

Beton Barajların Fotoelastik Metodla Model Tahkiki

Genel bilgi :

Fotoelastisite bugün, müh-telif yükler altında elastik cisimlerin gerilme dağılımını bäriz bir şekilde gözler önüne sermek bakımından mühendislik alanına girmiş durumdadır. Ancak bu metod sayesinde, analitik hesabı karışık veya imkânsız, basit geometrik şekillere uymayan yapı veya yapı elemanlarında gerilmelerin umumî dağılımını takip etmek ve kritik kesit veya noktaları tayin etmek mümkün olmaktadır. Mahiyet itibariyle gerilmelerin fotoelastik etüdü bir düzlem dahilinde yapıldığından, bu metod, araştırmacıları, iki boyutlu problemlere doğru yönelmiştir. Mühendislik problemlerinin birçoğunu iki boyutlu olarak etüd etmek mümkündür.

Fakat bazı yapılarda üçüncü boyutun nazarı itibara alınmaması bizi gerilme dağılımı üzerinde mühendislik takribiyetinin dışına çıkan farklı neticelere götürebilir. Düşey yükler altındaki bir kirişin fotoelastik metodla iki boyutlu etüdünün vereceği netice ile, üç boyutu aşağı yukarı aynı mertebede olan bir barajın vereceği netice mühendislik bakımından aynı derecede muteber değildir.

Araştırmacıları iki boyutlu tecrübelerle sevkeden sebebi üç boyutlu modellerin hazırlanma ve yüklenmesinde değil — çünkü bunda prensip olarak bir zorluk yoktur — fakat üç boyutu da aynı mertebede olan cisimlerde farkedilir gerilme veya deformasyon meydana getirmekteki güçlükte aramak lazımdır. Filhalka düzlem tecrübelerinde bu güçlük hidrolik preslerin yardımı ile halledilmiş, basınç arttırılarak, farkedilir gerilme veya deformasyon husule getirilmiştir.

Amerika ve Almanya'da beton barajların fotoelastik etüdü bu prensip dahilinde muhtelif kesitlerin üniform yüksek basınçla yüklenmesi suretiyle yapılmıştır.

Homojen ve izotrop olmayan temelın gerilme dağılımı üzerinde yapacağı tesirin ihmali bu gibi model tecrübelerinde kaçınılmaz bir

Yazan :

Muzaffer İPEK
Yük. Müh.

○

mahzurdur. Bu takribiyetin yanında bir de mühendislik yapısı üzerinde mühim bir basitleştirme yapmak elde edilen neticelerin sıhhat derecesi hakkında şüpheler uyandırmaktadır.

Hakikate daha uygun model deneylerine duyulan ihtiyaç, araştırmacıları üç boyutlu deneylere zorlamış ve güçlük halledilmiştir. Şimdi Japonya'da beton barajların fotoelastik metodla üç boyutlu model üzerinde etüd edilmektedir.

Kolayca takdir edilebileceği gibi, derinlikte lineer artan hidrostatik sıvı basıncının, modelle tatmin-kâr şiddeti haiz bir gerilme dağılımı meydana getirmek için icabeden, meselâ 300 misli gibi bir basınç hidrolik preslerle elde edilemez. Hidrolik presin vereceği basınç üniform olur ve hakiki şartlara tekabül etmez. Bu hususu ancak modelin haznesini, yoğunluğu ilk sıvının 300 misli olan bir sıvı ile doldurarak elde edebiliriz.

Metodu detaylı bir şekilde izah etmeden evvel Japonya'nın enerji istihsalinde ve ekonomisinde barajların oynadığı mühim role kısaca işaret etmekte fayda görüyorum.

Japonya'da baraj tip ve sayıları :

Sulama, su getirme ve enerji temini maksadı ile hâlen Japonya'da irili ufaklı 100.000 toprak baraj bulunmaktadır. Kayda değer büyüklükteki barajların tip, adet ve kulanılma yerleri Tablo : 1 de verilmiştir.

