

# BARAJ JEOLojİSİ

# BARAJLAR

Barajlar (dams); enerji üretimi, içme suyu sağlanması, sulama ve taşkın önlemeye yönelik su kaynakları oluşturmak amacıyla akarsu vâdileri üzerinde yapay göller oluşturmak için yapılan büyük su setleridir.

Su tutma tesislerinin temel amacı, önündeki yüzey suyunu geçirimsiz bir set (bariyer, barrier, barrage) oluşturacak şekilde tasarlanan bir baraj gövdesi ile tutmaktır.

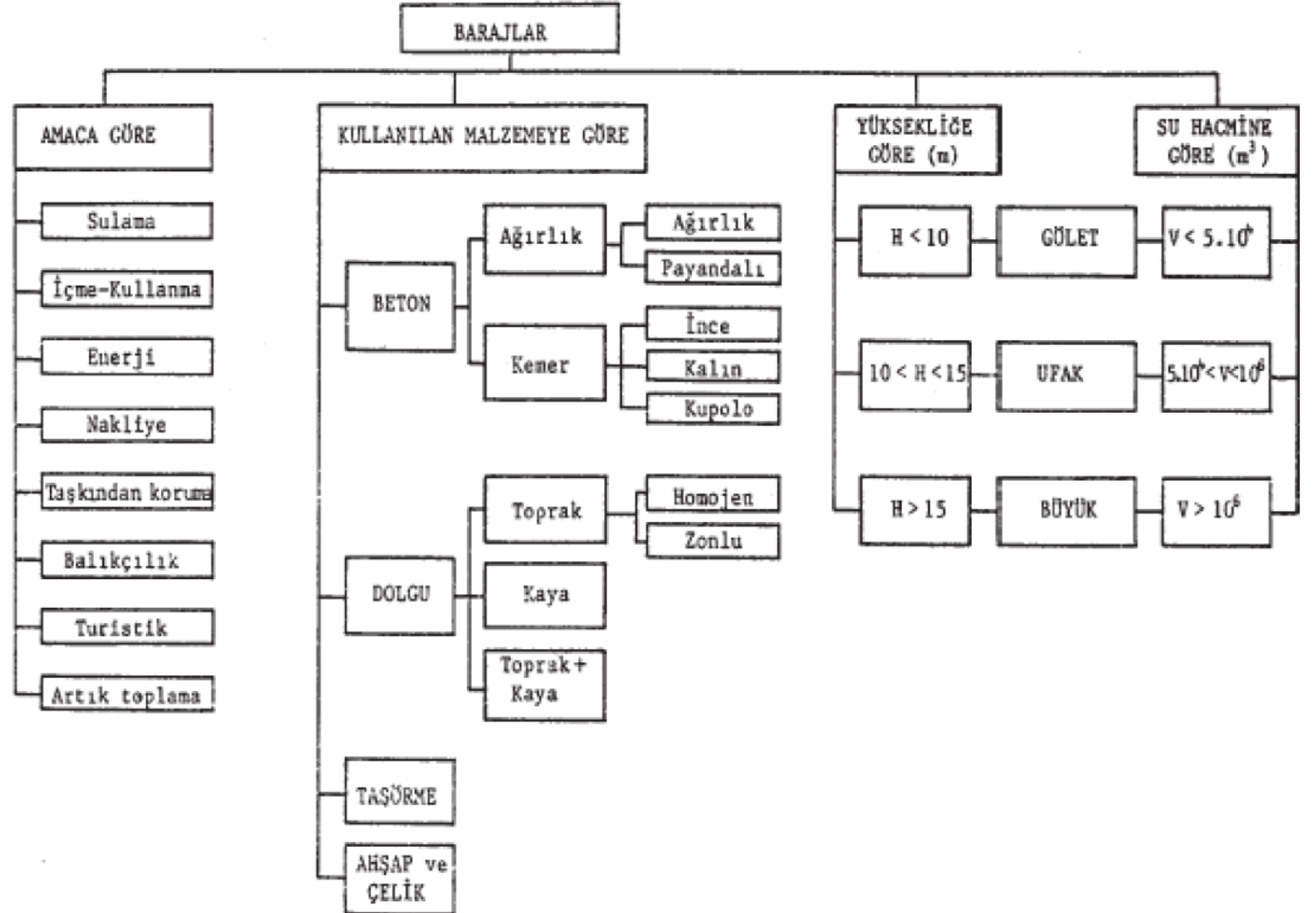
Barajlar, amaçlarına (enerji, sulama, atık toplama gibi) ya da yapımlarında kullanılan malzemeye göre beton; dolgu; taş örme (kâgir); ahşap ve çelik olarak sınıflandırılırlar.

# BARAJLARIN SINIFLANDIRILMASI

Barajlar;

- Amaca
- Baraj gövdesinin yapımında kullanılan malzemeye göre
- Topladıkları su hacmine göre sınıflandırılır.

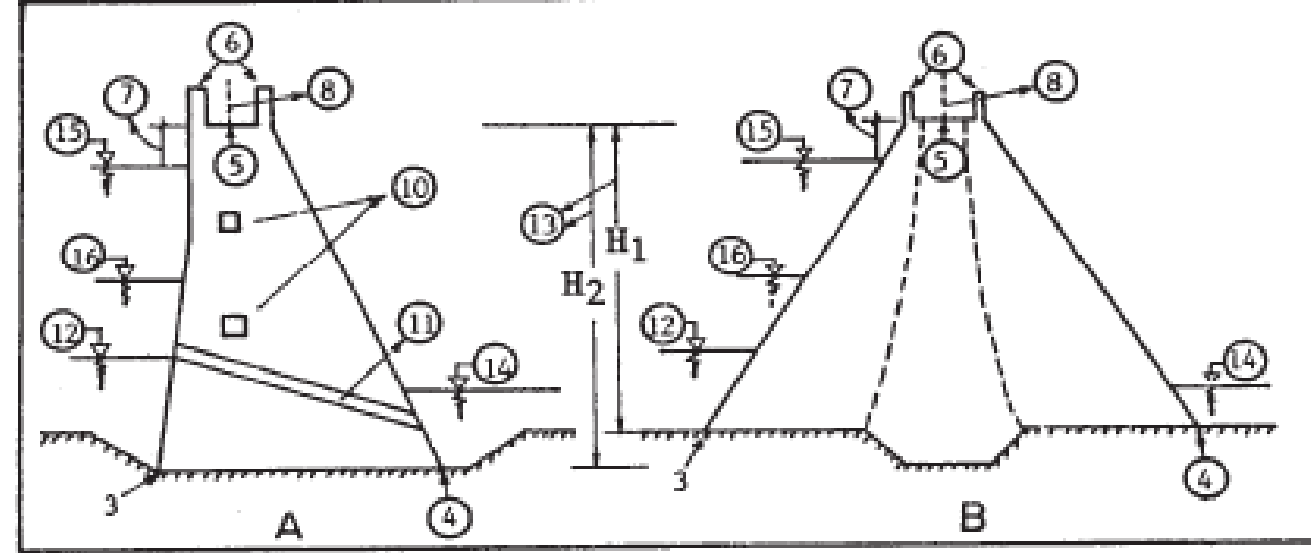
Kullanılacak malzemeye göre baraj yapımında etkili olan faktörler, yapımında kullanılacak malzemenin, baraj yerine yakınlığı, miktarı ve niteliğidir. Bu faktörler baraj maliyetini ve emniyetini büyük ölçüde etkiler.



