

ALİBEY BARAJI 1987-1988 YILI YATAY-DÜŞEY DEFORMASYON ARAŞTIRMASI SONUÇLARI

Doç. Dr. Emirhan ALGÜL
Doç. Dr. Rasim DENİZ
Yar. Doç. Dr. Denizhan YALIN
Yar. Doç. Dr. Ersoy ARSLAN

1- GİRİŞ:

Barajlar milyonlarca metreküp suyun depolandığı büyük ve önemli mühendislik yapılarıdır. Çok değişik faktörlerin etkisi ile bu yapılarda yatay ve düşey hareketler oluşur. Genel olarak "Deformasyon" adı verilen bu hareketlerin kritik sınırları aşması barajın zarar görmesine, hatta yıkılmasına sebep olabilir (2).

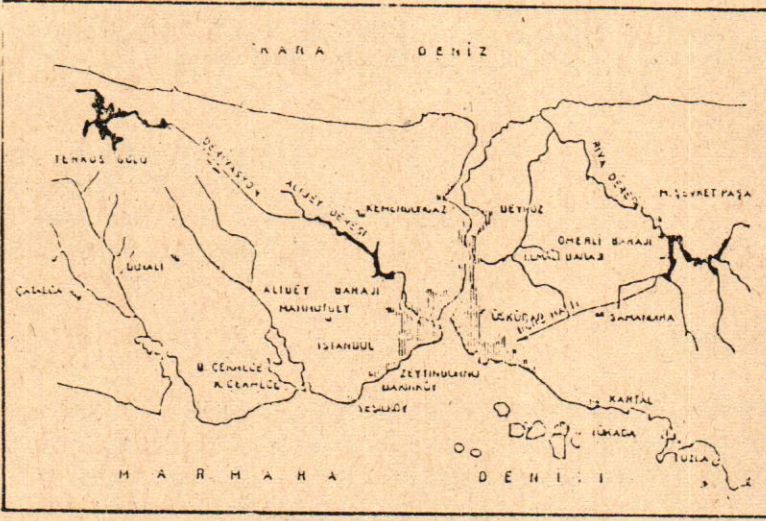
İstanbul Alibey barajı taşkından korunmak, içme ve sanayi suyu temin etmek vb. amaçlar için inşa edilmiş toprak dolgu bir yapıdır. Ancak barajın zemin ve yeraltı suyu problemlerinin çözümünde uygulanmış yapı tarzı ile dünyadaki özel barajlar arasında yer aldığı söylenmektedir. (5).

Alibey barajının hareketlerini jeodezik yöntemlerle üç boyutlu olarak araştırmak üzere hazırlanan 3 yıl süreli projemiz İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi ve DSİ 14. Bölge Müdürlüğü tarafından desteklenmektedir. Bu bildiride Alibey barajı, tesis edilen jeodezik ağ ve yapılan ölçmeler özetlendikten sonra 1987-88 dönemi araştırma sonuçları açıklanmıştır.

2- BARAJIN TANITILMASI

Alibey barajı İstanbul'un yaklaşık 40 km. kuzey batısında ve aynı adı taşıyan derenin üzerine inşa edilmiştir (Şekil 1). Baraj gölü yaklaşık 160 km² lik drenaj alanından toplanan yağış suları ve Terkos gölünden derivasyonla aktarılan sularla beslenmektedir. İnşaatına 1967 yılında başlanan baraj, aşağıda özetlenen zemin problemi ve çözümünde izlenen yol nedeniyle, ancak 1983 yılında işletmeye açılabilmiştir. Barajın gövde yüksekliği 28 m, Kret uzunluğu 304 m, Kret genişliği 15 m, Maksimum su kotu 30 m, Minimum su kotu 11.25 m, Rezervuar hacmi (max) 51x10⁶ m³ dür (5).

