

Kemer Barajlarda Modern Temayüller

Yazan :
Ömer Uğur KÖKDEN
Yük. Müh.

○

Kemer barajların mâzisi, tatbiki mânada üç asırlık uzun bir devreyi gerçekelemektedir. Fikir olarak daha gerilere giden kemerli su yapıları, zamanımızda modern baraj hüviyetiyle çok sür'atle ilerlemelere mazhar olmuş; hattâ ağırlık barajları, payandalı barajlar, toprak barajlar ve anroşman barajlar aleyhinde gelişmiştir. Bu inkişâfın, izah edeceğimiz belirli sebeplerine geçmeden önce, son kırk yıl zarfında ve sadece Fransa'da çeşitli barajlar arasındaki nisbete işaret etmek yerinde olacaktır (Tablo : 1). Kezâ İtalya'da da 1948-1958 devresi içinde bir payandalı, bir anroşman ve 10 toprak baraja mukabil 21 tane kemer ile 17 tane kemer-ağırlık barajı inşa edilmiştir [1].

TABLO : 1

İnşaat devirleri	Kemer B	Kemer B	Payandalı B
1914—1924	7	—	—
1924—1934	15	2	1
1934—1944	3	2	—
1944—1954	4	26	3

Kemer Barajın Dünü...

İlk kemer barajlar, İspanya'da ve İtalya'da görülmektedir. İspanya'da 16 ncı asırda inşa edilen Elche ve Almansa barajlarının nasıl hesaplandığı bilinmemektedir. İtalya'daki Ponte Alto barajı ise 1611 de yapılmıştır. Fakat birkaç defa yükseltilmiştir.

Fransa'ya gelince, ilk kemer baraj 1839 da projesi hazırlanan ve 1843 de ise inşa edilmiş bulunan Infernet barajıdır. Proje mühendisi, meşhur romancı Emile Zola'nın babasıdır. Zola, barajına, ilk defa masif duvar anlayışından sıyrılarak eğrilik unsurunu katmıştı. Tecrübeler, bütün bu barajlarda «tüp formülü» nün verdiği iyi bir yapı emniyet payının olduğunu göstermektedir.

Daha sonra, gerçek kemer baraj anlayışına çok yaklaşan Amerikan mühendislerinin eserleri sayılabilir. Amerika ve Avusturalya'da pek çok kemer baraj inşa edildi. Bunlardan, California'daki Bear Valley barajı (1884) cüretkâr bir gerilme emniyetine sahiptir. Maksimum gerilme 121 lb/ft², H=64,1 ft. Kuronmandaki genişlik: 3,20 ft, tabandaki genişlik 20 ft, Zola barajının maksimum gerilmesi: 28,300 lb/ft² [2]. Nihayet en büyük kemer baraj, Shoshone (1910) da 100 m. yükseklikte olmak üzere inşa edildi.

...VE BUGÜNÜ

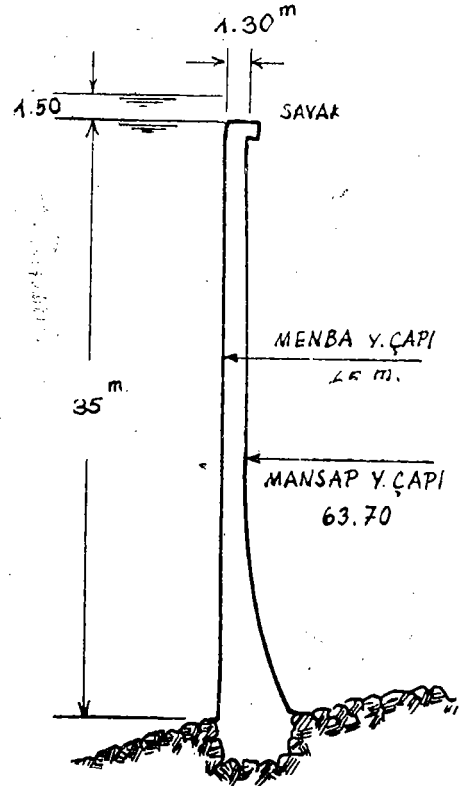
Bir kemer baraj, mesnet sathı boyunca ankastre, belli incelikte, ekseriya çift eğimli, monolitik bir yapı teşkil eder. Adetâ kemer baraj, ankastre yapı estetiğinin ileri bir misali olarak zikredilebilir. Ayrıca ba-