Kullanma yeri	a	b	c	d	e	f	Yekûn
Sulama	37	1	—	3	2267	1	2309
Su getirme	35	0	—	0	23	1	59
Enerji	201	6	5	2	15	6	235
Çok maksaltı	54	10	1	2	0	0	67
Yekûn :	307	17	6	7	2305	8	2670

Tablo : 1 — Japonya'da 15 m den yüksek, bitmiş veya inşa halindeki baraj sayısı (1958)

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| a) Ağırlik barajı, | d) Kaya dolgu barajı, |
| b) Kemir baraj, | e) Toprak baraj, |
| c) Boşluklu ağırlik barajı, | f) Nervürlü baraj. |

Nafia Vekâleti halen 37 tane çok maksatlı baraj inşa etmektedir. Ayrıca diğer 87 tanesi etüd safhasındadır.

Barajların ekonomideki rolü :

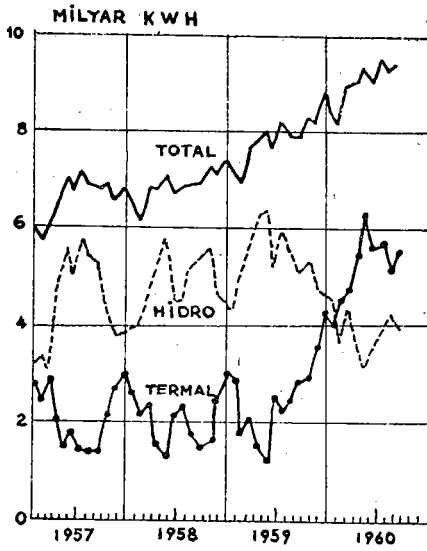
Sel ve taşkınların sebep olduğu zarar senelik 6 milyar T.L. civarında tahmin edilmektedir. Japonya'nın bütçesinin takriben 50 milyar T.L. olduğu gözönünde tutulursa bu zararın ekonomi üzerindeki tesiri daha iyi anlaşılır.

Su ihtiyacı gelişen endüstri ve ekonomiye paralel olarak sür'atle artmaktadır. 1962 de, 1957 ye ait günlük 14.8 milyon tonluk su ihtiyacının iki misli olacağı beklenmektedir. Ayrıca ziraî maksatlarla 2.4 milyon hektarın sulanmasına ihtiyaç vardır.

Enerji istihsalinde barajların rolünü anlamak için Şekil : 1 i tetkik etmek kâfidir. Son iki sene zarfında yağışın az olması Japonya'yı kömür bakımından çok sıkışık bir duruma sokmuştur. Takriben ayda 4 milyon tonluk mevcut istihsal ihtiyaca paralel olarak arttırmak için hemen hemen ümit yoktur. Aralık 1960 da 5 milyon ton kömür istihlak edilmiş ve bu tarihten sonra stoklar yavaş yavaş erimştir. Bu durumda kömür ithal etmekten başka çare kalmamıştır.

Fotoelastik metodla üç boyutlu model tahkikinin izahı :

Beton barajların fotoelastik metodla model tahkiki Nafia Vekâleti Araştırma Enstitüsü Laboratuvarında yapılmaktadır. Bir barajın yapısal etüdü hesap, 1/500 fotoelastik model deneyi ve diğer 1/100 al-



Japonya'da enerji istihsalı

gılı harç model deneyi ile beraber iki sene sürmektedir. İlk hesap metodu olarak «Kemer barajın yük tatonmanı ile analizi» kullanılmaktadır. Modele esas olarak alınan boyutlar bu ilk hesabın verdiği neticelerdir.

Deneyin yapılışı şu sıra dahilinde olmaktadır.

- 1 — 1/500 modelin hazırlanması,
- 2 — Modelin yüklenmesi,
- 3 — Yükten husule gelen gerilmelerin dondurulması,
- 4 — Modelin ince dilimler halinde kesilmesi,
- 5 — Dilimlerin optik sistem vasıtasıyla fotoğrafının çekilmesi,
- 6 — Fotoğraflara göre model gerilmelerinin tayıni,
- 7 — Benzeşim kanunundan prototipe geçilmesi ve neticelerin süperpozisyonu.

