

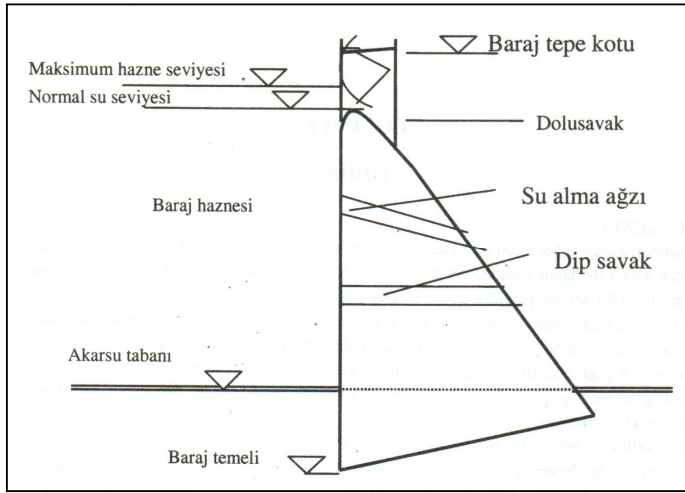
## 7. BARAJLAR

### 7.1 Giriş

*Baraj*, su biriktirmek amacı ile hazne oluşturmak üzere bir akarsu vadisini kapatarak akışı engelleyen yapıdır. Barajın su biriktirme yanında, su seviyesi yükseltme ve geniş su yüzeyi meydana getirme gibi iki önemli fonksiyonu daha vardır.

*Bağlama* ise su seviyesini yükseltmek amacı ile akarsuyun iki kıyısını birbirine bağlayan yapıdır. Aralarındaki en önemli fark, esas olarak barajın su biriktirmek, bağlamanın ise su seviyesini yükseltmek amacıyla yapılmasıdır. Geçmişte her iki terim yerine *bent* kullanılmıştır.

Baraj kelimesi, XX. Yüzyılın ortasından sonra Fransızca'dan dilimize geçmiş olup sözlükte *engel* anlamına gelmektedir.



Şekil 1. Ağır barajın tipik bir enkesiti ve kısımları

Talvegden yükseklik : Akarsu tabanından baraj tepesine kadar olan düşey uzaklık.

Temelden yükseklik : Baraj temelinden tepesine kadar olan yükseklik.

Hidrolik yükseklik : Akarsu tabanından maksimum hazne seviyesine kadar baraj eksenindeki düşey uzaklık.

## 7.2 Baraj Yapımının Tarihçesi

Dünyada ilk barajın M.Ö. 4000 yıllarında Nil nehri üzerinde inşa edildiği tahmin edilmektedir. Uzunluğu 110 m ve yüksekliği 12 m olan bu baraj sulama ve içme su ihtiyacı için kullanılmıştır. Gene Nil nehri üzerinde Sadd-el-Kafara barajının M.Ö. 2950-2750 yılları arasında yapıldığı bilinmektedir. Çin’de ise M.Ö. 200 yıllarında yapılan Tu-Kiang barajı, 200 bin ha’lık pirinç tarlalarını sulamak için günümüzde hala kullanılmaktadır. Hindistan ve Seylan’da 2000 yıl önce yapılmış barajlar vardır. İlk önemli kargir baraj 10 m yüksekliğinde ve Türkiye’de yapılan Keşiş Gölü barajıdır.

Ağırlık, Toprak dolgu, Kaya dolgu, Kemer, Payandalı ve Silindir sıkıştırılmalı beton barajların tarihçelerini Prof. Dr. Necati Ağırlioğlu’nun Baraj Planlama ve Tasarımı Cilt 1 kitabında bulabilirsiniz.

Dünya ve Türkiye’deki en yüksek ve en büyük barajların listesi aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

**Dünyanın En Yüksek Barajları**

	Adı	Nehir	Ülke	Yapısal Yükseklik (m)	Toplam Rezervuar Hacmi (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Tamamlanma Yılı
1	Rogun	Vakhsh	Tacikistan	335	11,600	1985
2	Nure	Vakhsh	Tacikistan	300	10,500	1980
3	Grande dixence	Dixence	İsviçre	285	400	1962
4	Inguri	Inguri	Gürcistan	272	1,100	1984
5	Vaiont	Vaiont	İtalya	262	169	1961
6	Manuel M. Torres	Grijalva	Meksika	261	1,660	1981
7	Tehri	Bhagirathi	Hindistan	261	3,540	UC
8	Alvaro obregon	Mextiquic	Meksika	260	n.a	1926
9	Mauvoisin	Drance de Bagnes	İsviçre	250	180	1957
10	Alberto Lieras	Orinoco	Kolombiya	243	1,000	1989
11	Mica	Columbia	Kanada	243	24,760	1972
12	Sayano Shushenskaya	Yenisei	Rusya	242	31,300	1980
13	Ertan	Yangtze/Yalong	Çin	240	5,800	1999
14	LaEsmeralda	Bata	Kolombiya	237	815	1975
15	Kishau	Tons	Hindistan	236	2,400	1985
16	Oroville	Feather , Calif	ABD	235	4,299	1968
17	WI Cajon	Humuya	Honduras	234	5,650	1984
18	Chirkey	Sulak	Rusya	233	2,780	1977
19	Bhakra	Sutlej	Hindistan	226	9,870	1963
20	Luzzzone	Brenno di Luzzzone	İsviçre	225	87	1963
21	Hoover	Colorado, Ariz- New	ABD	223	35,154	1936
22	Contra	Verzasca	İsviçre	220	86	1965
23	Mratinje	Piva	Bosna Hersek	220	880	1973
24	Dworshak	Nourth Fork Clearwater	ABD	219	4,259	1974
25	Glen Canyon	Colorado , Ariz	ABD	216	33,304	1964
26	Toktogul	Naryn	Kırgızistan	215	19,500	1978
27	Daniel Johnson	Manicouagan	Kanada	214	141,852	1968
28	Keban	Firat	Türkiye	210	31,000	1974
29	Zimapan	Moctezuma	Meksika	207	n.a	1994
30	Karun	Karun	İran	205	3,900	1976
31	Lakhwar	Yamuna	Hindistan	204	580	1985
32	Dez	Dez , Abi	İran	203	3,340	1963
33	Almendra	Tormes	İspanya	202	2,649	1970
34	Berke	Ceyhan	Türkiye	201	427	2000
35	Khudoni	Inguri	Gürcistan	201	n.a	n.a
36	Kölnbrein	Malta	Avusturya	200	205	1977
37	Altinkaya	Kızılırmak	Türkiye	195	5,763	1986
38	New Bullards Bar	No .Yuba , Calif	ABD	194	1,184	1968
39	New melone	Stanislaus , Calif	ABD	191	2,960	1979
40	Itaipu	Parana	Brezilya/Paraguay	190	29,000	1982
41	Kurobe 4	Kurobe	Japonya	186	199	1964
42	Swift	Lewis , Wash	ABD	186	932	1958
43	Mossyrock	Cowlitz , Wash	ABD	185	1,603	1968
44	Oymapinar	Manavgat	Türkiye	185	310	1983
45	Atatürk	Firat	Türkiye	184	48,700	1990
46	Shasta	Sacramento , calif.	ABD	183	5,612	1945
47	Bennett WAC	Peace	Kanada	183	70,309	1967
48	Karakaya	Firat	Türkiye	180	9,580	1986
49	Tignes	Isere	Fransa	180	230	1952
50	Amir Kabir(Karad)	Karadj	İran	180	205	1962
51	Tachien	Tachia	Tayvan	180	232	1974
52	Dartmouth	Mitta-Mitta	Avustralya	180	4,000	1978
53	Özköy	Gediz	Türkiye	180	940	1983
54	Emosson	Barberine	İsveç	180	225	1974
55	Zillergrundi	Ziller	Avusturya	180	90	1986
56	Las Leones	Los Leones	Şili	179	106	1986
57	New Don Pedro	Tuolumne , Calif	ABD	178	2,504	1971

58	Alpa-Gera	Cornor	İtalya	178	65	1965
59	Kopperston Tailings 3	Jones branch ,W,Va	ABD	177	-----	1963
60	Takase	Takase	Japonya	176	76	1979
61	Nader Shah	Marun	İran	175	1,620	1978
62	Hasan Ugurlu	Yeşilirmak	Türkiye	175	1,078	1980
63	Revelstoke	Columbia , B.C	Kanada	175	5,300	1984
64	Hungry Horse	S.Fk ,Mont.	ABD	172	4,280	1953
65	Longyangxia	Huanghe	Çin	172	24,700	1983
66	Cabora Bassa	Zambezi	Mozambik	171	63,000	1974
67	Maqarin	Yarmuk	Ürdün	171	320	1987
68	Amaluza	Paute	Ekvator	170	100	1982
69	Idikki	Periyar	Hindistan	169	1,996	1974
70	Charvak	Chirchik	Özbekistan	168	2,000	1970
71	Gura Apelor Retezat	Riul Mare	Romanya	168	225	1980
72	Grand Coulee	Columbia	ABD	168	11,582	1942
73	Boruca	Terraba	Kosta Rika	167	14,960	UC
74	Vidraru	Arges	Romanya	166	465	1965
75	Kremasta (King Paul)	Achelous	Yunanistan	165	4,750	1965
76	Pauti -Mazar	Mazar	Ekvator	165	500	1984

UC = İnşaat Halinde

n.a = Mevcut değil

**Kaynak = Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi**

**Dünyanın En Büyük Barajları**

Baraj	Ükle	Dolgu Hacmi (x1000 m <sup>3</sup> )	Tamamlanma Yılı
Syncrude Tailings	Kanada	540,000	UC
Chapeton	Arjantin	296,200	UC
Pati	Arjantin	238,180	UC
New Cornelia Tailings	ABD	209,500	1973
Tarbela	Pakistan	121,720	1976
Kambaratins	Kırgızistan	112,200	UC
Fort Peck	ABD	96,049	1940
Lower ABDma	Nijerya	93,000	1990
Cipasang	Endonezya	90,000	UC
Atatürk	Türkiye	84,500	1990
Yacyreta-Apipe	Paraguay/Arjantin	81,000	1998
Guri(Raul Leoni)	Venezuela	78,000	1986
Rogun	Tacikistan	75,500	1985
Oahe	ABD	70,339	1963
Mangla	Pakistan	65,651	1967
Gardiner	Kanada	65,440	1968
Afsluitdijk	Hollanda	63,400	1932
Oroville	ABD	59,639	1968
San Luis	ABD	59,405	1967
Nurek	Tacikistan	58,000	1980
Garrison	ABD	50,843	1956
Cochiti	ABD	48,052	1975
Tabka(Thawra)	Suriye	46,000	1976
Bennett W.A.C	Kanada	43,733	1967
Tucuruui	Brezilya	43,000	1984
Boruca	Kosta Rika	43,000	UC
High Aswan(Sadd-el-Aali)	Mısır	43,000	1970
San Roque	Filipinler	43,000	UC
Kiev	Ukrayna	42,841	1964
Dantiwada LeftEmbankment	Hindistan	41,040	1965
Saratov	Rusya	40,400	1967
Mision Tailings 2	ABD	40,088	1973
Fort Randall	ABD	38,227	1953
Kanev	Ukrayna	37,860	1976
Mosul	Irak	36,000	1982
Kakhovka	Ukrayna	35,640	1955
Itumbiara	Brezilya	35,600	1980
Lauwerszee	Hollanda	35,575	1969
Beas	Hindistan	35,418	1974
Oosterschelde	Hollanda	35,000	1986

UC = Yapım aşamasında

**Kaynak = ABD Su İşleri Teşkilatı**

## TÜRKİYE'DEKİ YÜKSEK BARAJLAR

### Türkiye'deki Beton Barajlar (H>70 m)

Baraj	Nehir	Talvegden yükseklik (m)	Amacı*	Tipi**	Tamamlanma yılı	Gövde hacmi (x1000 m <sup>3</sup> )	Rezervuar kapasitesi (hm <sup>3</sup> )
Ermenek	Ermenek	280	E	BK	u/c***	273	4580
Deriner	Çoruh	207	E	BK	u/c	3500	1969
Berke	Ceyhan	186	E	BK	2001	735	427
Karakaya	Fırat	158	E	BK	1987	2000	9580
Oymapınar	Manavgat	157	E	BK	1984	676	300
Gökçekaya	Sakarya	115	E	BK	1972	650	910
Kemer	Akçay	108.5	E+S+TK	BA	1954	740	544
Sir	Ceyhan	106	E	BK	1991	443	1120
Sarıyar	Sakarya	90	E	BA	1956	568	1900
Gezende	Ermenek	75	E	BK	1990	83	91.9

\* E: Enerji S: Sulama TK: Taşkın Kontrol

\*\* BK: Beton Kemer BA: Beton ağırlık KD: Kaya Dolgu

\*\*\* u/c: İnşa Halinde

### Türkiye'deki Dolgu Barajlar (H>70 m)

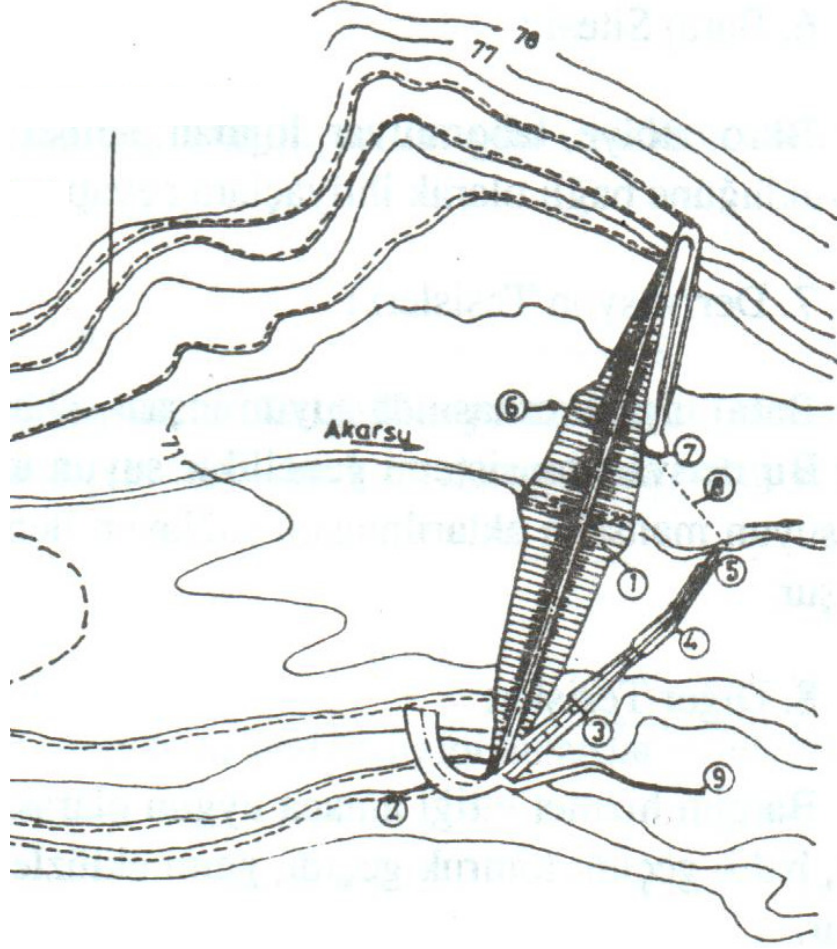
Baraj	Nehir	Talvegten yükseklik (m)	Amacı*	Tipi**	Tamamlanma yılı	Gövde hacmi (x1000 m <sup>3</sup> )	Rezervuar kapasitesi (hm <sup>3</sup> )
Atatürk	Fırat	166	S+E	KD	1992	84500	48700
Keban	Fırat	163	E	BA+KD	1975	15585	31000
Kiğı	Peri	146	E	KD	u/c	14790	507.6
Adıgüzel	B.Menderes	144	S+E+TK	KD	1989	7125	1188
Altınkaya	Kızılırmak	140	E	KD	1988	16000	5763
Hasan Uğurlu	Yeşilirmak	135	E	KD	1981	9223	1073.8
Menzelet	Ceyhan	136.5	S+E	KD	1989	8700	1950
Özlüce	Peri	124	E	KD	1998	14000	1075
Konaktepe	Munzur	118.5	E	KD	u/c	4750	450
Kuzgun	Serçeme	114	S+E	KD	1995	2500	312
Kralkızı	Dicle	113	E	TD+KD	1997	12700	1914
Kılıçkaya	Kelkit	103	E	KD	1989	6900	1400.4
Kirazdere	Kirazdere	102.5	ST	KD	1999	5200	60
Çamlıdere	Bayındır	101.7	ST	KD	1985	2487	1226
Alpaslan I	Murat	88	E	KD	u/c	2600	2993
Madra	Madra	86	S	KD	1997	3120	79.4
Karacaören I	Aksu	85	S+TK+E	TD	1989	4000	1234
Yazıcı	Altınçayır	83.5	S	TD	u/c	6900	196
Yoncalı	Yoncalı	81	S	KD	u/c	3137	122
Kozan	Kilgen	78.5	S	TD+KD	1972	1680	163
Hirfanlı	Kızılırmak	78	E+TK	KD	1959	2000	5980
Aslantaş	Ceyhan	78	S+TK+E	TD	1984	8493	1150
Almus	Yeşilirmak	78	S+TK+E	TD	1966	3405	950
Kalecik	Kalecik	77	S	KD	1985	1000	32.8
Güzelhisar	Güzelhisar	77	ST	TD+KD	1981	3205	158
Demirköprü	Gediz	74	S+TK+E	TD	1960	4300	1320
Dicle	Dicle	75	S+E	TD+KD	1997	2180	595
Akyar	Bulak	74	ST	TD	1999	2660	56
Derinöz	Derinöz	74	S	TD+KD	u/c***	1681	18.9
Erzincan	Gönye	73	S	TD	1997	3000	8.39
Çayboğazi	Kapalıçay	71.8	S	TD	2000	8072	56
Batman	Batman	71.5	S+E	TD+KD	1998	5400	1175
Hasanlar	K:Melen	70.8	S+TK	KD	1972	1651	55
Yaylakavak	Kocaçay	70.0	S	TD	1996	4688	31.1
Gönen	Gönen	70.0	S+E+TK	TD+KD	1996	2357	164.0
Çatalan	Seyhan	70.0	E+TK	TD	1996	17000	2126.3

\* E: Enerji S: Sulama TK: Taşkın Kontrol ST: Su Temini

\*\* KD: Kaya Dolgu TD: Toprak Dolgu

\*\*\* u/c: İnşa Halinde

**Kaynak: [www.barajguvenligi.org](http://www.barajguvenligi.org)**



Şekil 2. Bir dolgu barajın planı

1. Gölet gövdesi, 2. Yaklaşım kanalı, 3. Dolusavak Kontrol Kesiti, 4. Boşaltım Kanalı,
5. Enerji kırıcı tesis, 6. Su alma ağız ve dipsavak, 7. Su yükseltme ve vana odası, 8. Tahliye büzü, 9. Ulaşım yolu

### 7.3 Barajların Kısımları

1. Baraj gövdesi: Bütün vadiyi kapatarak yapay bir göl oluşmasını sağlar. Genellikle beton veya dolgu malzemesinden inşa edilen sabit bir yapıdır.
2. Baraj gölü: Baraj gövdesinin arkasında suyun depolandığı vadi kısmıdır. Baraj gölü, ölü hacim, faydalı hazne hacmi ve taşkın koruma hacminden oluşur.
3. Su alma yapısı: Baraj gölünde toplanan suyun alınmasını sağlayan yapıdır.
4. Dip savak: Gerekliğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolusavak debisini azaltmak, akarsu mansabına bırakılması gerekli miktarda suyu vermek için kullanılan tesistir.
5. Dolu savak: Taşkın sularının mansaba aktarılmasını sağlayan tesistir.

