

Yamula Barajındaki Düşey Deformasyonların Jeodezik Yöntemlerle İzlenmesi

Temel BAYRAK¹

Özet

Kayseri iline 35 km uzaklıkta Kızılırmak nehri üzerinde inşa edilmiş olan Yamula barajının zamansal davranışı yapımından itibaren 1,5 yıl süresinde gerçekleştirilmiş dört periyot jeodezik ölçü ile izlenmiştir. Su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak barajın düşey yönde gerçekleşen deformasyonlarının belirlenmesi amacıyla, çalışmada, biri statik ve diğeri kinematik olmak üzere iki farklı deformasyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar baraj üzerindeki tüm noktaların hareket halinde olduğunu göstermiştir. Kinematik yöntem sonuçları, özellikle baraj ortasındaki noktaların su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak anlamlı bir ivmeli hareket sergilediklerini ortaya koymuştur. Çizilen grafikler, su seviyesinin yükselmesi ile baraj üzerindeki kontrol noktalarının düşey deformasyonları arasında bir lineer ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler

Baraj, düşey deformasyon, statik model, kinematik model, su seviyesi, lineer ilişki

Abstract

Monitoring vertical displacements on the Yamula DAM with geodetic methods

Temporal behaviors of the Yamula dam (on Kızılırmak River and 35 km away from the city of Kayseri) have been monitored by using geodetic measurements covering four periods of 1.5 years since the dam was built. Two deformation models, namely static and kinematic, are used to determine vertical displacements occurring due to the rise of water level in the reservoir. Results show that all points on the Yamula dam are in motion. The results from the kinematic model, indicate that some points, especially in the middle of the dam, exhibit significantly accelerating vertical displacements depending on the increase of water level. Graphics depict that there was a linear relation exists between the reservoir level rise and the subsidence of control points on the dam

Key Words

Dam, vertical displacements, kinematic, reservoir level, linear relation

1. Giriş

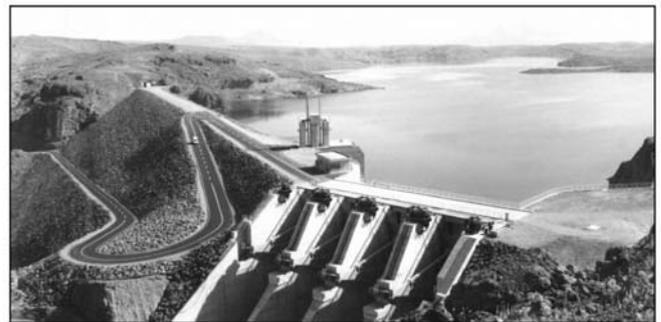
Geçmişte bazı barajların yıkılmasının sonucu olarak (örneğin: San Fransisko Barajı, 1928; Malpassed barajı, Fransa 1959; Vaiont barajı, İtalya, 1963) (STELLA ve STATHIS 2005) çeşitli ülkelerdeki otoriteler, barajların yıkılmasını önlemek ve halkın güvenliğini sağlamak için, rezervuarları belirli bir

büyüklerdeki barajların sistematik olarak jeodezik ve jeofizik ölçülerle izlenmesini kararlaştırmışlardır. Bununla birlikte barajların uzun süreli izlemesine ait sonuçlar ve onların deformasyon davranışları hakkında fazla bilgi yoktur.

Bu çalışmalara bir katkı olması amacıyla bu makalede, yeni inşa edilen Yamula barajının rezervuara su alımı sırasında oluşabilecek deformasyonları izlemek için Aralık 2003 ile Nisan 2005 arasında yapılmış dört periyot jeodezik ölçü analiz edildi. Barajın düşey yöndeki deformasyonlarının belirlenmesi için iki deformasyon analiz yöntemi kullanıldı. Kinematik model yardımıyla, statik modelde olduğu gibi sadece düşey yöndeki yer değiştirmeler değil, yer değiştirmelerin hızı ve ivmesi de belirlendi. Yer değiştirmeler ile su seviyesi yükselmesi arasındaki ilişkileri görmek için grafikler çizildi. Sonuç olarak baraj üzerindeki tüm noktaların hareket ettiği görüldü. Grafiklerden su seviyesi değişimi ile baraj üzerindeki kontrol noktalarının yer değiştirmeleri arasında bir lineer ilişkinin var olduğu ortaya koyuldu.

2. Yamula Barajı

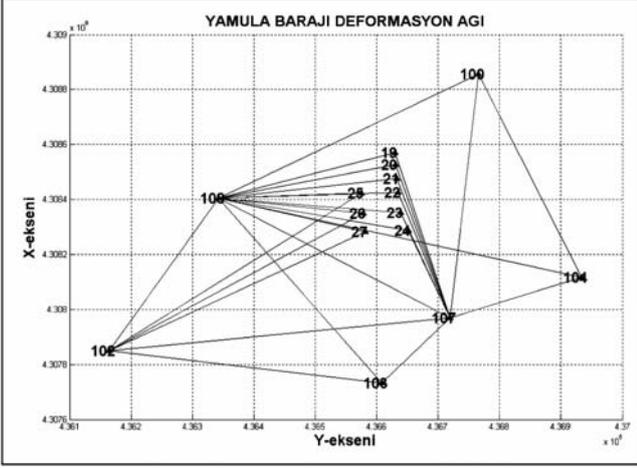
Yamula Barajı, İç Anadolu bölgesinde, Kayseri İli sınırları içerisinde Kızılırmak nehri üzerindedir. Proje sahası sulama alanları da dâhil olmak üzere Kayseri'nin 25 km kuzey batısında, Yemliha kasabası yakınlarında yer almaktadır. Yatırım, Ayen Enerji A.Ş.'nin bağlı olduğu ortaklığı Kayseri Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapımına 2000 yılında başlanan Yamula barajı büyük ölçekte (yükseklik: 120 m, baraj kreti: 510 m) bir kaya dolgu barajıdır (Şekil 1). Baraj elektrik üretmek (depolama kapasitesi yaklaşık $3476,00 \times 10^6 \text{ m}^3$) ve nehir akışını kontrol etmek amacıyla 2005 yılında hizmete girmiştir (AYEN ENERJİ Web P.).