raj, basınca karşı mukavemetinin de esas itibarıyla yapı durumundan alır. Statik bakımdan kompleks bir sistem teşkil eder. Kemer barajda, gerilme yalnız yapının boyutlarına ve şekline değil, aynı zamanda kaya mesnetlerin elastisitesine de bağlıdır. Bu sebeple baraj boyutları doğrudan doğruya tek hesaplâ tâyin edilmez.

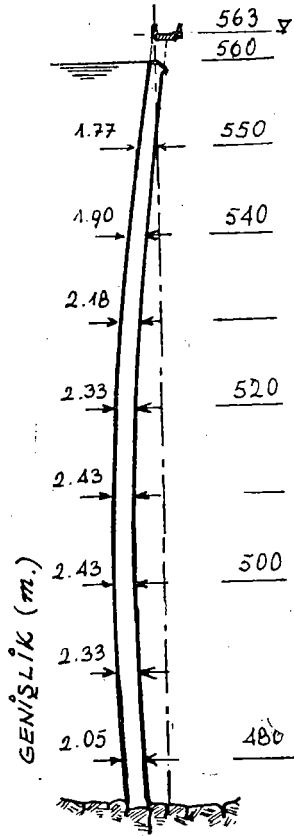
Kemer baraj, kalınlığı diğer boyutlarına nazaran çok zayıf olan bir yapıdır. Diğer emsaline nazaran daha cüretkâr, daha ekonomik ve istisnai derecede bir inceliğe sahip olarak inşa edilen Gage (Fransa) barajında 38 m yüksekliğe karşı, kretteki genişlik 1,30, anahtardaki maksimum genişlik ise 2,40 m dir. (Şekil: 1) Gene Korsika'da Tolla barajında ise 85 m yüksekliğe mukabil kretteki genişlik 1,77 m tabandaki 2,05 dir. (Şekil: 2)

Bir kemer baraj ufki dilimler vasıtasıyla daflayı yan mesnetlere taşıdığından ve yapı müstakil yaylara göre hesaplandığından ufki çatlaklar önemsizdir. Halbuki ağırlık barajları, temel zeminindeki suyun itişisi hesaba katılarak düşey parçalara göre hesaplanır. Bu yüzden de ağırlık barajlarında ufki çatlaklar tehlikelidir. Çatlak, devrilme ve kayma yoluyla yıkılmaya sebep olmuştur. [3]

Gerek İtalya'da, gerekse Fransa'da (Tablo: I de görülmektedir) ve gerekse Portekiz ve İsviçre'de ke-



