

İnşaat Mühendisliğinin Modern Bir Âleti : Hidrolik Model Tecrübeciliği

Yazan :
Dr.-Ing. Günther GARBRECHT
(Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Çeviren :
C. ÇIRAY

(Geçen sayıdan devam)

C. Benzeşim kanunları :

Küçük ölçekli modeller üzerinde tecrübe yaparken, prototip ile modeldeki akım karakteristiklerini birbirine bağlayan kanunları bilmek icabeder. Mezkûr sistemler geometrik, kinematik ve dinamik bakımdan benzer olmaları halinde tam bir benzeşime sahip olabilirler.

Geometrik benzeşim, iki cismin veya sistemin lineer boyutları arasındaki oranın sabit kalması olup, bu münasebet herhangi bir harekete bağlı değildir, yalnız şekil benzerliğidir.

Kinematik benzeşim, hareketler arasındaki benzeşimdir. İki benzer sisteme ait benzer noktalardaki hızların bileşenleri arasındaki oran sabit ise, her iki hareket benzerdir denir. Bu takdirde iki benzer noktanın yörüngeleri de benzer olur.

Dinamik benzeşim ancak, geometrik ve kinematik olarak benzer iki sisteme ait mütetekabil kuvvetler arasındaki oranın sabit olması ile meydana gelebilir.

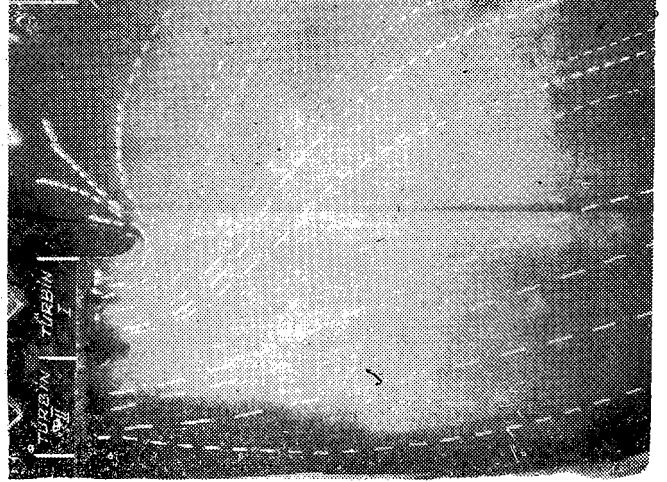
Mükemmél bir benzeşim (kinematik ve dinamik) model ile prototipe ait benzer noktalarda; kuvvetlerin istikametlerinin ve oranlarının aynı olması demektir. Umumiyetle bu kuvvetler şunlardır :

AKIM KARAKTERİSTİKLERİ VE BENZEŞİM ORANLARI

Modelin ölçeği $1/k$ olup model ve prototipde aynı akışkan kullanıldığı kabul edilmiştir.

Karakteristik	Boyutu	Tabii olduğu benzeşim kanununa göre oranlar	
		Froude	Reynolds
Uzunluk	m	k	k
Satıh	m^2	k^2	k^2
Hacim	m^3	k^3	k^3
Zaman	s	$k^{1/2}$	k^2
Hız	m/s	$k^{1/2}$	$1/k$
İvme	m/s^2	1	$1/k^3$
Sarıfiyat	m/s	$k^{5/2}$	k
Kütle	$kg \cdot s^2/m$	k^3	k^3
Kuvvet	kg	k^3	1
İş ve Enerji	kgm	k^4	k
Güç	kgm/s	$k^{4.5}$	$1/k$

Şekil : 1



Şekil : 2 — Bir nehir santralında türbinlere yaklaşan akım çizgileri

a : Atalet kuvvetleri : Kitlenin harici kuvvetlere karşı gösterdiği mukavemettir (Yoğunluk ile karakterize edilebilir) $\rho = \gamma/g$

b : Basınc kuvvetleri : Hareketin tevlit veya naklettği kuvvettir.

c : Cazibe kuvvetleri : Yer çekiminin akışkana yaptığı tesirdir (birim hacim ağırlık γ ile karakterize edilir)

d : Lüzuciyet kuvvetleri : Akışkanın lüzuciyetinden (viskozite) ileri gelen sürtünme kuvvetleri olup μ lüzuciyet katsayısı ile karakterize edilir.

e : Kapilarite kuvvetleri : Yüzeysel gerilmenin tevlit ettiği bir kuvvet olup, kapilarite sabitesi σ ile belirlenir.

f : Elâstik kuvvetler : Elâstik sıkışabilmeden ileri gelen kuvvetlerdir.