Şekil 1: Yamula Barajı

¹Yrd. Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Aksaray

Yapısal bütünlüğü korumak, yıkılmasını önlemek ve özellikle halkın güvenliğini sağlamak amacıyla baraj ve çevresine tesis edilmiş bir deformasyon ağında periyodik ölçüler yapılmıştır (Şekil 2). Yamula Barajı Deformasyon Ağı, çevresine 6 referans noktası (100, 102, 103, 104, 107, 108) ve üzerine 9 kontrol noktası (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27) tesis edilerek oluşturulmuştur. Ağ; Aralık 2003, Mart 2004, Kasım 2004 ve Nisan 2005 periyotlarında Sokkia 530R Total Station ile ölçülerek nokta koordinatları belirlenmiştir. Bu alet ile ulaşılan ölçü doğruluğu doğrultular için $\pm 3^{\text{cc}}$, düşey açılar için $\pm 4^{\text{cc}}$ ve kenarlar için $\pm(2_{\text{mm}} \pm 2 \cdot 10^{-6} D_{\text{km}})$ 'dir.



Şekil 2: Yamula barajı deformasyon ağı

3. Düşey Deformasyonların Belirlenmesi

3.1. Statik Modelle Deformasyonların Belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan statik model literatürde Teta Kare (θ^2) ölçütü ile Deformasyon Analizi olarak bilinir. Yöntemin uygulanabilmesi için iki ölçü periyodu ayrı ayrı serbest ağ dengelemesi ile dengelenir. İki dengeleme sonucunun karşılaştırılması ile bulunan fark vektörü d , ağırlık matrisi Q_{dd} ve serbestlik derecesi h olmak üzere, öncelikle θ^2 ölçütü

$$\theta^2 = \mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd} \mathbf{d} / h \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplanır. Her bir periyodun ayrı ayrı serbest dengelemesinden elde edilen varyansların birleştirilmesinden

$$s_0^2 = \frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2}{f_1 + f_2}$$
 ortak varyansı bulunur. Sıfır hipotezi

olarak $\theta^2 = s_0^2$ seçilir ve $T = \theta^2 / s_0^2$ test büyüklüğü hesaplanarak F tablo değeriyle karşılaştırılır. Sıfır hipotezi reddedildiğinde ağın herhangi bir yerinde deformasyon olduğu söylenebilir. Deformasyon olan noktayı bulmak için, ağın nokta sayısı kadar toplam aykırılık etkisi θ_i^2 hesaplanır.

$$\theta_i^2 = (\mathbf{d}_i^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}_i), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (m: \text{nokta sayısı}) \quad (2)$$

Bunlardan toplam aykırılık θ^2 deki payı en büyük olan

$\theta_{\text{max}}^2 = \max(\theta_i^2)$ noktasında deformasyon olduğuna karar verilir (PELZER 1985, KALKAN ve ALKAN 2005, YALÇINKAYA 2003, ÖZTÜRK ve ŞERBETÇİ 2002).

Uygulama ağında θ^2 ölçütü ile deformasyon belirlenmesinde Önce global test yapılarak deformasyon olup olmadığına karar verilmiştir ve sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Statik deformasyon yöntemi global test sonuçları

Periyodik Karşılaştırmalar	Aralık 2003- Mart 2004	Aralık 2003- Kasım 2004	Aralık 2003- Nisan 2005
Nokta sayısı	15	15	15
Teta kare θ^2	77.23	1699.6	2449.2
s_0^2	0.52	2.24	3.38
$h, f=f_1+f_2$	14, 30	14, 30	14, 30
Test değeri $T = \theta^2 / (s_0^2 h)$	10.48	54.16	51.66
F -tablo değeri $q=h, f, 1-\alpha/2$	2.33	2.33	2.33
Yanılma olasılığı (α)	0.05	0.05	0.05
Karar	Def. VAR	Def. VAR	Def. VAR

Tablo 1'de görüldüğü gibi tüm karşılaştırmalarda deformasyon olduğuna karar verilmiştir. Deformasyon oluşan noktalar belirlenerek sonuçlar sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Tüm ağ noktalarına ait periyodik deformasyon analizleri Tablo 5'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Tüm ağ noktalarının Aralık 2003 – Mart 2004 statik deformasyon analiz sonuçları

NN	θ^2	h	s_0^2	T	$q=F$ -Tablo değeri	Karar	dh (cm)
107	77.2	14	0.52	10.48	2.33	Hareketli	1.71
104	36.9	13	0.52	5.40	2.37	Hareketli	1.48
108	32.4	12	0.52	4.14	2.41	Hareketli	0.71
103	17.7	11	0.52	3.07	2.45	Hareketli	1.25
	12.1	10	0.52	2.31	2.51	Hareketli	
Hareketli Noktalar				103, 104, 107, 108			
Sabit Noktalar				100, 102, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27			

Tablo 5'de periyodik karşılaştırmalar sonucunda sadece 100 ve 19 numaralı noktaların tüm periyotlarda hareket etmedikleri görülmektedir ve ayrıca Aralık 2003–Mart 2004 karşılaştırma periyodunda baraj üzerindeki kontrol noktalarının hareket etmedikleri görülmektedir. Bu periyot için statik model mevcut hareketleri ortaya çıkaramamıştır.