Barajların değişik açılardan sınıflandırılması (Tarhan, 2002).

- 1- Abatman (*abutment*) : Sanat yapısının yatay ya da düşey yüklerini taşıyan ayak, ya da barajın üzerine inşa edildiği vâdinin her iki tarafındaki destek, vâdi yamaç ve duvarları.
- 2- Vâdi kesiti (*river-channel section*): Baraj gövdesinin akarsu yatağında oturduğu kesimin enine kesiti.
- 3- Baraj memba eteği (*heel of the dam*): Barajın memba yüzünün temel kayasına oturduğu kısım.  
Memba (*upstream*): Suyun baraja, ya da sanat yapısına geldiği taraf, kısım.
- 4- Baraj topuğu (*toe of the dam*): Barajın mansap yüzünün temel kayasına oturduğu kısım.  
Mansap (*downstream*): Akış aşağı, suyun barajdan, ya da diğer sanat yapılarından çıktığı taraf.
- 5- Baraj tepesi (kret; *crest*): Barajın en üst kısmı.
- 6- Kenar duvarı (*parapet*): Baraj tepesinin her iki kısmında dalga veya trafik emniyeti için yapılan duvarlar. Bu duvarlar baraj tepesinin yol olarak kullanılması hâlinde emniyetli trafiği sağlamaktadır.
- 7- Serbest kısım (*freeboard*): Baraj tepesi ile barajın taşkındaki maksimum su seviyesi arasında kalan kısım, mesafe. Bu kısma dalga payı ya da emniyet payı denir.
- 8- Baraj ekseni (*axis of the dam*): Baraj tepesi yüzeyinin tam ortasından veya barajın memba yüzü tarafından yamaçlara doğru geçirilen havalı çizgi

- 9- Baraj kesiti (*dam cross section*): Barajın eksene dik kesiti.
- 10- Galeriler (*galleries*): Gözlem yapmayı sağlamak için baraj gövdesi içinde, baraj eksene paralel, dik ve eğik olarak yapılmış açıklıklar (tek ucu açık tünel). Yapılma amaçları, baraj gövdesi yüzeyinden veya temelden çıkacak sızıntı suları drene edilip toplamak ve sızıntı fazla olursa önlemek için enjeksiyon (*grout*) yapmak.
- 11- Dip savak (*outlet conduit*): Ölü hacminin üstündeki suyu boşaltmaya yarayan tünel. Dip savak, gerekli hâllerde bir kısım suyu ve taşkın sırasında gelen tortuyu (silt) atmak amacıyla kullanılabilir.
- 12- Ölü hacim yüzeyi (*dead-storage water surface*): Barajın içinde daimi kalan, boşaltılmayan/atılmayan suyun üst seviyesi. Bu hacim, barajlarda toplanacak silti depolamaya yarar. Ölü hacim: Su yüzeyi altında kalan işe yaramaz hacim.
- 13- Baraj yüksekliği, tepe yüksekliği (*dam height*): Talvegten ( $H_1$ ) ya da temelden ( $H_2$ ) baraj tepesine kadar olan mesafe, yükseklik (Talveg/*thalweg*: Vâdinin veya akarsuyun en derin noktası).
- 14- Kuyruk suyu yüzeyi (*tailwater surface*): Barajın dolu savak, dip savak ya da türbinlerden çıkan suyun mansaptaki yüzeyi.
- 15- Maksimum su yüzeyi (*maximum water surface*): Baraj göl alanında (rezervuar) su seviyesinin en yüksek olduğu (dolu savaktan akmadan) seviye.
- 16- Minimum su yüzeyi (*minimum water surface*): Baraj gölünde, faydalı şekilde kullanılacak en düşük su yüzeyi.
- 17- Dolu savak (*spillway*): Baraja maksimum su seviyesinin üstünde gelen taşkın sularını baraj gövdesine ve göl alanının yamaçlarına zarar vermeden boşaltmaya yarayan kanal. Dolu savaklar baraj gövdesinin üstünde, yanında, tabanda, yamaç içinde veya rezervuarda olabilir. Dolgu barajlarda gövdede az veya çok oturumalar olabileceği için bu tür barajlarda hiçbir zaman dolu savak gövde üzerinden geçirilmez. Dolgu barajlarda topoğrafik koşulların uygun olması hâlinde dolu savak baraj gölünden ya da baraj gövdesinin oturduğu yamaçlar kazılarak yapılır. Bu tür dolu savaklara yandan çevirmeli dolu savak ismi verilir. Beton barajlarda en basit dolu savak, suyu barajın üstünden aşırır. Buna üstten akan


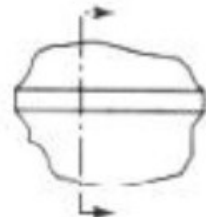

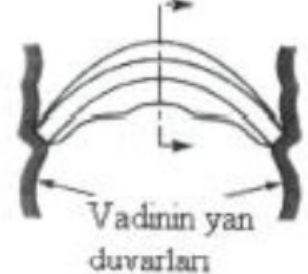

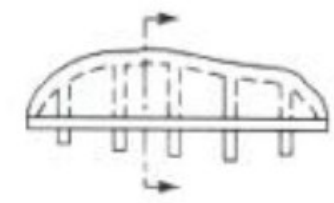

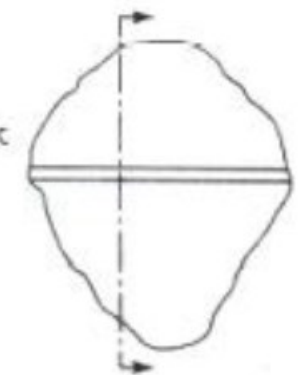


Şekil 11.2. Barajlarda kullanılan terimlerin şematik kesitlerde gösterilmesi.  
Beton Baraj (A), Dolgu Barajı (B) (Tarhan, 2002).

dolu savak denir ve baraj tepesi su altında kalır. Üstten kapaklı tipte ise dolu savak barajın üstünde bir köprü, bir açıklık şeklinde olur. Bunlar elle veya otomatik olarak açılır, kapatılır ve su kontrollü olarak boşaltılır. Buna normal dolu savak da denir. Beton+toprak kısımlı barajlarda ise (örn. Keban Barajı) dolu savak, beton kısım üzerine inşa edilir (Şekil, 11.9). Topoğrafik koşulların uygun olmaması, yanda çevirmeli dolu savak yapma imkânı olmayan ya da çok dar vâdilerde üstten dolu savak yapmanın mahzurlu olduğu durumlarda kuyu tipi dolu savak yapılır. Bu tip dolu savak, baraj gölü maksimum seviyesinde huni şeklinde geniş olan düşey ve düşeye yakın betondan yapılmış kuyu (şaft) ve bu kuyunun bağlandığı yine betondan yapılmış, mansap tarafa meyilli tünelden ibarettir. Yatay tünel baraj gövdesi altında olabileceği gibi baraj inşaatı için önceden açılmış olan çevirme tünellerinden de yararlanılabilir.