Deneyin tafsilatı :

1 — Modelin hazırlanmasında kullanılan malzeme «Araldite» adındaki sentetik reçinedir ve eritilerek kalıba dökülür. Benzeşim kanununa göre, model ve prototip arasında malzeme özgül ağırlıklarının aynı oranda tutulması icabetmektedir. Yani prototipteki beton ve su özgül ağırlıkları arasındaki oran, model malzemesi (araldite) ve yük olarak

kullanılan sıvı özgül ağırlıkları arasındaki oranın aynı olmalıdır.

Bu şartı haiz bir sıvı bulmak imkânsızdır. Fakat bu farkın tesiri, aynı ölçüleri haiz diğer bir model üzerinde deneyi bir kerede yük-süz, model zati ağırlığı altında tekrarlayıp neticelerin uygun süperpozisyonu ile bertaraf edilebilir. Ayrıca bir de gerilme yayılışının hem yatay hem düşey kesitlerde incelenmesi icabettiğini nazarı itibara alırsak, deney sonunda ikisi yatay, ikisi düşey kesilmek üzere dört adet model hazırlanmasına ihtiyaç olduğu anlaşılır.

2 — Daha evvel de ifade edildiği gibi prototipte meselâ 100 m lik bir yüksekliğe tekabül eden, 1/500 ölçeğinde 20 cm lik bir sıvı basıncının üç boyutlu modelde meydana getireceği gerilmeler hiç mertebesinde değildir. Üzerinde inceleme yapılabilecek şiddette gerilmelerin elde edilmesi için yükün dağılışı şeklini bozmadan şiddetinin yüzlerce defa

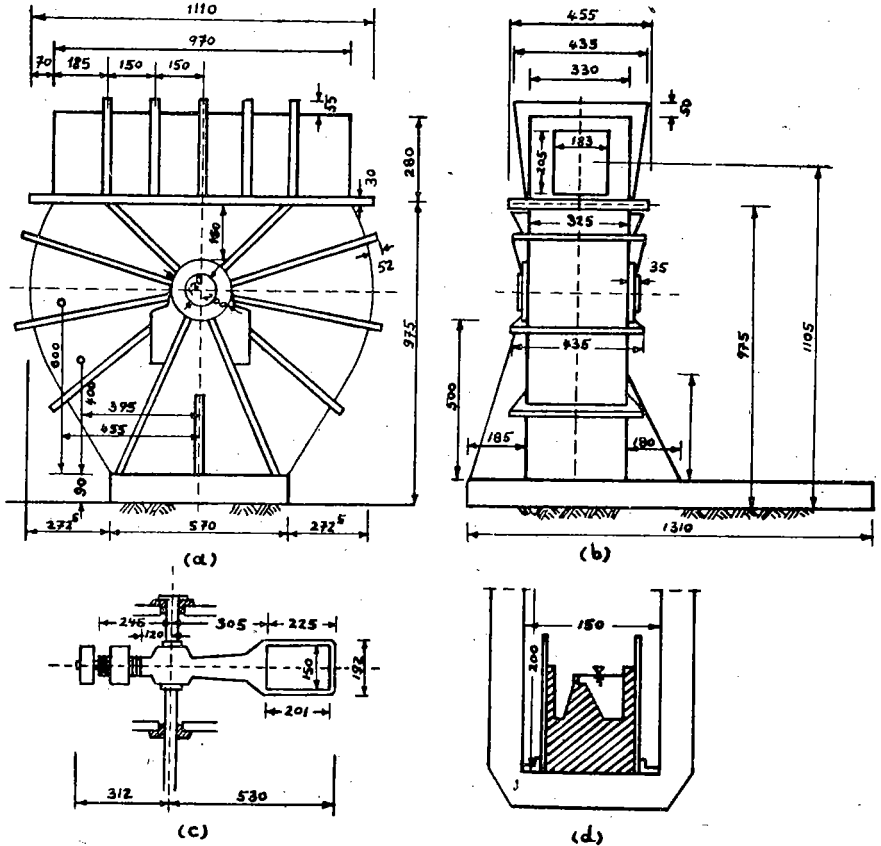
arttırılması icabetmektedir. Bu husus, hususî surette bu maksat için imal edilmiş, 3 HP lik bir elektrik motoru ile tahrik edilen santrifüj âleti sayesinde temin edilmiştir. Şekil : 2 âletin ölçülerini göstermektedir.