Barajın zemin problemi ve çözümünde izlenen yol kısaca şöyledir: Baraj gövdesi, kalınlığı yaklaşık 30 m olan ve sıyırılması, kuvvetli yeraltı suyu nedeniyle sakıncalı görülen alüvyon tabakası üzerinde inşa edilmiştir. Ancak temeldeki Yeraltı Suyu ile gövde içinde oluşacak Boşluk Suyunun boşaltulmasını kolaylaştırmak ve gövdenin oturmasını hızlandırmak için, temele 3x3x0,4 m. boyutlarında ve toplam 20.000 m uzunluğunda, kareler ağı biçiminde kum drenleri yapılmış ve kaya zemine kadar uzanan kumlu fore kazıklar çakılmıştır. Gövde dolgusu kademeli ve yavaş yapılmıştır.



Şekil 1- 1: Barajın bölgedeki konumu

3- BARAJDA TESİS EDİLEN JEODEZİK AĞIN TANITILMASI

Araştırma projesi çevresinde 1987 yılı Mart ayında baraj gövdesinde ve yakın çevresinde toplam 26 noktadan oluşan bir mikrojeodezik ağ kurulmuştur. Ağın noktaları, projeyi Üniversitemiz dışında destekleyen DSI 14. Bölge Müdürlüğü'nün isteği dikkate alınarak kareler biçiminde seçilmiştir. (Şekil 2,3). Jeodezik ağdaki noktaların dağılımı:

- 5 adet kontrol noktası (1,2, 5) sol dağ kütesinde,
 - 5 adet kontrol noktası (6,7, 10) sağ dağ kütesinde,
 - 3 adet obje noktası (11, 12, 13) kret üzerinde,
 - 9 adet obje noktası (14, 15, 22) gövdenin mansap şevinde,
 - 4 adet obje noktası (22, 24 26) gövdenin memba şevinde,
- tesis edilmiştir.

Toprak dolgu bir barajda, obje noktaları gövdenin yatay ve düşey hareketlerini yansıtabilmesi için yapı (konstrüksiyon) şeklinin ne olması gerektiği araştırılmış ve İTÜ İnş. Fak. Geoteknik Anabilim Dalı öğretim üyelerinin de görüşleri alınarak tüm noktalar 'Pilye, şeklinde inşa edilmiştir. Pilyelerin üst yüzeyine zorunlu merkezleştirme başlığı yerleştirilmiştir. Obje noktalarındaki pilyelerin alt kısmını oluşturan beton taban plakası bölgenin 'don etki derinliği, olan 30 cm'nin altında tesis edilmiştir. Kontrol noktalarındaki pilyelerin toprak üstünde kalan kısmı çelik boru ile muhafazaya alınmıştır.

4- JEODEZİK AĞDAKİ ÖLÇMELER

Alibey barajı mikro jeodezik ağında bugüne kadar 6 ay aralıklarla 3 ölçme

yapılmış ve bu ölçmeler:

Birinci ölçme, Nisan 1987:	t_0
İkinci ölçme, Kasım 1987:	t_1
Üçüncü ölçme, Nisan 1988:	t_2

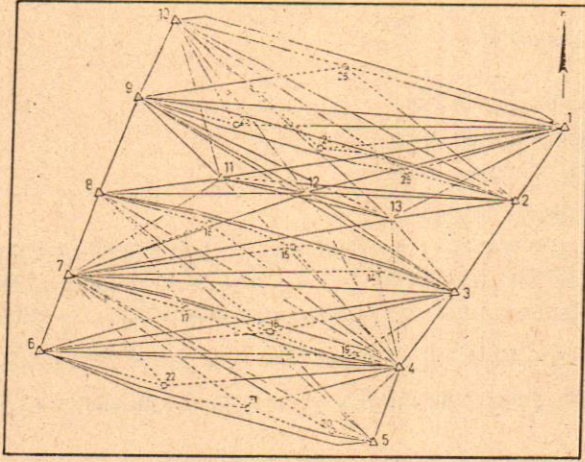
şeklinde adlandırılmıştır.