6. Derivasyon tesisleri: Bir derivasyon sistemi baraj inşaatının kuru bir ortamda yapılmasını sağlar. Suyun inşaat alanına girmesini önleyen batardolardan ve suyun mansaba aktarılmasını sağlayan açık veya kapalı iletim tesislerinden oluşur.
7. Büro, atölye, laboratuvar, lojman, ambar, garaj, park yerleri gibi barajın özellik ve büyüklüğüne bağlı olarak ihtiyaçlara cevap verecek şekilde boyutlandırılmış yapılar.
8. Diğer tesisler: Barajın hizmet ettiği amaca uygun olarak enerji santralleri, içme suyu arıtma tesisleri, balık geçidi, tomruk geçidi gibi yapılar öngörülür.

#### 7.4 Baraj Yerinin Seçimi

Baraj planlama çalışmaları esnasında akarsu vadisinde baraj yapımına uygun yerler belirlenir. Daha sonra baraj yeri alternatifleri ayrıntılı olarak incelenir, üstün ve sakıncalı yönleri karşılaştırılarak en uygun baraj yeri belirlenir.

1. **Baraj yerinin özellikleri:** Baraj yerinin topoğrafyası, temelin ve yamaçların jeolojik yapısı, taşıma gücü, muhtemel faylar, çatlaklar, alüvyon kalınlığı, dolu savak yeri ve kapasitesi, derivasyon şartları, ulaşım durumu, baraj inşaatında kullanılacak malzemenin baraj yerine uzaklığı, yapının doğa ile uyumu gibi hususlar incelenir.
2. **Göl bölgesinin özellikleri:** Göl bölgesinin topoğrafyası ve jeolojik yapısı, kayaların cinsi, kalınlığı ve geçirimsizliği, göl bölgesinin su tutma gibi özellikleri, göl yamaçlarının stabilitesi ve heyelan durumu incelenir.
3. **Yağış havzasının hidrolik ve hidrolojik özellikleri:** Yağış havzasının hidrolik, hidrolojik, meteorolojik, morfolojik özellikleri incelenmelidir. Bu çerçevede yağış akış ilişkilerine bağlı olarak, akarsuyun malzeme taşıma miktarı, sediment birikimi, sızma, buharlaşma, akarsu drenaj sistemi ve bitki örtüsü incelenir.
4. **İskan, istimlak ve yenileme ile ilgili maliyetler:** Baraj gölü nedeni ile bölgede su altında kalacak yerleşim yerleri, endüstriyel tesisler, tarım arazileri, ulaşım yolları gibi tesislerin iskan, istimlak ve yenileme olanakları incelenir.
5. **Çevre etkisi:** Baraj nedeni ile bölge ikliminde ve canlı yaşamı dengelerinde oluşacak etkiler, tarım için yeraltı suyu dengesinin korunması (tuzlanma), tarihi yerlerin su altında kalması, bölgenin doğal yapısının bozulmasının sosyal yaşam üzerindeki etkileri incelenir.



## 7.5 Baraj Yapma Amaçları

Bir baraj aşağıdaki amaçlardan biri veya birkaçına hizmet etmek için yapılır.

1. **Şehirlerin içme ve kullanma suyu ihtiyacı:** Artan nüfus ve refah seviyesinin yükselmesi ile birlikte yerleşim yerlerinin içme ve kullanma suyu talepleri de artmaktadır.
2. **Sanayi su temini:** Sanayi üretim için mutlaka suya ihtiyaç duyar. Dolayısıyla sanayinin su talebi de büyük ölçüde baraj ve göletlerden temin edilmektedir.
3. **Sulama suyu:** Ülkemizde günümüz itibariyle teknik ve ekonomik olarak sulanabilen 8,5 milyon ha (hektar) arazi mevcuttur. Sulu ziraat yapılması halinde susuz ziraata nazaran 5 ila 14 misli bir gelir artışı olmaktadır. Ayrıca ürün deseni de zenginleşmektedir. Susuz tarımla arpa-buğday ekilen arazilere pamuk, patates, mısır gibi ürünler de yetiştirilebilmektedir. Sulama suyu genellikle akarsular üzerine inşa edilen baraj ve göletlerden sağlanmaktadır.
4. **Hidroelektrik enerji üretimi:** Su kaynaklarından ekonomik olarak istifade edilmesi açısından Hidroelektrik Enerji Üretiminin rolü çok büyüktür. Zira hidroelektrik enerji, ülke kaynaklarının kullanılması ile üretildiği için, dışa bağımlı değildir. Bir ülkenin elektrik enerjisi tüketimi o ülkenin kalkınmışlığının bir göstergesidir. Ülkemizin 2005 yılında kişi başına yıllık elektrik enerjisi sarfiyatı 2 100 kWh iken, gelişmiş ülkelerde 9 000 kWh, ABD ve Kanada gibi ülkelerde ise 12 000 kWh'dır. Ülkemizde 2005 yılı sonunda 160,332 milyar kWh elektrik tüketilmiştir. Elektrik sarfiyatı yılda % 6 ila % 8 arasında bir artış göstermektedir. Yani yılda % 7 civarında bir artış söz konusudur. Buna göre 2010 yılında 225 milyar kWh, 2020 yılında ise 440 milyar kWh civarında bir ihtiyaç olacağı tahmin edilmektedir.

Günümüz itibariyle Türkiye'de 137 adet hidroelektrik santral işletmededir. 137 santral 12 846 MW 'lık bir kurulu güce ve 45 milyar kWh yıllık ortalama üretim kapasitesine sahiptir. Bu durumda ekonomik potansiyelimizin % 35'i, teknik potansiyelin ise % 21'i kullanılabilir. ABD, Kanada hatta Norveç gibi ülkelerde bu oran % 80'lere ulaşmıştır.

5. **Su ürünlerinin üretimi:** İnşaa edilen barajların göllerinde balıkçılık yapılmak suretiyle önemli ölçüde gelir sağlanır. DSI'nin; İzmir (Ürkmez), Adana (Seyhan), Elazığ (Keban), Şanlıurfa (Atatürk Barajı), Bolu (Gölköy), Amasya (Yedikır), Edirne (İpsala), Sivas (Çamlığöze) olmak üzere 8 adet su ürünleri üretim tesisinde yılda 28 milyon adet yavru balık üretilerek barajlara bırakılmaktadır.
6. **Mesirelik kullanım:** Barajlar inşa edildikleri bölgeye hayat vermektedir. Baraj civarlarında teşkil edilen rekreasyon sahaları, yeşil alanlar, orman alanları civarda yaşayan insanların mesirelik olarak kullanabilecekleri dinlenme yerleridir.

### 7.6. Barajların Çevre Etkileri

Bir akarsu vadisinde yapılan baraj bölgenin ve çevrenin bazı özelliklerinde önemli değişmelere sebep olabilir. Bu etkilerin en önemlileri şunlardır:

1. Ekonomi ve sosyal yaşam üzerindeki etkisi
2. Bölge ekolojisi üzerindeki etkiler
3. Bölgenin iklimine etkisi ve bitki örtüsüne etkisi
4. Gaz emisyonları ile sera etkisi
5. Balıkçılığa etkisi
6. Mamba ve mansap bölgesindeki yeraltı sularına etkisi
7. Akarsu ulaşımına etkisi
8. Mansap kesimindeki yatay oyulmalarına ve akış rejimine etkisi
9. Rekreasyon ve turistik aktivitelere etkisi

## 7.7 Barajların Sınıflandırılması

### 7.7.1. Büyüklüklerine göre sınıflandırma

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD : International Commission on Large Dam) büyük baraj tanımı için aşağıdaki şartları vermektedir:

- Kreti ile temeli arasındaki yükseklik 15 m'den fazla olan barajlar ile
- yüksekliği 10-15 m arasında olan fakat buna ek olarak,
  - kret uzunluğu  $> 500\text{m}$
  - hazne hacmi  $> 1.10^6 \text{ m}^3$
  - en büyük taşkın debisi  $> 1000 \text{ m}^3/\text{sn}$

olma özelliklerinden en az birisini taşıyan barajlar büyük baraj olarak isimlendirilir.

Gölet (küçük baraj): Büyük baraj tanımının dışında kalan, projesi daha basit ve çabuk sonuç alınan yapılardır.

Yüksek baraj: Yüksekliği 50 m'den fazla olan barajlara denir.

### 7.7.2 Yapılış amaçlarına göre sınıflandırma

Bir baraj tek veya çok amaçlı olarak planlanır. Tek amaçlı barajlar içme suyu temini, endüstri suyu temini, sulama, hidroelektrik enerji, taşkın kontrolü vb. için yapılırlar. Bunların birkaçını birlikte temin eden baraja çok amaçlı baraj denir.

### 7.7.3 Hem gövde dolgu malzemesi, hem de gövde biçimine göre sınıflandırma

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| a. Dolgu barajlar                    | b. Beton barajlar                         |
| 1. Toprak dolgu                      | 1. Beton ağırlık                          |
| 2. Kaya dolgu                        | 2. Payandalı                              |
| 3. Önyüzü betonarme kaplı kaya dolgu | 3. Beton kemer                            |
|                                      | 4. Silindire sıkıştırılmış beton barajlar |

## 7.8 Baraj Tipinin Seçimi

Bir baraj yerinde genellikle birden fazla baraj tipinin yapımı söz konusudur. Bu nedenle baraj yerine ve yapılış amacına uygun ve en ekonomik olan baraj tipinin belirlenmesi için birçok faktörün incelenmesi gerekmektedir. Bu faktörlerin başlıcaları şunlardır:

1. Baraj yerinin topoğrafik durumu: Baraj yerinin topoğrafyası, baraj tipinin seçiminde dikkate alınan ilk kriterdir.

Dar vadiler: Kemer ve ağırlık barajların projelendirilmesinde elverişlidir. Ağırlık barajların vadi genişledikçe ve tabanda alüvyon kalınlığı arttıkça ekonomisi azalır ve durum dolgu gövde lehine gelişir. Payandalı (boşluklu) beton barajlar daha geniş vadilerde ekonomik olabilir.

Derin bir vadi ile üst kotlarda yatık yamaç kombinasyonlarında karma tipte baraj gövdeleri projelendirilebilir. Beton barajlar genellikle geniş vadilerde ekonomik değildir.

Az dalgalı araziler ve geniş vadiler: Dolgu baraj için uygundur.

Derin ve dar vadiler: Özellikle dolu savağın yerleştirileceği uygun bir boyun oluşmadığı durumda, eğer vadinin yamaçları sağlamsa kemer baraj, aksi durumda beton baraj düşünülür. Çünkü bunların dolu savakları gövdelerin üzerine yerleştirilebilir (Berkün, 2005).

2. Temel zemini ve jeolojik yapı: Baraj yerinin jeolojisi baraj türü üzerinde etki eden etkenlerden en önemlisidir. Baraj yerindeki temel durumu her baraj türü için uygun değildir. Tabiatta çok çeşitli temel türüne rastlamakla birlikte, genel olarak temeller dört grupta toplanabilir:

- a. Sağlam kaya temeller: Bunlar taşıma güçleri yüksek, homojen ve genel olarak geçirimsizdirler. Her tür baraj için uygundurlar. Bu tür temellerde, ayrılmış olan yüzey kayasının sıyrılması ve çatlakların enjeksiyonla tıkanması gerekir.
- b. Çakıl temeller: Bu temellerde, taşıma gücü oldukça iyi, oturma miktarları ihmal edilebilir mertebede, fakat geçirimsizlik yüksektir. Bunlar genel olarak kemer ve payandalı barajlar için elverişli değildir. İyi sıkışmış durumda iseler, toprak dolgu, kaya dolgu ve alçak beton ağırlık barajı için uygundurlar. Fazla miktarda su sızdırabilecekleri için, bunlarda bir takım sızdırmayı azaltıcı tedbirlerin alınması gerekir.
- c. Silt veya ince kum temeller: Taşıma güçleri az, oturma miktarları çok ve geçirimsizlikleri çok olan bu temellerde erozyon (aşınma) meydana gelebilir. Bu

bakımdan alçak beton ve toprak dolgu barajlar için elverişli temellerdir. Temel oturmaları, aşırı sızma kaybı ve mansap eteğinin oyulması bunların önemli problemlerdir.

- d. Kil temeller: Bunların taşıma gücü çok az, konsolidasyondan dolayı oturma miktarları çok yüksek ve geçirimsizlikleri azdır. Bu yüzden ancak alçak toprak dolgu barajlar için tavsiye edilirler. Böyle temeller özel projeler ve tecrübeli mühendisler gerektirir (Ağırlioğlu, 2004).

3. Baraj inşaatında kullanılacak uygun malzemenin yeri ve cinsi: Baraj inşaatı için üç çeşit doğal malzemeye gereksinim vardır. Bunlar, dolgu için toprak, dolgu ve riprap için kaya ve beton için agregadır. Bunlar mümkün olduğunca baraj yerine yakın bir alandan karşılanır. Malzeme taşıma maliyetinin azaltılması toplam proje maliyetini önemli ölçüde düşürür. En ekonomik baraj tipi, baraj sahasına oldukça yakın ve yeterli kapasite ve malzeme kalitesine sahip ocaklarının bulunabilmesi ile sağlanabilir. Kum, çakıl ve agrega yapmaya elverişli kayaların yeterince bulunduğu yerlerde beton baraj tipi uygundur. Uygun özellikte toprak ve kayaların yeterince bulunduğu yerlerde ise dolgu baraj tipleri yapılabilir. Bir baraj aksı için dolgu ve beton baraj tipinin her ikisi de uygun görülüyorsa, dolgu malzeme ocaklarının uzaklığı, beton baraj tipinin tercihini gerektirebilir. Bunun için bir maliyet karşılaştırması yapılmalıdır.

4. Ulaşım olanakları: Baraj yerinin, mevcut yollara yakın olması yeni yol yapımını azaltacağından, maliyeti düşürür. Baraj yeri seçilirken malzeme ocaklarına ulaşım olanakları da önemlidir.

5. Çevirme (derivasyon) koşulları: Baraj inşaatını kuru koşullar altında yapabilmek için, inşaatın yapılacağı kısmın memba ve mansap tarafları batardo denilen yüksekliği düşük barajlar ile kapatılarak, gelen su derivasyon tüneli veya kanalı denilen yapay bir yatak vasıtası ile mansap tarafına akıtılır. Bu tünel ileride esas yapının dip savağı veya kuvvet tüneli olarak da kullanılabilir.

6. Dolu savak kapasitesi ve yeri: Dolgular oluşacak hareketlere karşı toleranslı yapılar olarak bilinmesine rağmen, suyun kreten aşmasına karşı oldukça düşük direnç gösterirler. Bu durum, dolgu barajların hava payı ve dolusavak kapasitesi yönünden tutucu tasarımını öngörmektedir. Beton barajlarda ise, kret üzerinden su aşımında proje toleransı yüksektir. Büyük akarsularda

gelebilecek büyük taşkınlar büyük kapasiteli savakların yapılmasını gerektirir. Bunun için dolu savağın baraj gövdesi üzerinde yer alabildiği beton veya kemer barajlar uygun olur. Dolu savağın yerleştirilebileceği dar boyunların bulunduğu vadilerde dolgu baraj tipi uygun olabilir (Berkün, 2005).

7. Deprem: Barajın yapılacağı alan aktif bir deprem bölgesi ise, depremden doğacak dinamik yüklerin dikkate alınması gerekir. Deprem etkilerine karşı barajların hassaslık sırası kemer, payandalı, kaya dolgu, ağırlık, silindire sıkıştırılan beton ve toprak dolgudur (Ağralıoğlu, 2004).

8. İklim koşulları ve yapım süresi: Bölgenin iklim koşulları uygun değilse ve herhangi bir sebepten dolayı inşaat süresi kısıtlı ise, çabuk inşa edilebilecek bir baraj tipi seçilir. Eğer inşaatta killi yapı malzemesi büyük çapta söz konusu oluyor, fakat iklim şartları bunun işlenmesine uygun olmuyorsa, (örneğin her mevsimin yağışlı veya uzun süre don oluşması durumunda) beton baraj tipinin seçimine gidilir. Burada inşaat süresi de beraber düşünülmesi gereken bir faktördür.