Model ve prototip arasında tam bir benzeşimin olabilmesi için model ve prototipteki atalet veya mukavim kuvvetler arasındaki oranın, her ikisine tesir eden sair kuvvetlerin vektörel toplamı arasındaki orana eşit olması icabeder. Yani; vektörel olarak :

$$Mm \cdot Am = (Fp + Fg + Fv + Fc + Fe) m$$

$$Mp \cdot Ap = (Fp + Fg + Fv + Fc + Fe) p$$

olmalıdır

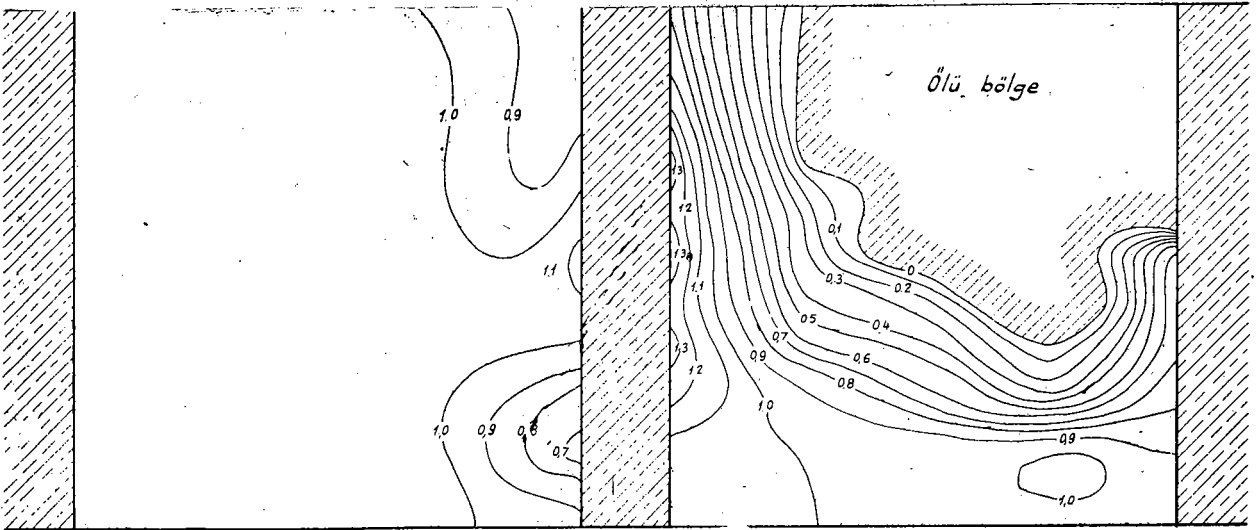
Diğer taraftan tam bir benzeşim, gene vektörel olarak :

$$Mm \cdot Am = (Fp)m \quad (Fg)m \quad (Fv)m \quad (Fc)m \quad (Fe)m$$

$$Mp \cdot Ap = (Fp)p \quad (Fg)p \quad (Fv)p \quad (Fc)p \quad (Fe)p$$

olması ile mümkündür.

İLK PROJEDE TÜRBİN GİRİŞLERİNDEKİ HIZ DAĞILIMI



Şekil : 3

Bu altı kuvvete ait kuvvetler diagramından da görüleceği üzere, eğer beş tanesinin arasında yukarıda ifade edilen bağıntı mevcutsa otomatikman altıncı kuvvet için de, mezkûr sabit oran husule gelir. Bu takdirde yukardaki eşitliklerden biri elimine edilebilir. Basınç kuvvetleri umumiyetle diğerlerine tâbi olarak mütalâa edilmekte olup, benzeşim tekniğinde elimine edilecek kuvvet olarak seçilir.

Her ne kadar aynı yerçekimi şartları altında bütün akışkanların ağırlık ve kütleleri arasındaki oran aynı ise de, yukardaki şartları yerine getirebilecek lüzuciyet, yüzeysel gerilme ve elastisite modülünü haiz bir model akışkanı bulmak bugüne kadar mümkün olmamıştır.

Ne var ki, birçok mühendislik problemlerinde yukarıda sayılan beş şartın aynı anda yerine getirilme-

sine lüzum yoktur, zira :

a : Bunlardan bir kısmının tesiri yoktur.

b : Bir kısmının tesiri kabili ihmalidir.

