

# BARAJ DEFORMASYONLARININ ÖLÇÜ VE HESAP YÖNTEMLERİYLE İRDELENMESİ

Dr. Engin GÜLAL

## ÖZET

*Bu çalışmada, barajlarda oluşan deformasyonların belirlenmesi için yapılan jeodezik ölçüler ve bu ölçülerin KALMAN Filtreleme Tekniği ile değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların kontrolü için yapılan pendulum ölçüleri ele alınmaktadır. Ayrıca ölçülen deformasyonların beklenen değerler ile karşılaştırmasını yapabilmek için baraj davranışları sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Bu açıklanan yöntemlerin uygulaması, Antalya yakınlarındaki Oymapınar Barajında gerçekleştirilmiş ve sonuçları verilmiştir.*

## 1 GİRİŞ

Jeodezik deformasyon ölçüleri ve analizi son on yılda giderek artan bir anlam kazandı. Elde edilen sonuçların kalitesi ve yorumlanması temel olarak seçilen deformasyon modeline bağlıdır. Bugüne kadar bir çok deformasyon modeli geliştirilmiştir. Aşağıda deformasyon modellerinin başlıca özellikleri verilmektedir (PELZER 1993).

### • Statik Davranışlı Model (Quasi-Statik Model)

- Objeye periyodik olarak ölçülür,
- Ölçülen nokta hareketlerinin anlamlılığı istatistiksel olarak araştırılır,
- Hareket süreci göz önüne alınmaz,
- Harekete neden olan kuvvetler göz önüne alınmaz.

### • Kinematik Model

- Objeye periyodik olarak ya da sürekli ölçülür,
- Hareketin akışı, hız ve ivme gibi kinematik parametrelerle ifade edilir,
- Harekete neden olan kuvvetler göz önüne alınmaz.

### • Dinamik Model

- Objeye periyodik olarak ya da sürekli ölçülür,
- Objeye etkiyen büyüklükler ölçülür,
- Hareketler etki büyüklüklerinin fonksiyonu olarak analiz edilir.

Statik nokta alanında noktaların konumları yer merkezli bir koordinat sisteminde değişmez olarak kabul edilir.

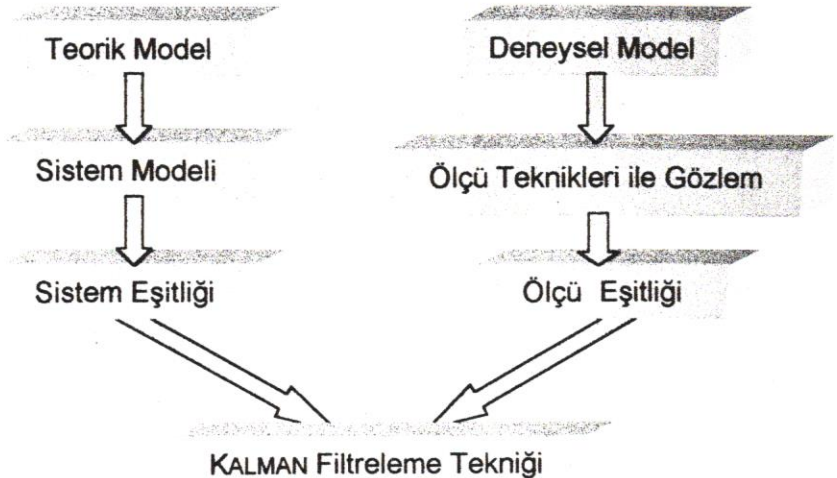
$$x = \text{sabit} \quad (1)$$

Statik nokta alanı özellikle ÷lke ve arazi ölçmelerinde ortaya çıkmaktadır (PELZER 1988). Nokta hareketleri, bir nokta alanının tekrarlı ölçümleri ile iki periyot arasında konum değişimlerinden belirlenmektedir. Burada iki ya da daha fazla nokta alanı birbiri ile karşılaştırıldığı için, statik davranışlı model ile (quasi statik) değerlendirme söz konusudur. Statik davranışlı deformasyon modelinde, obje periyodik olarak ölçölür ve ortaya çıkan nokta hareketlerinin istatistiksel anlamlılığı analiz edilir ve yorumlanır.

$$\Delta d = \hat{x}_k - \hat{x}_{k-1} \quad (2)$$

## 2 STATİK DAVRANIŞLI MODELDE KALMAN FİLTRELEME TEKNİĞİ

KALMAN Filtreleme Tekniği, karışık sistemlerin güncel durumunun tahmininde kullanılan bir yöntemdir. Filtreleme eşitliği, sistem ve ölçü eşitliklerinin bileşiminden oluşur.