Jeodezik ağda yüksek presizyonda konum ve deformasyon belirlemeye yönelik olarak çok sayıda yatay açı (doğrultu), kenar ve yükseklik farkı ölçülmüştür,

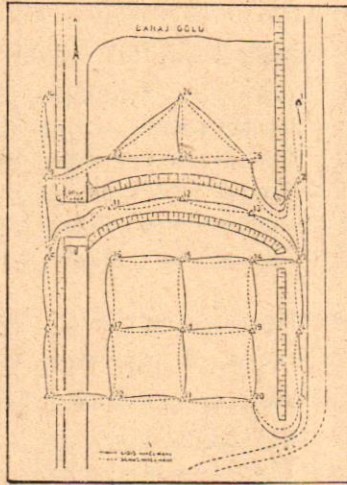
Yatay doğrultu ölçmeleri: t_0 , t_2 peryotlarında WILD - T_2 saniye teodoliti ile, t_1 peryodunda ise ZEISS (oberkochen) Th_2 aleti ile ve 6'şar tam şeri yapılmıştır. Her üç peryotta, Şekil 2 de görülen aynı ölçme uygulanmış ve 140'ar doğrultu ölçülmüştür.

Jeodezik aşağıdaki gözleme uzaklıkları çok kısa (70 - 392 m) olduğundan, açı ölçmelerinde yöneltme hatasını azaltmak için, uygun rasat plan dışında, 4 mm çapında, 60 mm boyunda metalden özel gözleme işaretleri yaptırılmış ve kullanılmıştır. Kenar ölçmeleri: t_0 peryodunda WILD - DI3 elektronik uzaklık ölçeri (E.U.Ö) ile, t_1 ve t_2 peryotlarında KEUFFEL ESSER firmasının Autoranger E.U.O. ile yapılmıştır. Her üç peryotta da aynı ölçme planı uygulanmış ve 45'er kenar ölçülmüştür. Ayrıca her kenarda kuru ve ıslak hava sıcaklıkları ile atmosferik basınç okumaları yapılmıştır. Kenar ölçülerinin yataya indirgenmesinde pilyelerin presizyonlu nivelmanla belirlenmiş kotları kullanılmıştır. Her peryot ölçmelerinden önce E.U.Ö. aleti İTÜ Ayazağa Kampüsünde bulunan İTÜ Kontrol Bazında,, kontrol edilmiş ve 'Sıfır Noktası Eki Değerleri,, lit /4/ de açıklandığı gibi belirlenmiştir.

Yükseklik farkı ölçmeleri: t_0 peryodunda ZEISS - Nil ve WILDE - N3 presizyonlu nivelman donatımları ile ayrı ayrı yapılmıştır. t_1 ve t_2 peryotlarında ise ZEISS - N₁ donatımı kullanılmıştır. her üç peryotta da aynı ölçme planı (nivelman yolları) izlenmiş (Şekil 3) ve 34'er kenar üzerinde gidiş - dönüş presizyonlu nivelman yapılmıştır. bu ölçmelerde lit. /5/ de açıklanan presizyonlu nivelmanın tüm kuralları uygulanmıştır. Ayrıca her ölçme peryodundan önce Teodolit ve Nivoların eksen koşulları İTÜ Jeodezi Anabilim Dalı Laboratuvarında kontrol edilmiş ve ana eksen koşullarına ilişkin hatlar giderilmiştir.



Şekil 2. Yatay açı ölçme planı



Şekil 3. Nivelman ölçme planı

5- ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Alibey barajı jeodezik ağındaki t_0 ve t_1 periyodu ölçüleri daha önce değerlendirilmiş ve $t_1 - t_0$ zaman aralığındaki yatay ve düşey hareketler lit /5/ de açıklanmıştır. Barajın işletmeye açılmasından yaklaşık 4 yıl sonra, 6 ay gibi kısa zaman aralığında yapılmış bu iki ölçme sonucunda beklenenin çok altında hareketler belirlendiğinden, bu aşamada iki ölçme aralığı 12 ay olan t_0 , t_2 periyot ölçülerinin değerlendirilmesine karar verilmiştir. Barajda yatay ve düşey hareketlerin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar (lit /5/ de açıklandığı gibi) aşağıda özetlenmiştir.