9. Heyelan: Baraj gölü yamaçlarından heyelan ile göle akabilecek zemin kütleleri büyük dalgalar oluşturulabilir. Dolgu barajlar kreten dalga aşmasına karşı dayanıksız yapılardır. Bu gibi durumlarda beton barajlar tercih edilebilir.

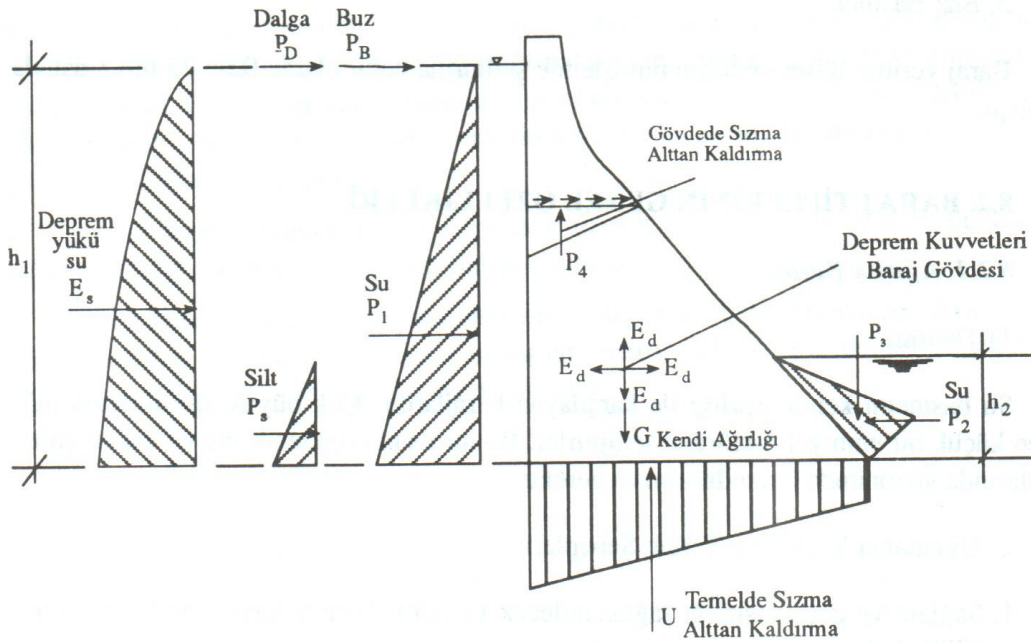
10. Ülkenin ekonomik durumu: Barajlar bir ülkenin ekonomisini ciddi ölçüde etkileyebilecek derecede çok yüksek maliyeti olan yapılardır. Tip seçimi maliyetler arasında büyük farklar oluşturabilir. Bu nedenle bir bölgede yapılabilirliği mümkün görülen birkaç tip arasında yapılacak seçimde, ülkedeki yararlanılabilir teknoloji uzmanı kadro gibi olanaklar mümkün olduğunca iyi değerlendirilmelidir.

11. Makine parkı alanı mevcudiyeti, makinelerin tip ve kapasiteleri: Barajda geniş hacimli ve çeşitleri oldukça farklı ağır vasıtalar ve diğer cihazlar devamlı hareket halindedir. Bu nedenle bu araçların gereğinde rahatlıkla park ve manevra yapabilecekleri yeterli genişlikte bir alanların bulunması, inşaat işlerinin sürekliliğinin sağlanması için en önemli özelliklerinden birisidir. Mevcut makinelerin tip ve kapasiteleri de baraj tipine göre inşaatın hızını ve sürekliliğini etkileyen önemli bir etken olabilir (Berkün, 2005).

### 7.9 Barajlara Etki Eden Kuvvetler

Bir baraj etki eden tüm statik ve dinamik kuvvetlere karşı koyabilmelidir. Etki eden en önemli kuvvetler,

1. Barajın kendi ağırlığı
2. Hidrostatik su basıncı
3. Taban ve boşluk suyu basıncı
4. Deprem kuvveti
5. Buz basıncıdır.



$G$  = Kendi ağırlığı,  $P_1, P_2, P_3$  = Hidrostatik su basıncının yatay ve düşey bileşenleri,  
 $P_4$  = Sızıntı kuvveti,  $P_D$  = Dalga Kuvveti,  $P_B$  = Buz basıncı,  $E_d, E_s$  = Deprem kuvvetleri,  
 $U$  = Alttan kaldırma kuvveti,

Şekil 3. Bir ağırlık barajına etki eden kuvvetler

#### 7.9.1 Barajın kendi ağırlığı

Malzemenin özgül ağırlığı  $\gamma_b$  ve gövde hacmi  $V$  olmak üzere

$$G = \gamma_b V \quad (7.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Köprü, kapaklar vb donanımlardan gelen dış kuvvetler barajın kendi ağırlığına eklenir.

### 7.9.2 Hidrostatik basınç

Barajlara memba ve mansap tarafında etki edebilir. Mansap tarafındaki su yüksekliği küçük ise ihmal edilebilir. Hesap kolaylığı bakımından eğik veya eğri yüzeylerden gelen toplam basınç yatay ve düşey bileşenlere ayrılır. Yatay su basıncı,

$$P = \frac{\gamma_b h^2}{2} \quad (7.2)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada h su derinliği,  $\gamma$  suyun özgül ağırlığıdır.

### 7.9.3 Taban ve boşluk suyu basıncı

Taban basıncı özellikle ağırlık barajlara etki eden en önemli etkenlerden biri olup,

$$U = \gamma \frac{h_1 + h_2}{2} b \quad (7.3)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada  $h_1$  ve  $h_2$  memba ve mansap topuklarındaki su derinliği, b barajın taban genişliğidir. Genellikle taban su basıncının hesabında 0.5 ile 0.7 arasında bir küçültme faktörü kullanılır.

### 7.9.4 Deprem kuvvetleri

Projelendirmede yatay ve düşey deprem kuvvetlerinin dikkate alınması gerekir. Baraj gölünün dolu olması hali en gayri müsait durum, yerkabuğunun membaya ve aşağıya doğru olan hareketi esnasında oluşur. Deprem membadan mansaba doğru oluşursa, su ve toprağın mansaba doğru olan basıncı artar. Ayrıca barajın ağırlığı sebebi ile mansaba doğru yatay doğrultuda atalet kuvveti oluşur. Deprem yerkabuğunu aşağı yönde hareket ettirirse, aşağıdan yukarıya doğru oluşan atalet kuvvetleri nedeniyle, eğik yüzeyler üzerinde bulunan su ve toprak ağırlığı ile barajın kendi ağırlığı azalır. Deprem kuvvetlerini hesaplamak için, barajı



etkileyebilecek depremin şiddetini bilmek gerekir. Bunun değeri genellikle yerçekimi ivmesi cinsinden ifade edilir. Depremin baraj gövdesine yatay yönde etki ettireceği atalet kuvveti,

$$F_d = \alpha G \quad (7.4)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada,  $\alpha$  depremden dolayı ivme katsayısı olup,  $a$  deprem ivmesinin,  $g$  yerçekimi ivmesine oranıdır ( $\alpha = a/g$ ). ABD’de  $\alpha$  değeri inşaat yerinin deprem durumuna bağlı olarak 0.05g ile 0.1g arasında alınmaktadır.

Mamba yüzeyi düşey olan bir baraj haznesinde depremin suda dinamik etkisi

$$F_{de} = C \alpha \gamma h \quad (7.5)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

$$C = 0.365 \left[ \frac{y}{h} \left( 2 - \frac{y}{h} \right) + \sqrt{\frac{y}{h} \left( 2 - \frac{y}{h} \right)} \right] \quad (7.6)$$

eşitliğinden bulunur. Burada,

$\gamma$  : suyun özgül ağırlığı

$h$  : toplam su derinliği

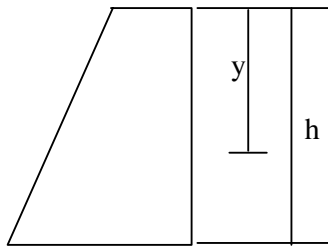
$y$  : rezervuar yüzeyinden söz konusu seviyeye kadar olan düşey su derinliğidir.

Bu kuvvet tabandan  $(4\pi/3)h$  kadar yukardan etkir. Ölü hacimdeki siltin etkisi deprem sırasında içsel sürtünme açısının değişimi tam bilinemediği için,  $h$  yerine siltin yüksekliği  $h_{si}$  formülde kullanılarak suyun etkisi gibi hesaplanabilir.

USBR’ye göre baraj yüzeyini etkileyen söz konusu seviyenin üst kısmındaki toplam yatay kuvvet ve seviyenin üst kısmında toplam devirici moment için aşağıdaki eşitlikler verilmiştir.

$$V_e = 0.726 F_{de} y \quad (7.7)$$

$$M_e = 0.299 F_{de} y^2 \quad (7.8)$$



### **7.9.5 Buz basıncı**

Kış sıcaklarının don derecesinin altına düştüğü yerlerde yapılacak barajların hesaplarında buz basıncı dikkate alınmalıdır. Kuvvetin buz kalınlığının ortasından etkilediği kabul edilir. Buz basıncı sıcaklık artış oranına ve buz kalınlığına göre hesaplanır. Baraj gölünde oluşacak sıcaklık değişimleri ve buz kalınlığı meteorolojik verilerden tahmin edilebilir. Buz basıncı baraj yerinin iklim ve haznenin işletme şartlarına bağlı olarak 0- 75 t/m arasında değişir (Berkün, 2005).

### **7.10 Dolgu Barajlar**

Dolgu baraj, yapı yerinin yakınından alınan veya kazılarak sağlanan tabii malzeme ile yapılan baraj türüdür. Bu türde, malzemeler yerine yerleştirildikten sonra yüksek kapasiteli makinelerle sıkıştırılır. Dolgu barajlar, toprak dolgu ve kaya dolgu diye iki ana bölüme ayrılır.

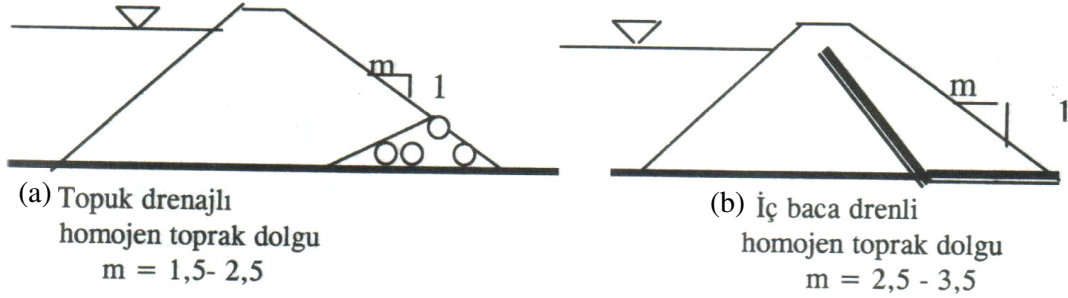
#### **7.10.1 Toprak dolgu barajlar**

Dolgu malzemesinin %50'den fazlası toprak olan bir baraja toprak dolgu baraj denir. Bunlar toprağın üniform ve ince tabakalar halinde serilip, toprağın su muhtevasını istenen seviyeye indirecek şekilde makinelerle sıkıştırılması ile oluşturulan yapılardır.

Homojen toprak dolgu baraj en basit ve en eski baraj türüdür. Bu tür barajlarda kontrol altına alınamayan sızma ile ilgili büyük problemler yaşanmıştır. Ancak 19. yüzyıldan sonra dolgu barajlarda iki temel eleman önem kazanmıştır. Bunlar:

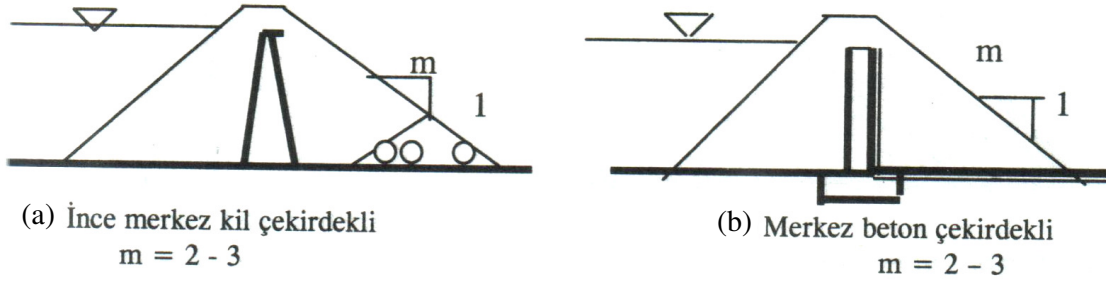
- a) Geçirimsiz olan ve su tutan eleman veya pek az geçirimli çekirdek
- b) Yapının stabilitesini sağlamak üzere daha iri malzemedен oluşan yan destek dolgulardır.

Şekil 4.a ve 4.b’de gösterilen homojen toprak dolgu en kesitler daha küçük ve az önemde olan barajlar için veya seddeler için kullanılır.



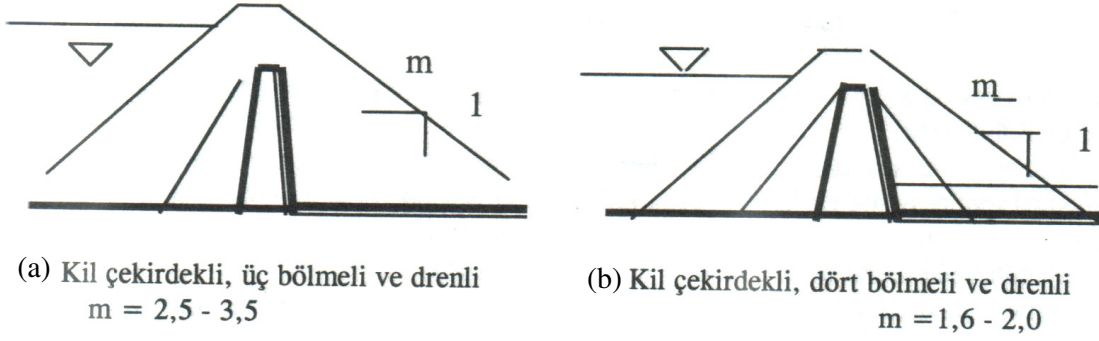
Şekil 4. Homojen toprak dolgu baraj türü

Merkez çekirdekli dolgu baraj kesitleri Şekil 5.a ve 5.b’de gösterilmiştir. Bu tür daha büyük barajlarda en yaygın kullanılanıdır.



Şekil 5. Merkez çekirdekli dolgu baraj kesitleri

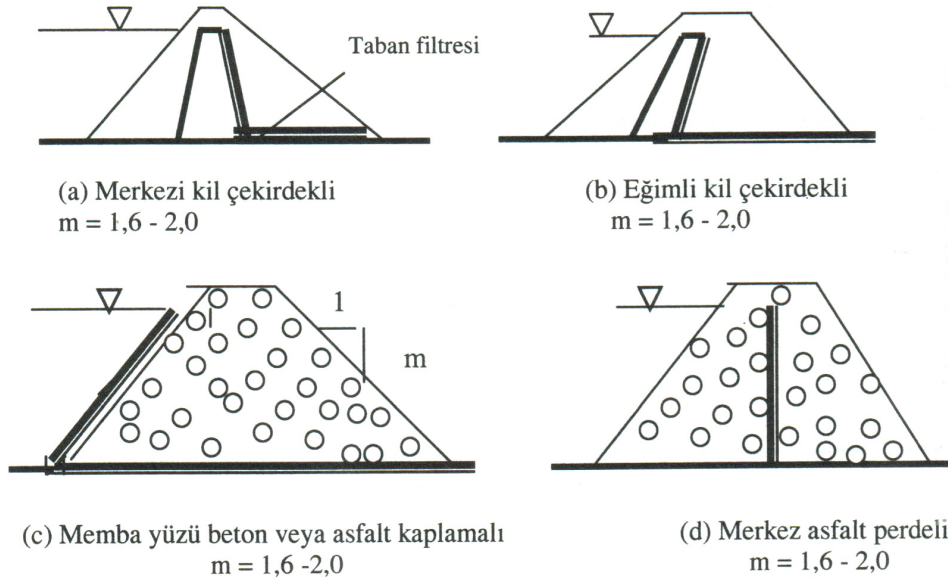
1950’lerden sonra, Şekil 6.a ve 6.b’de gösterilen sıkıştırılmış kalın geniş kil çekirdekli en kesitlere geçilmiştir. Geniş çekirdekler geçiş dönemi, zemin mekaniği teorisindeki gelişmelerin olduğu ve yüksek kapasiteli toprak nakletme ve sıkıştırma makinelerinin ortaya çıktığı zamana rastlar. Günümüzde çekirdeğin taban genişliği, dolgu yüksekliğinin %20-40’ı kadar alınmaktadır.



Şekil 6. Sıkıştırılmış kalın geniş kil çekirdekli en kesitler

### 7.10.2 Kaya dolgu barajlar

Kaya dolgu barajlarda, dolgunun %50'den fazlası kaya türü malzemedir. Bunlarda geçirimsizliği sağlamak için sıkıştırılmış kil, beton veya asfalt türü malzeme de kullanılır. Yaygın kullanılan kaya dolgu baraj türleri ve bunların şev eğimi değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kaya dolgu barajlarda belli başlı türler

Merkez çekirdekli ve eğimli çekirdekli kaya dolgu baraj en kesitleri Şekil 7.a ve 7.b'de gösterilmiştir.