Şekil 1: Parametrik Modelde KALMAN Filtreleme Tekniği

Sistem teorisine göre bir sistemin belirli zamanda tanımlanması aşağıdaki şekilde gösterilir (HEUNECKE 1995).

$$y(t_k) = T(t_k, t_{k-1}) y(t_{k-1}) + \int_{t_{k-1}}^{t_k} T(t_k, \tau) w(\tau) d\tau \quad (3)$$

Bu eşitlikte deterministik kısım, sistem dinamiğini tanımlamaktadır. Yani bir geçiş matrisi T yardımıyla  $y(t_{k-1})$  durum vektöründen  $y(t_k)$  durum vektörüne geçişi sağlar. İkinci stokastik kısımda, belirli bir  $t_k$  zamanındaki sistem bozukluğunu tanımlar.

$$w_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} T(t_k, \tau) w(\tau) d\tau \quad (4)$$

## 2.1 OBJE DAVRANIŞININ PREDİKSİYONU (SİSTEM EŞİTLİĞİ)

İlk olarak başlangıç periyodunun koordinat vektörü  $\hat{y}_{k-1}$  ve kovaryans matrisi  $\Sigma \hat{y}_{k-1}$  bir dolaylı ölçülere göre serbest ağ dengelemesi ile belirlendiği kabul edilir.  $t_k$  periyoduna ait koordinat vektörünün predikte edilmesinde bu periyoda ait gözlemler göz önüne alınmadan (3) ve (4) bağıntılarıyla prediksiyon eşitliği aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\bar{y}_k = T_{k,k-1} \hat{y}_{k-1} + w_k \quad (5)$$

Statik davranışlı nokta alanında, bir hareket modeli (kinematik, dinamik) söz konusu olmadığı için  $T=I$  olarak kabul edilir (PELZER 1988).

$w$  vektörü noktaya etkileyen gözardı edilemeyecek küçük bozuklukları tanımlar. Bu sistem bozuklukları için başlıca etkiler PELZER 1988'e göre

- yeraltı suyundaki değişimler,
- çevre ısısındaki değişimler,
- güneş ışınları,
- nokta tesisindeki hatalar ve
- merkezlendirmedeki hatalar

olarak sıralanmaktadır.

Bu prediksyon ödevini çözmek için sistem bozukluğu  $w$ 'nin büyüklüğü hakkında kesin değerler verilemeyeceği için Pseudo-Gözlem değeri  $w=0$  alınır (PELZER 1988).

Predikte edilen koordinat vektörünün kovaryans matrisi, (5) numaralı durum vektörüne kovaryans yayılım teoremi uygulanmasıyla aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\Sigma \bar{y} \bar{y}_k = \Sigma \hat{y} \hat{y}_{k-1} + \Sigma w w_k = \sigma_0^2 (Q \hat{y} \hat{y}_{k-1} + Q w w_k) \quad (6)$$

$Q w w_k$ , diagonal bir matristir ve diagonal bileşenleri noktanın koordinatları yönündeki bozukluklar için ortalama değerlerdir.

Analiz işlemi sırasında sistem bozukluğunun kofaktörler matrisi  $Q w w_k$ , sabit noktalar ve obje noktaları için farklı kriterlere göre oluşturulur. Kofaktörler matrisi  $Q w w_k$ 'nin elemanlarının tahmin edilmesinde benzer problemlerden elde edilen deneyimlerden faydalanılır.

Sabit noktalar, statik nokta alanı anlamında stabil olarak öngörülükleri için sistem bozukluğu olarak küçük değerler öngörülmelidir. Sistem bozukluğu için bazı tipik değerler PELZER 1988'de aşağıdaki şekilde verilmektedir.

- Zorunlu merkezleştirmeli gözlem pilyesi  $s=0,2\text{mm}$
- Binalardaki nivelman bronzları  $s=0,5\text{mm}$
- Optik merkezleştirmeli ölçü noktaları  $s=1\text{mm}$

Sabit olmayan obje noktalarının sistem bozukluğu için öncül olarak beklenen obje hareketlerinden fazla bir değer öngörülür.