5.1- Yatay Hareketlerin Belirlenmesi

Jeodezik ağıdaki yatay hareketlerin belirlenmesi için yapılan hesaplar ve analiz çalışmaları:

1°) Mikrojeodezik ağı 1,2... 13 noktalarının oluşturduğu Kontrol ağı her iki peryot (t_0 , t_2) için önce $p_r=1$ ve daha sonra $p_r=1$: m_0^2 $p_s=1$: m_2^2 ağırlıkları ile ikişer kez ayrı ayrı serbest dengelenmiştir. Bu dengelemelerde Poppe yöntemi ile uyumsuz ölçeler testi (lit /1/) yapılarak bu tür ölçüler ayıklandıktan sonra dengeleme hesapları tekrarlanmıştır.

2°) Kontrol ağının her iki peryot için Hermert Transformasyonu ile ölçek çakıştırması yapılmıştır. Bundan sonra kontrol ağı t_0 , t_2 peryot ölçüleri ile birlikte (tümünden) serbest dengelenmiş ve t_2-t_0 zaman aralığında hareket etmemiş (sabit kalmış) noktaları belirlemek için Global Kongruenz testi ve Lokalizasyonu (lit /6/) yapılmıştır. Bu analiz sonucu ağıdaki 7,9 ve 10 nolu kontrol noktalarının sabit alınabileceği görülmüştür.

3°) Diğer kontrol noktalarındaki hareketlerin büyüklüğünü ve yönlerini belirlemek için Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi yapılmıştır (lit /2/, /3/) ve 7,9,10 nolu sabit noktaların dışında 3,4 nolu kontrol noktalarının da hareketsiz alınabileceği saptanmıştır.

4°) Baraj gövdesindeki obje noktalarının hareketlerini belirlemek üzere; 3,4,7,9,10 nolu kontrol noktaları sabit alınarak mikrojeodezik ağı t_0 ve t_2 peryotlarının tüm ölçüleri ile birlikte (47+5=52 nokta, 277 doğrultu ve 90 kenar ölçüsü) serbest dengelenmiştir. Ağıdaki yatay hareketleri ile yönlerini belirlemek için Bağlı Güven Elipsleri yöntemi ile deformasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları çizelge-1'de yatay hareket vektörleri Şekil 4 de gösterilmiş, ayrıca bölüm m-6 de yorumlanmıştır.

5.2- Düşey Hareketlerin Belirlenmesi

t_2-t_0 zaman aralığında barajdaki düşey hareketleri belirlemek için izlenen yol aşağıda özetlenmiştir:

1°) t_0 ve t_2 peryotlarına ilişkin nivelman ölçüleri $p=1/n$ ağırlıkları ile ayrı ayrı serbest dengelenmiştir. Her iki dengeleme sonuçlarından; düşey datum farklılığı, ölçülerin düzeltme değerleri ve prezisyonları incelenmiş ve çok yüksek doğruluğa ulaşılmış olduğu görülmüştür. ($m_{01} = \pm 0.070$ mm, $m_{02} = \pm 0.349$ mm)