Şekil 7.c'de gösterilen memba kaplamalı kaya dolgu baraj beton veya asfalt kaplı olabilir. Merkez çekirdekli yapmak için uygun toprak yoksa veya ekonomik değilse,

günümüzde yaygın kullanılan 0.15-0.30 m kalınlığında ince asfalt kaplamalı enkesit seçilebilir. Bir asfalt kaplama, yıkılmaksızın büyük miktarlardaki deformasyonlara dayanabilir.

Kalınlığı 0.6-1.0 m olan kalın asfalt kaplamalar da Şekil 7.d'de görüldüğü gibi, merkez çekirdekli baraj, daha seyrek rastlanan bir tür olarak kullanılmaktadır. Belli bir baraj yeri için en uygun dolgu en kesit türünün seçimi, esas olarak yeterli miktarda farklı dolgu malzemelerinin özelliklerine ve sağlanabilmelerine bağlıdır.

Kaya dolgu barajın toprak dolgu baraja göre üstünlükleri:

1. Kış mevsiminde de kaya dolgunun serilmesi mümkündür.
2. Kaya dolgu ile beton enjeksiyonu aynı anda bir arada yapılabilir.
3. Kaya dolguda boşluk basıncı ve borulanma yoktur.
4. Derivasyon tesisleri pahalı olacaksa, büyük taşkınlar kaya dolgudan geçirilebilir.

Memba perdeli kaya dolgu barajlardan olan ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu barajlar, 1980'den beri çok yaygın kullanılmaktadır. Bu türün diğer türlerden üstünlükleri aşağıda verilmiştir:

1. Her amaç ve yükseklikteki baraj için uygulanabilir.
2. Memba ve mansap şevleri 1:1.3 ile 1:1.5 arasında seçilebilir. Şevlerin daha dik olmasından dolayı taban kalınlığı daha azdır ve daha az dolgu malzemesi gerekir. Diğer yapı boyutları da taban kalınlığına bağlı olarak azalır.
3. Sıkıştırma donanımına ihtiyaç yoktur.
4. Ön yüz betonarme perde ile kaplı olduğu için sızma ve kaçak problemi yoktur.
5. Tepe oturması olmadığı için hava payı azdır. Ayrıca gövde üzerinde dolu savak yapılabilir.
6. Boşluk suyu basıncı yoktur.
7. Deprem tehlikesine karşı daha dayanıklıdır.
8. İnşaat daha kısa zamanda tamamlanabilir.
9. Yüksek mukavemetli temel gerekli değildir.
10. Bütün bunların sonucu olarak maliyeti, daha düşüktür.

### 7.10.3 Dolgu barajların üstünlükleri

Dolgu barajlar diğer baraj türlerine göre giderek üstünlük sağlamaktadırlar. Bu üstünlüklerinden dolayı yapılmış ve yapılacak barajların büyük bir kısmı bu türde seçilmektedir. Dolgu barajların üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

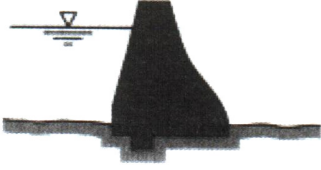
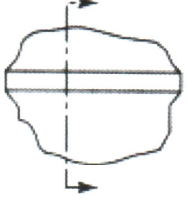
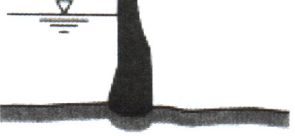
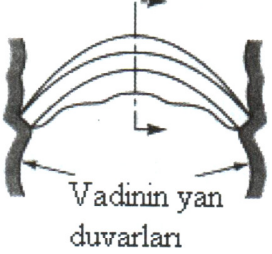
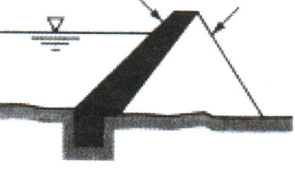
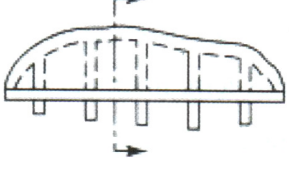

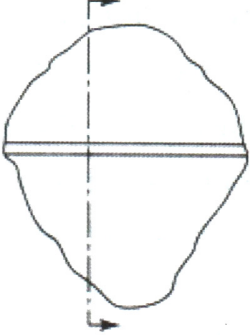
1. Bunlar dar vadilerden geniş vadilere kadar her vadi şekli için uygundur.
2. Bunlar kayalardan yumuşak toprağa, sıkışabilenden sıkışmayana, geçirimliden geçirimsiz kadar her türlü temel şartlarında uygulanabilirler.
3. Bunlarda tabiattaki malzemeler kullanıldığından dışarıdan getirilecek veya taşınacak işlenmiş malzeme veya çimento miktarları en aza inmektedir.
4. Gerek toprak ve gerekse kaya dolgu olarak çeşitli dolgu malzemeleri için uygulanabilen tasarım kriterleri çok esneklerdir.
5. İnşaat işlemlerinin önemli bir kısmı makinelerle yürütülmekte ve makineler gün geçtikçe gelişmektedir.
6. Makineleşmenin artması ve makinelerin gelişmesi sonucu olarak, barajlardaki toprak dolgu veya kaya dolgunun birim maliyeti, kütle betonunkine göre daha yavaş artmaktadır.

Dolgu barajların bu üstünlüklerinin yanı sıra dezavantajları da vardır. Bunlar:

1. Üzerlerinden su aşarsa, hasar oluşma ve yıkılma tehlikeleri daha büyüktür. Bunun için taşkınlar dikkatli tahmin edilip gövdeden ayrı bir dolu savak planlanmalıdır.
2. Bunların baraj gövdesinde ve temelinde sızma ve iç erozyon (aşınma) tehlikesinin diğer baraj türlerinden daha fazla olmasıdır (Ağırlioğlu, 2004).

### 7.11 Beton Barajlar

Beton baraj gövdeleri, gevşek zemin ve ayrılmış kaya kazılıp alındıktan sonra, yeterli taşıma gücüne sahip sağlam kaya zemin üzerinde inşa edilirler. Beton barajların en önemli avantajı, dolusavak, dip savak vs. gibi diğer yapıların gövde üzerinde yer alabilmesidir. Aks yerindeki mevcut şartlara göre beton ağırlık veya beton kemer tipinde bir gövde seçilebilir.

Çeşidi	Yapı malzemesi	Tipik kesit	Plan
AĞIRLIK	Beton		
KEMER	Beton		
PAYANDALI	Beton		
DOLGU	Toprak ve kaya		

Şekil 8. Baraj tipleri

### 7.11.1 Beton ağırlık barajlar

Beton ağırlık baraj gövdeleri, başta baraj gölünden kaynaklanan su yükünü ve diğer çeşitli ikincil yükleri kendi ağırlığı ile karşılayarak temele aktaran yapılardır. İstinat duvarı gibi çalışan bu yapılar, dolu gövdeli veya boşluklu bloklardan veya araları kapatılmış payandalardan oluşur.

***Dolu gövdeli ağırlık barajlar:*** Bu tipteki barajlar gövdenin büyüklüğüne uygun olarak boyutlandırılmış 10 ile 20 metre genişliğinde trapez kesitli beton blokların yan yana getirilmesi sureti ile projelendirilirler. Gövde genel olarak doğrusal bir aks üzerine oturur, fakat estetik yönden veya özel bir amaçla aks kemer formunda da yapılabilir. Blok genişlikleri 20 m'yi geçmemelidir, zira bu genişlik aşıldığı zaman termal çatlakların ortaya çıkması mümkündür. Gövde yüzleri bazı amaçlarla değişken eğimli olarak da düzenlenebilir.

***Payandalı ve boşluklu beton gövdeler:*** Bu tip gövdeler, beton ağırlık barajlarının özel şekli olup, hemen hemen aynı statik prensiplere göre çalışır. Yan yana sıralanmış payandaların memba yüzleri genişletilmek sureti ile veya araları plak, kemer vs. gibi elemanlarla kapatılarak süreklilik sağlanmıştır. Dolu gövdeli ağırlık baraj gövdelerine kıyasla daha geniş vadilerde ekonomik olabilirlerse de yükseklikleri sınırlıdır. Genellikle 150 m'ye kadar olan yüksekliklerde yapılırlar. Beton malzeme kullanımı az, fakat kalıp ve işçilik maliyeti fazladır.

### **7.11.2 Beton ağırlık barajların hesap esasları**

Genellikle bir dik üçgene benzeyen ve su basıncını kendi ağırlığı ile karşılayan barajlardır. Ağırlık barajlarında etki eden en önemli dış kuvvet haznedeki hidrostatik su basıncıdır. Bu nedenle hidrostatik basınç dağılımını iyi karşılayabilmesi için, tabana doğru genişleyen üçgen kesit seçilir. Çok büyük ağırlıklarına rağmen emniyet faktörleri küçüktür. Memba yüzleri dik veya dike yakın düzenlenirler. Planda kesit şekillerinde deneyimler sonucu geliştirilen formlarda değişmeler yapılmıştır. Genelde planda doğrusal, nadiren de kavisli olarak yapılırlar. Sağlam ve geçirimsizliği sağlanabilecek yeterli kalınlıkta kaya temellerin uygun bir derinlikte bulunduğu orta genişlikteki vadilerde, yeterli miktarda ve istenen özellikte agrega malzemesinin bulunduğu ve çimento naklinin ekonomik olduğu yerlerde, büyük taşkın debilerinin baraj gövdesi üzerinden mansaba aktarılması gerektiği durumlarda, baraj üzerinden bir ulaşım yolu geçirilmesi söz konusu olduğunda, diğer beton baraj tiplerine göre don etkilerine karşı daha az hassas olduğundan, diğer baraj tiplerine göre savaşı ve sabotaja karşı daha güvenli olduğu kabul edilmesi durumunda tercih edilir. Uygun temel şartlarında, projesi yerel şartlara uygun ve inşaatı iyi yapılmış bir beton ağırlık barajı bakım ve işletme masrafları az olan kararlı bir yapıdır.



Ağırlık barajlarının planda yerleştirilmeleri hiçbir statik şarta bağlı olmadığından, baraj eksenini iki yamaç arasında en kısa bağlantıyı sağlayacak şekilde doğru bir çizgi şeklinde planlanır.

Memba yüzeyi düşey veya en fazla %10 eğim verilerek yapılabilir. Memba yüzeyinin eğimli yapılmasının sebebi, baraj boş haldeyken çekme gerilmelerini önlemek, dolu haldeyken kayma ve devrilme emniyetini artırmaktır. Beton ağırlık barajı hesapları için kullanılan üçgen kesitin minimum boyutları barajın kendi ağırlığı, hidrostatik su basıncı ve taban su basıncının etki ettiği normal yükleme durumunda çekme gerilmeleri meydana gelmeyecek şekilde belirlenir. Ağırlık barajların projelendirilmesinde,

- Barajda çekme gerilmeleri meydana gelmemeli
- Barajın hiçbir yerinde beton emniyet gerilmeleri aşılmamalı
- Zemin emniyet gerilmeleri aşılmamalıdır.

Birinci koşula göre baraj kesit boyutları belirlenerek, bu kesitin diğer denge şartlarını sağlayıp sağlamadığı araştırılır. Boyutlandırma, haznenin dolu ve boş olması halinde normal ve özel yükleme durumları için ayrı ayrı yapılır.

Birinci koşulun sağlanması için etki eden kuvvetlerin bileşkesinin çekirdek bölgesi içinde kalması gerekir. Bunun için, tabanın mansap tarafındaki  $1/3b$  noktasına göre momentler yazılarak sıfıra eşitlenirse, mansap yüzeyinin eğimi için,

$$\tan \alpha = \frac{b}{H} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_b}{\gamma} - m}} \quad (7.9)$$

bulunur. Burada,  $b$  barajın taban genişliği,  $H$  barajın yüksekliği,  $\alpha$  üçgenin tepe açısı,  $\gamma$  ve  $\gamma_b$  suyun ve betonun özgül ağırlıkları,  $m$  ise taban su basıncı küçültme faktörüdür ( $m = 0.5-0.7$ ). Genellikle  $\tan \alpha = 0.65-0.80$  arasında bulunur.

### **Devrilme emniyeti**

Çekme gerilmeleri meydana gelmemesi barajın devrilmeye karşı emniyetli olduğunu gösterir. Fakat hesaplanması gerekirse devirmeye karşı koyan momentlerin devirmeye çalışan momentlere oranı için şu koşul sağlanmalıdır.

$$\eta = \frac{M_{\text{koruyucu}}}{M_{\text{devirici}}} \geq 2-3 \quad (7.10)$$

### Kayma emniyeti

$$f \geq \frac{\Sigma H}{\Sigma V} \quad (7.11)$$

eşitliği ile bulunur. Burada,  $\Sigma H$  toplam yatay kuvvetlerin bileşkesi,  $\Sigma V$  toplam düşey kuvvetlerin bileşkesi,  $f$  temel ile beton arasındaki sürtünme katsayısıdır ( $f = 0.30-0.80$ ).

### Barajın kesme mukavemeti

Kesme mukavemetinin sağlanması için,

$$\eta = \frac{(V - U)f + A\tau}{\Sigma H} \geq 5.0 \quad (7.12)$$

sağlanmalıdır. Burada,  $\Sigma H$  toplam yatay kuvvetlerin bileşkesi,  $\Sigma V$  toplam düşey kuvvetlerin bileşkesi,  $f$  temel ile beton arasındaki sürtünme katsayısı,  $A$  temel yüzey alanı,  $\tau$  betonun kesme gerilmesidir.

### Gerilme tahkikleri

Gövde ve temelde emniyet gerilmelerinin aşılmadığı gösterilmelidir. Baraj gövdesi bir tek parçalı (monolitik) yapı kabul edilerek, memba ve mansap yüzeylerindeki normal gerilmeler,

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{bd} \left( 1 \pm \frac{6e}{b} \right) \quad (7.13)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

### 7.11.3 Payandalı barajlar

Bu tip gövdeler, beton ağırlık barajların özel şekli olup, hemen hemen aynı statik prensiplere göre çalışır. Yan yana sıralanmış payandaların memba yüzleri genişletilmek sureti ile veya araları plak, kemer vs. gibi elemanlarla kapatılarak süreklilik sağlanmıştır. Payandalar gövdenin memba yüzünü kapatan beton kemer veya perdelerle mesnet görevi yaparlar. Dolu gövdeli ağırlık baraj gövdelerine kıyasla daha geniş ve yamaçları yatık vadilerde ekonomik olabilirlerse de yükseklikleri sınırlıdır. Genellikle 150m'ye kadar işçilik maliyeti fazladır. Barajın kayma emniyetini arttırmak için memba yüzeyi genellikle 1:1 eğimli olarak yapılır. Payandalı barajlar genellikle düz kretli olarak planlanır.

#### *Uygulama ve tercih sebepleri:*

- Beton ağırlık barajlara kıyasla betondan %30-%70 arasında tasarruf sağlar.
- Baraj yerinde yer yer taşıma gücü yetersiz zeminlerin bulunması
- Derivasyon inşaatı için daha elverişli koşulları sağlar.
- Eğik memba döşemesi üzerindeki suyun ağırlığı stabilize yönünden yararlıdır.
- Sadece payanda temelinde taban suyu basıncı oluşacağı için stabilizeyi artırıcı bir etkendir.
- Büyük taşkın debilerinin baraj üzerinden mansaba aktarılması uygundur.
- Beton ağırlık barajlarına karşı daha esnek oldukları için oturmalarından etkilenmezler.

***Payandalı barajların inşaatı için önemli bazı esaslar:*** Betonlar 3 - 3.5 m yükseklikte kısımlar halinde dökülür. Elemanların betonarme ve ince kesitli olması nedeniyle kalıpların yapılmasında, betonun hazırlanması ve dökümünde büyük özen gösterilmelidir. Sızmaların önlenmesi için bakır, özel plastik malzemeler kullanılır.

### 7.11.4 Kemer Barajlar

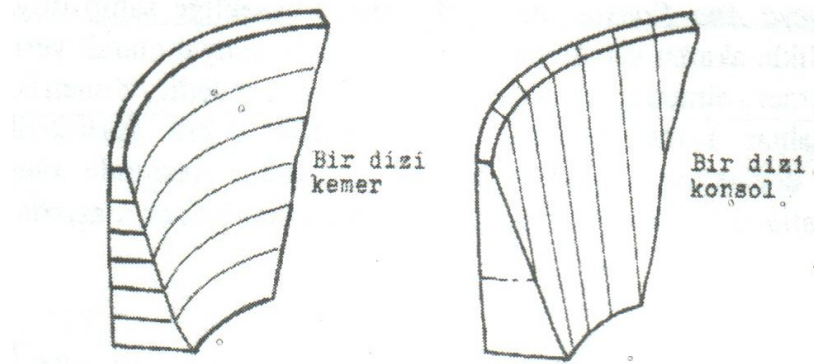
Kemer baraj, haznedeki su basıncı kuvvetini ve barajın kendi ağırlığını kemer etkisi ile büyük oranda vadideki yamaçlara aktarmak için planda kemer şeklinde yapılan baraj türüdür. Bu baraj türünde yükler ve dolayısıyla gerilmeler kesitlerin içinde çok iyi dağıldığı için kullanılan malzeme miktarı ağırlık barajinkine göre azalır ve böylece baraj maliyeti düşer. Ancak kemer baraj yapılabilmesi için vadinin oldukça dar, temel ve yamaçlarının taşıma gücünün yüksek olması gerekir. Bu baraj türleri önceleri taş duvar veya kesme taştan yapılırken, beton üretiminin başlamasından sonra genellikle beton olarak planlanmaktadırlar.

Kemer barajlarda taban kalınlığının baraj yüksekliğine oranı 0.20 ile 0.60 arasında değişmektedir. Bir kemer baraj, alternatif bir ağırlık baraj için gerekli olan beton malzemesinin yaklaşık %30'u kadarı ile yapılabilir. Kemer barajlar, ağırlık ve payandalı barajlara göre sadece daha ekonomik olmayıp, aynı zamanda daha da emniyetlidir.