Şekil : 1



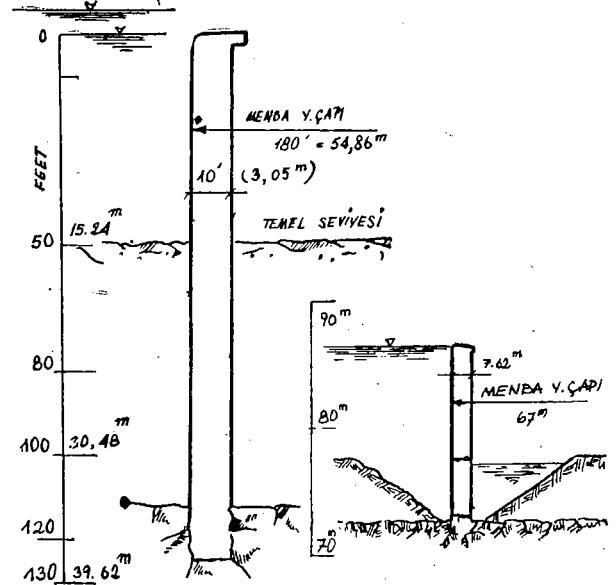
Şekil : 2

mer baraj çözümü, % 80 ağırlık barajlarına tercih edilmektedir. Doğrudan doğruya, kemer veya ağırlık barajı partizanı olmaksızın denebilir ki, kemer barajların öbürlerine tercihi, esas itibarıyla beton hacmindeki ekonomi dolayısıyladır. Fakat ağırlık barajına nazaran, kemer çözümünün sağladığı malzeme ekonomisi, kemerin yüksekliğine ve yapısındaki inceliğe bağlıdır. Zira, küçük ve orta tip barajlar için malzemede gerçek bir ekonomi sağlandığı söylenemez. İnce konstrüksiyonlar ve karışık yapı şekilleri hususi işçilik istemektedir. Onun için bu tip barajlarda basit şekillere gitme şayanı tercihtir. (Şekil: 3) Buna mukabil, büyük barajlarda hacim ekonomisi 1/3-2/3, maliyet ekonomisi ise %40-70 arasındadır. Kemer barajların, aynı yükseklikteki ve aynı mevkie oturacak ağırlık ve toprak barajlardan daha iktisadî olduğu bütün sistemlerce kabul edilir. (Tablo II) Aynı sebepten Afrika'da Rodezya'da, Zambezi nehrinin çok geniş olan vadisi üzerine tatbik ve inşa edilmiş olan kubbe şekilli, çift istikamette eğrilikli Kariba barajı da kemer baraj olarak projelendirilmiştir.

Barajın ismi	Hacim Yüzdesi	
	Mevcut hal (Kemer)	Ağırlık B. hali
Gage	% 18	% 100
Tigne	% 47	% 100
Kariba	% 60	% 100

Yapı şeklindeki değişiklikler...