## 2.2 ÖLÇÜ EŞİTLİĞİ

Sistemin geometrik durumunu belirlemek için ağ noktaları arasında jeodezik ölçüler yapılır. Yapılan ölçüler  $\ell$  vektörü ile aranan sistem durumu  $y$  vektörü ile tanımlanır. Durum vektörü  $y$  burada  $x_s$  sabit noktaları ve  $x_o$  obje noktalarını içermektedir. Gözlemler  $\ell$  ile aranan sistem durumu  $y$  arasındaki matematiksel ilişki, fonksiyonel model ile oluşturulmaktadır.

$$\hat{\ell} = \varphi(\hat{y}) \quad (7)$$

Bu doğrusal olmayan eşitliğin TAYLOR serisine açılımı ve gerekli kısaltmalar yapılarak, ölçüler ile sistem durumu arasındaki fonksiyonel model

$$\begin{aligned} \ell_k + v_k &= A_{y,k} \hat{y}_k \\ \ell_k + v_k &= \begin{bmatrix} A_{s,k} & A_{o,k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{s,k} \\ \hat{x}_{o,k} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır.

Ölçülerin doğruluk ilişkisini yansıtan stokastik modelde

$$\Sigma_{\ell\ell} = \sigma_0^2 Q_{\ell\ell,k} \quad (9)$$

olarak verilir.

### 2.3 KALMAN FİLTRELEME TEKNIĞİNDE GAUSS-MARKOV MODELİ

Sistem eşitliği (5) ve ölçü eşitliği (8) blok matris sistemi şeklinde bir araya getirilirse, dolaylı ölçüler dengelemesine göre (GAUSS-MARKOV Modeli) KALMAN Filtreleme Tekniğinin fonksiyonel modeli aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$\begin{aligned} \ell + v &= A \hat{y} \\ \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \ell \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} v_y \\ v_\ell \end{bmatrix}_k &= \begin{bmatrix} I \\ A_y \end{bmatrix}_k \hat{y}_k \end{aligned} \quad (10)$$

Buna ait stokastik modelde aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\Sigma_k = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} Q_{y\bar{y}} & O \\ O & Q_{\ell\ell} \end{bmatrix}_k \quad (11)$$

Bu denklem sisteminin çözümü

$$E\{(\hat{y}_k - \bar{y}_k)^T (\hat{y}_k - \bar{y}_k)\} \Rightarrow \min. \quad (12)$$

ilkesine dayanır. Aşağıda sistemin güncel durumunun belirlenmesinde kullanılan eşitlikler özet olarak verilmiştir. Eşitliklerin oluşumu ile detaylı bilgiler GÜLAL 1996'da ele alınmaktadır.

$$d_k = I_k - A_{y,k} \bar{y}_k \quad \text{yenilik vektörü} \quad (13)$$

$$Q_{dd,k} = D_k = Q_{ll,k} + A_{y,k} Q_{y,y,k} A_{y,k}^T \quad \text{yeniliğin kovaryans matrisi} \quad (14)$$

$$\hat{y}_k = \bar{y}_k + K_k d_k \quad \text{dengeli sistem durumu} \quad (15)$$

$$K_k = Q_{y,y,k} A_{y,k}^T D_k^{-1} \quad \text{güçlendirici matris} \quad (16)$$

$$Q_{\hat{y}\hat{y},k} = Q_{y,y,k} - K_k D_k K_k^T \quad \text{sistemin kovaryans matrisi} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} v_{y,k} \\ v_{l,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_k & \\ -Q_{ll,k} & D_k^{-1} \end{bmatrix} d_k \quad \text{predikte durum ve ölçüler} \quad (18)$$

için düzeltmeler

$$s_{0,k}^2 = \frac{\Omega_k}{f_k} = \frac{d_k^T D_k^{-1} d_k}{n_{l,k}} \quad \text{varyans değeri} \quad (19)$$

## 2.4 OYMAPINAR BARAJINDA UYGULAMA

Oymapınar Barajı, Antalya ili Manavgat ilçesinin 18km güneyinde Manavgat çayı üzerinde elektrik enerjisi üretmek amacı ile kurulmuş çift eğrilikli beton-kemer bir barajdır. Barajın inşaatı 1977 yılında başlamıştır. Barajın planlaması Fransız firması Coyne et Bellier tarafından, beton çalışmaları ise Alman Bilfinger und Berger firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Baraj inşaatı Şubat 1983 yılında tamamlanmıştır. Baraj hakkındaki temel teknik bilgiler aşağıda verilmiştir.