Konunun daha kolay anlaşılması için önce kemer barajlar için kullanılan bazı terimler aşağıda açıklanmıştır.

*Kemer veya kemer dilimi:* Barajın planda iki yatay düzlem ile ayrılmış kısmıdır. Kemerlerin kalınlığı, üniform olarak projelendirilebildiği gibi referans düzleminin her iki yanında dereceli olarak artan şekilde de projelendirilebilir.

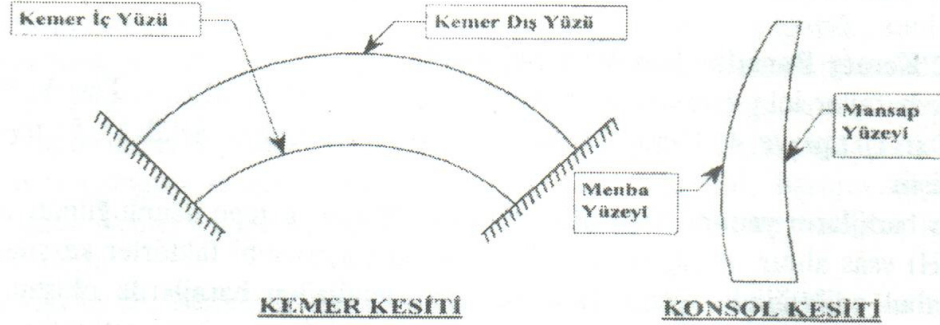
*Konsol veya konsol dilimi:* Barajın düşeyde iki radyal düzlem arasında kalan kısmıdır.



Şekil 9. Kemer ve konsol dilimleri

*Anahtar kemer veya ana kemer :* Genellikle bu, baraj tepesindeki kemerdir. Maksimum uzunluğa sahip kemer dilimini gösterir.

*Kemer iç ve dış yüzeyi:* Bir kemer barajın memba ve mansap yüzeyini ifade etmek için terminolojide en çok kullanılan terimler kemer iç ve dış yüzüdür. Kemer iç yüzü, kemer dilimlerinin mansap tarafını, kemer dış yüzü ise memba tarafını belirtir. Bu terimler sadece kemer dilimleri için geçerlidir. Konsol dilimlerinin yüzeylerini ifade etmek için ise, memba ve mansap yüzeyi terimleri kullanılır.



Şekil 10. Tipik birer kemer ve konsol kesiti

Sırt eğrisi: Bir kemerin memba taraf eğrisi

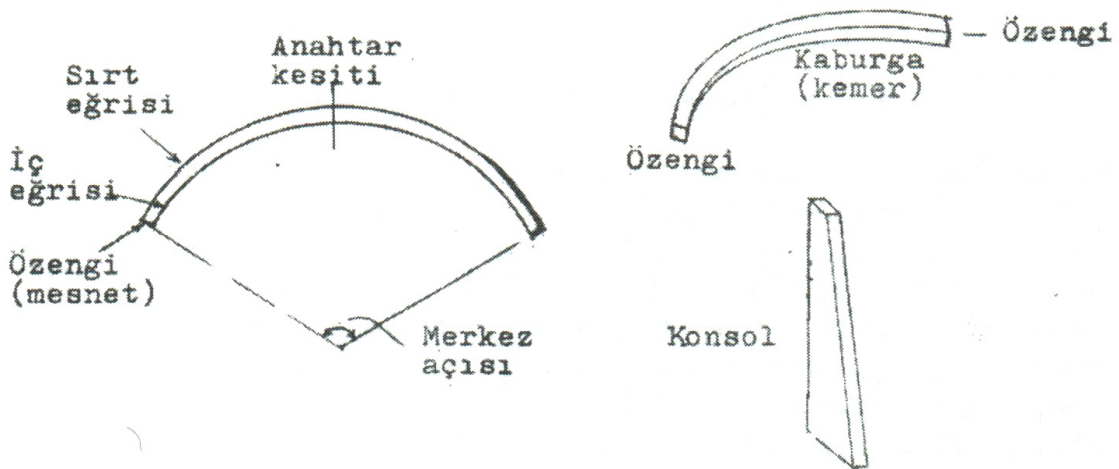
İç eğrisi: Bir kemerin mansap taraf eğrisi

Kemer kalınlığı: Sırt ve iç eğrisi arasındaki uzaklık

Özengi (mesnet): Kemer uçları veya kemer mesnetleri

Merkez açısı: Özengilerden iç veya sırt eğrilerine dik doğrular arasında kalan açı

Kaburga: İki yatay düzlem arasında kalan dilim (kemer dilimi)

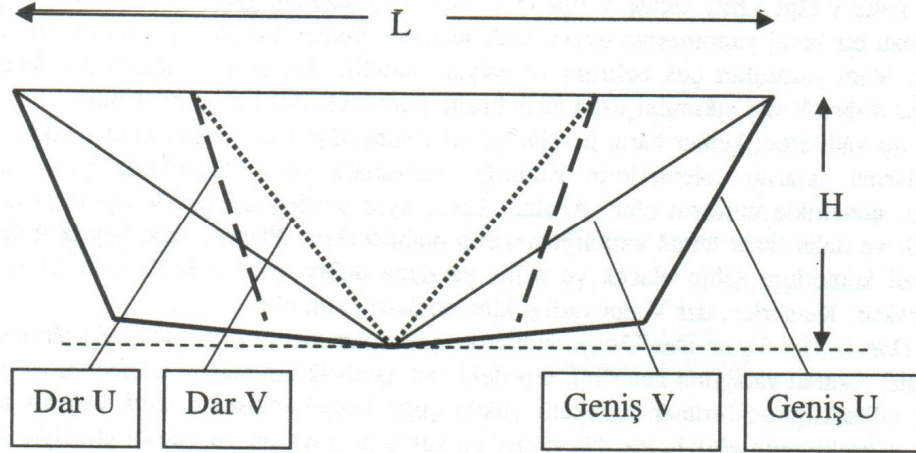


Şekil 11. Kemer barajda bazı terimlerin şeması

### 7.11.4.1 Kemer barajlar için vadi şekilleri

Kemer barajlar için vadi şekilleri dört ana grupta toplanabilir:

1. Dar V tipi
2. Geniş V tipi
3. Dar U tipi
4. Geniş U tipi



Şekil 12. Çeşitli vadi şekilleri

Kemer barajların yapımı düşünülen bütün vadilerde,  $L$  tepe uzunluğunun ,  $H$  yüksekliğine oranı ( $L/H$ ) esas alınır.

1. Dar V tipi vadi: Dar V tipi vadi, tepe uzunluğunun yüksekliğe oranı 2 veya daha az olan bir baraj yapılmasına uygun vadi şeklidir. Bu tipteki vadilerin yamaçları genellikle düzdür ve akarsu yatağına doğru birbirine yaklaşır. Bu vadi tipi, barajın üzerine gelen yükü büyük oranda kemer etkisi ile amaçlara aktardığından, kemer barajlar için birinci derece de tercih edilir.
2. Geniş V tipi vadi: Geniş V tipi vadi, tepe uzunluğunun yüksekliğe oranı 5 veya daha fazla olan bir baraj yapılmasına uygun vadi şeklidir. Kemer barajlar için bu oranın üst sınırı 10'dur. Vadi yamaçları çok belirgin ve dalgalı olabilir. Ancak kazı işleminden sonra nehir yatağına doğru V tipi çıkıntılar daha az belirgin, genellikle düz hale getirilebilir.

3. Dar U tipi vadi: Dar U tipi vadilerde, yamaçlar vadini üst yarısında hemen hemen düşeydir. Akarsu yatağının genişliği, tepedeki vadi genişliğinin hemen hemen yarısı kadardır.  $0.25 H$  yüksekliğinin üstünde hareketli yükün çoğu kemer etkisi ile kaya yamaca aktarılır. Kemerler, üst kısımlarda üniform kalınlıklı, ancak akarsu yatağına yakın kısımlarda değişken kalınlıklı olacaktır.
4. Geniş U tipi vadi: Geniş U tipi vadilerde, kemerlerin çoğu tepe uzunluğuna kıyasla uzun olduğundan bu tür bir kemer baraj tasarımı için oldukça az tercih edilir.  $0.25H$  yüksekliğinin altında, hareketli yükün çoğu konsol etkisi ile taşınır.

#### **7.11.4.2 Kemer barajların uygulama yerleri ve tercih sebepleri**

Kemer barajların uygulama yerleri ve tercih sebepleri için aşığıdaki maddeler sayılabilir:

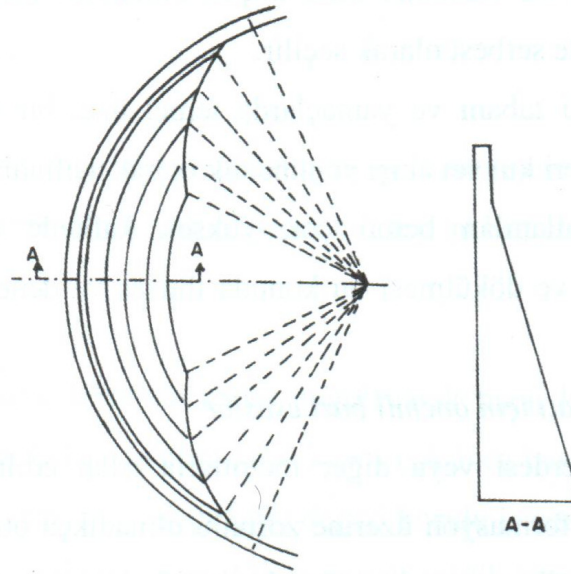
1. Baraj türleri içinde kemer barajlar kadar vadi şekline bağlı başka bir tip mevcut değildir. Vadi genişliğinin vadi yüksekliğine oranı  $L/H < 6$  olan baraj yerlerinde uygun bir baraj tipidir. Bugüne kadar yapılan kemer barajların %80'inde bu oran 4'ten daha küçüktür.
2. Kemer barajları tip olarak seçilebilmesi için vadi tabanı ve vadi yamaçlarındaki kayanın sağlam ve taşıma gücünün yüksek olması gerekir. Aynı zamanda temel kayada kemer kuvvetlerin akış yönüne dik yönde büyük çatlaklar, faylar ve tabakalaşma bulunmaması gerekir.
3. Diğer beton baraj tiplerine göre beton hacminde büyük tasarruf sağlanır.
4. Baraj kesiti ince olduğu için baraj duvarları daha esnektir ve aşırı yüklemelere karşı hassasiyet azalır ve daha büyük emniyet gerilmelerine izin verilir.
5. Betonun emniyet gerilmeleri sonuna kadar kullanılabilir.
6. Kemer barajlarda duvar kalınlığı ince seçildiği oranda esneklik artar ve kemer etkisi ön plana çıkar. Bu sebeple yüklerin kemer etkisi ile en iyi şekilde taşınması için mümkün olduğu kadar küçük eğrilik yarıçapı ve büyük merkez açısı ile planlamaları gerekir. Vadi yamaçlarında bağlantı en az  $45^0$  olmalıdır (Ağıralioğlu, 2005).

### 7.11.4.3 Kemer barajların tipleri

Kemer barajların sınıflandırılmasında en önemli kriteri kemerde kullanılan dönел cismnin şekli oluşturur. Buna göre kemer barajlar 3 tip olarak verilebilir.

#### 7.11.4.3.1 Sabit merkezli (yarıçaplı) kemer barajlar

En basit kemer baraj tipidir. Memba yüzü düşey silindirik olup, mansap yüzü konik biçimlidir. Sırt ve iç eğrilerinin merkezleri aynı olduğu için, sabit merkezli veya bütün bütün yatay kesitlerde sırt eğrilerinin yarıçapları aynı olduğu için sabit yarıçaplı olarak adlandırılırlar. Yarıçapları eşit olduğu için merkez açıları değişir. Bir kemer barajın hacmi kemer kalınlığına, uzunluğuna ve merkez açısına bağlıdır. Hacmin minimum olması için merkez açısı  $2\alpha \leq 133^\circ$  olmalıdır. Topoğrafik koşullar gibi faktörler bu optimum değerin kullanılmasını zorlaştırır. Bu nedenle genellikle  $110^\circ < 2\alpha < 140^\circ$  değer aralığı kullanılır. Bu tip kemer barajlar dik yamaçlı U şekilli vadilerde orta yükseklikte barajlar için uygulanırlar. Aşağı doğru vadi daralması sebebiyle kemer tesiri azalacağından V şeklindeki vadilerde uygun değildirler.

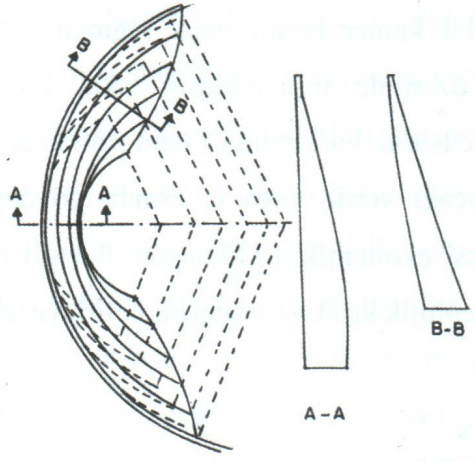


Şekil 13. Sabit merkezli kemer baraj



### 7.11.4.3.2 Sabit merkezli açılı kemer barajlar

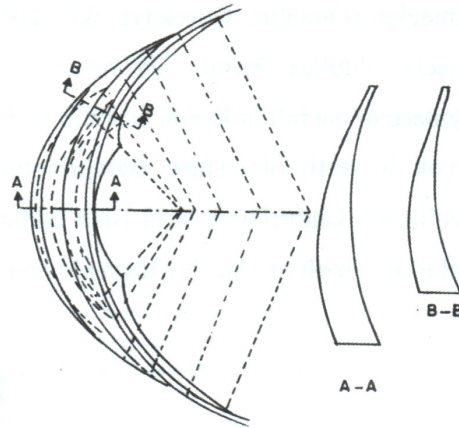
Bütün kemer yaylarında merkez açısı sabit olup, merkezleri ve yarıçapları değişkendir. Tabana doğru yarıçapları küçülür. Bu nedenle alt kısmında kemer tesiri daha iyi oluşur. Sabit merkezli barajlara göre daha ince yapılabilirler. V şekilli ve üçgen tipli veya parabol şekilli yüksek vadilerde uygulanabilirler. Hacmin minimum olması için merkez açısı  $2\alpha \leq 133^\circ$  olmalıdır.



Şekil 14. Sabit merkez açılı kemer baraj

### 7.11.4.3.3 Değişken yarıçaplı ve değişken merkez açılı kemer barajlar

Hem merkez açısı hem de yarıçapı değişen kemer barajlardır. Her ikisinin avantajını da taşır. Memba ve mansap tarafları düşey doğrultuda kavslidir (Berkün, 2005).



Şekil 15. Değişken yarıçaplı ve değişken merkez açılı kemer barajlar

Kemer barajlar kalınlıklarına göre, ince kemer, orta kalınlıklı kemer ve kalın ağırlık kemer olarak da sınıflandırılabilir. Tepe kalınlığının ( $T_C$ ) ve taban kalınlığının ( $T_B$ )yüksekliğe oranı ile tanımlanan bu tipler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kalınlıklarına göre kemer baraj tipleri

Kemer Baraj Tipi	$T_C / H$	$T_B / H$	$T_B / T_C$
İnce kemer	0.025-0.05	0.09-0.25	2.9-5
Orta kalınlıklı kemer	0.025-0.05	0.25-0.4	5-10
Kalın ağırlık kemer	0.05-0.1	0.5-1	8-15

#### 7.11.4.4 Kemer baraj inşaatı

Kemer barajların inşaatı sırasında dikkat edilmesi gereken bir takım önemli hususlar bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir.

1. Temeller sağlam kayaya kadar kazılmalıdır. Özengilerde temel yüzeylerinin normal kuvvete dik olması sağlanmalıdır.
2. Beton dökümü azami 15\*15 m’lik bloklar halinde yapılmalı ve bir blok tam soğumadan yanlarına ve üstüne bloklar dökülmemelidir. Blok betonları dökülürken şaşırtmalı olarak dökülmelidir. Blok yüksekliği aşağı kısımlarda 1,5 m tutulmalı, yukarı kısımlarda ise arttırılmalıdır. İnce kısımlarda bile blok yüksekliğinin 3m’den fazla olmaması gerekir.
3. Üst üste gelen bloklar arasında iyi bir aderans sağlamak için alttaki blok üst yüzeyi iyi temizlenmeli ve üstteki blok dökülmeden bol şerbetli harç serilmelidir.
4. Kalınlığı az olduğu için kemer barajda sızmalara ve hava şartlarının yıpratıcı etkisine meydan vermemek için beton kalitesine ve döküm işçiliğine dikkat edilmelidir.
5. Düşey derzlerde geçme yapılmalı ve su tutucular kullanılmalıdır. Bütün çatlak ve derzler enjeksiyonla tıkanmalı ve yapının tek parça olarak çalışması sağlanmalıdır.

### 7.11.4.5 Türkiye’de Kemer Barajlar

Türkiye’de 2005 yılına kadar tamamlanan büyük barajların %75’i toprak dolgu ve %17’si kaya dolgu tipindeki barajlardır. Sadece %2’si kemer baraj türündedir. Bu oranlar karşılaştırıldığında kemer barajların sayısının oldukça az olduğu görülür. Türkiye’de 2005 yılında inşaatı devam eden barajlar ile birlikte toplam 8 adet kemer baraj bulunmaktadır. Bu barajların içinde Deriner Barajı gövde yüksekliği açısından dünyada sayılı yüksek barajlar içine girmektedir.

Ülkemizde bulunan beton kemer barajlar, gövde yüksekliklerine göre Tablo 2’de sıralanmıştır (Ağırlioğlu, 2005).