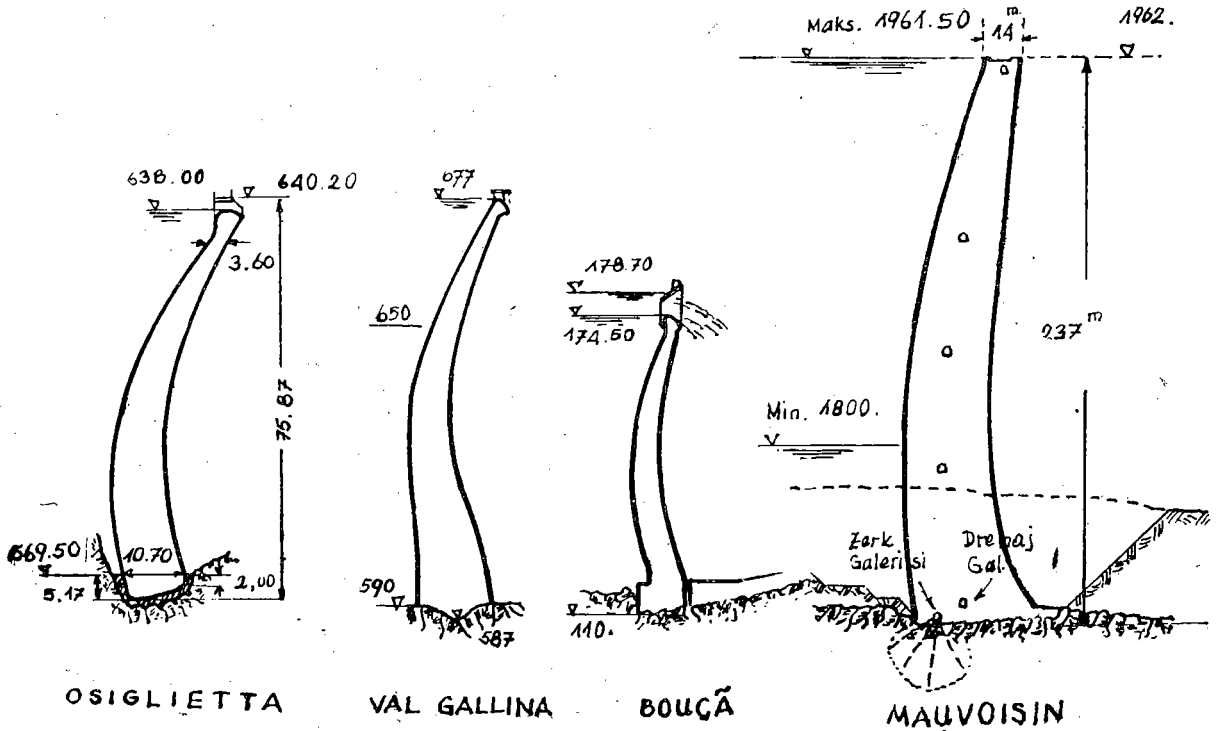
İlk kemer barajlar tek istikamette eğrilikli haiz yapılarıdır. Gour Noir, Marcillac, Tignes, Santa Giustina barajları bu tiptendir. Bugün kemer barajlardaki gelişme, gerilme değerlerinin tatbikatı ve yapı şekli olmak üzere başlıca iki istikamette görülmektedir. Baraj yapı şekilleri incelmış, menba ve mansap yüzünde, yani çift eğrilikli haiz kubbe tarzında yapı sistemlerine gidilmiştir. Kemer barajın projelendirilmesi sırasında, tek veya çift eğimli yapı şeklinin tercihinde baraj yeri topoğrafyasının, inşaat şartlarının ve nihayet barajın tatbik edileceği vâdi durumunun büyük rolü vardır. Meselâ bir kemer baraj, «müteakip merhaleler» halinde inşa edilecekse tek eğrilik inşai yönden tercih edilir. Nitekim, İtalya'daki Cancano kemer-ağırlık barajı bu duruma iyi bir misâldir.



Şekil : 3. Basit yapı şekilli kemer barajlar

Çift eğrilikli kemer barajlarda (Şekil: 4), (Osigglietta-İtalya) mevzii gerilme birikmesinden korunmak icabeder. Bunun için de, baraj eğrilikindeki ve kalınlığındaki değişimin sürekli ve belirli bir matematik tarife uygun olması gerekmektedir. Böylece iki istikamette eğrilikli haiz barajlara ait yapı şekilleri; büyük mukavemet temin etmektedir. Tek istikamette eğrilikli haiz barajlara nazaran bu statik üstünlük modeller üzerinde yapılan mukavemet tecrübeleriyle de ayrıca teyit edilmiştir. [4] Çift eğrilikli rasyonel yapı şeklinin tatbikatı Salamonde, Cabril, Bouçâ (Portekiz) ve Valle di Cadore, Barcis, Val Gallina, Publino (İtalya) kemer barajlarında iyi bir saha bulmuştur.

Bazan inşaatı kolaylaştırmak için ve temel durumuyla ilgili olarak barajın şekli son derece basitleştirilir. Bioge barajında, La Mandraka ve Moulin-Ribou (1957) barajlarında olduğu gibi... Son temayüllere göre artan teknik ve ilmi imkânlar sayesinde önceden



Şekil : 4 — Çift istikamette eğrilikli haiz kemer barajlar

müsait olmayan birçok yerlerde bugün kemer baraj yapılabilir. Bunun için boşluklu zeminlere rastlandığında harçla doldurarak bir çözüm yoluna gidilmektedir. Castillon (Fransa) barajında böyle yapılmıştır. [5]