Diğer karşılaştırma periyotlarında baraj üzerindeki tüm noktalar hareket etmişlerdir. Barajın etrafındaki referans noktalarının ilk iki karşılaştırma sonuçlarından yükselme eğilimi gösterdikleri fark edilmektedir. Bunların en son karşılaştırma sonuçlarından eski hallerine dönüş trendine girdikleri görülmektedir.

Tablo 3. Tüm ağ noktalarının Aralık 2003 – Kasım 2004 statik deformasyon analiz sonuçları

NN	θ^2	h	s_0^2	T	q=F-Tablo değeri	Karar	dh (cm)
107	1699	14	2.24	54.16	2.33	Hareketli	6.14
102	1168	13	2.24	40.10	2.37	Hareketli	4.23
108	1151	12	2.24	42.81	2.41	Hareketli	3.96
23	684	11	2.24	27.75	2.45	Hareketli	-8.01
103	486	10	2.24	21.72	2.51	Hareketli	6.74
104	320	9	2.24	15.87	2.57	Hareketli	5.52
22	227	8	2.24	12.70	2.65	Hareketli	-5.54
21	141	7	2.24	9.01	2.74	Hareketli	-5.26
24	65.2	6	2.24	4.85	2.86	Hareketli	-2.97
20	37.4	5	2.24	3.34	3.02	Hareketli	-2.66
	17.4	4	2.24	1.95	3.25		
Hareketli Noktalar				102, 103, 104, 107, 108, 20, 21, 22, 23, 24			
Sabit Noktalar				100, 19, 25, 26, 27			

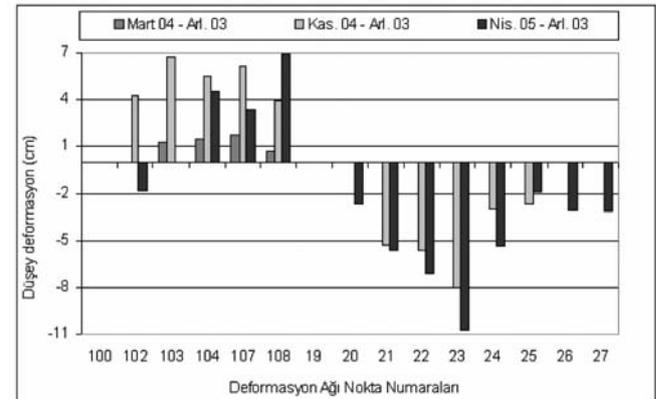
Tablo 4. Tüm ağ noktalarının Aralık 2003 – Nisan 2005 statik deformasyon analiz sonuçları

NN	θ^2	h	s_0^2	T	q=F-Tablo değeri	Karar	dh (cm)
108	2449	14	3.38	51.66	2.33	Hareketli	6.89
23	1069	13	3.38	24.99	2.37	Hareketli	-10.7
107	620	12	3.38	15.26	2.41	Hareketli	3.38
22	479	11	3.38	12.87	2.45	Hareketli	-7.09
104	340	10	3.38	10.04	2.51	Hareketli	4.60
24	290	9	3.38	9.54	2.57	Hareketli	-5.36
21	195	8	3.38	7.20	2.65	Hareketli	-5.61
26	100	7	3.38	4.23	2.74	Hareketli	-3.06
27	76.3	6	3.38	3.75	2.86	Hareketli	-3.14
25	54.2	5	3.38	3.20	3.02	Hareketli	-1.88
102	48.8	4	3.38	3.58	3.25	Hareketli	-1.77
	30.1	3	3.38	2.95	3.58		
Hareketli Noktalar				102, 104, 107, 108, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27			
Sabit Noktalar				100, 103, 19, 20			

Tablo 5. Tüm periyotlardaki statik deformasyon analizi sonuçlarının özeti

Yükseklik Farkları Deformasyon Analizi Özeti (cm)			
NN	Aralık 2003 Mart 2004	Aralık 2003 Kasım 2004	Aralık 2003 Nisan 2005
100			
102		4.23	-1.77
103	1.25	6.74	
104	1.48	5.52	4.60
107	1.71	6.14	3.38
108	0.71	3.96	6.89
19			
20			-2.66
21		-5.26	-5.61
22		-5.54	-7.09
23		-8.01	-10.79
24		-2.97	-5.36
25		-2.66	-1.88
26			-3.06
27			-3.14

Ancak 108 numaralı nokta bundan hariç tutulmalıdır. Çünkü 108 tüm karşılaştırma periyotlarında yükselme eğilimi göstermektedir. Tablo 5' ye ait grafik gösterim Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 3: Statik model sonuçlarının grafik gösterimi

3.2. Kinematik Modelle Deformasyonların Belirlenmesi

Konum, konumun birinci türevi hız ve ikinci türevi ivme parametrelerini içeren zamana bağımlı, bir boyutlu kinematik model (3) eşitliğindeki gibi yazılabilir (YALÇINKAYA 2003, HEUNECKE 1995, PELZER 1985).

$$X_j^{(i)} = X_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1}) v_{xj} + \frac{1}{2} (t_i - t_{i-1})^2 a_{xj} \quad (3)$$

Burada $X_j^{(i)}$, (i). periyottaki j noktasının koordinatı; $X_j^{(i-1)}$, (i-1). periyottaki j noktasının koordinatı; v_{xj} , j noktasının X koordinatının hızı; a_{xj} , j noktasının X koordinatının ivmesi; $t_i=(i)$. ölçü zamanı; $t_{i-1}=(i-1)$. ölçü zamanı; $i=1,2,\dots,k$ (k=periyot sayısı); ve $j=1,2,\dots,n$ (n=nokta sayısı).