Gövde yüksekliği	:185,4m
Kret uzunluğu	:360,0m
En ince gövde kalınlığı	:5,0m
En kalın gövde kalınlığı	:30,0m
Kret eni	:6,0m
Gövde hacmi	:575.000m <sup>3</sup>
Tüm beton hacmi	:900.000m <sup>3</sup>

### 2.4.1 OYMAPINAR BARAJI JEODEZİK GÖZLEM AĞI

Oymapınar lokal jeodezik gözlem ağı şekil 2'de gösterilmektedir. 1983-1984 yılları arasındaki dolunuz fazında jeodezik ağ barajın mansap tarafında kalan 2001, 2002, 2003 gözlem noktaları ve deformasyon bölgesi dışında kalan 1001 ve 1002 sabit varsayılan noktalardan oluşmaktadır. Bütün bu referans noktaları beton pilye olarak tesis



## 2.4.2 DEFORMASYONLARIN FİLTRELENMESİ

Oymapınar Barajında düzenli olarak jeodezik kontrol gözlemleri yapılmıştır. 1983-1997 yılları arasında barajda 40 periyot kontrol ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülerden ilk dolum fazında 1983-1984 yıllarında ölçüler, barajın inşaatını yapan Alman Bilfinger und Berger firması tarafından; işletme fazında ise 1985-1997 yıllarında ölçüler, YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Araştırma Grubu tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada barajın dolum fazında yapılan iki periyot ölçü, yukarıda temel düşüncesi açıklanan KALMAN Filtreleme Tekniğinin uygulaması olarak seçilmiştir. Sıfır periyodu ölçüleri baraj rezuvarının hemen hemen boş olduğu (su seviyesi 52m) 01.07.1983 tarihinde yapılmıştır. Seçilen diğer periyot ise rezuvarın dolu olduğu (su seviyesi 183m) 28.03.1984 tarihinde yapılan ölçüleri kapsamaktadır. Dolum esnasında jeodezik ağda doğrultu ölçüleri WILD T3 ile gerçekleştirilmiştir. Ağın ölçeğini belirlemek için sıfır periyodunda 1001, 1002 sabit noktalar arasındaki uzunluk Mekometer 3000 ile ölçülmüştür. Dolum esnasındaki diğer periyotlarda uzunluk ölçümleri yapılmamıştır. Aşağıdaki tabloda değerlendirmede kullanılan iki periyot hakkında ölçüler ve sonuçlarına ait değerler gösterilmektedir.

	0. Periyot	1. Periyot
Doğrultu sayısı	68	67
Kenar sayısı	1	-
Ağ noktalarının sayısı	28	28
Serbestlik derecesi	69	67
Düzeltilmelerin kareleri top.	32.9	62.2
Öncül standart sapma	1.00	1.00
Soncul standart sapma	0.69	0.96

Tablo 1: Ölçüler ve sonuçlarına ait bazı değerler

Yukarıda açıklanan KALMAN Filtreleme Tekniği ile yapılan değerlendirme sonucu 0. periyotda koordinat eksenleri boyunca en büyük standart sapma 1.6mm en az 0.63mm ve ağ için ortalama değer 0.9mm dir. 1. periyotda ise en fazla 1.5mm, en az 0.7mm ortalama 0.9mm olarak elde edilmiştir.

Filtreleme sonucu iki periyot arasında ağ noktalarında oluşan deformasyonlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.