Barajın yerleştiği vâdiler ekseriya simetrik değildir. Fakat bazı hallerde hafriyat ile baraj yeri simetrik duruma getirilir. Bunun inşaat ve hesap bakımından faydaları vardır. İtalya'da Lumiei kemer barajı vâdisinde bu şekilde hareket edilmiştir. Fas'ta Ömer Rebia nehrinin bir kolu üzerinde, sulama suyu ve enerji temini maksadıyla inşa edilen Bin el Ouidane barajında büyük bir asimetri kabul edilerek kemer baraj çözümüne gidilmiştir. Gerçi, bazan da arazi topografyası simetriye elverse bile, yamaçlardaki kayanın elastisite karakteristiği farklı ise baraj asimetrik olarak inşa edilir.

Yapı şekillerindeki değişik düşünce tarzlarına, farklı tecrübe metodlarına göre kemer barajlar çeşitli sınıflandırmaya tabi tutulur. Şekil bakımından :

- Çok ince kemer barajlar
- Kemer-Ağırlık barajları
- Kubbe şekilli veya menbada çıkmalı kemer barajlar
- Mansaba doğru meyilli kemer barajlar
- Tek eğrilikli kemer barajlar
- Çift eğrilikli kemer barajlar
- Sabit kalınlıklı kemer barajlar
- Değişken kesitli ve sabit açılı kemer barajlar...

diye sıralandığı gibi ayrıca inşai sebepler ve zaruretler bakımından da bir sınıflandırmaya tabi tutulabilirler.

[6] Meselâ, sadece kenar mesnetlere tesbit edilmiş, yatay kemer dilimlerinden meydana gelen bu kemer elemanlarının serbestçe çalışmasını temin etmek üzere muhtelif seviyelere konulmuş yatay derzleri havi basit kemer barajlar zikredilebilir. Gerçekten Moulin - Ribou barajında, çalışma halinde deplasmanların daha küçük çıktığı görülmüştür. (Şekil 3) Veya monolitik bir yapı üslubuna sahip kemer barajlarda yatay ve düşey izolasyon derzlerini havi ankastre-konsol kemer barajlar da yukarıdaki çerçeveye sokulabilir. Sonuncu tiplerde düşey ankastre konsollar kemer taşı gibi çalışmaktadır.

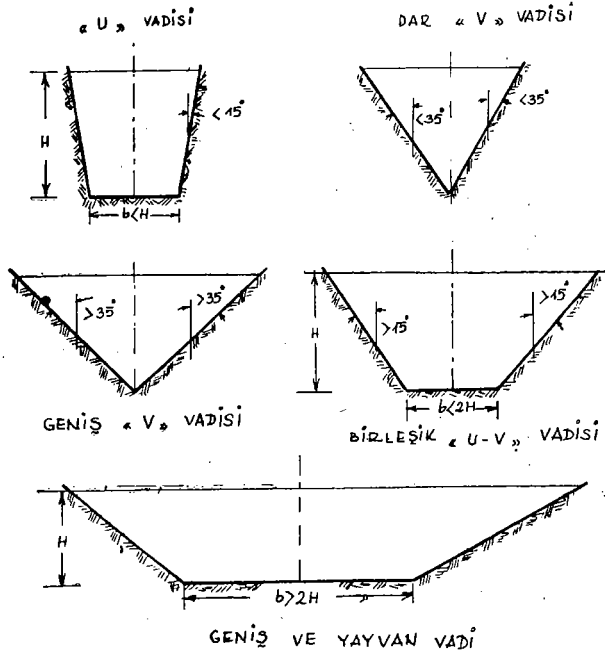
Baraj tipinin seçiminde yeni kriterler...