(3) eşitliğindeki model parametrelerini hesaplamak için en az beş ölçü periyodu gereklidir. Kalman-Filtre çözüm yöntemini kullanarak çözüm üç periyotla gerçekleştirilebilir. Kalman-Filtre tekniğinde, başlangıçta, bulunulan andaki hareket parametreleri t_{i-1} periyodu yardımıyla kestirilir. Sonuçta, filtrelenmiş parametreler t_i periyodundaki ölçülerle kestirim bilgisi birleştirilerek hesaplanır. Kalman-Filtre tekniğine göre sırasıyla hareket parametreleri (konum, hız, ivme) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$X_j^{(i)} = X_j^{(i-1)} + (t_i - t_{i-1}) v_{xj} + \frac{1}{2} (t_i - t_{i-1})^2 a_{xj} \quad (4)$$

$$v_{xj}^{(i)} = v_{xj} + (t_i - t_{i-1}) a_{xj} \quad (5)$$

$$a_{xj}^{(i)} = a_{xj} \quad (6)$$

Eşitlik (4), (5) ve (6) matris formunda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{Y}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{v}_x \\ \mathbf{a}_x \end{bmatrix}_{i-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{I}(t_i - t_{i-1}) & \frac{1}{2} \mathbf{I}(t_i - t_{i-1})^2 \\ 0 & \mathbf{I} & \mathbf{I}(t_i - t_{i-1}) \\ 0 & 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{v}_x \\ \mathbf{a}_x \end{bmatrix}_{i-1} \quad (7)$$

(7) eşitliği kısa gösterimle (8) eşitliği halini alır.

$$\bar{Y}_i = T_{i,i-1} \hat{Y}_{i-1} \tag{8}$$

Burada, \bar{Y}_i , t_i periyodundaki yeni durum vektörü (konum, hız, ivme), \hat{Y}_{i-1} , t_{i-1} periyodundaki durum vektörü, $T_{i,i-1}$, kestirim matrisi ve I , birim matristir. (8) eşitliği kestirim eşitliğidir. Bu kinematik davranışa sistem gürültüleri de bindirilmiştir. Gürültünün modellendirilmesi için sabit bozucu etki ivmesinin (w) ortaya çıktığı kabul edilir. Bu etki T matrisinin son sütunundan elde edilen gürültü matrisini (N) ve durum vektörünü etkiler. Böylece (8) eşitliğinden durum vektörü ve ters ağırlık matrisi

$$\bar{Y}_i = T_{i,i-1} \hat{Y}_{i-1} + N_{i,i-1} w_{i-1} \tag{9}$$

$$Q_{\bar{Y}\bar{Y},i} = T_{i,i-1} Q_{\hat{Y}\hat{Y},i-1} T_{i,i-1}^T + N_{i,i-1} Q_{ww,i-1} N_{i,i-1}^T \tag{10}$$

biçiminde oluşturulur. Burada $Q_{\bar{Y}\bar{Y},i}$ ve $Q_{ww,i-1}$, sırasıyla t_{i-1} periyodundaki durum vektörünün kofaktör matrisi ve sistem gürültülerinin kofaktör matrisidir. Ölçülerin düzeltme denklemleri

$$I_i + v_{1-i} = A_i \hat{Y}_i \tag{11}$$

ile (9) eşitliği birleştirilerek filtre aşamasının fonksiyonel ve stokastik modeli,

$$\begin{bmatrix} \bar{Y}_i \\ I_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ A_i \end{bmatrix} \hat{Y}_i + \begin{bmatrix} v_{\bar{Y},i} \\ v_{1-i} \end{bmatrix}; \quad Q_i = \begin{bmatrix} Q_{\bar{Y}\bar{Y},i} & 0 \\ 0 & Q_{I,i} \end{bmatrix} \tag{12}$$

olarak oluşturulur. Model çözülerek hareket parametreleri ve onlara ait kofaktör matrisleri hesaplanır (PELZER 1985, HEUNECKE 1995, YALÇINKAYA ve BAYRAK 2003, 2005).