PN.	$\Delta X(\text{mm})$	$S_{\Delta X}(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$S_{\Delta Y}(\text{mm})$	PN.	$\Delta X(\text{mm})$	$S_{\Delta X}(\text{mm})$	$\Delta Y(\text{mm})$	$S_{\Delta Y}(\text{mm})$
1001	0.2	1.3	4.8	1.4	2002	4.3	0.8	0.1	0.6
1002	1.8	1.4	-0.9	1.1	2003	-0.2	1.4	0.0	0.9
2001	1.0	0.9	-0.2	0.7	2005	-4.8	1.3	-0.5	0.8
1	0.0	1.6	0.3	1.0	12	-43.7	1.3	-9.8	0.8
2	-10.4	1.6	-1.8	0.9	13	-28.5	1.4	-8.0	0.7
3	-23.4	1.4	-2.0	0.8	14	-13.8	1.5	-3.0	0.7
4	-41.7	1.3	-4.8	0.8	15	-2.3	1.6	2.9	1.3
5	-45.2	1.3	-9.5	0.8	16	-9.0	1.4	-5.8	0.8
6	-29.8	1.4	-7.1	0.7	17	-27.2	1.3	-5.4	0.8
7	-16.5	1.5	-2.5	0.7	18	-38.3	1.3	-9.1	0.8
8	-4.1	1.7	2.5	1.2	19	-23.3	1.4	-6.0	0.7
9	-5.6	1.6	-3.4	0.8	21	-17.6	1.3	-6.8	0.8
10	-17.9	1.4	-3.6	0.8	22	-31.3	1.3	-8.9	0.8
11	-36.3	0.8	-5.2	0.7	25	-19.7	1.8	-5.6	0.8

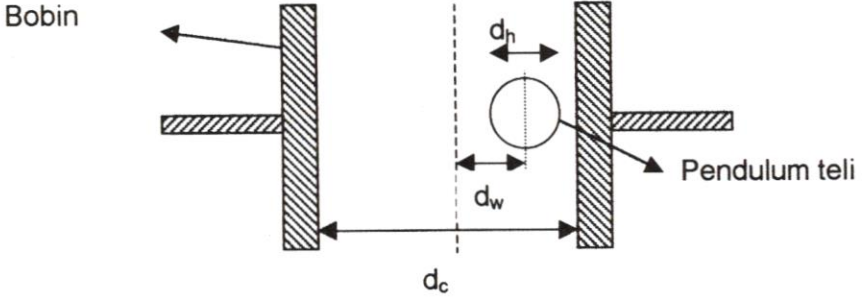
Tablo 2: Ađ noktalarındaki deformasyonlar

Tablo 2'den de açıkca görüldüğü gibi baraj gövdesinde dış kuvvetler etkisinde oluşan en büyük deformasyon, gövdenin ortasında ve üst galerideki 5 numaralı obje noktasında 45.3mm dir.

### 3 PENDULUM ÖLÇÜMLERİ

Pendulumlar, baraj gövdesine etkiyen dış yükler altında gövdede oluşan deformasyonlar ile baraj temelinde ve yakın çevresindeki yatay hareketlerin ölçülmesi için kurulan bir ölçü sistemidir. Pendulum ölçümleri ile baraj gövdesindeki belirli noktaların referans doğrusu olarak kullanılan düşey çekül doğrultusundan olan yatay mesafeleri ölçülür. Pendulum ölçüm istasyonları baraj gövdesinde ve çevresinde oluşturulan eksenleri çekül doğrultusunda olan düşey şaftların içerisine yerleştirilir. Pendulum ölçümleri mekanik ya da elektrikselsel olarak yapılır. Mekanik sistemde, pendulum telinin eksenden uzaklığı bir cetvel yardımıyla ölçülür. Elektrikselsel sistemde ise eksenler üzerine yerleştirilmiş ikişer bobin ve bunların iletim kabloları vardır. Pendulum telinin hareketi bobinlerdeki osilasyon frekansında değişimlere neden olur. Osilasyon frekansındaki değişimler elektronik devrelerde dönüştürülerek telin eksenlere olan uzaklığı  $d_w$  belirlenir (UZEL 1991).

$$d_w = \frac{d_c}{2} - \left( d_t + \frac{d_h}{2} \right) \quad (20)$$



Şekil 4: Pendulum okuma istasyonu

Oymapınar Barajındaki pendulumlar şekil 3’de görüldüğü gibi 1, 7, 8, 15 ve 18 numaralı bloklardaki pendulum şaftlarında bulunmaktadır. Diğer bir pendulum şaftı ise barajın sol yamacına tesis edilmiştir. Her pendulum şaftında 5 tane okuma istasyonu bulunmaktadır. Her okuma istasyonunda ölçüler, otomatik olarak Kuzey-Güney yönünde gövdeye normal doğrultuda ve Doğu-Batı yönünde gövdeye paralel olarak yapılmaktadır.

Jeodezik ölçülerle karşılıklı kontrolü sağlamak için Oymapınar Barajında pendulum ölçüleri yapılmıştır. Barajda jeodezik ölçülerle aynı zamanda gerçekleştirilen pendulum ölçülerinin sonuçları aşağıdaki tabloda mm olarak verilmektedir.