Tablo 2. Türkiye’de kemer barajların gövde yüksekliğine göre sıralanışı

Sıra no	Baraj Adı	Gövde yüksekliği, m
1	Deriner Barajı	253
2	Ermenek Barajı	230
3	Berke Barajı	201
4	Oymapınar Barajı	185
5	Karakaya Barajı	173
6	Gökçekaya Barajı	153
7	Sır Barajı	116
8	Gezende Barajı	75

### 7.11.5 Silindirle Sıkıştırma Beton Barajlar

Son yıllarda barajlar çeşitli teknolojilerle yapılmaktadır. Bunun için dünyadaki tüm baraj teknolojileri yakından izlenmelidir. Baraj yapım teknolojilerinden biri de silindirle sıkıştırma beton (SSB) (roller compacted concrete dams (RCCD) = serme beton baraj)baraj metodudur. Bu yolla hem en az normal beton barajlarınkı kadar sağlamlık elde edilebilir, hem de maliyet çok büyük oranlarda düşebilir. Bugün sadece gelişmekte olan ülkelerde değil, gelişmiş ülkelerde de maliyeti en aza indirmek için bu metot hızla yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda ABD ve İngiltere’de birçok baraj, Japonya’da ve Çin’deki beton barajların çoğu bu şekilde yapılmış ve yapılmaktadır.

Silindirle sıkıştırma beton barajlar (SSB) oldukça düşük oranda karışım suyu ve çimento içeren özel bir beton türünün, tabakalar halinde yerine serilerek sıkıştırılması sureti

ile inşa edilen yapılardır. Bu betondaki karışımda çimento içeriği klasik betonunkinden az olmakla birlikte, karışım benzer malzemelerden oluşur. Bu karışıma çimentodan başka uçucu kül gibi ek bağlayıcı maddeler de katılabilir. Bu karışım genellikle titreşimli silindirlerle sıkıştırıldığı için oluşturulan betona bu ad verilmiştir. Bu betonda çimento içeriği 60 ile 360 kg/m<sup>3</sup> arasında değişir.

Son yıllarda silindirle sıkıştırma beton, baraj gövdelerinde, batardolarda ve diğer baraj kısımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür barajlarda kullanılan en büyük çakıl çapı 150 mm'dir. SSB barajların iki yüzü de diğer türlere göre daha dik şevli yapılabilir. Böylece bu tür barajlarda daha az malzeme gerekli olur. Bundan başka bu tür barajlar daha hızlı yapılabildikleri için daha erken hizmete girerler. Böylece bir dolgu baraja göre toplam maliyette önemli bir azalma sağlanır.

2004 yılı başına göre dünyada yapılan ve inşaatı devam eden 300'den fazla SSB barajı vardır. 43 farklı ülkede planlanan bu barajlarda ayda ortalama 100000m<sup>3</sup> beton dökülmüş ve bu değer bazı barajlarda 200000m<sup>3</sup>/ay miktarı aşmıştır. Böylece barajların yapımı çok hızlı tamamlanabilmiştir.

SSB baraj çeşitliliği, kullanılan malzeme oranlarının farklılığına veya inşaat metodunun farklılığına dayanır. SSB karışımları genelde 0.3 ile 0.6 m arasındaki kalınlıkta katmanlar halinde serilir ve sıkıştırılır. Üzerlerinde yapılan araştırma ve geliştirmeler devam etmekle birlikte, SSB baraj türleri genelde üçe ayrılabilir.

1. Düşük bağlayıcı baraj
2. Yüksek bağlayıcı baraj
3. Silindirle sıkıştırma baraj (Japon metodu)

## DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ GELİŞMELER

Silindirle sıkıştırma beton kavramı II. Dünya Savaşı öncesinde ortaya atılmıştır. O zamanlar ilk defa havaalanları ve otoyolların temel altlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamaya benzer nitelikte ilk çalışma 1964'te İtalya'da bir barajda yapılmıştır. Bundan sonraki yıllar boyunca çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş ve SSB'un barajlarda kullanımı yaygınlaşmıştır. Tamamen silindirle sıkıştırma beton kullanılarak yapılan ilk baraj 1982'de başlanan ABD'nin Oregon Eyaleti'ndeki Willow Creek Barajıdır.

1995'te Çin'de Longtan Hidroelektrik Projesi kapsamında 216.5 m'lik dünyanın en yüksek SSB ağırlık barajının inşaatına başlandı. Bu barajın biriktirme kapasitesi  $27,27.10^9 m^3$ 'tür.

Silindirle sıkıştırma beton baraj metodu dünyada yıldan yıla çok büyük hızla yaygınlaşmaktadır. Bunun en önemli sebepleri: yapı boyutlarının küçültülmesi dolayısıyla malzeme ve işçiliğin azaltılması, düşük çimento miktarı kullanılması, klasik dolgu ekipmanlarıyla yapılabilme imkanı, kısıtlı süreli işlerin çabuk bitirilebilme imkanı ve çok ekonomik bir çözüm oluşturulmasıdır.

Ülkemizde baraj yapılarında SSB kullanımı çok geç başlamamakla beraber bütünüyle SSB olarak yapılan baraj sayısı çok azdır. Genelde batardo yapımında veya tamir işlerinde kullanılmaktadır. Karakaya, Kürtün ve Sır barajlarının memba batardolarında SSB kullanılmıştır.

Silindirle sıkıştırma beton barajın başlıca üstünlüleri şunlardır:

1. Zamandan en az %30 tasarruf edilmiş olur. Bu süre azalması barajın inşaat masraflarını azaltır.
2. En azından normal beton baraj kadar sağlamlık elde edilir.
3. Toprak dolgu baraj yapım hızında SS beton baraj yapılır.
4. Toprak dolgu baraj yapımı kolaylığında SSB baraj yapılır. Klasik kütle beton barajlarını oluşturan kütle betonlar kalıp dökülerek yapılır. SSB'da ise yatay tabakalar halinde yerleştirme ve sıkıştırma işlemi yapılır. Bu türde, klasik dolgu baraj ekipmanı (donanım) kullanabilme imkanı vardır.
5. %30 - 40 mertebesinde ekonomik fayda sağlanır.
6. Kütle betona göre düşük oranda çimento kullanılabilir ve daha fazla puzolan katılabilir (Ağırlioğlu, 2005).

## 7.12 Baraj Haznesi Hacminin Bulunması

### 7.12.1 Hacim-Yüzey Grafiği

Baraj yerinin haritası üzerinde yapılan çalışmalar ile elde edilir. Hazne üzerinde eş yükseklik eğrilerinin çevrelediği alanlar ölçülür. Bir eksen takımında apsiste alan, ordinatta yükseklik gösterilerek alan yükseklik eğrisi elde edilir. Hacim ise alan eğrilerinden faydalanarak,

$$V = \left( \frac{A_{i+1} + A_i}{2} \right) h_i \quad (7.14)$$

eşitliğinden hesaplanır.  $H_i$ , iki alan arasındaki yükseklik farkıdır. Bulunan  $V_i + V_{i-1}$ ,  $h_i$  değeri ile ilişki haline getirilirse hacim eğrisi elde edilmiş olur. Bu iki eğri hacim alan grafiğini oluşturur. Hacim eğrisinden belli yükseklikteki barajın depolayacağı hangi su hacmi veya belli bir depolama hacmini elde edebilmek için barajın yapılması gerekli yüksekliği bulunabilir.

### 7.12.2 Aktif Depolama Hacminin Tayini

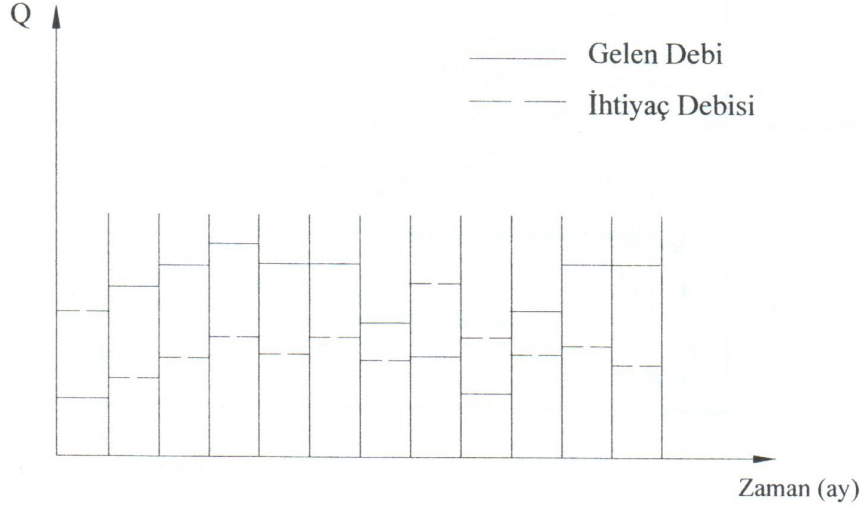
Akarsuyun akım değerleri ve ihtiyaç debileri bir arada değerlendirilerek haznenin aktif hacmi belirlenir. Bu çalışmalar, akarsudaki akım debisi, değişimi ile ilgili yıllık akım verileri kullanılarak genellikle grafik veya tablolarla yapılır. Hazne hacmi su gereksinimlerine göre belirleneceği için, suyun çeşitli kullanım şekillerine göre (sulama, enerji, balıkçılık, su temini vb) veya bunların birleşik şekillerine cevap verebilecek şekilde planlama yapılır.

Aktif hacmin belirlenmesi de genellikle iki yöntem kullanılır. Bunlar,

1. Debi gidiş çizgisi
2. Toplam hacim eğrisidir.

### 7.12.2.1 Debi gidiş çizgisi metodu

Akarsuyun getirdiği su miktarı ile ihtiyaçların aylık değerleri kullanılarak debi gidiş çizgileri (Şekil 16) çizilerek birbiriyle karşılaştırılır. İhtiyaç çizgisinin üstünde kalanlar ihtiyaktan fazla olan hacimleri gösterir. İhtiyaç çizgisinin altında kalanlar ise ihtiyaktan eksik olan hacimleri gösterir. Fazla (F) ve eksik hacimler (V) incelenerek hazne hacmi belirlenir.



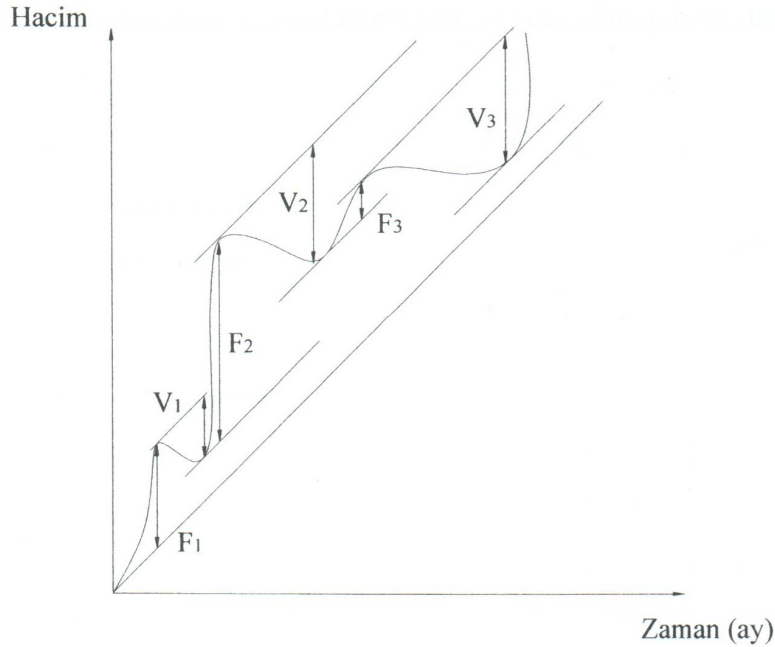
Şekil 16. Debi gidiş çizgisi ile aktif hacim tayini

- **Fazla hacimlerin toplamı, eksik hacimlerin toplamından büyük ise ( $\Sigma F > \Sigma V$ )**  
V'lerin en büyüğü, hazne hacmi seçilir. Bu durumda belli bir miktar suyun kullanılmadan savaklanması söz konusudur.
- **Fazla hacimlerin toplamı, eksik hacimlerin toplamından eşit ise ( $\Sigma F = \Sigma V$ )**  
Gelen bütün suyun kullanılması söz konusudur. Tam dengeleme denilen bu durumda arka arkaya gelen fazla ve eksik hacimlerin en büyüğü hazne hacmi seçilerek kontrol yapılır.
- **Fazla hacimlerin toplamı, eksik hacimlerin toplamından az ise ( $\Sigma F < \Sigma V$ )**  
İhtiyacı karşılayacak yeterli su yok demektir. Bu durumda fazla hacimlerin en büyüğü hazne hacmi seçilerek gelen sudan olabildiğince faydalanmaya çalışılır.

### 7.12.2.2 Toplam Hacim Eğrisi Metodu (Grafik Metot)

Bu yöntemde akarsudan gelen su hacimleri belli bir tarih başlangıç alınarak aylık değerler şeklinde toplanır. Yatayda zaman, düşeyde toplanmış hacimler alınarak üzerine toplam hacim eğrisi çizilir. Bu eğrinin herhangi bir noktasındaki teğetinin eğimi o andaki akarsu debisini verir. İhtiyaç hacimleri de toplanarak aynı grafik üzerinde gösterilir (Şekil 17).

Gelen su debi toplam hacim eğrisine, ihtiyaç çizgisine paralel olacak şekilde teğetler çizilir. Bu teğetlerin değme noktaları, gelen ve ihtiyaç debilerinin eşit olduğu zamanları gösterir. Birbiri ardınca gelen teğetlerin arasında kalan yükseklik farkları fazlalık ve eksiklik hacimleridir. Her teğet noktasından sonra gelen debiler ihtiyaçtan az ise eksik hacim ortaya çıkar. Bu şekilde ihtiyaç fazlası ve eksikliği hacimler belirlenerek hazne hacmi belirlenir. İhtiyaç debisinin sabit olması halinde de aynı prensipler geçerlidir (Berkün, 2005).



Şekil 17. Gelen suyun toplam hacim eğrisi ile aktif hacim tayini



### 7.12.3 Ölü Hacmin Belirlenmesi

Bütün akarsularda az veya çok askı maddesi ve sürüntü maddesi şeklinde katı maddeler taşınır. Taşınan maddelerin bir kısmı baraj gölünde yığılarak baraj haznesinin giderek azalmasına sebep olur. Planlama ve tasarım sırasında baraj haznesinde onun ekonomik ömrü içinde yığılabilecek katı madde miktarının oluşturacağı ölü hacim belirlenir. Bu ölü hacmin belirlenmesi için taşınan ve yığılan katı maddelerin özgül ağırlığı, haznenin bulunduğu akarsu kesitine gelen katı madde miktarı, haznenin tuzaklama oranı ve haznenin ekonomik ömrü bilinmesi gerekir.

Haznede yığılan katı madde hacmi,  $V_k$

$$V_k = \alpha G A t \quad (7.15)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada,  $\alpha$  tuzaklama oranı,  $G$  bir yılda bir kilometre kare havzadan gelecek katı madde miktarı ( $m^3/km^2/yıl$ , katı madde verimi),  $A$  havza alanı ( $km^2$ ),  $t$  yıl olarak geçen süredir.

Genellikle  $G$  katı madde verimi  $ton/km^2/yıl$  cinsinden verilir. Bu değer havzadan havzaya  $20-1400 ton/km^2/yıl$  arasında değişir. Türkiye’de en yüksek katı madde oranı Yeşilirmak üzerindeki Kelkit Çayı’nda ve değeri  $692 ton/km^2/yıl$  olarak belirlenmiştir. En düşük değerli akarsular ise Sakarya’nın yukarı kesimi, Meriç, Tunca ve Ergene ile Asi nehirleridir ve bunlarda katı madde oranı  $20-35 ton/km^2/yıl$  arasındadır.  $G$ ’nin birimini hacme, yani  $m^3/km^2/yıl$ ’a çevirmek için haznede yığılan katı maddenin ortalama özgül ağırlığını bilmek gerekir.  $G$  değeri ölçümlerle veya diğer metotlarla belirlenmemişse,

$$G = 1421 A^{-0.229} \quad (7.16)$$

bağıntısından yaklaşık olarak bulunabilir. Burada  $G$   $m^3/km^2/yıl$  cinsinden katı madde oranı  $A$  ise  $km^2$  biriminde havza alanıdır (Ağırlioğlu, 2004).

## 7.13 Baraj Yardımcı Tesisleri

### 7.13.1 Dolu Savaklar

Baraj haznelerinden fazla suyu veya taşkın suyunu mansaba aktarmak için yapılan yapılara **SAVAK** adı verilir. Haznenin üst kısmından suyu aşağıya aktaran yapıya **DOLU SAVAK** veya **TAŞMA SAVAKI**, haznenin dip kısmından suyu savaklayan tesise ise **DİP SAVAK** denir.

Dolu savakların,

1. Suyun mansaba iletilmesini sağlamak,
2. Hazne su yüksekliğini kontrol etmek,
3. Haznede su birikimini düzenlemek

gibi önemli üç fonksiyonu vardır.

Dolu savakların esas amacı tasarım taşkın değerine kadar olan bütün taşkın miktarının boşaltılması için, akımın kontrol edilebilmesinde bir yöntem sağlamak ve hazneden çıkış noktasına kadar bir iletim sistemi oluşturmaktır.

Dolu savakların yeterli kapasiteye sahip olması, *toprak dolgu ve kaya dolgu* barajlar için büyük önem taşır. Çünkü bu tür barajların üzerlerinden su aşması halinde baraj hasar görmektedir. Öte yandan, *beton barajlar* belli bir miktar suyun üzerlerinden aşmasına dayanabilmektedir.

Dolu savak maliyetleri genellikle kapasiteleriyle doğru orantılı olmamaktadır. Dolu savakların büyük ve yeterli kapasitede yapılmaları, yetersiz ve az kapasiteli yapılmalarına göre daha az masraflı olabilir. Çünkü yıkılmalarına büyük zararlar meydana gelebilir.