- 18- Çevirme tüneli, devrasyon tüneli (*diversion tunnel*): Barajın gövde inşaatı sırasında akarsuyun yönünü değiştirmeye yarayan tünel. Devrasyon: Çalışma alanını kuruya almak için suyun yönlendirilmesi işlemi.
- 19- Batardo (*cofferdam*): Barajın inşaatı esnasında akarsuyu çevirme tüneline girmesine yardımcı olan ve akarsuyun inşaat sahasını (*building site*) basmasını engelleyen ufak barajlar. Bu ufak barajlar, memba ve mansapta olmak üzere iki adet bulunur (Tarhan, 2002).

# BARAJ TIPLERİ

Çeşidi	Yapı malzemesi	Tipik kesit	Plan
AĞIRLIK	Beton		
KEMER	Beton	 Plak Payanda	 Vadinin yan duvarları
PAYANDALI	Beton		
DOLGU	Toprak ve kaya	 Kaya dolgu topuk Geçirimsiz çekirdek	

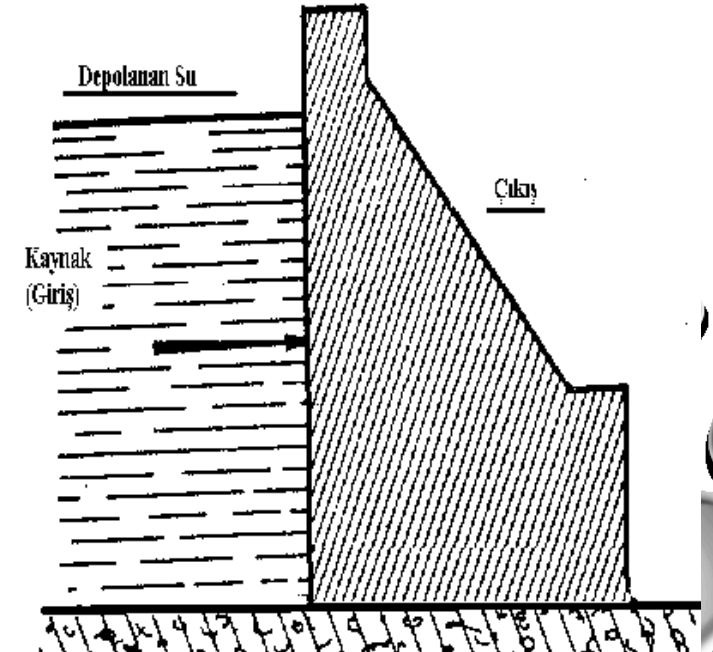
# BARAJ TIPLERİ

## BETON BARAJLAR

- Ağırlık Barajları
- Payandalı Ağırlık Barajları
- Kemer Barajlar

## Ağırlık Barajları

- Suyun kaldırma ve döndürme kuvvetine karşı kendi ağırlıklarıyla duran masif su yapılarıdır.
- Eksenleri doğru şekilde ya da akış yukarı doğru hafifçe kavisli olabilir.
- Barajın enine kesiti üçgene benzeyen yamuktur.
- Ağırlık barajlarının sağlam temele oturması istenir.
- Vadi yamaçları az eğimli, geniş V şekilli olabilir.



# BARAJ TİPLERİ

## Payandalı Ağırlık Barajları

- Bu tip barajların memba tarafı, su basıncına karşı duran düz ya da az eğimli betonarme bir perde şeklindedir.
- Mansap tarafında su basıncını temele ileten payandalar vardır.
- Payandalı ağırlık barajlarına, ağırlık barajlarına oranla daha az beton gider, temel kazısı da daha az olur. Payandalar arasındaki yerlere kuvvet santralleri ve diğer bazı yapılar yerleştirilebilir.
- Payandalara fazla yük düşer, payandalar arasında ise fazla yük binmez. Zayıflık zonları (fay,çatlak, vs.) payandalar arasına rastlanır.
- Yamaç eğimi az, geniş V şekilli vadilerde payandalı ağırlık barajları yapılabilir.



# BARAJ TIPLERİ

## Kemer Barajlar

- Kemer baraj, kavisli tek bir beton duvarlardan oluşan su tutma tesisidir.
- Suyun basıncını, kemer tesiriyle yamaçlara vermek için, beton duvar membaya doğru kavisli yapılır. Basınç temele ve yamaçlara eşit dağılıyorsa baraj kemer ağırlık veya ağırlık-kemer olarak yapılabilir.
- Yükün bir kısmı kemer etkisiyle yamaçlara naklettirilebilirse bu baraja ince kemer baraj adı verilir. Bunun için yamaçlar çok sağlam olmalı ve kemer yamaç içine iyice kenetlenmelidir.
- Kayaya merdivenimsi şekiller verilerek, gerilmelerin toplanmasına ve betonda çatlakların oluşmasına engel olunur.
- Kemerin yamaçlara iyi bir şekilde kenetlenmesi için kemer ile vadinin birleştiği noktada açının en az 45 derece olması gerekir. Ayrıca kemere elden geldiğince büyük merkez açısı verilmelidir.



# BARAJ TIPLERİ

## Toprak Dolgu Barajlar

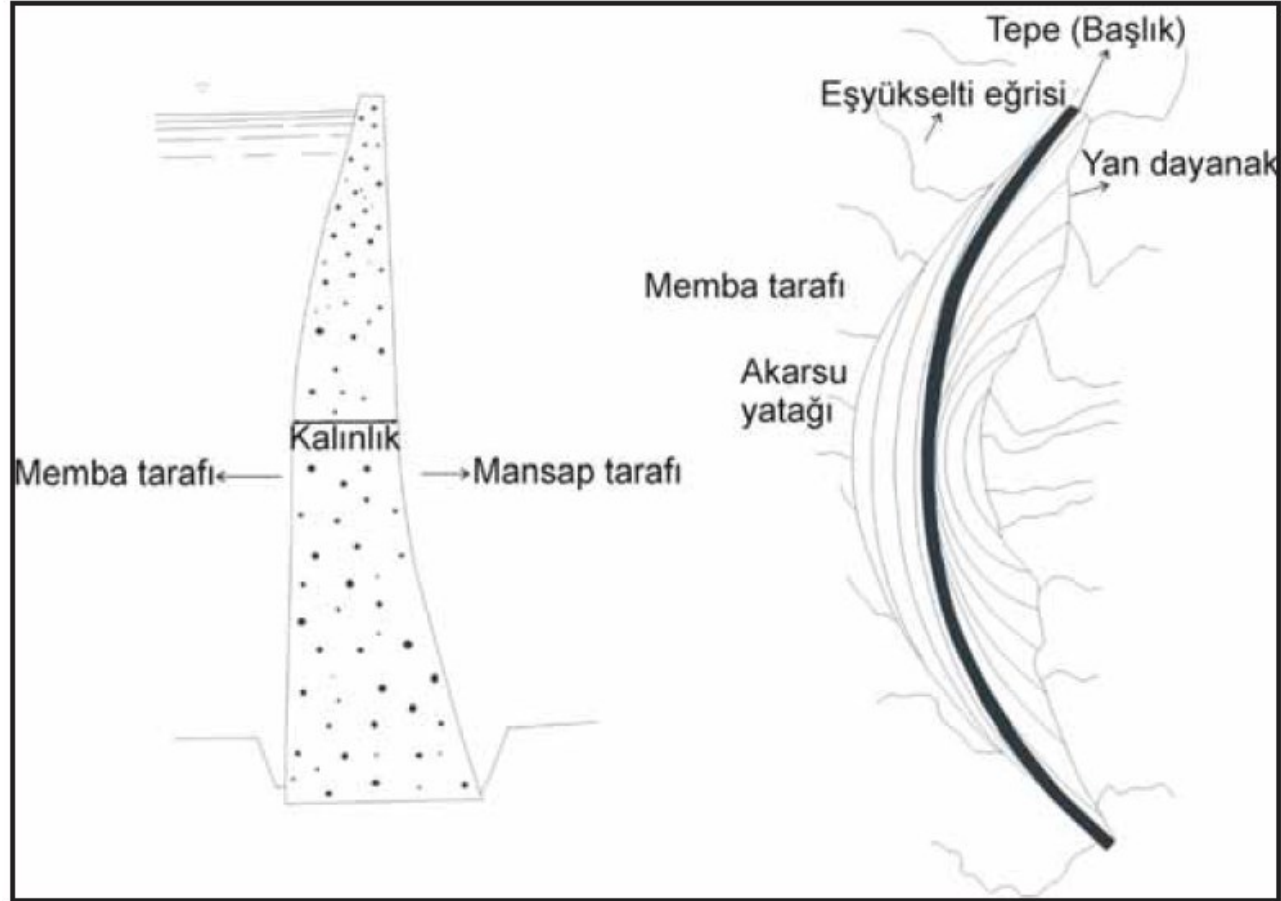
Toprak barajlar, toprak ve kayanın belirli bir oranda karıştırılmasıyla yapılan su tutma tesisleridir. Bu tip barajlar zeminin yeterince sağlam ve homojen olmaması halinde tercih edilir.