Deneyde sıvı olarak yoğunluğu $\gamma = 0.78 \text{ g/cm}^3$ olan «Mikrowax» kullanılmaktadır. Normal sıcaklıkta katı olan bu madde 60°C de ergimektedir. Gerilme dondurulması bakımından zaten yüklemenin 120°C de yapılması icabettiğinden bu husus bir mahzur teşkil etmemektedir.

Ağırlığı normal halde γ olan 1 cm^3 bir madde santrifüj âleti içinde devamlı bir merkezkaç kuvvete maruzken :

$$\gamma' = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{v^2}{r} = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{(N\pi)^2 r}{900} = \frac{\gamma}{k \cdot r} \dots \dots \dots (1)$$

ağırlığını kazanır. Burada :



Şekil : 2 — Üç boyutlu modelin yüklenmesinde kullanılan santrifüj âleti

- a) Yandan görünüş,
- b) Cepheden görünüş,
- c) Dönen kol,
- d) 1/500 modelin yerleştirilmesi

* «Trial Load Analysis of Arch Dam»
Bureau of Reclamation, Dept. of the
Interior, U.S.

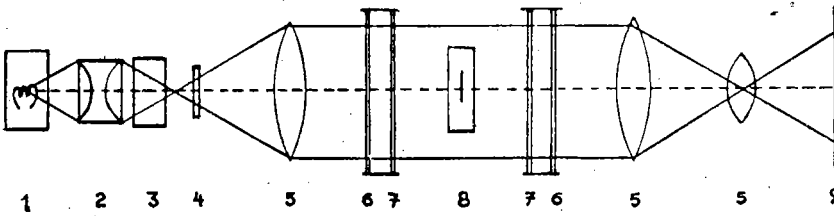
g = Yer ivmesi,
 N = Dakikada devir sayısı,
 r = Yarıçap,
 v = Çevre hızıdır.
 Görüldüğü üzere ağırlık k misli artmıştır.

$$k = \frac{\pi^2 N^2 r}{900 g} \dots \dots \dots (2)$$

Deney âletinde $r = 40$ cm ve $N = 800$ veya 1000 olarak seçilmektedir. Bu değerler k ifadesinde konacak olursa $k = 286$ veya 447 olarak elde edilir.

3 — Yükleme deneyi sona erdiği zaman ağırlıklar tekrar eski haline geleceğinden modelde meydana gelen elastik gerilme ve deformasyonun yükleme deneyi esnasında dondurulması lazımdır. Bu mühim husus araldite'in bir özelliğinden istifade edilerek kolayca temin edilir. 24 saat süren deney zarfında, elektrik fırını içinde sıcaklık tedricen 120°C ye çıkarılır. Bu sıcaklıkta bir müddet durulur. Araldite'in elastisite modülü 110°C den sonra sür'atle düşer ve istenilen gerilme ve deformasyonun dondurulması temin edilmiş olur. Bundan sonra sıcaklık tedricen normale düşürülür ve yükleme deneyi sona erer.

4 — Dilimlerin fotoelastik etüdü, şeması Şekil : 3 de görülen optik sistem yardımıyla yapılır. Işık kaynağının neşrettiği ısı radyasyonunu absorbe etmek maksadıyla araya bir su tankı konmuştur. Nümune (model dilimi), yüzeysel pürüzlülüğün optik mahzurlarını bertaraf etmek bakımından, kırılma sabiti araldite ile aynı olan bir sıvı içindedir.