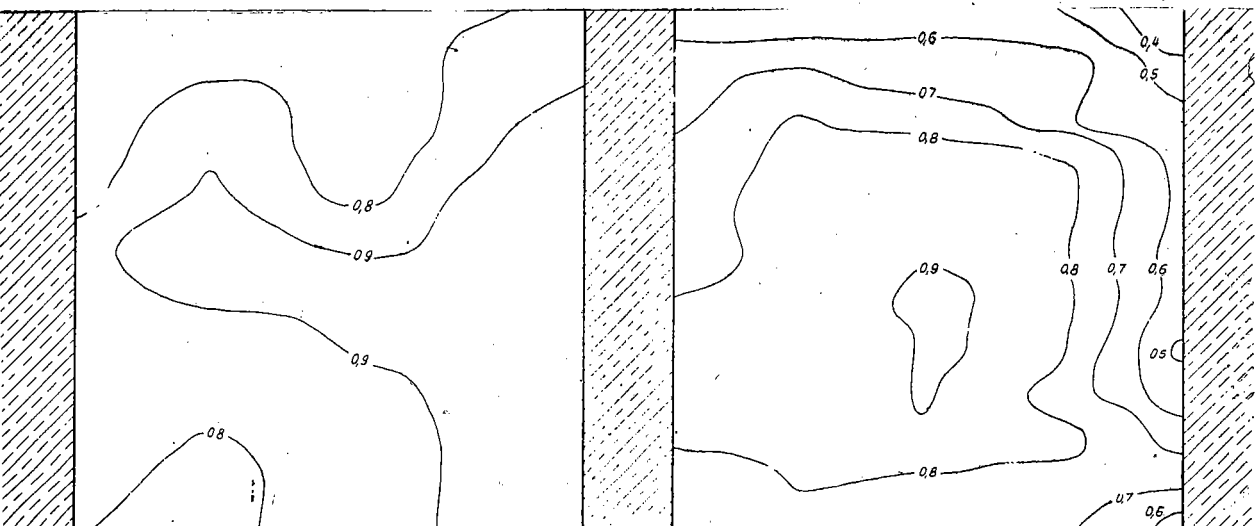
c : Bir kısmı ise diğerlerine o şekilde zıt olarak tesir eder ki, her ikisinin de tesiri azalır.

Hidrolik etüdlerin % 90 ında yüzeysel gerilme ve elastisite kuvvetlerinin tesiri gayet az olup, ihmal edilebilirler. Bu halde pratik gayeler için yalnız aşağıdaki şu münasebet kalır; vektörel olarak :

$$\frac{Mm \cdot Am}{Mp \cdot Ap} = \frac{(Fg) m}{(Fg) p} = \frac{(Fv) m}{(Fv) p}$$

Bu halde dahi, bu üç kuvvetin bir arada benzer olması mümkün değildir. Bu eşitliklerden yalnız bir takımını sağlamak imkânı olup, yalnız bu takdirde

PROJENİN TEKAMÜL ETTİRİLMESİNDEN SONRAKİ HIZ DAĞILIMI



Şekil : 4

model ile prototip arasında dinamik benzeşim mevcuttur. Atalet kuvveti kütleyle tâbi olup daima mevcuttur. O halde akımlar dinamik benzeşim bakımından iki gruba ayırmak mecburiyeti ortaya çıkar.

a : Atalet kuvvetleri ile hâkim kuvvet olarak cazibe kuvvetleri,

b : Atalet kuvvetleri ile hâkim kuvvet olarak lüzuciyet kuvvetleri.

(a) halinde dinamik benzeşim : Froude sayısının model ve prototipte aynı olması ile sağlanır. Yani :

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot m \cdot l_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g \cdot p \cdot l_p}} \text{ demektir.}$$

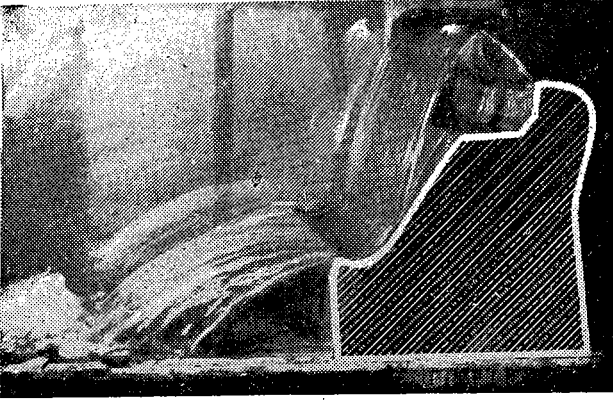
(b) halinde dinamik benzeşimin olabilmesi için model ile prototipte Reynolds sayılarının aynı olması icabeder. Yani :

$$\frac{V_m \cdot d_m}{\nu_m} = \frac{V_p \cdot d_p}{\nu_p}$$

Bu boyutsuz Reynolds ve Froude sayıları ile, Şekil : 1 de verildiği üzere prototip ve modele ait akımlardaki değerler birinden diğerine intikal ettirebilir.

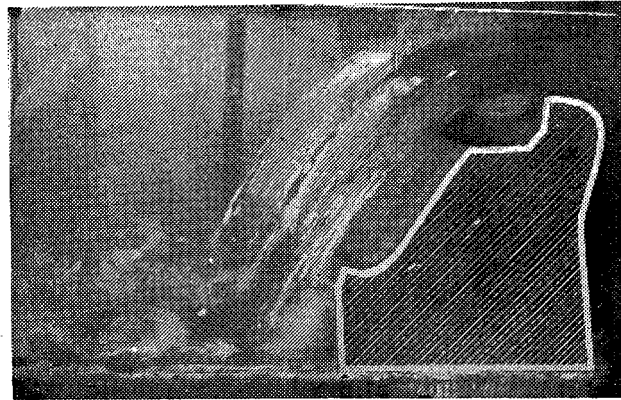
Eğer hâkim kuvvetler yüzeysel gerilme kuvvetleri ise bu takdirde Weber, elastik kuvvetler ise Cauchy sayısının model ve protipte aynı olması lazımdır.