Geniş ve yayvan vadilerde de toprak barajı yapılır.

### Toprak barajların sınıflandırılması, baraj gövdesinde kullanılan malzemeye göre:

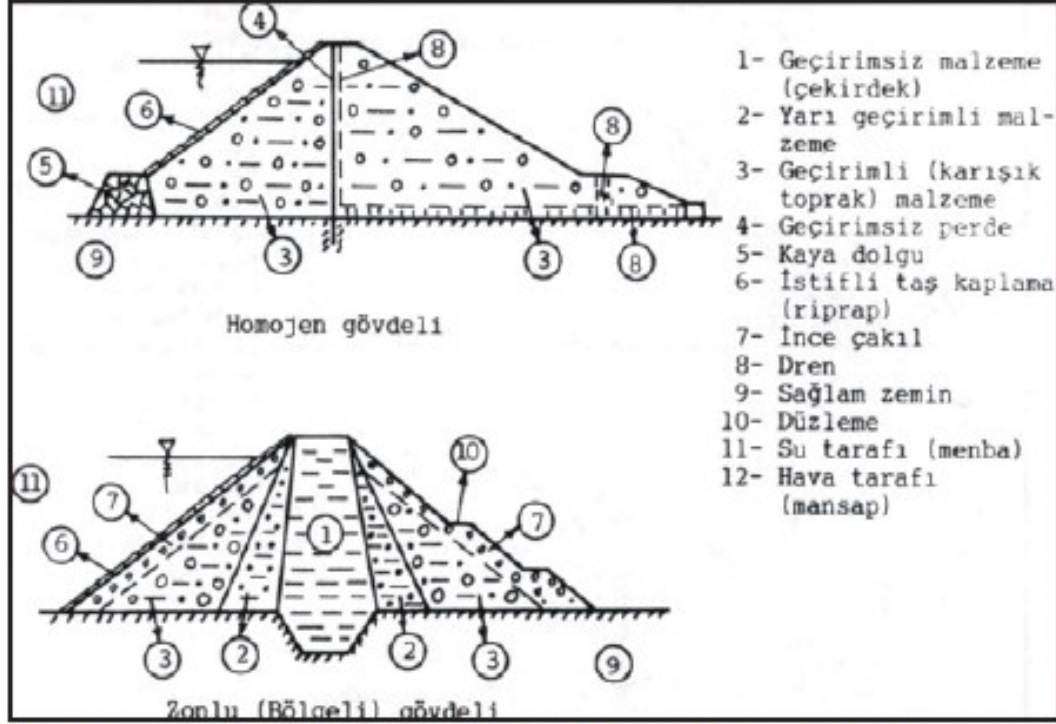
- Homojen gövdeli
- Bölgesi
- Kaya dolgu gövdeli
- Toprak Dolgu gövdeli
- Kaya-toprak gövdeli olarak yapılabilir.

Homojen gövdede her taraftaki malzeme aynı özelliktedir. Bölgesi gövdelerde ortada geçirimsiz bir kısım, iki tarafta tane boyu dışa doğru gitgide büyüyen geçirimli kısım ile memba ve mansap topuklarında filtre bulunur. Kaya dolgu gövdeler kırılmış taştan yapılır. Bazen geçirimsiz çekirdek bulunur, bazen de memba yüzü geçirimsiz bir örtü (kil, asfalt, çelik, takviyeli beton vs.) ile kaplanır.

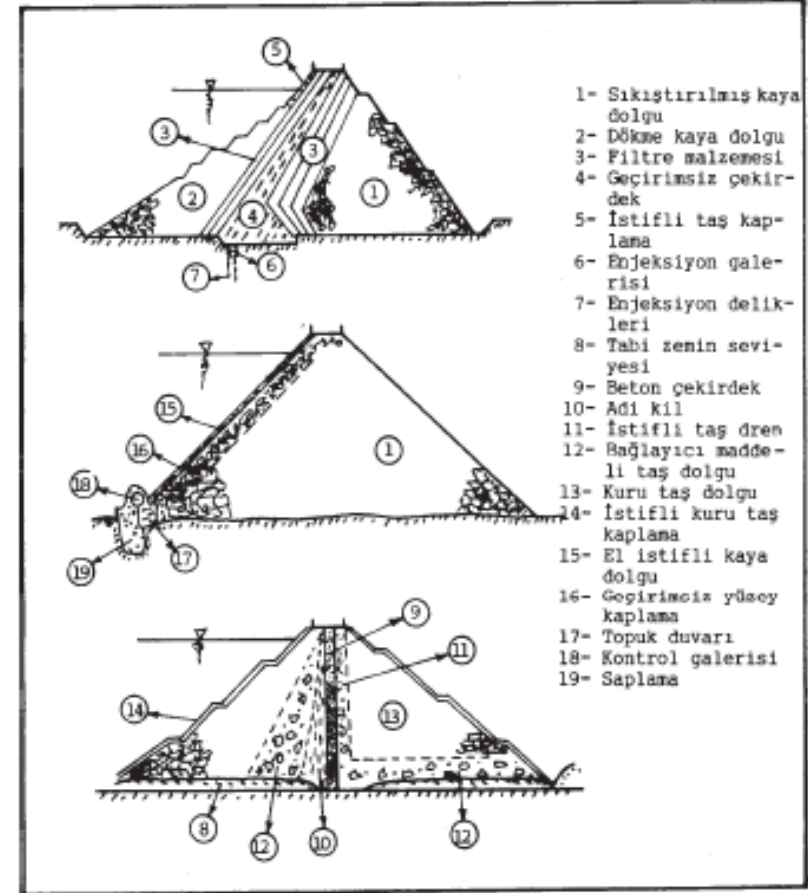


Şekil 11.4. Bir kemer baraj ve kesiti (Ertunç, 2003).