Şekil : 3 — Optik sistem

- 1 — Işık kaynağı,
- 2 — Kondansör,
- 3 — Su tankı,
- 4 — Yeşil filtre,
- 5 — Mercek,
- 6 — Polarizör,

- 7 — λ Plâğı (λ = ışık dalga boyu)
- 8 — Nümune,
- 9 — Ekran,

Şekil : 4 — Model dilimlerinin optik sistem vasıtasıyla çekilen fotoları

Polarizörlerin birbirine nazaran uygun döndürülmesi ile ekran üzerinde net bir görüntü elde edilir ve izokromatik çizgiler fotoğrafla tesbit edilir. Şekil : 4 de yatay ve düşey dilimlere ait fotoğraflar görülmektedir.

5 — Fotoğrafların tetkiki ve değerlendirilmesinde σ_1 ve σ_2 asal gerilmeleri aşağıdaki ifadeden elde edilir.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{n}{\alpha \cdot t} \dots \dots \dots (3)$$

Burada n = Saçak derecesi (fringe order) > 0

α = Malzemenin fotoelastik hassasiyet katsayısı,

t = Malzeme kalınlığı, mm

$[\sigma_{1,2}] = \text{kg/mm}^2$ dir.

Eğer serbest yüzeyde yük yoksa σ veya σ den biri sıfır olacağından

$$\text{meselâ : } \sigma_2 = 0, \sigma_1 = \frac{n}{\alpha \cdot t}$$

Eğer serbest yüzeyde P basıncı varsa meselâ :

$$\sigma_2 = P, \sigma_1 = \frac{n}{\alpha \cdot t} + P$$

olarak serbest yüzeyin her yerinde asal gerilmeler kolaylıkla elde edilir. İç gerilmelerin hesabı için izokromatik çizgilerle beraber, yine optik sistem yardımıyla elde edilen

izoklinik çizgilerinde nazarı itibara alınmasına ihtiyaç vardır.

6 — Prototip ve model arasındaki benzeşim münasebeti özgül ağırlıkların aynı oranda olması halinde

$$\frac{\sigma p}{\sigma m} = \frac{kp}{km} \times \frac{\gamma p}{\gamma m} \times S \dots \dots (4)$$

dir. Burada p ve m endisleri prototip ve modele tekabül etmektedir.

$k = (2)$ ifadesinden elde edilen değer,

γ = Yoğunluk,

S = Prototiple model arasındaki nisbet ($S = 500$).

Modelin imalinde kullanılan malzeme ile yüklemede kullanılan sıvı özgül ağırlıkları oranı :

$$\frac{\gamma \text{ araldite}}{\gamma \text{ microwax}} = \frac{1.20}{0.78} = 1.54$$

dür. Halbuki hakikatte bu oran (beton ve su arasında) 2.40 civarındadır. Şu halde (4) ifadesi doğrudan doğruya kullanılamaz. Bunun için :

a — Modelin yalnız zati ağırlık altında gerilmeleri hesaplanır,

b — Modelin zati ağırlık + sıvı basıncı altında gerilmeleri hesaplanır,

c — Modelin yalnız sıvı basıncından mütevellit gerilmeleri, (b) de bulunan değerlerden (a) nın çıkarılması ile elde edilir.

d — (4) ifadesi ile (a) ve (c) den ayrı ayrı bulunan prototip gerilmeleri süperpoze edilerek hakiki gerilmeler elde edilir.

İlk hesap neticesi ile karşılaştırılan gerilmeler genel olarak kemer berajin mansap yüzeyinde çekmeye doğru meyletmektedir. Yani mesnet civarında basınç gerilmeleri ilk hesap değerlerine göre bir miktar düşmekte, buna mukabil açıklıkta çekme gerilmeleri bir miktar artmaktadır.

Bu durum arzu edilmediğinden kesidin tashih edilmesi icabetmektedir.