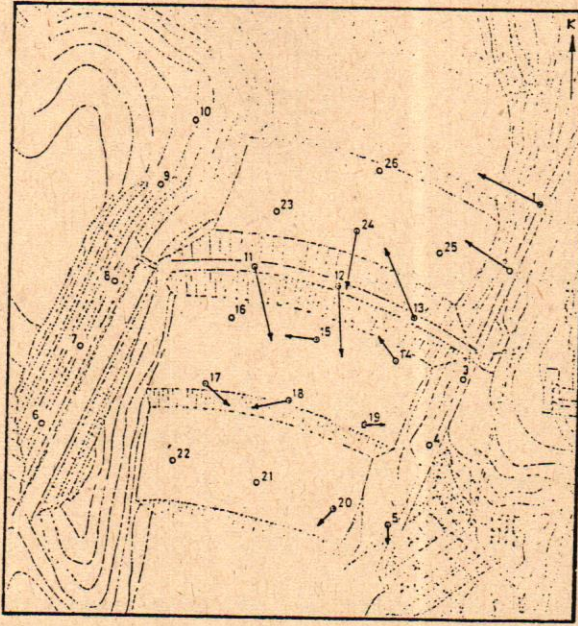
2°) Her iki periyot nivelman ölçülerine göre oluşan düşey tadum aykırılığını ortadan kaldırmak için, t_2-t_0 aralığında yatayda konum değiştirmemiş kontrol noktaları arasından, Nivelman ağında (Bak Şekil 3) güvenilir konumda olan 4 ve 9 noktaları sabit alınmıştır.

3°) Her iki periyot nivelman ölçüleri sabit noktalara göre ayrı ayrı dengelenerek datum aykırılığı giderilmiştir. Bu dengelemeler sonucu hareketli olduğu varsayılan noktalar için H_{1i} , H_{2i} , Q_{1i} ve Q_{2i} değerlerinden Test büyüklüğü hesaplanmış ve F-dağılım çizelgesinden alınan Fraktıl değeri ile karşılaştırılmıştır (lit /1/). Analiz sonuçları çizelge-2'de düşey hareket vektörleri Şekil 5'de gösterilmiş ve bölüm 6'da yorumlanmıştır.

F = 3.04

N.N.	FARKLAR		PAPA VEKTÖRÜ		BASIL HATA ELİPSİ			TEST	
	DX (mm.)	DY (mm.)	ACIKLIK (gon.)	UZUNLUK (mm.)	ACIKLIK (gon.)	A (mm.)	B (mm.)	T	SONUÇLARI
6	-0.13	-1.36	294.02	1.37	17.49	1.42	0.48	3.61	Yatay hareket yok
1	5.17	-11.09	127.75	12.24	41.67	1.58	0.87	96.16	Yatay hareket var
8	-1.55	0.53	179.06	1.64	28.92	0.81	0.36	6.07	Yatay hareket yok
2	5.23	-7.63	338.26	9.26	38.16	1.11	0.60	119.21	Yatay hareket var
5	-3.30	0.35	192.72	3.32	30.62	1.27	0.49	9.64	Yatay hareket var
11	-12.58	3.52	162.64	13.06	128.52	0.68	0.44	330.34	Yatay hareket var
12	-11.74	0.87	195.30	11.77	127.95	0.95	0.43	300.02	Yatay hareket var
13	11.80	-5.06	374.19	12.84	148.46	0.77	0.41	194.49	Yatay hareket var
14	3.95	-5.18	356.85	5.07	140.01	1.33	0.59	13.83	Yatay hareket var
15	0.78	-5.74	308.57	5.79	126.34	2.42	0.84	4.43	Yatay hareket var
16	-0.37	-1.11	279.62	1.17	107.77	2.27	0.84	0.28	Yatay hareket yok
17	-3.58	4.55	142.44	5.79	122.30	1.71	0.75	8.10	Yatay hareket var
18	-0.92	-6.58	291.14	6.65	120.12	1.92	0.73	12.83	Yatay hareket var
19	0.38	3.88	93.86	3.90	113.39	1.40	0.39	8.05	Yatay hareket var
20	-2.68	-2.77	251.06	3.86	67.12	1.41	0.73	4.37	Yatay hareket var
21	-1.51	-2.35	263.59	2.80	109.52	2.59	0.92	2.36	Yatay hareket yok
22	-3.00	3.72	143.17	4.78	133.57	2.53	0.96	2.03	Yatay hareket yok
23	1.40	-1.17	355.72	1.82	135.83	1.72	0.71	0.82	Yatay hareket yok
24	-9.77	-1.70	210.94	9.92	125.20	3.41	1.16	35.01	Yatay hareket var
25	0.65	-2.51	316.13	2.59	112.06	2.91	0.97	0.41	Yatay hareket yok
26	-0.59	1.79	120.32	1.88	116.78	3.32	1.00	0.17	Yatay hareket yok