Şekil 11.7. Toprak dolgu baraj (earth fill dams) türleri ve çeşitli kısımları (Tarhan, 2002).



Şekil 11.8. Kaya dolgu baraj (rockfill -embankment- dams) türleri ve çeşitli kısımları (Tarhan, 202).

# BARAJ YAPIMINDA MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI, VE YERİ SEÇİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

- 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 yeraltısuyu dengesinin korunması (tuzlanma), tarihi yerlerin su altında kalması, bölgenin doğal yapısının bozulmasının sosyal yaşam üzerindeki etkileri incelenir.

# BARAJ TİPİNİN SEÇİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

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

2. **Temel zemini ve jeolojik yapı:** Baraj yerindeki temel durumu her baraj türü için uygun değildir.

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.

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 kapatılmaya uygun olmalıdır.

6. **Dolu savak kapasitesi ve yeri**

7. **Deprem**

8. **İklim koşulları ve yapım süresi**

9. **Heyelan:** Baraj gölü yamaçlarından heyelan ile göle akabilecek zemin kütleleri büyük dalgalar oluşturulabilir.

10. **Ülkenin ekonomik durumu**

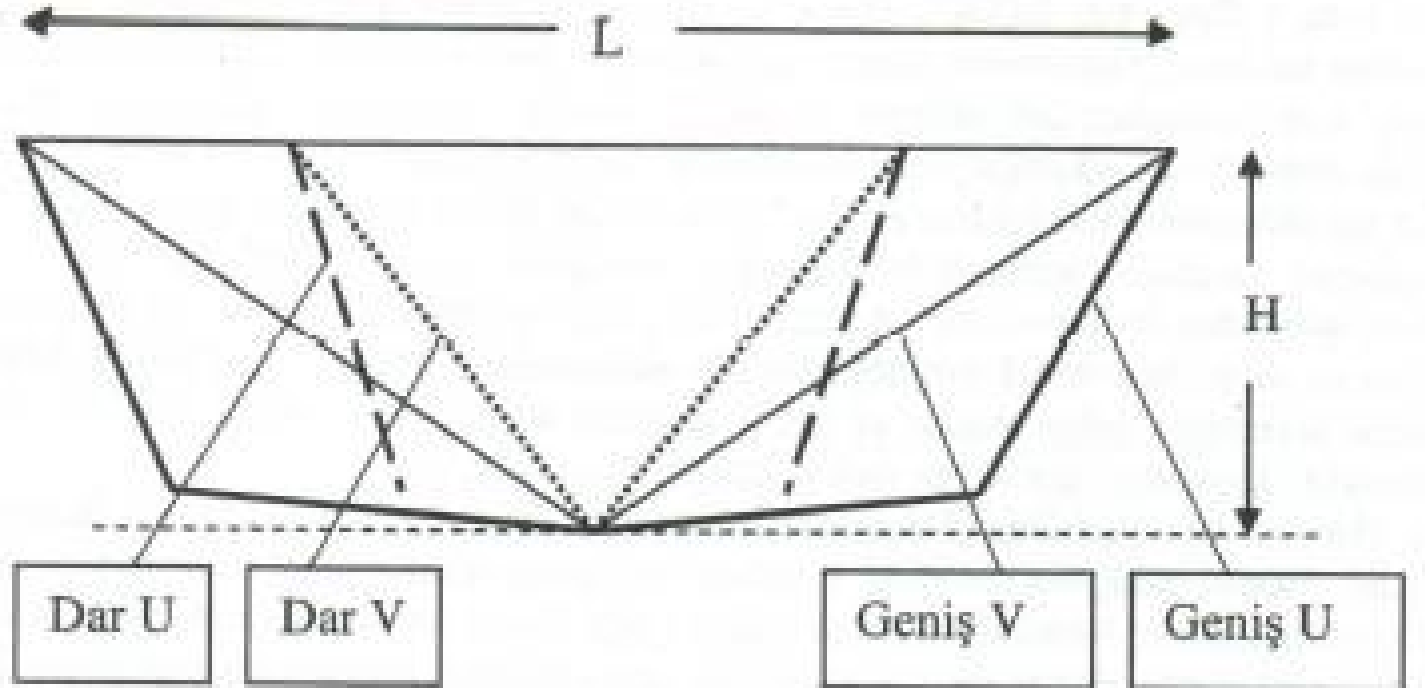
11. **Makine parkı alanı mevcudiyeti, makinelerin tip ve kapasiteleri**

## BARAJ YERİNİN TOPOĞRAFİK DURUMU/Vadi Şekli Faktörü:

Baraj yerinin seçimindeki önemli faktörlerin başında vadi şekli gelmektedir. Vadi tipleri, üzerlerine inşa edilecek olan barajların tiplerinin de belirlenmesindeki önemli bir kriteri oluşturmaktadır. Bir vadinin şekillenmesi, vadinin içerisinde açıldığı jeolojik birimlerin özelliklerine, vadiyi açan faktöre (buzul, akarsu), vadinin yüksekliğine, akarsu akış sistemine, vadi oluş evresinin hangi aşamasında oluşuna bağlı olarak değişir. Vadi şekli ve genişliğine göre bazı baraj tipleri hiç düşünülmez. Meselâ, çok geniş bir vadiye beton kemer baraj yapılmaz. Ayrışmamış, az çatlaklı, kaya ortamından oluşan bir vadiye ise yapısal unsurlarda uygunsa akla önce kemer tipi baraj ya da ağırlık barajı yapılması düşünülür.

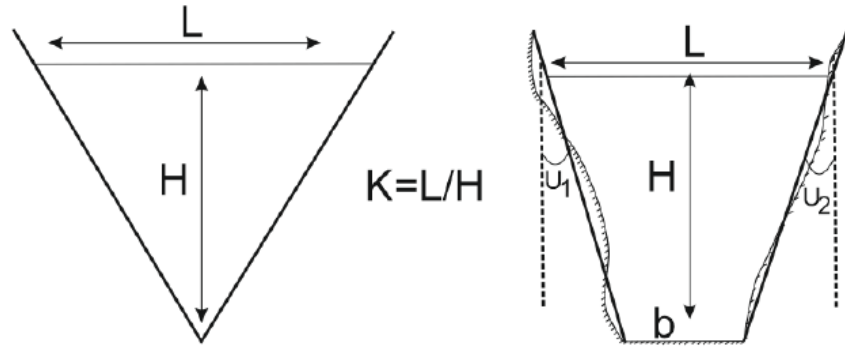
### Vadi Çeşitleri

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



## BARAJ YERİNİN TOPOĞRAFİK DURUMU/Vadi Şekli Faktörü:

Bir baraj yapılması düşünülen yerde, baraj tepe uzunluğunun maksimum baraj yüksekliğine olan oranına “vâdi şekli faktörü” denir ve “K” ile gösterilir.