Dolu savakların tasarımında kullanılacak tasarım taşkını dolu savak boyutlarına ve dolayısıyla maliyetine etki eder. Ayrıca beklenenden küçük taşkın debisi seçimi ise büyük hasarlara ve maddi zararlara sebep olabilir.

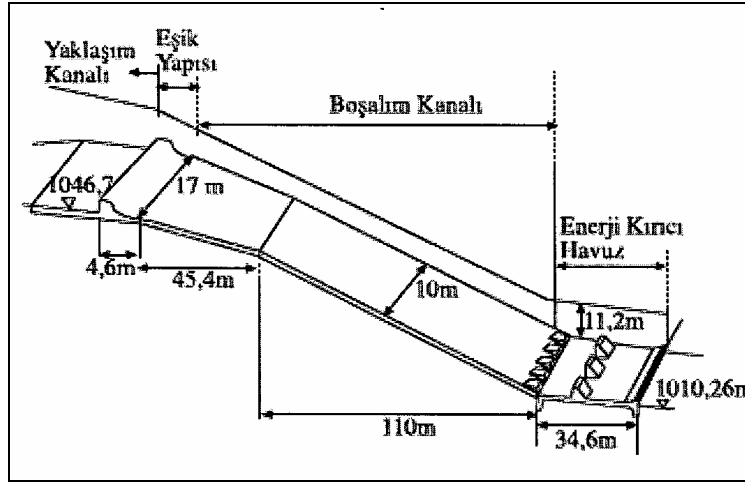
Dolu savakların taşkın debisine etki eden faktörler:

1. Baraj hazne hacmi: Hazne hacmi büyüdükçe, biriktirilen su miktarı ve dolayısıyla işin önemi artar. Çünkü büyük hacimli barajların maliyeti yüksek olacağı gibi, yıkılmaları halinde mansapta medyana gelecek zararlar da büyük olur. Bu bakımdan büyük barajlarda dolu savakların boyutlandırılmasında da büyük frekanslı taşkınların esas alınması gerekir.
2. Baraj mansabında tesislerin varlığı: Baraj gövdesinin yıkılması durumunda, baraj mansabında zarar görecektir şehir, kasaba veya köyler ile verimli araziler, karayolları, demiryolları ve sanayi kuruluşları bulunması baraj savağına verilecek debi kapasitesine etki eder.
3. Dolu savak maliyeti: Savak maliyeti, baraj maliyetine doğrudan eklenecekse, daha küçük frekanslı taşkın, eklenmeyecekse (savaktan kazılan malzeme dolguda kullanılırsa veya savak gövde üzerinde yapılırsa) daha büyük frekanslı taşkın debisi göz önüne alınır.

Türkiye’de dolu savak tasarım taşkın frekansı aşağıdaki üç duruma bağlı olarak seçilir:

1. Küçük hacimli baraj durumunda: Baraj biriktirme hacmi  $1.10^6 \text{ m}^3$ ’ten küçük ise mansaptaki yerleşim merkezleri ve arazi durumuna bağlı olarak taşkın frekansı 100 yıl veya 500 yıl alınır.
2. Büyük hacimli baraj ve can kaybı tehlikesi olmayan durumda: Baraj hazne hacmi  $1.10^6 \text{ m}^3$ ’ten büyük, fakat mansapta can kaybı tehlikesi yoksa korunacak arazi ve tesislerin durumuna bağlı olarak ve bunların baraj gövdesine uzaklığına göre 500 veya 1000 yıllık taşkın frekansı seçilir.
3. Büyük hacimli baraj ve can kaybı tehlikesi olan durumda: Baraj hazne hacmi  $1.10^6 \text{ m}^3$ ’ten büyük ve mansapta can kaybı tehlikesi varsa 10000 yıllık taşkın frekansı alınır. Bu durumda eğer yapılacak baraj toprak dolgu türünde ise frekans 15000 yıl, yani muhtemel maksimum taşkın frekansı hesaplamada esas alınır.

### 7.13.1.1 Dolu Savak Elemanları



Şekil 18. Tipik dolu savak kesiti ve elemanları

1. Yaklaşım Kanalı: Suyun savaklanmak üzere dolu savak eşğine yaklaşmasını sağlayan kanaldır. Bu kısmın ekseni genellikle dolu savak eşğine diktir. Yaklaşım kanalı genellikle kaplamasız yapılır ve kazı yüzeyleri sadece düzeltilir. Bu kanalda yaklaşım hızı 1-3 m/sn arasında planlanır. Daha yüksek hız, yük kayıplarının arttıracığı ve dolayısıyla yüzeylerde bazı aşınmalara yol açacağı için istenmez. Yaklaşım kanalında düzgün bir akım oluşması için planda keskin dönüşlerden, ani daralmalardan veya genişlemelerden kaçınmak gerekir. Ayrıca bu kanalda şev eğimleri de tedrici olarak değiştirilmelidir.
2. Giriş Kısmı: Kontrol kesiti veya eşik de denen bu kısım vasıtasıyla su haznedan boşalır. Bu kısım ya yamaçlar üzerinde yaklaşım kanalı içine veya baraj gövdesine ya da hazne ortasına yerleştirilir. Dolu savağın en önemli kısmı olan bu eşğin hidrolik bakımdan çok iyi tasarlanması gerekir. Bu kısmın yan duvarları genellikle düşey yapılır.
3. Dolu Savak Oluğu: Dolu savak eşğinden geçen suyu enerji kırıcılara ulaştıran bu olukta su giderek hızlanır ve tepedeki akımın mansabında akım sel rejimine dönüşür. Bu kanallarda bazı durumlarda hızlar 25-30 m/sn'ye kadar yükselir. Bu yüksek hızlara dayanabilmesi için genellikle 0,25 m kalınlığında beton kaplanır. Bu kaplama altına sızan suların kaldırma kuvvetini azaltmak için çakıl filtreler içine dren boruları yerleştirilir.
4. Enerji Kırıcılar: Dolu savak oluşundan geçerken iyice hızlanan suyun etrafa zarar vermemesi için enerjisinin mutlaka kırılması gerekir (Ağırlioğlu, 2007).

### 7.13.1.2. Baraj Tipine Bağlı olarak Dolu Savak Tipinin Belirlenmesi

Beton barajlar durumunda vadi genel olarak sağlam ve nispeten dardır. Bundan dolayı savağı yerleştirmek için yamaçlarda yer bulunmayabilir. Böyle hallerde savak baraj sırtına yerleştirilebilir (Porsuk Barajı). Topoğrafya bakımından savağı yerleştirecek bir yan vadi bulunabiliyorsa yapıyı buraya oturtmak mümkündür (Gökçekaya Barajı). Her iki halde de kullanılacak olan, Creager veya benzeri profilli bir dolu savak kullanılabilir.

Vadide dolu savağı oturtmak için sağlam bir temel bulunamıyorsa ve dolu savak baraj sırtında da yapılamıyorsa bu durumda kuyulu savaklar kullanılabilir (Alakır Barajı dolu savağı).

İnce kemer barajlarda savak genellikle kemerin üzerinde bulunur. Sırt eğrisi olarak Creager profilinin baş tarafı kullanılmaktadır. Su napı ile baraj gövdesi arasında kalan hava su tarafından sürüklendiği için savaklanma esnasında titreşimler ve sapmalar yer alabilir. Bunu önlemek için savak kapasitesine yerleştirilen mahmuzlarla nap yırtılarak bahsedilen bölgeye havanın girmesi sağlanır.

Toprak barajlarda gövdenin üzerine savak oturtulmaz. Çünkü savaklanma olayı sırasındaki titreşimler ve bundan dolayı oluşacak sızıntılar gövdeye zarar verebilir. Genel olarak savak yamaçlardan birine yerleştirilmek istenir. Bu durumda yan savak çözümüne gidilir ki, hidrolik bakımından pek iyi bir çözüm sayılmaz. Savak içine giren su  $90^0$  yön değiştirir. Hidrolikte yön değiştirme büyük türbülans yaratabilen bir olaydır (Berkün, 2007).

### 7.13.1.3. Serbest Akışlı Dolu Savakların Hidrolik Hesabı

Bir dolu savak genellikle belirli bir rezervuar su seviyesinde proje debisini geçirebilecek şekilde boyutlandırılır. Rezervuar seviyesi normal olarak maksimum operasyon seviyesidir. Yüksek yüklerde maksimum seviyeden daha yüksek seviyelerde kullanılabilir.

Savağın istenilen debiyi mansaba aktarması sırasında içinde bulunduğu hidrolik koşulların belirlenmesinden sonra, projelendirme esasları içinde yapı boyutlandırılır. Bu konular birbirinden bağımsız olmayıp birbirlerini tamamlarlar. Savak hidroliği esasta serbest yüzeyli akımlar hidroliği olup, suyun savağın yaklaşım kanalına girdiği kesitle ana yatağa yeniden verildiği konum arasında incelenir. Bazı durumlarda mansap yatağının içindeki akımda savak hidroliği içine alınmaktadır.

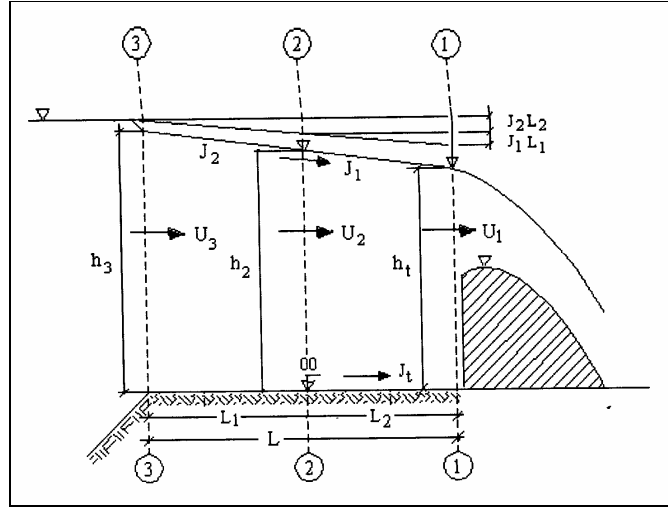
Barajın yüksekliği artırılarak rezervuar hacminde önemli bir artış sağlanabiliyorsa taşkın suyunun bir kısmı rezervuarda biriktirilerek dolu savağın boyutu küçültülebilir. Barajın yüksekliğinin artırılması ile dolu savağın genişliğinin küçülmesinin veya bunun tersi olarak barajın yüksekliğinin azaltılması ile savak genişliğinin artmasının karşılaştırmalı ekonomik analizlerinin yapılması gerekir.

#### **7.13.1.4. Yaklaşım Kanallarının Hidrolik Hesabı**

Yaklaşım kanalı suyu rezervuardan dolu savağa kadar getiren kanaldır (Şekil 19). Yaklaşım kanallarında özellikle yapısal özellikler sebebiyle (kanal uzunluğunun çok kısa olması dirsek, kanal girişinde girintiler vb) kanalda üniform akışın oluşturulması zordur. Bu nedenle yaklaşım kanallarının hidrolik hesaplarında klasik formüllere dayalı klasik hesap yöntemleri kullanılmamaktadır. Yaklaşım kanalının derinliği ve savağın menba yüzünün eğimi debi katsayısını etkileyen faktörlerdir. Model çalışmalarından yararlanılarak su yüzü çizgilerinin oluşumu ve belirlenen hızlarla taban oyulmalarına karşı yapının güvenilirliği incelenmektedir. Bazı durumlarda iki boyutlu nümerik modeller yeterli olabilir. Basit yapıdaki yaklaşım kanalları için su yüzü profilinin analizi için kademeli bir hesaplama yöntemi yeterli olabilmektedir. Girişi düzenli ve doğrusal bir yaklaşım kanalı yapılması mümkünse hidrolik hesapları aşağıda verilen yöntemle yapmak mümkündür.

Hesap için yapılan kabuller şunlardır:

- Kanalın giriş ağzı ters akımların oluşmasına elverişli değildir.
- Kanal prizmatik şekildedir.
- Kanal güzergahı üzerinde ters akımlara sebep olacak düzensizlikler yoktur. Akımın ortalama hızı her kesitte hesaplanabilir durumdadır. Planda kanal güzergahı doğrusal ve doğrusala çok yakındır.
- Kanalın geçirdiği debi sabit olup zaman içinde değişmemektedir (permanant akım).
- Akım nehir rejimindedir. Akım üniform veya tedrici değişkendir.



Şekil 19. Yaklaşım kanalında akım karakteristikleri

L uzunluğundaki bir yaklaşım kanalının mansap ucundaki kabartıcı gövdenin (dolu savak) mansaba aktaracağı debi aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir.

$$Q = \mu A (2gH_e)^{1/2} \quad (7.17)$$

$$Q = \mu A \sqrt{2g} H_e^{3/2} \quad (7.18)$$

Veya

$$C = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} \text{ için,} \quad (7.19)$$

$$Q = C B H_e^{3/2} \quad (7.20)$$

Burada,

A: Yaklaşım kanalı kesiti (= B H<sub>e</sub>)

H<sub>e</sub> : Savak yükü (yaklaşım hız yüküyle birlikte)

B : 1-1 kesitinde kanal genişliği

μ : Dolu gövde şekline bağlı katsayı (düzeltme katsayısı)

C : Debi katsayısı

Kanal istenilen sayıda kesite bölünerek hesaplar yürütülebilir. Örnekte 3 kesit alınmıştır (bu sayı genellikle yeterli olabilmektedir). Kanal uzunluğu fazla ise kesit adedi artırılabilir. Kanal kesitinin dikdörtgen olduğu kabul edilmiştir. 1-1 kesitinin savağın çekiş alanı dışında seçildiği kabul edilerek 1-1 ve 2-2 kesitleri arasında enerji denklemi uygulanırsa,

$$h_1 + \frac{u_1^2}{2g} + J_1 L_1 = J_t L_1 + h_2 + \frac{u_2^2}{2g} \quad (7.21)$$

yazılabilir. Burada,

h: savak yükü (başlangıçta seçilir)

$h_1$  : 1-1 kesitinde su derinliği =savak yüksekliği + savak yükü = p + h

$h_2$  : 2-2 kesitinde su derinliği

Q : kabul edilen kanal debisi

$J_1$  : 1-1 ve 2-2 kesitleri arasındaki enerji çizgisinin eğimi

$L_1$  : 1-1 ve 2-2 kesitleri arasındaki uzaklık

$J_t$  : Taban eğimi

$B_1$  : 1-1 kesitindeki yaklaşım kanalı genişliği

$B_2$  : 2-2 kesitindeki yaklaşım kanalı genişliği

$U_1$  : 1-1 kesitindeki ortalama hız = Q / ( $h_1 B_1$ )

$U_2$  : 2-2 kesitindeki ortalama hız = Q / ( $h_2 B_2$ )

Manning denklemi kullanılarak  $J_1$  değeri,

$$J_1 = U_0^2 n^2 / R_0^{4/3} \quad (7.22)$$

n: kanalın pürüzlülük katsayısı

olarak hesaplanabilir. Burada  $U_0$  ve  $R_0$  değerleri

$$U_0 = (U_1 + U_2) / 2 \quad (7.23)$$

$$R_0 = (R_1 + R_2) / 2 \quad (7.24)$$

Olarak 1-1 ve 2-2 kesitleri arasındaki ortalama hızı ve hidrolik yarıçapı göstermektedir. Bu değerler 7.21 nolu denklemde yerine konularak aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$h_1 + \left( \frac{U_1^2}{2g} \right) + n^2 L_1 \left( \frac{U_1 + U_2}{2} \right)^2 \left( \frac{1}{(R_1 + R_2)/2} \right)^{4/3} = J_t L_1 + h_2 + \frac{U_2^2}{2g} \quad (7.25)$$

$$\begin{aligned} h_1 + \left( \frac{Q^2}{2g B_1^2 h_1^2} \right) + n^2 L_1 \frac{Q^2}{4} \left( \frac{1}{B_1^2 h_1^2} + \frac{1}{B_2^2 h_2^2} + \frac{1}{B_1 h_1 B_2 h_2} \right)^2 \left( \frac{1}{(R_1 + R_2)/2} \right)^{4/3} \\ = J_t L_1 + h_2 + \left( \frac{Q^2}{2g B_2^2 h_2^2} \right) \end{aligned} \quad \dots (7.26)$$

Bu denklemin bilinmeyeni  $h_2$ 'dir.  $R_2$  değeri  $h_2$  cinsinden yazılabileceği için eşitlik çözülebilir. Enerji denklemi bir kerede  $h_3$  için yazılarak  $J_2$  ve  $h_3$  değerleri bulunur. Aşağıdaki eşitliğin sağlanması gerekir. Aksi halde Q değiştirilerek hesaplar eşitlik sağlanıncaya kadar tekrar edilir.



$$h_4 = h_3 + \alpha \frac{U_3^2}{2g} \quad (7.27)$$

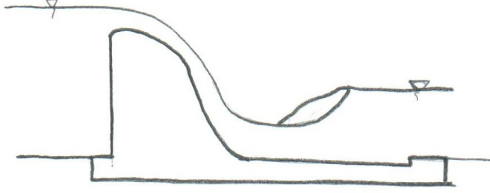
$\alpha \frac{U_3^2}{2g}$  : kanala giriş kaybıdır.

$\alpha$  katsayısı: - geçiş yapısı olmayan yuvarlatılmış sert köşeli girişlerde 1

- yuvarlatılmış girişlerde 0.50
- geçiş yapısı olan girişlerde 0.20-0.10 olarak alınabilir.