Lineer ve karesel iki kısımdan oluşan kinematik model Kalman-Filtre tekniğine göre adım adım hesaplanmıştır. Kinematik modelin sırasıyla hız ve ivme ile genişletilebilmesine karar vermek için istatistik testler yapılmıştır. Kinematik modelin istatistik test sonuçları Aralık 2003 - Mart 2004 – Kasım 2004 için Tablo 6’da ve Aralık 2003 - Mart 2004 – Nisan 2005 için Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 6. Kinematik modelin Aralık 2003 - Mart 2004 – Kasım 2004 periyodu için istatistik test sonuçları

Lineer Model Konum+Hız		Karesel Model Konum+Hız+İvme	
Global Test	Genişletilmiş Model Testi	Global Test	Genişletilmiş Model Testi
s_0 (öncül)	s_0 (öncül)	s_0 (öncül)	s_0 (öncül)
m_0 (soncul)	m_g (soncul)	m_0 (soncul)	m_g (soncul)
T (test değeri)	T_g (test değeri)	T (test değeri)	T_g (test değeri)
q (F-tablo)	q (F- tablo)	q (F- tablo)	q (F- tablo)
0.646	0.695	0.695	0.705
0.695	2.148	0.705	3.102
1.157	9.952	1.029	19.360
2.652	2.307	1.900	2.141
T<q	T>q	T<q	T>q
Model Geçerlidir	Model Genişletilebilir	Model Geçerlidir	Model Genişletilebilir

Tablo 7. Kinematik modelin Aralık 2003 - Mart 2004 – Nisan 2005 periyodu için istatistik test sonuçları

Karesel Model Konum+Hız+İvme	
Global Test	Genişletilmiş Model Testi
s_0 (öncül)	s_0 (öncül)
m_0 (soncul)	m_g (soncul)
T (test değeri)	T_g (test değeri)
q (F-tablo)	q (F-tablo)
0.695	0.814
0.814	2.802
1.372	11.849
1.900	2.141
T<q	T>q
Model Geçerlidir	Model Genişletilebilir

Tablo 6 ve 7’deki öncül varyans (s_0) bir önceki dengeleme sonucundan alınmıştır. Soncul varyans (m_0) kinematik model çözümünden elde edilmiştir. (s_0) ve (m_0)’dan hesaplanmış T test değeri F-tablo değeri ile karşılaştırılmış ve modelin geçerli olup olmadığı kararına varılmıştır. Genişletilmiş modelin soncul varyansı (m_g) genişletilmiş model parametrelerinden elde edilmiştir. Genişletilmiş model testi sütunundaki (s_0) ve (m_g)’den hesaplanmış test büyüklüğü T_g , F-tablo değeri ile karşılaştırılmış ve modelin başka bir parametre ile genişletilemeyeceği kararına varılmıştır.

Tablo 6 ve 7’den global test istatistiklerinin F-tablo değerinden küçük olduğu, yani modelin geçerli olduğu görülmektedir. Genişletilmiş model testi istatistiklerinin ise F-tablo değerinden büyük olduğu yani modelin başka bir parametre ile genişletilebileceği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre kinematik model sırasıyla önce hız ve sonra ivme ile genişletilmiştir. Hesaplanan düşey deformasyonlar (dh), deformasyon hızları (v) ve ivmeleri (a) kendi karesel ortalama hatasına bölündü ve test değerleri (T_{dh} , T_{vh} , T_{ah}) hesaplandı. Bu değerler parametrenin anlamlı olup olmadığının tespit edilebilmesi için t-tablo değeri (q_t) ile karşılaştırıldı (Tablo 8 ve 9).

Tablo 8. Tüm ağ noktalarının Aralık 2003 – Mart 2004 – Kasım 2004 kinematik deformasyon analiz sonuçları

N.N.	Konum (cm)			Hız (cm / ay)			İvme (cm / ay ²)		
	dh	T _{dh}	K	v _h	T _{vh}	K	a _h	T _{ah}	K
100	0.06	1.64	-	0.02	0.40	-	0.01	0.09	-
102	3.57	15.41	+	0.65	8.63	+	0.06	5.49	+
103	6.18	23.24	+	0.73	6.90	+	0.04	2.82	+
104	4.23	16.16	+	0.34	3.53	+	0.01	0.44	-
107	5.97	26.72	+	0.30	4.68	+	0.02	1.99	-
108	2.98	13.51	+	0.40	6.26	+	0.03	3.12	+
19	-0.34	1.30	-	-0.01	0.21	-	0.00	0.78	-
20	-2.22	8.60	+	-0.24	5.95	+	-0.01	2.99	+
21	-6.43	21.16	+	-0.51	3.86	+	-0.01	0.39	-
22	-7.37	23.84	+	-0.54	4.04	+	0.00	0.15	-
23	-9.32	29.49	+	-1.05	7.54	+	-0.06	2.87	+
24	-3.38	10.52	+	-0.18	1.28	-	-0.01	0.42	-
25	-1.17	3.95	+	-0.18	1.42	-	-0.01	0.78	-
26	-0.57	2.21	+	-0.05	1.23	-	0.00	0.42	-
27	-0.10	0.39	-	-0.02	0.45	-	0.00	0.69	-
$q_t=2.01$ T> q_t (+) T< q_t (-)									

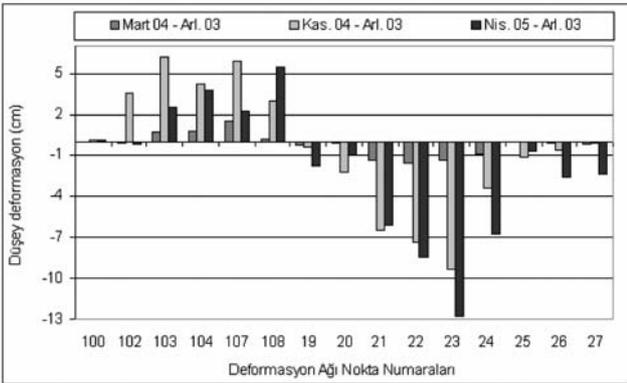
Tablo 9. Tüm ağ noktalarının Aralık 2003 – Mart 2004 – Nisan 2005 kinematik deformasyon analiz sonuçları