*Vâdi şekli ve kısımları*

*L= Barajın tepe uzunluğu;*

*b= Vadinin taban genişliği;*

*H= Baraj yüksekliği;*

*U1 ve U2= Yamaç ortalamalarının düşeyle yaptığı açılar*

$$K = \frac{\text{Tepe Uzunluğu}}{\text{Max. Baraj Yüksekliği}} = \frac{L}{H} \quad \text{veya} \quad K = \tan U_1 + \tan U_2$$

*Formülü ile vadi tabanında bir genişlik olması durumunda*

$$K = \frac{b + H(\tan U_1 + \tan U_2)}{H} = \frac{b}{H} + (\tan U_1 + \tan U_2)$$

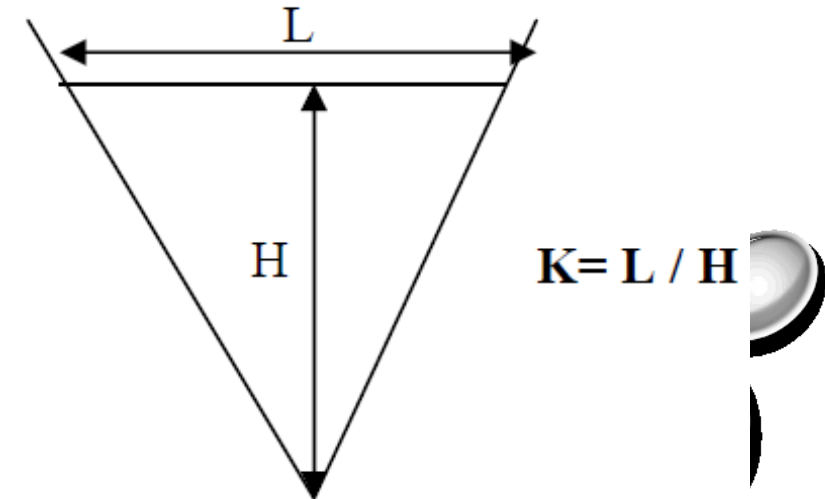
## BARAJ YERİNİN TOPOĞRAFİK DURUMU/Vadi Şekli Faktörü:

Vadiler L / H oranına göre sınıflandırılmaktadır

- 1.Boğaz şeklinde vadiler ( $L / H < 3$ ),
- 2.Dar vadiler ( $3 < L / H < 6$ )
- 3.Geniş vadiler ( $L/H > 6$ ).

Boğaz şeklinde vadiler, ince veya kalın beton kemer baraj yapımına olanak verir

Dar U ve V şekilli vadilerde diğer faktörler elverişli ise öncelikle kemer ya da ağırlık tipi düşünülür. Geniş vadilerde kaya veya toprak dolgu barajlar yapılmaktadır. Yükseklik fazla ise beton ağırlık tipi uygundur. Vadi Şekli faktörü (K), Beton baraj için ekonomik limit Amerika'da 5; İtalya'da 7; Fransa'da 11 olarak kabul edilir. Bundan büyük değerler, beton baraj yapılmamasını gerektirir.



## BARAJ YERİNİN TOPOĞRAFİK DURUMU/Temel zemini ve jeolojik yapı

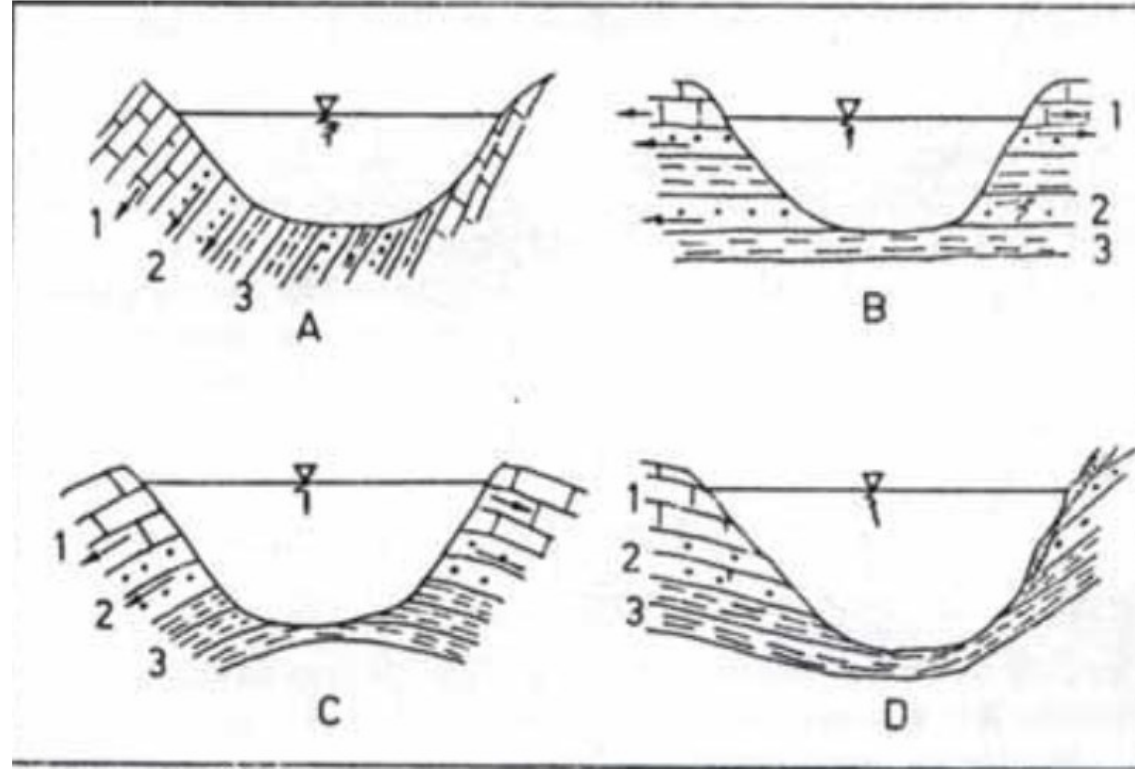
**Sağlam kaya temeller:** Bunlar tasıma güçleri yüksek, homojen ve genel olarak geçirimsizdirler. Her tür baraj için uygundur. Bu tür temelerde, ayrılmış olan yüzey kayasının sıyrılması ve çatlakların enjeksiyonla tıkanması gerekir.

**Çakıl temeller:** Bu temelerde ,tasıma 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 uygundur. Fazla miktarda su sızdırabilecekleri için, bunlarda bir takım sızdırmayı azaltıcı tedbirlerin alınması gerekir.

**Silt veya ince kum temeller:** Tasıma güçleri az, oturma miktarları çok ve geçirimsizlikleri çok olan bu temelerde erozyon (aşınma) meydana gelebilir. Bu bakımdan alçak beton ve toprak dolgu barajlar için elverişli temelerdir. Temel oturmaları, aşırı sızma kaybı ve mansap eteğinin oyulması bunların önemli problemlerdir.