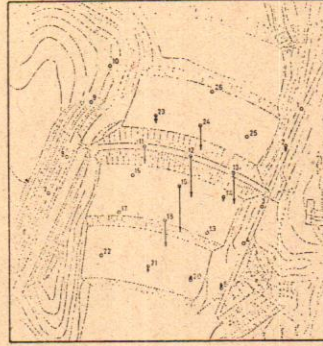
Çizelge 1. Yatay hareket analiz değerleri ve sonuçları.



Şekil 4. Yatay hareket vektörleri

N.W.	d(mm.)	Q	P	T:R / rL ₀	SONUÇLAR
					(F = 4.35)
1	-1.42	0.1875	1.0951	2.29	Filye cökmesi var
3	0.59	0.6585	3.2337	0.53	Düsey hareket yok
5	2.81	0.3750	2.9610	6.17	Düsey hareket var
6	1.17	0.3632	0.5465	1.14	Düsey hareket yok
7	-1.00	0.6636	0.6656	1.39	Düsey hareket yok
8	0.82	0.9225	0.6203	1.29	Düsey hareket yok
11	-9.49	0.5893	53.0724	110.57	Düsey hareket var
12	-14.04	0.6667	385.3003	802.71	Düsey hareket var
13	-16.57	0.6667	151.9929	399.99	Düsey hareket var
14	-2.05	0.7541	3.2940	6.86	Filye cökmesi var
15	-26.41	0.9506	649.0624	1352.28	Düsey hareket var
16	-0.55	0.5333	0.1795	0.37	Düsey hareket yok
17	-1.39	0.7599	1.4766	3.06	Düsey hareket yok
18	-13.83	1.0372	209.8602	437.21	Düsey hareket var
19	1.19	0.8334	1.1802	2.46	Düsey hareket yok
20	2.44	0.7345	4.4920	9.36	Düsey hareket var
21	-2.69	0.8334	6.0306	12.56	Filye cökmesi var
22	-0.06	0.5659	0.0020	0.004	Düsey hareket yok
23	-4.15	0.7432	12.8000	26.67	Düsey hareket var
24	-13.75	1.0000	189.0625	393.88	Düsey hareket var
25	-2.32	0.7317	3.9383	8.20	Filye cökmesi var
26	-1.16	1.0000	1.2100	2.52	Düsey hareket yok

Çizelge 2. Düsey hareket analiz değerleri ve sonuçları



Şekil 5. Düşey hareket vektörleri.

6- SONUÇLARIN YORUMU:

1°) Alibey barajı mikrojeodezik ağıнын 1,2,5,6,8 nolu Kontrol Noktalarında ve 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 24 nolu Obje Noktalarında t_2-t_0 zaman aralığında yatay hareketler oluştuğu (Çizelge-1).

2°) 2,5,11,12,13,14,15,18,20,21,23,24 noktalarında düşey hareketler oluştuğu (Çizelge-2),

tesbit edilmiştir. Ancak bu hareketlerin yorumlanması, toprak ve kaya dolgu barajlarda ayrı ayrı yapılamayacağından yatay ve düşey hareket vektörleri Şekil 6'daki Aksonometrik perspektifte birlikte gösterilmiştir.