Bilinen diğer benzeşim sayıları ise kavitasyon sayısı ile türbülanslı hareketleri incelemede kullanılan



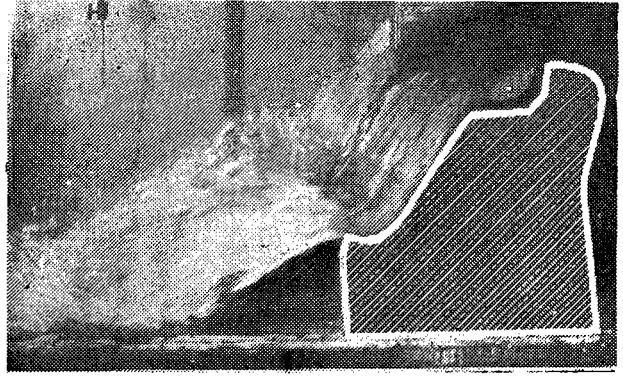
Şekil : 5a

Alçak sarfiyatta, teklif olunan proje



Şekil : 5b

Orta sarfiyatta, teklif olunan proje



Şekil : 5c

Yüksek sarfiyatta, teklif olunan proje

Karman sayısıdır.

Yukarıdaki izahattan anlaşılacağı üzere benzeşimin tatbikatında, benzeşim şartlarını tam olarak temin etmeğe imkân yoktur; ancak birtakım nâtamam benzeşim şartları, lüzumuna ve yerine göre kullanılmaktadır. Takriben bütün akımların, yukarıda anlatıldığı şekilde kendilerine tesir eden kuvvetler bakımından iki büyük gruba ayrılması mümkündür. Yapılan tecrübeler ile de doğru olduğu görülen bu kabul sayesinde bütün hidrolik meselelerin çözümünü sağlayacak tecrübeler yapılması kabildir.

Model ve prototipte husule gelen hâdiselerin paralel olarak incelenmesinde, akımlarda husule gelen takriben bütün hâdiseler bakımından model ile prototip arasında beklenen limitler dahilinde müsbet bir bağıntı olduğu meydana çıkmıştır.

Model tecrübesi ile projelendirilen veya projeleri model tecrübeleri ile kontrol edilen ve hâlihazırda muvaffakiyetle çalışmakta olan bu tesisler inşaat mühendisliğinin bu modern âletinin oynadığı müspet ve ehemmiyetli rolün delilleridir.

Bununla beraber, bir model ne kadar dikkatle projelendirilirse, ne kadar hassas olarak inşa edilirse edilsin, meselenin hallini direkt olarak vermez; ancak birtakım esasları ve malûmatı ortaya çıkartır ki, bunların zeki ve faydalı bir şekilde kıymetlendirilmesi, tecrübeyi yapanın temel mekanik ve hidrolik bilgisine, bu işdeki tecrübe derecesine bağlıdır. Modelden alınan neticelerin, hâkim olan benzeşim sınırları dahilinde, prototipe aktarılması, modelciliğin en kritik safhasını teşkil eder. Her ne kadar model, prototipe tesir eden esas prensipleri gösteren bir vasıta ise de, mevzubahis tesir ve prensipleri doğrudan doğruya prototipe irca edilmesinde dikkatli olmak lazımdır.

Modelin muayyen bir benzeşim kanununa göre inşa edilmesine rağmen, bu kanun nâdir hallerde tam olarak sağlanabilir ve neticeler de gerek kanunun, gerekse prototipin umumî durumunun müsaade ettiği sınırlar dahilinde kıymetlendirilmelidir.

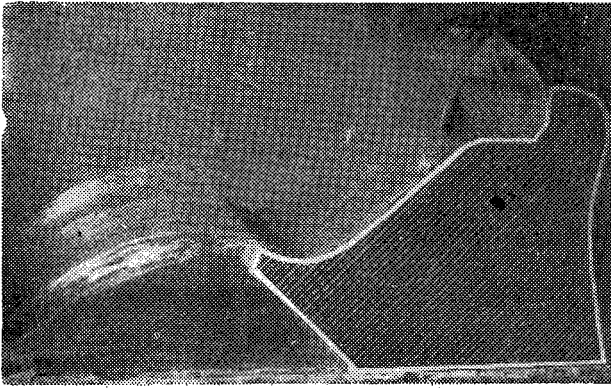
Meselâ, lüzuciyet kuvvetlerini ihmal eden Froude kanununa göre inşa edilmiş bir modelde; lüzuciyet kuvvetlerinin hâkim olduğu bir hâdiseyi prototipe irca ederken adetâ distorsiyona uğramış bu kuvveti gerektiği veçhile nazarı itibara almak lazımdır.