Baraj projelerine ait metodların analizi yapılırken, şüphesiz vâdi şekli, baraj yüksekliği ve genişliğinin oynadığı mühim role işaret etmek gerekecektir. Bu üç unsurun müştereken veya ayrı ayrı nazarı itibare alınmasıyla ortaya bir takım «ölçüler» çıkmaktadır. Aslında vâdi şekli, yeni bir temayül olarak baraj tipinin seçiminde müstakil kriter hüviyetiyle teklif edilmektedir. V. Büyük Barajlar Kongresinde Bureau of Reclamation'un Barajlar Bölümü Başkanı J. J. Hammond [7] ve 1956 da ASCE tarafından tertip edilen Symposium'da G. Sarkaria ile F. D. Kinn'in müştereken vâdi şekline ait bir tasnif ve neticede «vâdi şekil faktörü» adıyla bir kriter teklifi vâki olmuştur. Buna mukabil aynı konudaki Avrupa'nın görüşü değişik. Kısaca Avrupa olarak hülâsa ettiğimiz Fransa, İtalya, İsviçre ve Portekiz'e ait görüş: genişlik-yükseklik arasındaki orana dayanan klâsik ölçünün kabûlü ve bunun üzerinde yeni çalışmaların yapılması istikametindedir.

Gerçekten, onbeş yıldan beri kemer barajlar yalnız «V» tipi vâdiler için tatbik ediliyordu. Klâsik ölçüye, yani kretteki yay uzunluğunun (B), baraj yüksekliğine (H) olan nisbetine göre baraj tipinin seçimine gidiliyordu. Umumiyetle $B/H > 1,5$ halinde kemer baraj; aksi takdirde ise ağırlık barajı tercih ediliyordu. [8] Daha sonra oran büyüdü. Kemer barajlar $B/H = 2 \sim 3$ değerleri içinde inşa edilmeye başlandı: Bu oran Cabril: 2,3; Ambiesta: 2,47; Val Gallina: 2,6 dır. Fakat bunun yanında İkinci Cihan Harbinden sonra, İtalya'da Piave nehrinin geniş vâdisinde yapılması düşünülen Pieve di Cadore barajı için yapılan teklifte B/H oranı takriben altıya yaklaşıyordu. Problemin çözümünde, Carlo Semenza'nın kemer-ağırlık tipindeki bu teklifi kabule lâyık bulunmuştur. Yeni tip, hidrostatik basıncı kısmen de masif gövde marifetiyle karşılamaktadır. Aynı tip, Boulder barajında (A.B.D.), Publino (İtalya), Castelo de Bode, Venda Nova (Portekiz) da tekrar edilmiştir.

Gerek Wammond ve gerekse Sarkaria-Kirn çiftine göre vâdileri beş ana grupta toplayabiliriz. Böylece vâdiler muayyen ve umumî bir tarifin çerçevesi içine girecek, vuzuhsuzluk ortadan kalkacaktır. Bunlar:

- U - vâdisi.
- Dar V - üçgen vâdisi
- Geniş V - üçgen vâdisi
- Birleşik U - V vâdisi
- Geniş ve yayvan vâdi tiplerinden ibarettir. (Şekil: 5)



Şekil : 5. Çeşitli vâdi tipleri

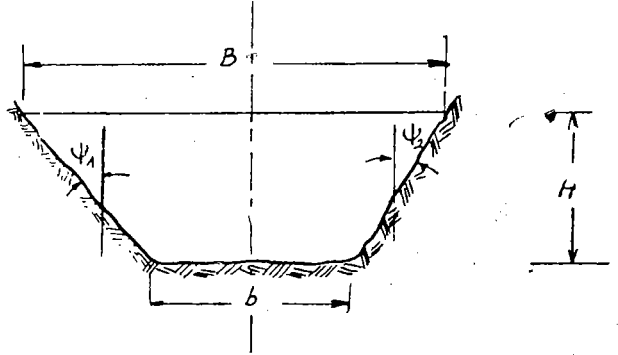
Bu tasnifle ilgili olarak, ileri sürülen kriter ise şudur :

$$K = \frac{\text{Temel ve yan mesnetin çevre uzunlukları}}{\text{Baraj yüksekliği}}$$