3°) Şekil 5 ve 6 daki vektörler incelendiğinde, baraj gövdesinin 11, 12, 13 noktalarının oluşturduğu "Enine Orta Eksen" boyunca ve 24, 12, 15, 18, 21 noktalarının oluşturduğu "Boyuna Orta Eksen" boyunca çıktığı açık olarak görülmektedir.

4°) t_2-t_0 zaman aralığındaki düşey hareket miktarları t_1-t_0 aralığındaki hareketlerin yaklaşık iki katıdır.

5°) Pilyelerin yapımını takip eden 6 ay içinde teorik olarak;

Obje noktalarındaki pilyelerin: -3 mm

Kontrol noktalarındaki pilyelerin: -1.5 mm

çökebileceği (Prof. Dr. Ahmet Sağlamer tarafından) hesaplandığından, düşey fark vektörleri "Pilye çökmesi + gerçek düşey hareket" bileşenlerinden oluşmaktadır. Buna göre; 14 ve 21 nolu obje noktalarındaki düşey hareketler ile 6 ve 8 nolu kontrol noktalarındaki küçük yatay hareketlerin (1.37 ve 1.64 mm) pilye çökmelerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

6°) Gövde ve sağ sahildeki dağ kütlesi arakesitine yakın 5 ve 20 nolu noktalar-daki yükselme şeklindeki küçük (2.81 ve 2.44 mm) düşey hareketler anlamlı ve normal karşılanmıştır.

7°) Baraj gölündeki ortalama su seviyeleri:

t_0 peryodunda: $H_0 = 21.73$ m

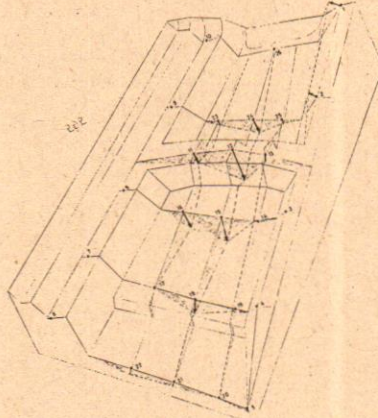
t_1 peryodunda: $H_1 = 17.39$ m

t_2 peryodunda: $H_2 = 19.83$ m

olduğundan, gövdedeki yatay hareketlerde t_2-t_0 aralığında artan bir su basıncı etkisi yoktur.

8°) t_2-t_0 aralığında belirlenen hareketler, t_1-t_0 aralığına göre artmış ise de, Toprak dolgu bir barajda beklenen yıllık hareketlerin (0.5-2 dm) çok altında kaldığından, baraj zemininin Konsolide olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

9°) İTÜ Yapı ve Deprem Uygur Merkezine sunulan proje gereğince barajdaki son ölçmeler Nisan 1989 tarihinde yapılacaktır.



Şekil 6. Alibey barajındaki hareketlerin aksonometrik perspektifi.

LİTERATÜR

(1) AKSOY, A.: Jeodezik Değerlerin Matematik-İstatistik Testlerle İrdelenmesi (Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 1987)

(2) ALGÜL, E.: Barajlarda Jeodezik Deformasyon Ölçmeleri ve Analizi (Doç. Tezi), (İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1982)

(3) AYAN, T.: Bağlı Güven Elipsleri ile Deformasyon Analizi, (Harita Dergisi, Sayı 91, Ankara, 1983)

(4) DENİZ, R.: Kısa Boyların Elektro-Optik Uzaklık Ölçerlerle

Ölçülmesinde Prezisyon Araştırması (İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1981)

(5) ALGÜL, E, DENİZ, R., YALIN, D., ARSLAN, E.: İstanbul Alibey Barajı Deformasyon Araştırma Projesi 1987 yılı Araştırma Raporu, (İTÜ Yapı ve Deprem Uygar Merkezi, 1988)

(6) NIEMEIER, W.: Deformationanalyse (Geodaetische Netz in Landes- und Ingenieurvermessung II, Stuttgart, 19855)