D. Model tecrübelerinde hassasiyet, maliyet ve model tecrübelerinin faydaları :

1. **Hassasiyet** : Model tecrübelerinde hassasiyet şu faktörlere bağlıdır :

- a : İhmâl edilmiş kuvvetlerin tesiri.
- b : Ölçü âletlerinin hassasiyeti.
- c : Modelin ölçüğü.
- d : Araştırma mühendisinin tecrübesi ve işine alışması.
- e : Tecrübe şartları.

Tecrübenin kendisi için (b, c, d, e halleri) normal bir hassasiyet $\pm \% 2$ civarındadır. (a) hali de dahil edilirse neticeler $\pm \% 5$ e kadar hakiki değerlerden fark edebilir. Bununla beraber tecrübeli mühendislerin, iyi şartlar altında yapmış oldukları tecrübeler, bunlardan çok daha küçük hatalar vermektedir.

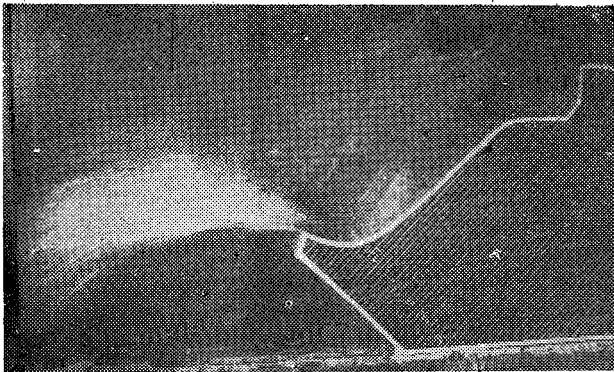


Şekil : 6a
Alçak sarfiyatta nihai proje

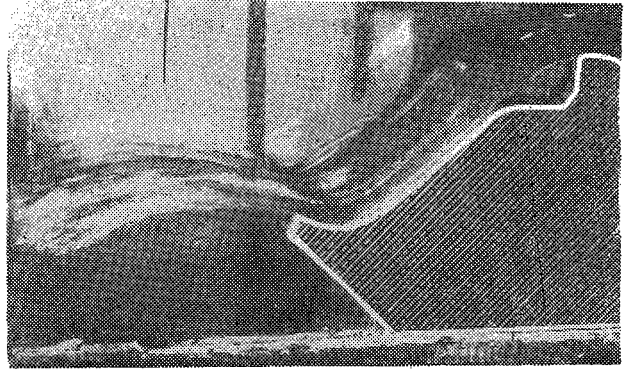
2. **Maliyet** : Bazı su tesisleri okadar pahalıya mal olmaktadır ki, model tecrübelerinin maliyeti bunların yanında çok küçük kalmaktadır. Barajların dolu savaklarına ait tecrübeler pek nadiren inşaat masraflarının $\% 0.05$ ini bulur. Fakat regülâtör, şüt ve kuvvet santralleri için model tecrübeleri inşaatın $\% 0.5$ ine kadar baliğ olabilir.

Dolayısıyla pek çok memlekette model tecrübesi inşaatın ayrılmaz bir parçası olarak mütalea edilmektedir.

3. **Faydaları** : Aşağı yukarı her halde model tec-



Şekil : 6b
Orta sarfiyatta nihai proje

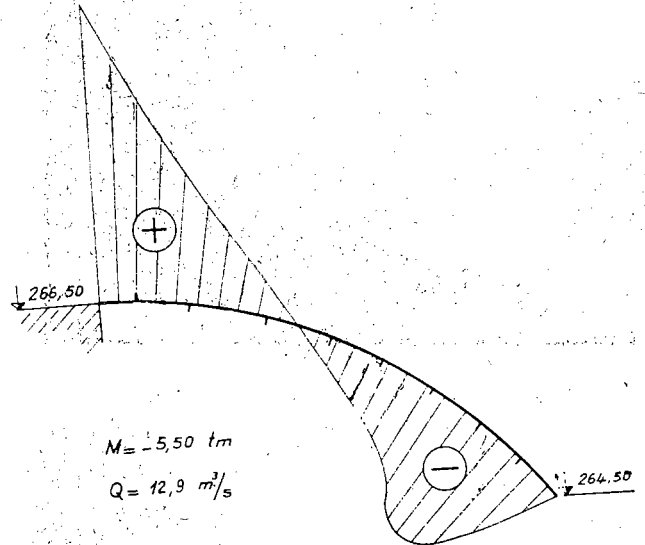


Şekil : 6c
Yüksek sarfiyatta nihai proje

rübesi, tecrübe masraflarını birkaç defa çıkaran tasarruflara sebep olmaktadır. Bu tasarruflar şu sebeplerden ileri gelmektedir.

a : Hidrolik bakımdan mükemmel ve azami rantabiliateyi haiz bir tesis temin edilebilmek de (direkt tasarruftur).

b : İşletme esnasında husule gelebilecek gayri tabii akışlardan ileri gelebilecek zarar ve ziyanın önceden izale edilebilmesi imkânı hâsıl olmaktadır. Mesele akımlarda husule gelebilen separasyon; sürüntü malzemesinin teressübü; kavitasyonun önlenmesi gibi (endirekt tasarruf).