**Kil temeller:** Bunların tasıma 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

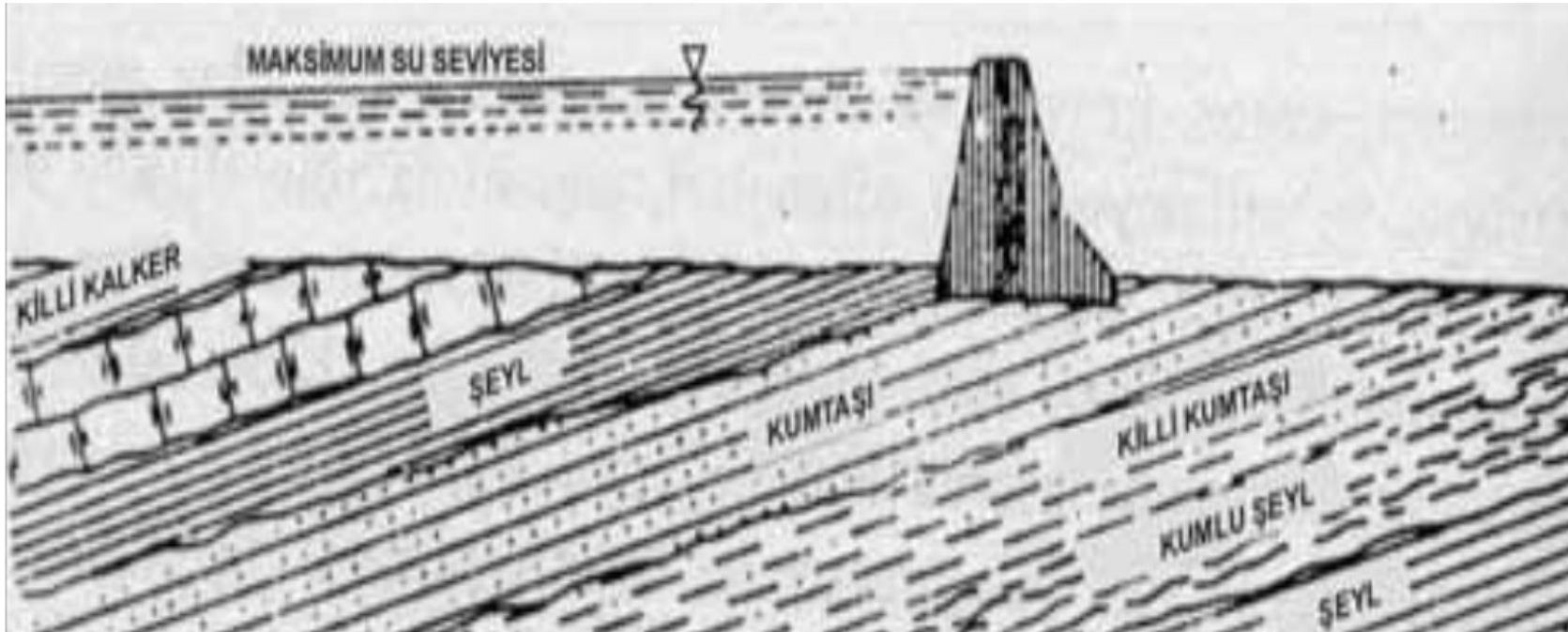
## BARAJ YERİNİN TOPOĞRAFİK DURUMU/Temel zemini ve jeolojik yapı



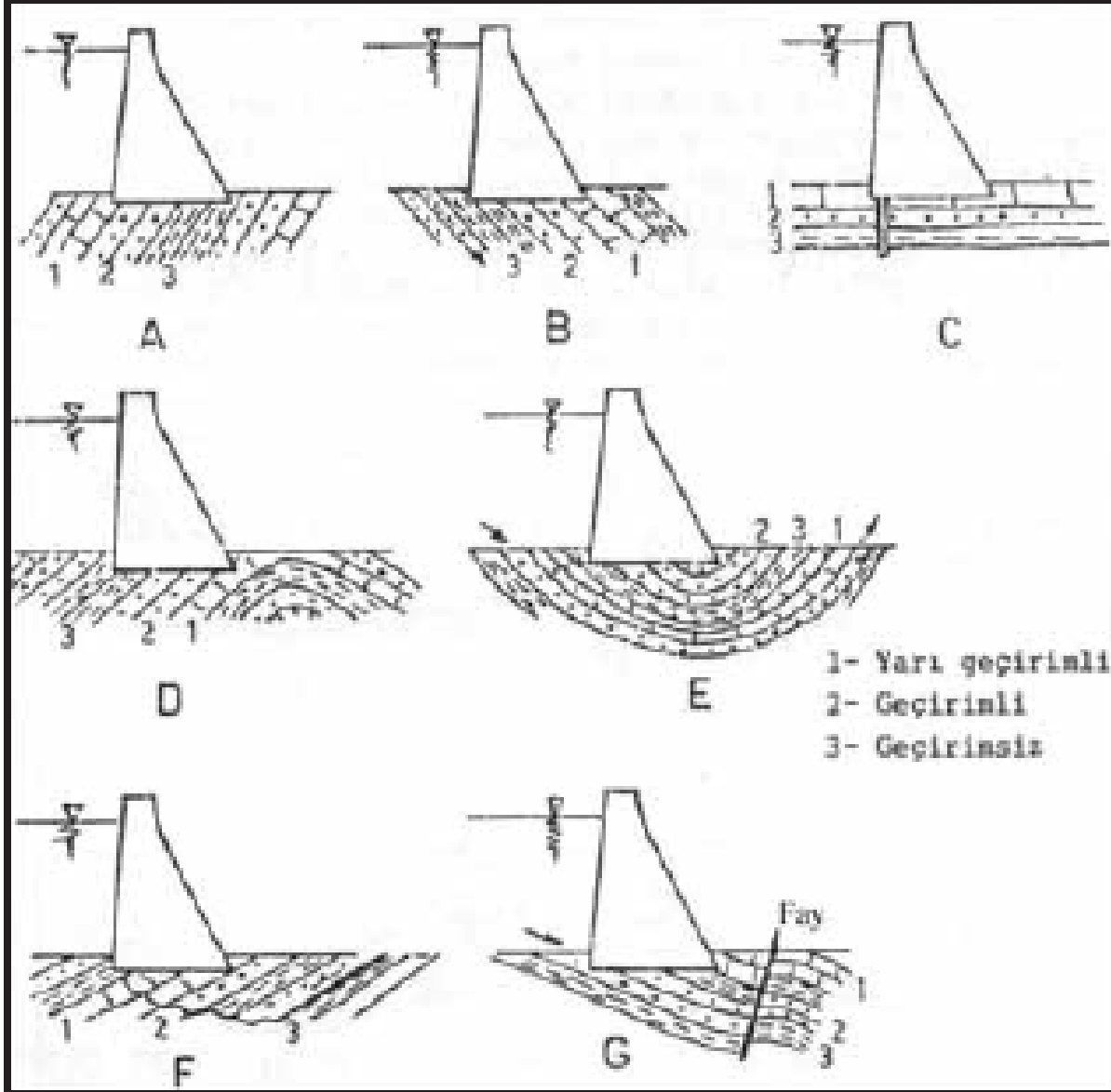
Süreksizliklerin (tabaka, çatlak vb.) doğrultusu baraj eksenine dik olduğu durumlarda, baraj gölündeki su geçirimli kayalar boyunca baraj gölü dışına kaçacaktır. Sırasıyla eğik, yatay ve antiklinal yapıları oluşturan “A”, “B” ve “C” örneklerindeki tabakalarda değişen mertebelerde su kaçakları oluşacak, eğer bu birimlerin geçirgenliği (permeabilite) yüksek ise baraj gölünde su toplanması mümkün olmayacak veya toplanan su kısa bir süre sonunda barajın iki yanına doğru kaçarak baraj gölü boşalacaktır. “D” kesitindeki geçirimsiz birim tarafından alttan sınırlandırılmış olan örnekteki senklinal yapısı, yeraltı suyunun yanlara doğru kaçmasını engelleyecektir. Ancak baraj mansabına doğru (baraj eksenine dik) uzanan tabakalardan kaçaklar olacaktır.