### 7.13.1.5 Dolu Savak Tipleri

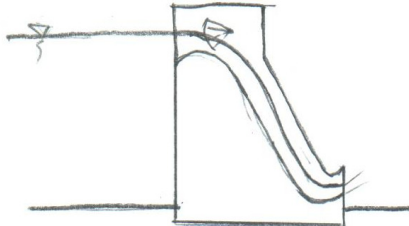
#### 7.13.1.5.1 Baraj sırtından serbest savaklanma



Şekil 19

Aynı sabit bağlama da olduğu gibi baraj sırtından serbestçe akmasını sağlayan tesistir. Suyun enerjisi genellikle bir sakinleştirme havuzunda hidrolik sıçrama ve eşiklerle kırılır.

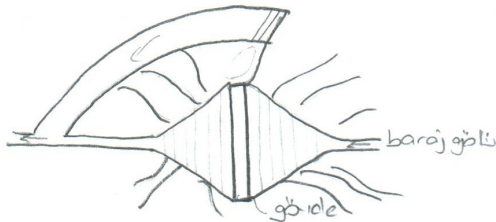
#### 7.13.1.5.2 Düşü yataklı savaklanma



Şekil 20

Baraj sırtı üstünde kanal şeklinde bir düşü yatağı vardır. Etek ucu kıvrılarak buradaki suyun enerjisi kırılmaya çalışılır.

#### 7.13.1.5.3 Yan kanaldan savaklanma

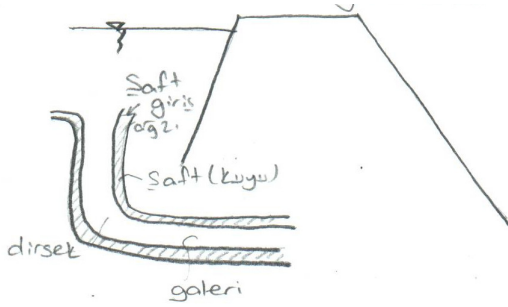


Şekil 21

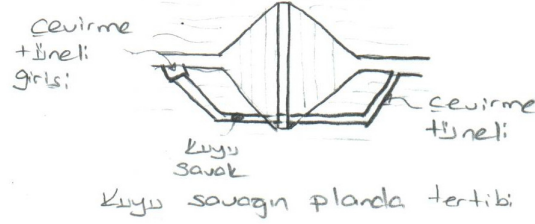
Topoğrafya uygunsuzsa çok büyük akımların geçirilmesini sağlayacak tesisler yapılır.

### 7.13.1.5.4 Şaft (kuyu) savaklar

Yan savak yapmak mümkün değilse, topoğrafik durum uygun değilse, suyun aktarılması için çevirme tüneline yararlanmanın mümkün olduğu durumlarda uygulanır.



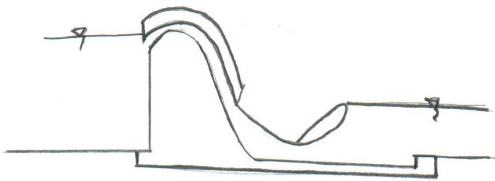
Şekil 22



Şekil 23

Avantajları	Dezavantajları
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kaya ve toprak dolgu barajlarda çok uygun</li> <li>2. Az yer işgal ediyor.</li> <li>3. Derivasyon tünelleri kullanılıyor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Şeft ağzına tomruk ve buz parçaları kaçabilir.</li> <li>2. Çalışırken titreşim oluyor.</li> <li>3. Kapasitesi sınırlıdır. Taşkın kapasitesi büyük ise yetmeyebilir.</li> <li>4. Savak içinde su kalırsa su donabilir.</li> </ol>

### 7.13.1.5.5 Sifonlu savaklar



Şekil 24

Büyük taşkın akımları için kapasitesi sınırlıdır. Küçük taşkınlarda hazne seviyesinin hassas kontrolünü sağlamak için kullanılır.

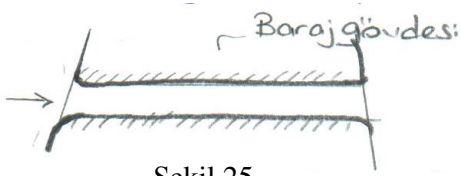
### 7.13.2 Dip Savaklar

Ölü hacim dışında hazneyi gerektiğinde tamamen boşaltma olanağı sağlayan tesislerdir. Dip savakların taşkın süresince ve taşkından sonra da belirli bir süre çalıştırılmasının faydası vardır. Haznedeki su dip savak vasıtasıyla aşağıdaki maksatların birisi için boşaltılır.

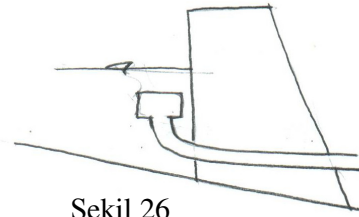
1. Haznedeki su baraj onarımı veya bakımı için boşaltılabilir.
2. Haznedeki suyu belli bir seviyeye düşürüp haznede taşkınlar için hacim oluşturmak için dip savak kullanılır.
3. Baraj mansabındaki akarsu kesiminde en az belli bir su debisi sağlamak için kullanılır.
4. Taşkın sularının önemli bir kısmı dolu savaktan atılmakla birlikte dip savak taşkın sularının bir kısmını mansaba aktarmak için devreye sokulabilir.
5. Baraj yıkılma tehlikesine karşı barajdaki suyu boşaltmak için dip savak işe yarar.
6. Haznenin doldurulması için dip savak kapatılır.
7. Haznedeki katı maddelerin bir kısmını ve bulanık suları mansap tarafa aktarmak için dip savak kullanılır.

#### 7.13.2.1 Baraj gövdesinden geçen dip savaklar

- Enkesit dairesel veya dikdörtgendir.
- Giriş kayıpları çok yüksek olmaması için giriş ağzı eliptik olarak yuvarlatılmıştır.
- Beton barajlarda kullanılır.



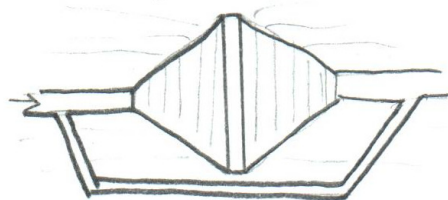
Şekil 25



Şekil 26

#### 7.13.2.2 Tünel şeklindeki dip savaklar

Dolgu barajlarda derivasyon tüneli daha sonra dip savak olarak kullanılır.



Şekil 27

## 8. SU ALMA YAPILARI

Akarsu ve baraj gölü gibi su kaynaklarından suyu alıp iletim sistemlerine veren yapılara “*su alma yapıları*” ve bu yapıların giriş kısmına “*su alma ağzı*” veya “*priz*” denir. Su alma yapılarının suyu düzenlemek ve kontrol etmek gibi iki ana fonksiyonu vardır. Su kaynağına çok yakın bu tip yapılarda yapının sağlamlığı ve işletme güvenliği de mühendislik açısından gerçekleştirilmesi gereken önemli hususlardır. Yer seçiminde topoğrafya, jeoloji, ekonomi ve ana yapının tipi önemli rol oynar.

Bir su alma yapısı düzenlenirken aşağıdaki hususlar gözönüne alınır.

1. Gerekli olan su miktarı her zaman alınabilmelidir.
2. Taşkınların gerek iletim sistemine ve gerekse diğer yapılara zarar vermesi önlenmelidir.
3. Yüzen cisimlerin iletim sistemine girişi önlenmelidir.
4. Katı maddelerin iletim sistemine girişi önlenmelidir.
5. Balıkların iletim sistemine girişi engellenmelidir.
6. Su alma yapısındaki yük kayıpları az olmalıdır.
7. Gerektiğinde alınacak su miktarı denetlenebilmeli ve ölçülebilmelidir.
8. Su alma yapısının işletme ve bakımı kolay olmalıdır.

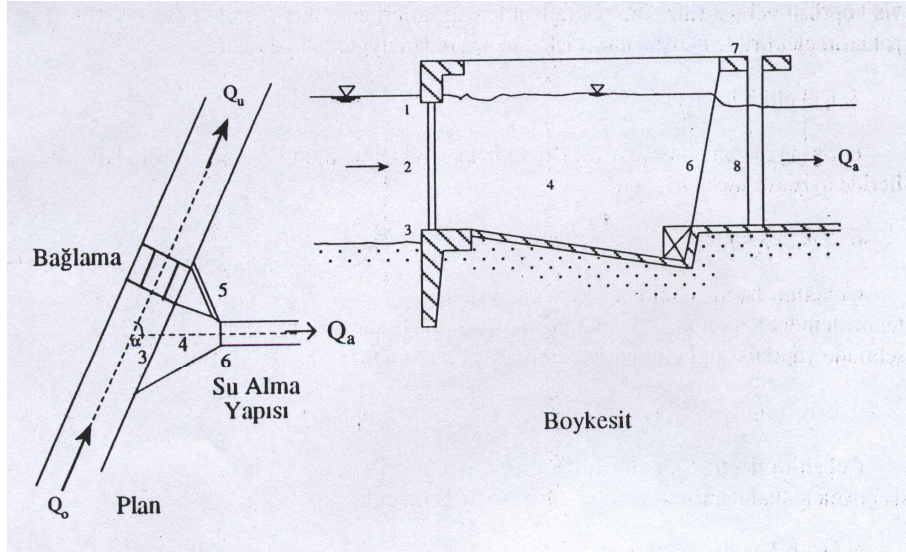
Su alma yapıları çeşitli şekillerde sınıflandırılır.

- |   |  |
|---|--|
| { | Yapı durumuna göre sınıflandırma   |
|   | - Akarsu yatağından doğrudan su alma (yerçekimi veya pompalı bir sistemle) |
|   | - Akarsudan bir kabartma tesisi ile su alma (bağlama veya baraj)           |
| { | Akım durumuna göre sınıflandırma   |
|   | 1. Serbest yüzeyli su almalar,   |
|   | a. Yandan su alma  |
|   | b. Tabandan su alma  |
|   | c. Karşıdan su alma  |
|   | 2. Basıncılı su almalar,   |
|   | a. Yapı gövdesinden su lama  |
|   | b. Yamaçtan su alma  |
|   | c. Dipten su alma  |
|   | d. Kuleli su alma  |
|   | e. Kuyulu su alma  |

## 8.1 SERBEST YÜZEYLİ SU ALMALAR

### 8.1.1 Elemanları ve Fonksiyonları

Serbest yüzeysel klasik bir su alma sistemi Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Böyle bir yapıda genellikle şu elemanlar bulunur.



Şekil 8.1 Su alma yapısı elemanları 1. Dalgıç perde 2. Kaba ızgara 3. Giriş eşiği 4. Çökeltim Havuzu 5. Yıkama kanalı 6. İnce ızgara 7. Izgara temizleme platformu 8. Yedek kapak

1. **Giriş eşiği:** Su alma ağzını akarsu tabanından yüksekte tutarak sürüntü maddesi girişlerini engelleyen en az 0,50 m yüksekliğinde bir eşiktir. Ortalama değeri 1,0 –1,5 m’dir.
2. **Dalgıç perde:** Sudaki yüzen maddelerin su lama ağzından girişini engelleyen bir elemandır. Ayrıca büyük taşkınlarda fazla suyun su alma yapısına girişini önler. Dalgıç perde en az 0,40 m suya batırılır. Ortalama değeri 0,8 – 1,0 m’dir.
3. **Giriş Izzaraları:** Su içinde taşınan maddelerin iletim sistemine girişini engellemek için konurlar. Lama demirlerinin kaynak edilmesi ile yapılabilecekleri gibi, borulardan veya profil demirlerinden de yapılabilirler. Alınacak suya ve çökeltim havuzu özelliklerine göre iri ve ince ızgaralar konur. Ayrıca balık girişlerini engellemek için ızgaralar gereklidir. Kaba ızgaralar 10 ila 30 cm aralıklı, ince ızgaralar 3-4 cm aralıklı düzenlenir.

4. **Kapaklar ve ayaklar:** Giriş ağızını tamamı ile kapatmak için kapaklar öngörülür. Giriş ağızı geniş ise kapak sayısı birden çok yapılabilir. Bu durumda kapakların aralarına köprü ayağı şeklinde ayaklar konur. Ayrıca karşıdan karşıya geçişleri sağlamak için ayakların üstüne bir servis köprüsü yerleştirilir.
5. **Çökelim havuzu:** Giriş ağzından girebilen askı halindeki maddeleri tutmaya yarayan bir havuzdur.
6. **Yıkama kanalı:** Çökeltim havuzunun temizlenmesini sağlayan kanaldır. Ön kısmında bir kapak bulunur. İçindeki akım hızı en az 2 m/sn olmalıdır. Buna göre bir eğim seçilir. Açık kanal şeklinde yapılabildiği gibi kutu menfez veya büz şeklinde de düşünülebilir.
7. **Çökeltim havuzu eşiği:** Çökeltim havuzu sonuna yüksekliği 0,70 m'den az olmayan bir eşik konarak havuzda çökelen maddelerin iletim sistemine girmesi önlenir.
8. **Geçiş kanalı ve dönüşler:** Geniş kanalı (rakortman) dikdörtgen kesitli bir çökeltim havuzundan yamuk kesitli bir iletim kanalına geçişi sağlar. Su alma yapısında doğrultu değişiklikleri uygun yarıçaplı dönüşlerle yani kurplarla sağlanır.
9. **Ölçüm savağı:** İletim sistemine giren su miktarını ölçmek için geçiş kanalından sonra yamuk kesitin başladığı yerde bir ölçüm savağı konur ve bu amaçla Parshall Savağı adı verilen bir savak kullanılır.
10. **Çevre duvarları:** Bütün bu su alma yapılarını çevreleyen ve istinat duvarı şeklinde çalışan çevre duvarları, su seviyesinden biraz daha yüksek yapılarak ilgili yapılar korunur.

### 8.1.2 Yük Kayıpları

Serbest yüzeyle su almaların yük kayıpları, akım nehir rejiminde olduğu için, kontrol kesiti iletim kanalının sonu alınarak mansaptan membaya doğru hesaplanır. Bu yük kayıplarının hassas olarak hesaplanması ile su alma ağzında gerekli olan kabartma kotu bulunur.

Sürekli yük kayıpları, akışın hidrolik eğimi ile kanal uzunluğu çarpılarak bulunabilir. Burada hidrolik eğim yerine çoğu zaman kanalın taban eğimi alınabilmektedir. Su alma kanalındaki bütün kesitlerde  $Q = VA$  bağıntısı geçerlidir.

## 8.2 ÇÖKELTİM HAVUZLARI

### 8.2.1 Çökeltim Esasları

Alınacak suyun içinde bulunan askı maddelerinden arındırılması gerekir. Bu arındırma tabanda çökeltme şeklinde yapılır. Çökeltme, çökeltilmesi istenen en küçük dane çapı esas alınarak gerçekleştirilir. Su kuvveti tesislerinde 0,1-0,2 mm'den küçük, 100 m'den fazla düşümlerde 0,01-0,05 mm'den küçük danelerin geçmesine izin verilir. İçme suyu tesislerinde ise 0,02 mm büyüklüğündeki daneler çökeltilir. Sulama sistemlerinde daha toleranslı olunabilir. Bu sistemlerde çökeltilecek dane çapı, kanaldaki kritik sürüklenme gerilmesi esas alınarak;

$$D = \frac{\gamma \cdot R \cdot J}{(\gamma_s - \gamma) \cdot 0,06} \quad (8.1)$$

bağıntısından bulunabilir. Burada,

J: İletim kanalındaki eğim,

R: Kanalın hidrolik yarıçapı,

D: Dane çapı,

$\gamma_s$ : Danenin özgül ağırlığı

$\gamma$ : Suyun özgül ağırlığı

Çökeltim havuzundaki akımın hızı belli bir değerden fazla olursa, çökelen daneler akım ile birlikte yeniden harekete geçer. Bu bakımdan belirli bir dane çapı için izin verilen en büyük akım hızı (Camp formülü)

$$V = a.D^{0.5} \quad (8.2)$$

amprlik bağıntısı ile elde edilebilir.

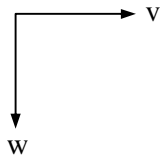
V: cm/sn cinsinden izin verilen en büyük akım hızı,

D: mm cinsinden çökeltmesi istenen dane çapı

$$\begin{array}{lll} a: \text{dane çapına bağlı bir katsayı} & D < 0,1 \text{ mm} & \Rightarrow a = 51 \\ & 0,1 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm} & \Rightarrow a = 44 \\ & D > 1 \text{ mm} & \Rightarrow a = 32 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} a \\ D \\ D \end{array}} \right\} \text{ alınır.}$$

Su içinde askıda bulunan maddelerin çökebilmesi için yeterli bir havuz uzunluğu gereklidir. Havuzdaki suda bulunan bir parçacık v yatay akım hızı ile w düşey dane çökme hızının bileşkesinde hareket ederek dibe çökebilir.

Su içinde en yukarıda bulunan maddeler en geç çöker. En yukarıdaki bir parçacığın havuz içinde çökebilmesi için, tabana inme zamanı ile havuzdaki yatay hareket zamanı eşitlenerek havuz uzunluğu belirlenebilir.



Daneciğin w hızı ile h yolunu alması için geçen süre, aynı taneciğin v hızı ile L yolunu alması için geçen zamana eşittir. Bun göre aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\frac{h}{w} = \frac{L}{V} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{hV}{w} \quad (8.3)$$

h: havuzdaki suyun derinliği

V: çökeltim havuzlarındaki yatay hız (0,3-0,4 m/sn)



### 8.2.2 Boyutlandırma Esasları

Alınan debiye ve taban durumuna göre çökeltim havuzlarının derinlikleri 1,5-4,0 m arasında seçilir. Net havuz genişliği ise

$Q = Vbh$  bağıntısından bulunur.

### 8.2.3 Çökeltim Havuzu Tipleri

Çökeltim havuzları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

1. Yıkama şekline göre
  - a. Kesintili yıkanan çökeltim havuzları
  - b. Sürekli yıkanan çökeltim havuzları
2. Plan şekline göre
  - a. Dikdörtgen veya yamuk planlı çökeltim havuzları
  - b. Daire planlı çökeltim havuzları