyon ölçmeleri, harita mühendislerinin kendilerini geliştirmeye ve konuyla ilgili diğer meslek gruplarıyla (özellikle inşaat mühendisliği yapı ve jeoteknik dallarında uzman olan) bilgi alış verişinde bulunmaya fırsat sağlayan bir çalışma alanıdır.

Doğal ve insan-yapımı yapıların yakından izlenmesi çok karmaşık ve özenli çalışma gerektiren bir alandır. Bu nedenle jeodezik ve jeoteknik/yapısal deformasyon ölçmelerinde uzman bir ekip tarafından hazırlanmış yönergeler olmalıdır. Bunun yanı sıra, bu uzmanlar grubu yapı güvenliğine ilişkin doğru yorumlarla, gerçekçi ve işleyebilecek düzenlenmeleri kapsayan bir yakından izleme yasası ve yönetmeliğinin taslağını oluşturmalıdır.

Bir ülkedeki yapı güvenliği programının en önemli bileşeni yasalardır. Hükümetin ilgisi ve arkasında olmadığı bir yönetmeliğin ya da şartnamenin uygulanabilmesinin garantisi yoktur. Hükümet, yasanın ve ona bağlı şartname ve yönergeleri yayınlama ve bunun sonucunda bakım-onarım çalışmalarının yapılması konusunda yetkisini kullanmalıdır. Ayrıca söz konusu yasa, şartname ve yönergelerdeki kurallara uyulması konusunda ilgili kurum ve kuruluşları düzenli olarak denetlemelidir.

Büyük baraj sahiplerinin yakından izleme ölçmelerinin yapılması ve analizinde uzman harita mühendislerinden yararlanmaları sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

**Bonaldi, P., Riccioni, R., Fanelli, M. and Giuseppetti, G.,** 1982. *Automatic Observayipoon and Instantaneous Control of Dam Safety; Part Two: Apriori and Aposteriori Models*, ISMES Report, sayfa: 1-69.

**Chrzanowski, A., Chen, Y.Q.,** 1990. *Deformation monitoring, analysis and prediction-status report*, Proceedings of 19th International FIG Congress, Helsinki, Finland, 10-19 June, cilt: 6, sayfa: 83-97.

**Demirkaya, S.,** 1993. *Deformasyon Analizine Bütüncül Bir Yaklaşım*, Prof. Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu, 3-5 Kasım 1993, İstanbul, sayfa: 450-471.

**Demirkaya, S.,** 2003. *Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri ve Analizinde 35 Yıl*, I. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 30-31 Ekim 2003, İstanbul, sayfa: 40-55.

**Gülal, E.,** 1999. *Baraj Deformasyonlarının Ölçü ve Hesap Yöntemleriyle İrdelenmesi*, 7. Harita Kurultayı, 1-5 Mart, 1999, Ankara, sayfa: 121-134.

**Taşçı, L., Gökalp, E.,** 2003. *Deformasyonların Belirlenmesinde İstatistiksel Yaklaşım*, I. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 30-31 Ekim 2003, İstanbul, sayfa: 134-142.