N.N.	Konum (cm)			Hız (cm / ay)			İvme (cm / ay ²)		
	dh	T _{dh}	K	v _h	T _{v_h}	K	a _h	T _{a_h}	K
100	0.10	0.49	-	0.02	0.91	-	0.00	0.32	-
102	-0.17	0.47	-	-0.02	0.20	-	0.00	0.30	-
103	2.54	6.29	+	0.03	0.22	-	0.02	1.32	-
104	3.85	9.65	+	0.09	0.76	-	0.01	1.02	-
107	2.26	6.39	+	0.44	5.74	+	0.06	7.64	+
108	5.52	15.75	+	0.55	7.41	+	0.03	3.72	+
19	-1.80	4.52	+	-0.16	3.99	+	-0.01	2.05	+
20	-0.94	2.35	+	-0.06	1.47	-	0.00	0.38	-
21	-6.09	13.50	+	-0.20	1.24	-	-0.01	0.81	-
22	-8.42	18.38	+	-0.37	2.27	+	-0.01	0.48	-
23	-12.72	27.23	+	-1.04	6.23	+	-0.04	2.26	+
24	-6.71	14.20	+	-0.47	2.78	+	-0.01	0.72	-
25	-0.70	1.58	-	-0.09	0.58	-	-0.01	0.36	-
26	-2.56	6.41	+	-0.18	4.48	+	0.00	1.61	-
27	-2.34	5.83	+	-0.15	3.82	+	0.00	1.19	-

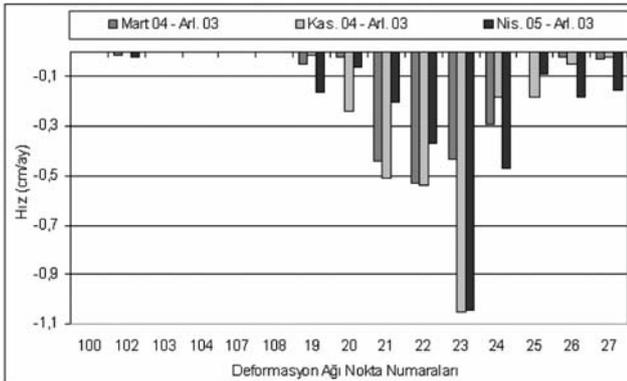
q_i=2.01 T > q_i(+) T < q_i(-)

Parametre anlamlı ise karar sütununa bunu temsil eden (+) işareti, eğer anlamlı değilse karar sütununa (-) işareti konulmuştur. Tablo 8 ve 9'a ait grafik gösterimler Şekil 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

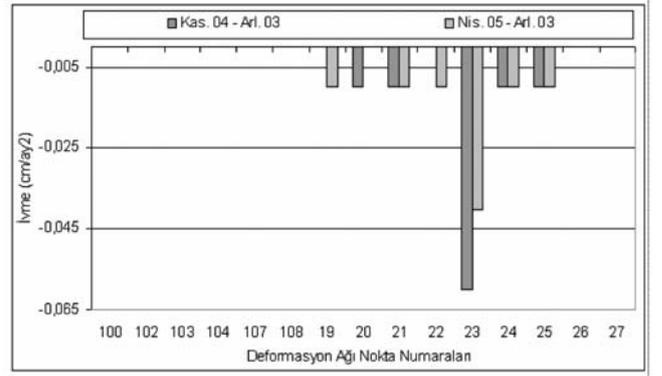
Şekil 3, 4, 5 ve 6 incelendiğinde baraj üzerindeki 21, 22, 23 ve 24 numaralı noktaların düşey hareketleri, hareket hızları ve ivmelerinin oldukça anlamlı olduğu görülmektedir.



Şekil 4: Kinematik modeldeki periyodik karşılaştırmalarla elde edilmiş düşey deformasyonlara ait grafik

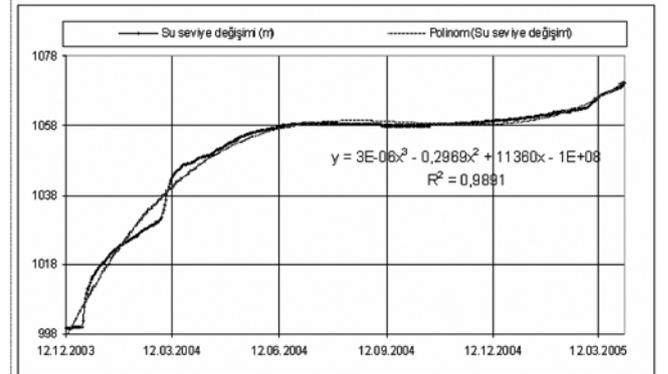


Şekil 5: Kinematik modeldeki periyodik karşılaştırmalarla elde edilmiş hızlara ait grafik

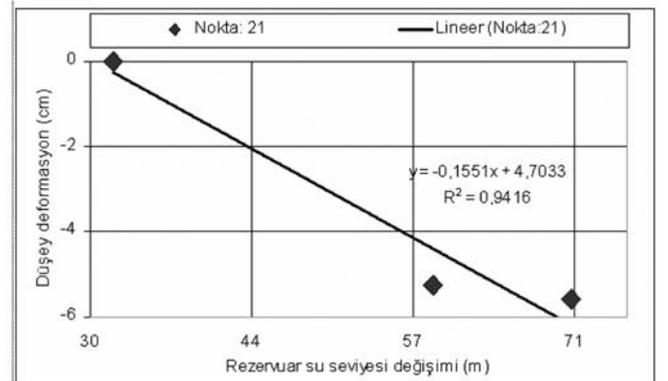


Şekil 6: Kinematik modeldeki periyodik karşılaştırmalarla elde edilmiş ivmelere ait grafik