Şekil : 7

Meselenin çok önemli bir diğer manevi cephesi de tecrübelerin imalat hakkında mümkün olabilen en büyük emniyeti vermesidir. Proje mühendisi tesisin mükemmel olabilmesi için elinden gelen her şeyi yapmıştır; model tecrübeleri müstakbel tesisin, gayet ufak toleranslar ile ihtiyaçlara tam ve emniyetle cevap verebilecek mahiyette olacağını inşaatın önce göstermesi bakımından mühendis ve işin sahibi için bir huzur kaynağı vazifesini görmektedir.

E. Model tecrübelerine ait bazı misaller ve neticeleri :

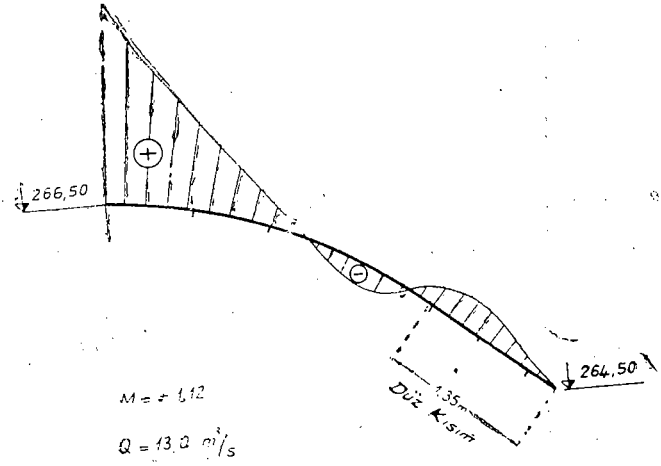
1. Regülâtör santrali önündeki akım durumu : Regülâtör santralleri akarsudan elektrik istihsalı için kurulmuş tesislerdir. Suyun türbin girişlerine düzgün bir şekilde yaklaşması, santralin randımanının büyümesine sebep olur.

(Şekil : 2) de görülen akım ipcikleri 1 numaralı türbinin önünde adamaklı bozulmakta ve hız dağılımında da, girişte büyük bir vortex görülmektedir. (Şekil : 3). Bu vortex'li sahanın sebep olduğu yük kayıpları uzun işletme senelerinde büyük değerlere balığ olacak bir randıman düşüklüğüne sebep olacaktı.

Kuvvet santrali ile regültör arasındaki ayağın şeklinin ve santralin yerinin değiştirilmesi suretiyle yapılan muhtelif tecrübeler sonunda akışın muntazam şekilde türbin girişlerine yaklaşması temin edilmiştir. (Şekil : 4) de temin olunan müsait hız dağılımı görülmektedir.