## BARAJ YERİNİN TOPOĞRAFİK DURUMU/Temel zemini ve jeolojik yapı

Baraj gölündeki suyun, barajın altından kaçmasını engellemek için seçilecek baraj yerindeki en uygun tabakalanma, baraj gölüne (membaya) doğru eğimli tabakalardan oluşan ve aralarında geçirimsiz katmanların da (impermeable layer) bulunduğu bir sistemdir. Diğer bir ifadeyle, baraj gövdesi geçirimsiz tabakalar üzerinde, süreksizliklerin doğrultusu baraj eksenine paralel ve membaya doğru eğimli ise baraj yeri idealdir. Buna uygun olarak su tutması açısından ideal bir baraj yeri seçimi şekildeki gibidir.



## BARAJ YERİNİN TOPOĞRAFİK DURUMU/Temel zemini ve jeolojik yapı



“A” ve “D” kesitlerinde, 3 Numara ile gösterilen geçirimsiz tabakalar ile diğer tabakaların membaya doğru eğimli olmaları, baraj yeri seçiminde en ideal yeri ve zemin profilini oluşturacağından baraj suyunun, barajın altından mansaba geçmesine ve su kaçaklarının oluşmasına izin vermeyeceği görülecektir.

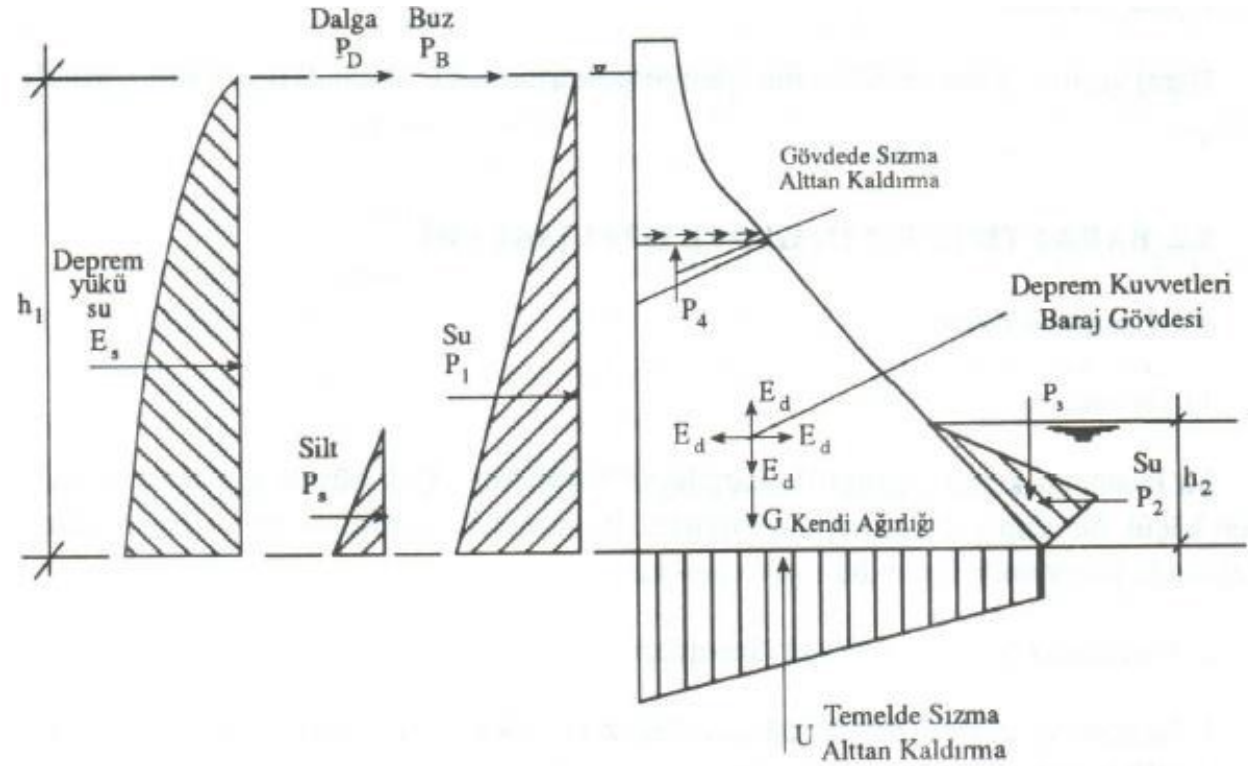
“B”, “C” “E”, “F” ve “G” kesitlerinde ise önlem alınmadığı takdirde barajın altından değişik düzeylerde su kaçakları meydana gelebilecektir.

“E” kesitinde, bir senklinalin üzerinde nedeniyle baraj gölünde yükselen su hidrostatik basıncı etkisiyle sifon yaparak, membadan mansaba doğru su kaçaklarına neden olacak ve mansap tarafında yeni pınarlar oluşacaktır.

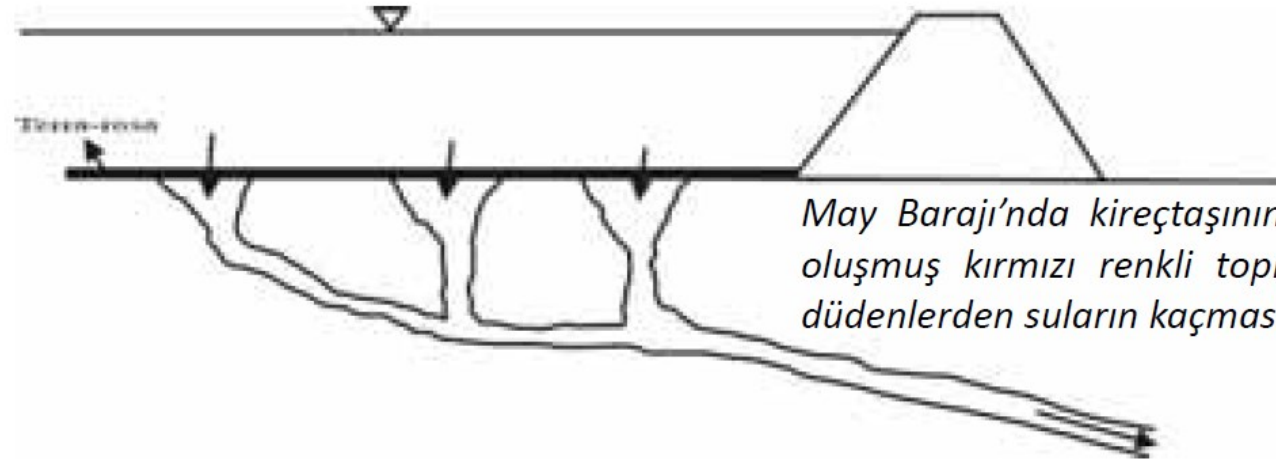
## BARAJLARA ETKİ EDEN KUVVETLER

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 bosluksuyu 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,  
 $U$  = Altın kaldırma kuvveti,



May Barajı'nda kireçtaşının ayrışmasıyla oluşmuş kırmızı renkli toprak ile örtülü düdenlerden suların kaçması



Keban Barajı rezervuarından, yer altı karstik boşlukları içinden kaçan suların sifon yaparak Keban Deresi sol yamacından çıkması



Vayont Barajı göl havzasında oluşan kütle hareketi ve oklar ile gösterilen kayma yüzeyi.