Seviye/Blok	18	8	1	7	17
182m	10,8S-0	50,0S-4,8E	48,7S-8,8W	-	8,9N-1,1W
150m	2,1S-0,2W	4,8S-4,0E	43,4S-	-	12,9N-1,7W
130m	2,5S-0,3E	34,2S-3,0E	36,5S-8,7W	-	1,1S-4,5W
90m	-	17,6S-6,9E	25,5S-8,4W	-	2,0N-4,2E
53m	-	5,4S-1,7W	12,2S-1,2W	-	

Tablo 3: Gövdedeki pendulum ölçüleri (W:Batı, N: Kuzey, E: Doğu)

#### 4 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yönteminde sistem, uygun sonlu elemanlara ayrılmaktadır. Ayrılan bu elemanlar üzerinde iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimizasyonu sağlanmakta ve sonrada bu elemanlar birleştirilmektedir. Elemanların boyutları küçüldükçe problemde hata oranı azalmakta, buna karşın çözüm süresi uzamaktadır. Burada eleman boyutları ile çözüm süresi arasında bir optimizasyon

gerçekleştirilmelidir. Sistemi oluşturan elemanların herbiri sonlu elemanlar, birleştikleri köşe noktaları da düğüm noktaları olarak adlandırılmaktadır. Sistemin şekil değiştirmesi, bu düğüm noktalarındaki deplasman parametreleri ile belirlenir (KÖKSAL 1995).

Denge konumunda olan bir cismin şekil değiştirmesinde iç kuvvetlerin işi dış kuvvetlerin işine eşittir. Statik hesaplamalarda mekaniğin bu temel düşüncesi ile bir elemandaki denge bağıntısı

$$d = k^{-1} f \quad (21)$$

olarak tanımlanır. Burada:

- d: eleman deplasman vektörünü
- k: eleman rijitlik matrisini ve
- f: elemana etkiyen kuvvetleri

göstermektedir. k rijitlik matrisi eleman şekil değiştirme matrisi DN ve malzeme elastisitesi D'nin bir fonksiyonu olarak

$$k = \int_v \Delta N D \Delta N dv \quad (22)$$

şeklinde tanımlanır (KÖKSAL 1995).

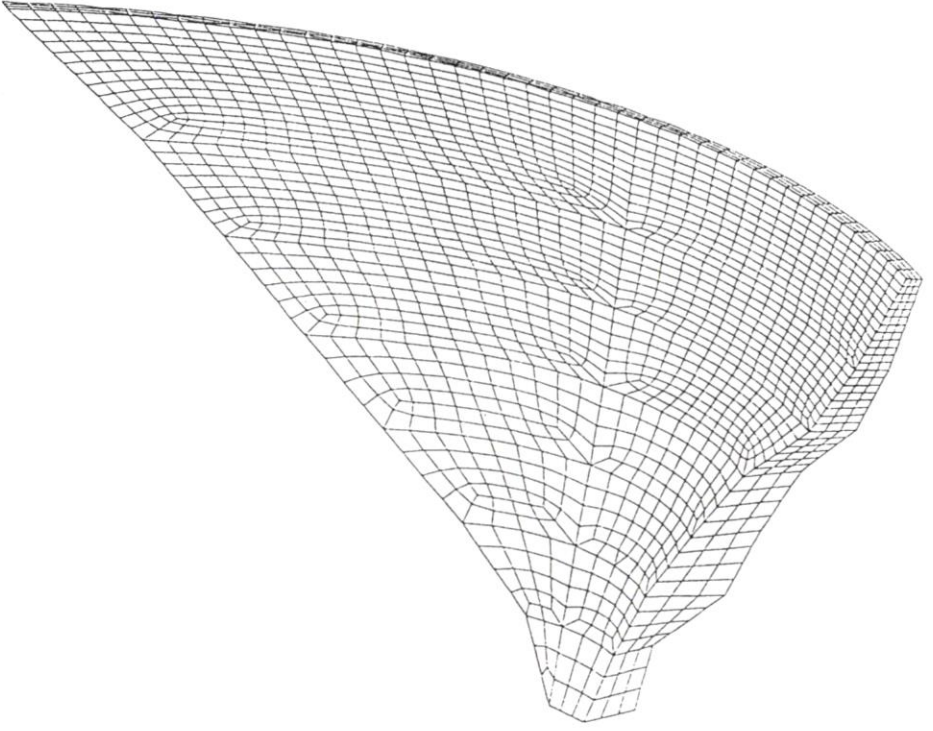
Her bir eleman için yazılan bu denge bağıntısı bir çevirme matrisi yardımı ile tüm sistem için

$$D = K^{-1} F \quad (23)$$

olarak verilir.