K : Vadinin şekil faktörüdür. Yukarıdaki oranda, eski kritere nazaran B ye paralel olan değer, bir nevi açık kanallardaki χ ıslak çevresine tekabül etmektedir. Yani baraj yerinin ıslak çevresi sayılabilir. Tarifi geometrik olarak tesbit etmek lâzım gelirse:

$$K = \frac{b + H (\sec \psi_1 + \sec \psi_2)}{H}$$

yazılabilir. (Şek. 6)



Şekil : 6. Vâdi boyutları

Yeni görüşe göre, vâdi şekil faktörünün 2,2 ile 4,6 arasındaki değerleri (ortalama: 3,4) için kemer barajlar tavsiye edilmektedir. Kemer baraj durumunda vâdi şekil faktörünün tayinine yarıyan profil, baraj orta eksenini boyunca alınmıştır. Vâdi şekil faktörünün 5 den büyük olan baraj yerleri ekonomik kemer barajlar inşasına müsait değildir. Ağırlık barajları çözümüne gidilir. Buna mukabil, en az dört Fransız barajında B/H oranı beşi aşmıştır. Hattâ, Bergamo (ISMES) laboratuvarında Fedeia (İtalya) kemer barajının modeli üzerinde yapılan tecrübelerde $B/H = 7$ değerine muvaffakiyetle ulaşılmıştır. [9] İtalya'da bugün mevcut olan son temayülde, yüksekliğin genişliği oranının 7 ye ulaştığı yerlerde bile iki istikamette eğriliği haiz kabuk yapı şekillerinin tatbikine doğrudur.

Fakat Coyne çok küçük bir kemer baraj için bu oranda II e ulaşmayı ümit ediyor. Ancak düşey blokların sürekliliğini ortadan kaldırmak için hususî tedbirlere ihtiyaç hasıl olmaktadır. Nitekim, işte Cholet yakınlarındaki, 1957 de biten Moulin-Ribou barajındaki oran: 10,16

Bugün artık, 100 m yükseklikte ve $B/H = 6 \sim 7$ olan kemer barajların inşasında hiç tereddüt edilmemektedir. Gerçekten, bugün kemer barajların U-tipi vâdilere de tamamiyle iyi bir şekilde uyduğu, yukarıdaki oranın 6 ya yükselişinin artık pratik bir değer kazandığı, böyle kemer barajların gittikçe artmasından anlaşılmaktadır. Meselâ geniş bir vâdiye oturan Kariba barajı bunun en mükemmel ve tipik bir örneğidir. Zira Kariba barajının yeri, kemer barajlar için mutad olan derecenin çok daha üstünde bir genişliğe sahiptir. Aslında da, V - tipi vâdilerde kemer tesirinin vâdi taba-

nına kadar inmemesine mukabil «U» şeklindeki vâdi-lerde kemer tesiri tabanın yakınına kadar devam eder.

Mukayese...

Yukarıdaki örnekleri ve neticeleri, Hammond'un kriteriyle karşılaştırdığımız takdirde, daha ilgi çekici bir durum ortaya çıkmaktadır. Önce vâdi şekli faktörü ile kretteki genişliğin yüksekliğe nisbeti arasındaki münasebeti inceleyelim. Dikkat edilirse :

$$B = b + H (\tan \psi_1 + \tan \psi_2) \text{ dir.}$$

Halbuki : $\tan \psi < \sec \psi$ olacağından, (K) vadi şekil faktörü daima B/H oranından büyük olacaktır. Halbuki, bizzat B/H oranı ile ulaşılan değerler vâdi şekil faktörü için jizilen sınırın çok üstüne çıkmaktadır.