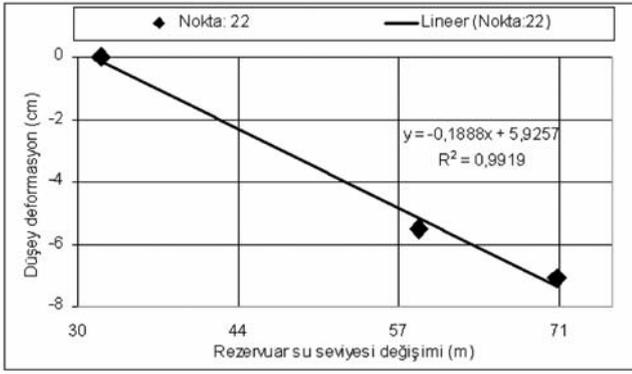
Bu aşamada şu soruları sorulabilir. Rezervuar su seviyesi değişimi baraj üzerindeki bu noktaları nasıl etkilemektedir? Bu değişim ile baraj üzerindeki noktaların düşey deformasyonları arasında nasıl bir ilişki vardır? Bu ve bunun gibi sorulabilecek sorulara cevap aramak amacıyla su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak bu noktalarındaki değişimlerin nasıl gerçekleştiğini görmek için; Şekil 7' de zamana bağlı olarak su seviyesinin değişimi grafiği, Şekil 8, 9, 10 ve 11' de ise su seviyesi değişimi ile baraj üzerindeki kontrol noktalarının düşey deformasyonları arasındaki ilişkileri gösteren grafikler çizilmiştir.



Şekil 7: Zamana bağlı rezervuar su seviyesi değişimi

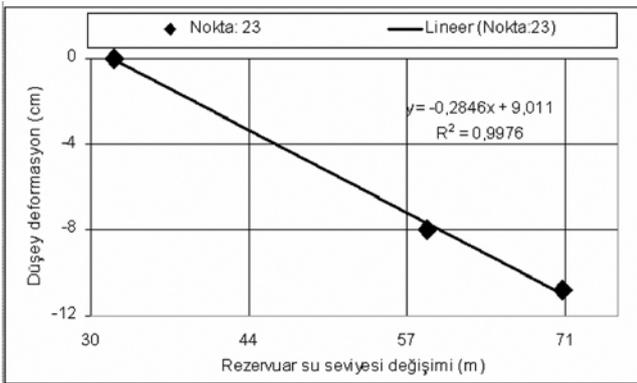


Şekil 8: Nokta 21'deki rezervuar su seviyesi değişimi ile düşey deformasyonlar arasındaki ilişki

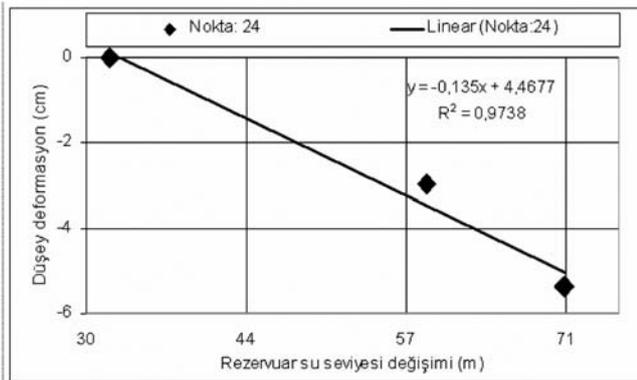


Şekil 9: Nokta 22'deki rezervuar su seviyesi değişimi ile düşey deformasyonlar arasındaki ilişki

Şekil 8, 9, 10 ve 11'deki R^2 bir belirlilik katsayısıdır. R^2 , bağımsız değişken (Rezervuar su seviyesi değişimi) yardımıyla açıklanabilen bağımlı değişkendir (düşey deformasyon) değişimin oranını verir. Örneğin, nokta 21'deki ilişki için R^2 'nin anlamı bağımsız değişkenle açıklanabilen bağımlı değişkendir değişimin %94.16 olduğudur. Geriye kalan %5.84 bu ilişki ile açıklanamaz. Özetle Şekil 8, 9, 10 ve 11'deki rezervuar su seviyesi değişimi ile baraj üzerindeki kontrol noktalarının düşey deformasyonları arasındaki ilişkinin lineer olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 10: Nokta 23'deki rezervuar su seviyesi değişimi ile düşey deformasyonlar arasındaki ilişki



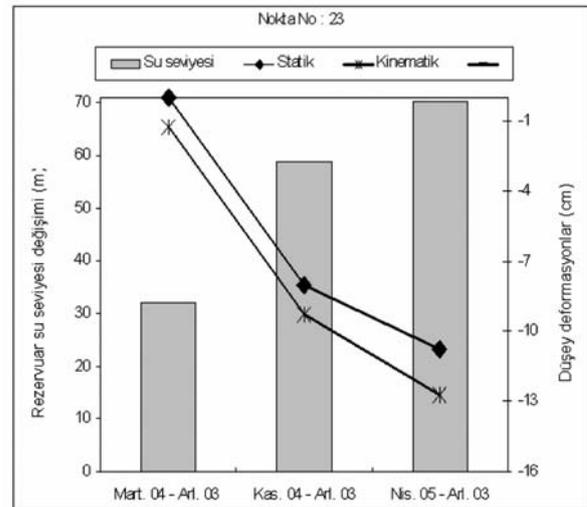
Şekil 11: Nokta 24'deki rezervuar su seviyesi değişimi ile düşey deformasyonlar arasındaki ilişki