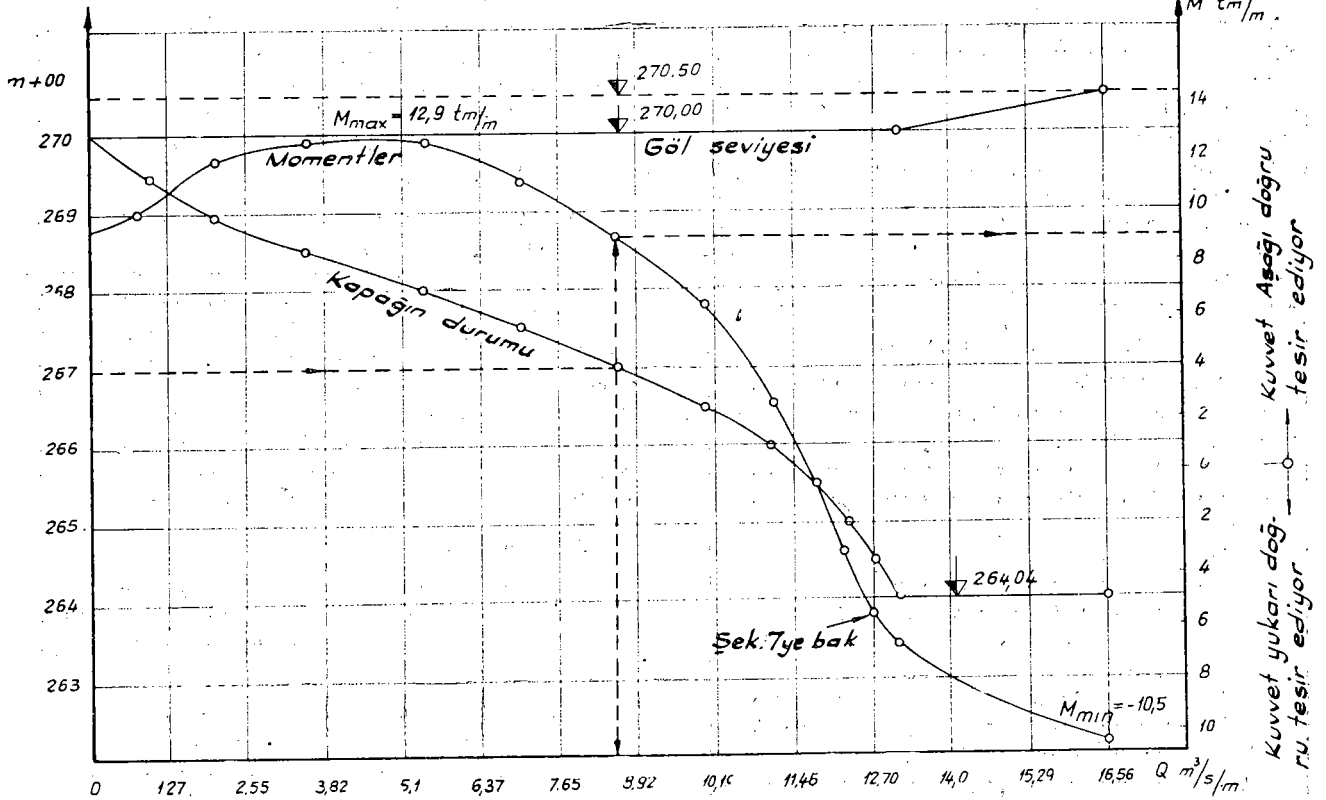
2. Bir barajın sıçrama eşiğine ait misâl :

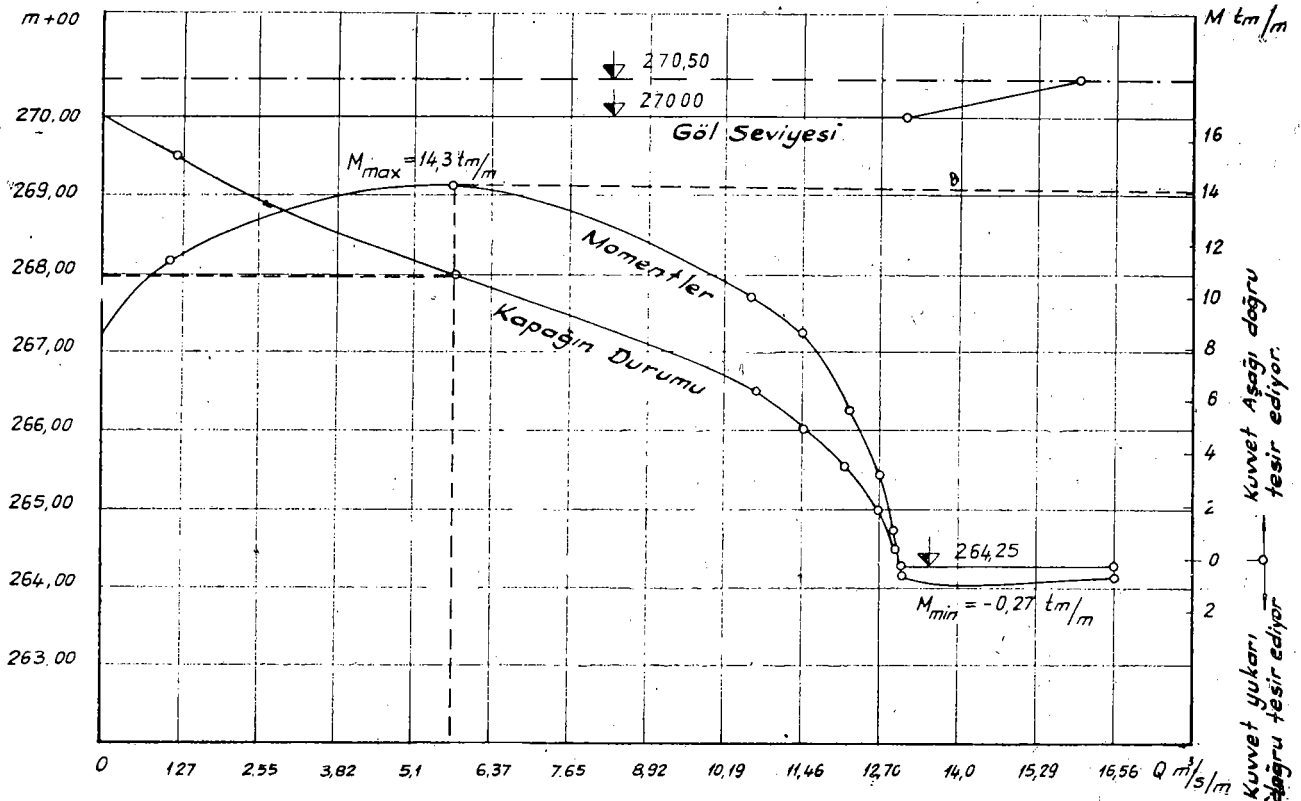
Alçak ve yüksek sarfiyatlar için bir barajın eşiğinin gayet iyi çalışmasına rağmen, orta sarfiyatlar için vazifesini görmemekte, dolayısıyla akım sıçramadan doğrudan doğruya baraj eteğine dökülmekte idi. Tabiatıyla burada muazzam oyulmalar husule gelecek ve tesis de göçecekti (Şekil : 5a, b, c). Model tecrübeleri ile en ekonomik eşik şekil ve boyutları bulunmuş ve eşik vazifesini görür hale gelmiştir (Şekil : 6a, b, c).