2. ve 3. bölümlerde Oymapınar Barajında yapılan jeodezik ölçümler sonucu elde edilen deformasyonlar, oluşturulan teorik model ile karşılaştırmasını yapmak üzere Oymapınar Barajı'nın davranışları sonlu elemanlar yöntemiyle araştırıldı. Bir başka deyişle beklenen hareketlerle gerçekleşen hareketler irdelenmiştir.

Oymapınar Barajı için şekil 5'de gösterilen üç boyutlu sonlu elemanlar ağı 5888 düğüm noktası ile birbirine bağlı 4221 elemandan oluşmaktadır. Sonlu elemanlar ağı, ağın bazı noktaları jeodezik ölçü noktaları ile özdeş olacak şekilde oluşturuldu. Seçilen koordinat sisteminde x eksenı gövde ana eksenine paralel, y eksenı gövde boyunca uzanmaktadır.



Şekil 5: Oymapınar Barajı sonlu elemanlar ağı

Gövdeye etkiyen su kuvveti altında barajdaki şekil değişiklikleri su seviyesi H:183m için hesaplandı. Hesaplama da kullanılan malzeme parametreleri olarak COYNE ET BELLIER 1970 firması raporlarından aşağıdaki değerler alınmıştır.

- Elastikiyet modülü : 20.000MN/m<sup>2</sup>
- Poisson oranı : 0.20

Hesap sonucu, su kuvveti altında jeodezik ölçü noktaları ile özdeş olan düğüm noktalarındaki deformatyonlar, tablo 4'de gösterilmektedir.

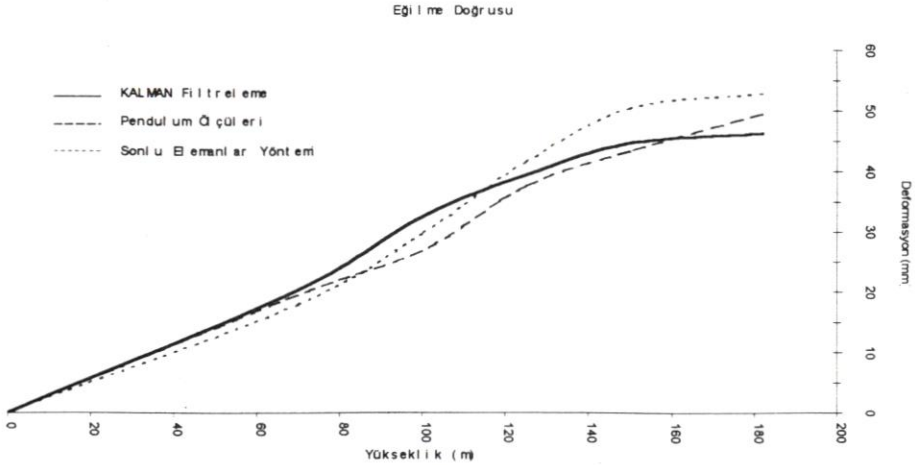
N. No	$\Delta x$ mm	$\Delta y$ mm	N. No	$\Delta x$ mm	$\Delta y$ mm
1	-0.8	-0.4	12	-50.5	0.7
2	-11.0	1.6	13	-30.2	-1.2
3	-24.6	5.2	14	-13.3	0.3
4	-45.5	7.4	15	-1.7	0.7
5	-52.8	1.4	16	-5.7	-0.6
6	-34.5	-1.0	17	-26.1	2.0
7	-17.3	0.7	18	-41.5	0.4
8	-3.9	1.9	19	-20.7	0.6
9	-4.5	-0.1	21	-12.3	1.0
10	-15.7	2.7	22	-29.6	0.1
11	-38.0	5.6	25	-18.0	0.0

Tablo 4: Sonlu elemanlar yöntemine göre deformatyonlar

Su kuvveti altında gövdede oluşan en büyük deformasyon miktarı, krete yakın barajın ortasında 52mm ve beklenildiği gibi sağ ve sol yamaçlara ve baraj zeminine doğru küçülmektedir.