4. İrdeleme

Bu çalışmada Yamula barajının zamana bağlı davranışlarının izlenmesine yönelik olarak, statik ve kinematik deformasyon modellerine ait uygulamalar yapılmıştır. Her iki model sonuçlarından düşey deformasyon değerlerinin aynı yönde hesaplandığı görülmektedir. Değerlerin büyüklüğü açısından bakıldığında, kinematik model sonuçları statik sonuçlardan biraz büyük bulunmuştur. Kinematik modelin hareketleri tespit etme açısından, statik modelden daha başarılı olduğu gözükmektedir. Bu çalışma için bunun en belirgin kanıtı Aralık 2003 – Mart 2004 karşılaştırma periyodu sonuçlarıdır. Statik modelde (Tablo 2) bu karşılaştırma periyodu için baraj üzerindeki kontrol noktalarının hareketi belirlenemezken, bunun aksine kinematik model (Tablo 8) aslında belli bir hareketin var olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlarda en büyük hareketin barajın ortasındaki 23 numaralı noktada gerçekleştiği gözden kaçmamaktadır. Bu noktanın statik ve kinematik deformasyon model sonuçları Tablo 10'da özetlenmiştir. Tablo 10'dan görüldüğü gibi kinematik modelin hız ve ivme parametrelerini belirleme açısından daha kullanışlı olduğu gözükmektedir.

Tablo 10. 23 numaralı nokta için deformasyon analizi sonuçları

N.No: 23	Birim	Parametre	Statik	Kinematik
Konum	cm	dh	-10.79	-12.72
Hız	cm/ay	v_h		-1.04
İvme	cm/ay ²	a_h		-0.04
En uygun model			Konum	Konum+Hız+İvme



Şekil 12: Nokta 23 için Statik ve kinematik model ile hesaplanmış düşey deformasyonlar rezervuar su seviyesi değişimi arasındaki ilişki

İvmenin bir fiziksel anlamı vardır. İvmenin anlamlılığı düşey deformasyonların yorumlanmasında çok kullanışlıdır. Eğer ivme anlamlı ise düşey deformasyonun hızı artar. Eğer ivme anlamsız ise düşey deformasyonların hızı azalır. Yine 23 numaralı noktanın statik ve kinematik deformasyon model sonuçları ile su seviyesi değişimi arasındaki ilişki Şekil 12'de görülmektedir. Model sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu gözden kaçmamaktadır. Şekilden, su seviyesine bağlı olarak hareket büyüklüğünün değişimi kolayca gözükmektedir.

5. Sonuçlar

Bu makalede Yamula barajının statik ve kinematik deformasyon modelleriyle izlenmesi ve barajdaki düşey deformasyonlar ile rezervuar su seviyesi arasındaki ilişkiye odaklanılmıştır. Dört periyot ölçü analiz sonuçları baraj üzerindeki tüm noktaların hareketli olduğunu göstermiştir. Kinematik yöntem sonuçları, özellikle baraj ortasındaki noktaların, su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak anlamlı bir ivmeli hareket sergilediklerini ortaya koymuştur. Çizilen grafikler, su seviyesinin yükselmesi ile baraj üzerindeki kontrol noktalarının düşey deformasyonları arasında bir lineer ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veriler Ayen Enerji A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Yazar çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan Ayen Enerji A.Ş.'ye teşekkür eder.

Kaynaklar

- AYEN ENERJİ Web P.: <http://www.ayen.com.tr/tesislerimiz/tesislerimiz.-asp>, Ocak 2006.
 BAYRAK T.: **Yamula barajında deformasyon analizi**, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, sayı 1, 2006, s. 1-12,

- HEUNECKE O.: **Zur Identification und Verifikation Von Deformationsprozessen Mittels Adaptiver KALMAN-Filterung**, Wissen. Arbet. Der Fahrrecht. Vermess., Der Universitat Hannover, Nr. 208, 1995.
 KALKAN Y. ve ALKAN R. M.: **Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri**, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, HKMO, s.64-74, İTÜ, İstanbul, 2005.
 ÖZTÜRK E. ve ŞERBETÇİ M.: **Dengeleme Hesabı III**, KTÜ Basımevi, 144, Trabzon, 1992
 PELZER H.: **Statische, Kinematische und Dynamische Punktfelder**, Vortrage des Kontaktstudiums, Geodatische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Hannover, s. 225-262, 1985.
 STELLA I. P. ve 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, s. 361-370, 2005.
 YALÇINKAYA M.: **Monitoring Crustal Movements in West Anatolia by Precision Leveling**, Journal of Surveying Engineering, Vol. 129, No. 1, s. 44-49, 2003.
 YALÇINKAYA M. ve BAYRAK T.: **Dynamic Model for Monitoring Landslides with Emphasis on Underground Water in Trabzon Province**, Journal of Surveying Engineering, Vol. 129, No:3, s. 115-124, 2003.
 YALÇINKAYA M. ve BAYRAK T.: **Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlugün Landslide in Northeastern Turkey**, Natural Hazards,