3. Dolu savak kapaklarına ait bir misâl : Eğri şekilli dolu savak kapakları üzerinde büyük sarfiyatlar geçerken, huzmenin eğriliğinden ileri gelen merkezkaç kuvvet dolayısıyla kapak üzerinde emme husule gelmektedir. (Şekil : 7), $r = 5$ m yarıçaplı böyle bir kapakta basınç dağılımını göstermektedir. Suyun basıncı kapak üzerinde -5.5 tm lik (negatif işaret momentin kapakı yukarı kaldırmaya, çalıştığını gösterir) bir moment meydana getirmektedir. Bu değer $Q=12.9$ m³/sec ve kapakın metretül genişliği içindir.

Sabit göl seviyesi olan 270.00 için, kapakın muh-





Şekil : 10

telif durumları ve değişik sarfiyatlara göre momentler (Şekil : 8) de verilmiştir. Kapağın tamamen kapanmasına mâni olup huzmenin, dolayısıyla kapağın titreyişine sebep olduğu için bu durumun tashihi edilmesi icabetmekte idi. Model tecrübeleri sayesinde, $r=5$ m yarıçaplı kapağın 1.35 m lik uç kısmının düz olarak teşkil edilmesi icabettiği ortaya çıkmış, bu suretle mesele halledilmiştir (Şekil : 9 da), (Şekil : 7 de) verilen şartlar altında, yeni basınç dağılımı verilmektedir. Takriben hiç negatif moment kalmamıştır. (Şe-

kil : 10)da kapakın yeni şekli için momentleri göstermektedir. Metretul kapak genişliğine isabet eden -0.27 tm lik bir moment kalmış olup, bu da kapakın kendi ağırlığı ile izale edilebileceği gibi, tolerans dahilinde bir değer olarak da kabul edilebilir.

4. Düşü havuzları :

Bugün, düşü havuzlarındaki su derinliğini hesaplamak için, teorik olarak dahi gayri kabili itiraz formüller mevcuttur. Havuz boyu ise, ancak bazı şartlar için carî olan ampirik formüller vasıtasıyla tayin edilebilmektedir. Şu ana kadar umumî bir formül istihraç edilememiştir. En umumî ve doğru olan yol model tecrübesidir. Büyük bir regülâtör düşü havuzu için yapılan model tecrübelerindeki variantlar (Şekil : 11) de görülmektedir. Tecrübelerle göre C variantı en az olmayı tevhit etmiş, dolayısıyla tatbikat projesine esas teşkil etmiştir. (Şekil : 11 - Bak, sahife 31).

5. Netice :

Yapılan yüzlerce, hattâ binlerce tecrübeden alınan şu birkaç misâl, ancak model tecrübeleri ile gözülebi-
lecek daha pek çok hidrollik problemin mevcut olduğu-
nu göstermektedir.

Eğer teorik çalışmalar, kesif model araştırmaları ile yanyana, elele yürütülürse; milletlerin refahi için hükümetlerin bütçelerinde muazzam meblâğlar ayrılan su tesislerinden azamî fayda temin edilebileceği görülmektedir.

MÜHENDİS TALEBİ

**Afyon dahilinde münhal bulunan Yüksek İn-
saat ve İnşaat Mühendisliğine ait talep şartları
aşağıya çıkarılmıştır.**

İsteklilerin Ankara İş ve İşçi Bulma Kurumu Şube Müdürlüğüne müracaatları gerekmektedir.

İş şartları :

- 1 — Askerliğini yapmış olmak,
- 2 — İnşaat Bölümü mezunu olmak,
- 3 — Ücret : Yevmiye baremine göre verilecektir.
- 4 — İş yeri Afyon dahilinde olup Selevir ve Seydiler Baraj İnşaat Kontrol Âmirliğinde vazife alacaktır.
- 5 — Ayrıca yevmiyeden başka günde 20 lira baraj zammı verilecektir. T. M. H.