## 5 SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deformasyonların grafik gösteriminde eğilme doğrusu sıkça kullanılan bir gösterim şeklidir. Şekil 6'da yersel kontrol ölçülerinin KALMAN Filtreleme Tekniği ile değerlendirilmesi ile edilen sonuçlar, pendulum ölçülerinden elde edilen sonuçlar ve sonlu elemanlar yöntemine göre gövdenin beklenen hareketleri, gövdenin ortasındaki blok için gösterilmiştir. Daha iyi bir gösterim oluşturmak için eksenler farklı ölçeklerde oluşturulmuştur. Düşey eksen ile deformasyonlar yatay eksen ile de baraj yüksekliği tanımlanmıştır.



Şekil 6: 1. Bloktaki eğilme doğrusu

Oymapınar Barajında farklı ölçü ve hesap yöntemleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı şekil 6'dan da kolayca fark edildiği gibi 80m yüksekliğine kadar her üç yöntemle elde edilen sonuçlar bir biri ile çakışmaktadır. Daha sonra krete doğru KALMAN Filtreleme Tekniği ile elde edilen sonuçlar ile pendulum ölçüleri arasında birkaç mm fark oluşmaktadır ve bu fark krete 4.3mm olmaktadır. Filtreleme sonuçları, sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen sonuçlarla 120 m'ye kadar çok güzel çakışmakta ve daha sonra düzenli olan bir fark görülmektedir. Bu fark, zamanla malzeme parametrelerinde meydana gelen değişimden kaynaklanmaktadır. Malzeme parametrelerindeki bu

değişimlerin dinamik model ile belirlenmesi GÜLAL 1997'de detaylı olarak ele alınmaktadır.

## 6 SONUÇLAR

Barajların jeodezik gözlemi, barajlardaki emniyet tedbirlerinin bir parçasıdır. Barajlardaki kontrol ölçüleri, sadece dolum ve ilk işletme fazında değil bütün işletme devresince sürekli ve pendulum ölçüleri gibi ek ölçü yöntemleri ile kontrollu olarak yapılmalıdır.

Bu çalışmada, KALMAN Filtreleme Tekniğinin statik davranışlı deformasyon modeli ile deformasyon analizindeki uygulaması ele alınmıştır. Tanıtılan modelin Oymapınar Barajına uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar tablo 2'de de görüldüğü gibi mantıklı ve beklenildiği gibidir. Sonuçlar irdelendiğinde KALMAN Filtreleme Tekniğinin barajlardaki deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde rahatca kullanılabileceği açıkça görülmektedir. Filtreleme Tekniği, özellikle birden çok periyot ölçününün mevcut olması durumunda iteratif olarak analiz imkanı sağlamaktadır. Filtreleme Tekniğinin dez avantajı olarak hesaplamalardaki işlem hacmi gösterilebilir. Dolaylı ölçülere göre dengelemede bilinmeyenlerin inversi ile hesaplama yapılırken, burada ölçülerin inversi kullanılmaktadır. Bu problemde günümüzde gelişmiş işlemcilerin kullanıldığı bilgisayarlarda sorun olarak görünmemektedir.

## 7 KAYNAKLAR

**COYNE ET BELLIER:**Oymapınar Dam and Hydroelectric Project, Dam Analysis Report 1970.

**GÜLAL, E.:**Geodaetische Überwachung einer Talsperre; eine Anwendung der KALMAN Filtertechnik, Doktora Tezi Hannover 1997.

**GÜLAL, E., HOŞBAŞ, G., UZEL, T.:**Kinematik Deformasyon Analizinde KALMAN Filtreleme Tekniği, YTÜD Sayı 3-4 Sayfa 30 1996.

**HEUNECKE, O.:**Zur Identifikation und Verifikation von Deformationsprozessen mittels adaptiver KALMAN-Filterung, Doktora Tezi Hannover 1995.

**KÖKSAL, T.:**Sonlu Elemanlar Metodu, YTÜ Yayınları Sayı 304 İstanbul 1995.

**PELZER, H.:**Ingenieurvermessung, Stuttgart 1988.

**PELZER, H.:** Kinematische und dynamische Fragestellungen der Ingenieurgeodäsie, VR Sayı 8 Sayfa 401 1993.

**UZEL, T.:** Barajların Güvenliği, YTÜ Yayınları Sayı 321 İstanbul 1991.