Tablo : III

	Kemer baraj çözümü	Ağırlık baraj çözümü
K	2.2 — 4,6	» 5—6
B/H	6 — (10)	» 7

Bu neticeden de kolayca görülüyor ki, bir vâdi tipinin mutlaka kemer barajı gerektireceği veya gerektirmeyeceği yolunda kat'i bir kaide öne sürülemez. Kaldı ki; tatbikat ve yapılan tecrübeler de böyle bir sınırlamayı reddetmektedir. Nihayet vâdi şekil faktörüne bağlı hükümlerin realist olmaktan uzak bulunduğu da açık bir gerçektir.

Tablo - IV Muhtelif kemer barajlara ait önemli karakteristik ler

Barajın ismi	Yeri	İnşa senesi	Tip	B(m)	H(m)	B/H	K	Vadi Şekl.
Osigliaetta	İtalya	1939	Kemer	225	75	3	—	—
Rossens	İsviçre	1945—48	»	320	83	3.85	—	Birl. U-V
Tignes	Fransa	1949—53	»	295,5	180	1,64	—	—
Barcis	İtalya	1951—54	»	83,7	50.15	1.66	—	—
Cabril	Portekiz	1951—54	»	300.	132.	2.3	3.5	Dar V
Mauvoisin	İsviçre	1951—59	»	520.	237.	2.19	—	Geniş V
Gage	Fransa	1953	»	143.	38.	3.7	—	Dar V
Salamonde	Portekiz	1953	»	202.3	75.78	2.67	—	—
Kamişiba	Japonya	1952—55	»	315.	110.	2.86	3.9	Dar V
Idbar	Yugoslavya	—	»	100.	38.	2.64	—	—
Lienne	İsviçre	1955—58	»	246.	160.	1.56	—	—
Kariba	Kongo (B)	1955—60	»	615.	105.	5.9	6	Birl. U.V
Dokan	Irak	1956—60	»	360.	116.5	3.09	—	—
Moulin-Ribou	Fransa	1957	»	162.5	16.	10.2	—	Geniş Vad.
Pont-du-Roi	Fransa	1959	»	198.	28.5	6.88	—	—
Reno di Lei	İtalya	İnşa halin.	»	635.	138.	4.6	—	—
Pieve de Cadore	İtalya	1947—49	Kem.-Ağır	410.	112.	3.7	—	—
Castelo de Bode	Portekiz	1947—50	Kem.-Ağır	255.	115.	2.2	3.4	Birl. U-V
Publino	İtalya	1950—51	»	205.6	12.	4.9	—	Birl. U-V

- [1] H. Hupner, J. Duffaut, J. Bellier : Economie et Sécurité des divers types de barrages en Béton, V. B. Barajlar Kong. R. 81, 1955.
- [2] W. Creager : Engineering for Dams (Arch Dams) Vol. II, London, 1947.
- [3] A. Bourgin : Cours de Calcul de Barrages (2 nci baskı) Paris, 1955
- [4] Guido Oberti : Italian Arch Dam Design and Model Confirmation - Proceedings of the ASCE, March 1960

- [5] André Coyne : Arch dams : Their Philosophy - Proceeding of the ASCE Colorado, 1957
- [6] G. S. Sarkaria : Discussion of «Arch Dams : Their Philosophy»
- [7] J. J. Hammond : Bureau of Reclamation Experience in Economics and Safety of Concrete Dams - V. B. Barajlar Kong. R. 2, 1955
- [8] C. Jaeger : Hydroelectric Engineering Practice, Vol. I «Arc Dams», 1958.

- [9] Carlo Semenza : Die Staumauer Vaiont und die Entwicklung der Wasserkraftanlagen der SADE im letzten Jahrzehnt, Schweizerische Bauzeitung, Heft 27, 1960
- [10] André Coyne : New Dam Techniques The Institution of Civil Engineers»
- [11] H. Press : Les Barrages de Vallée (traduit par J. Schmitt), Paris, 1958