Hidrojeoloji

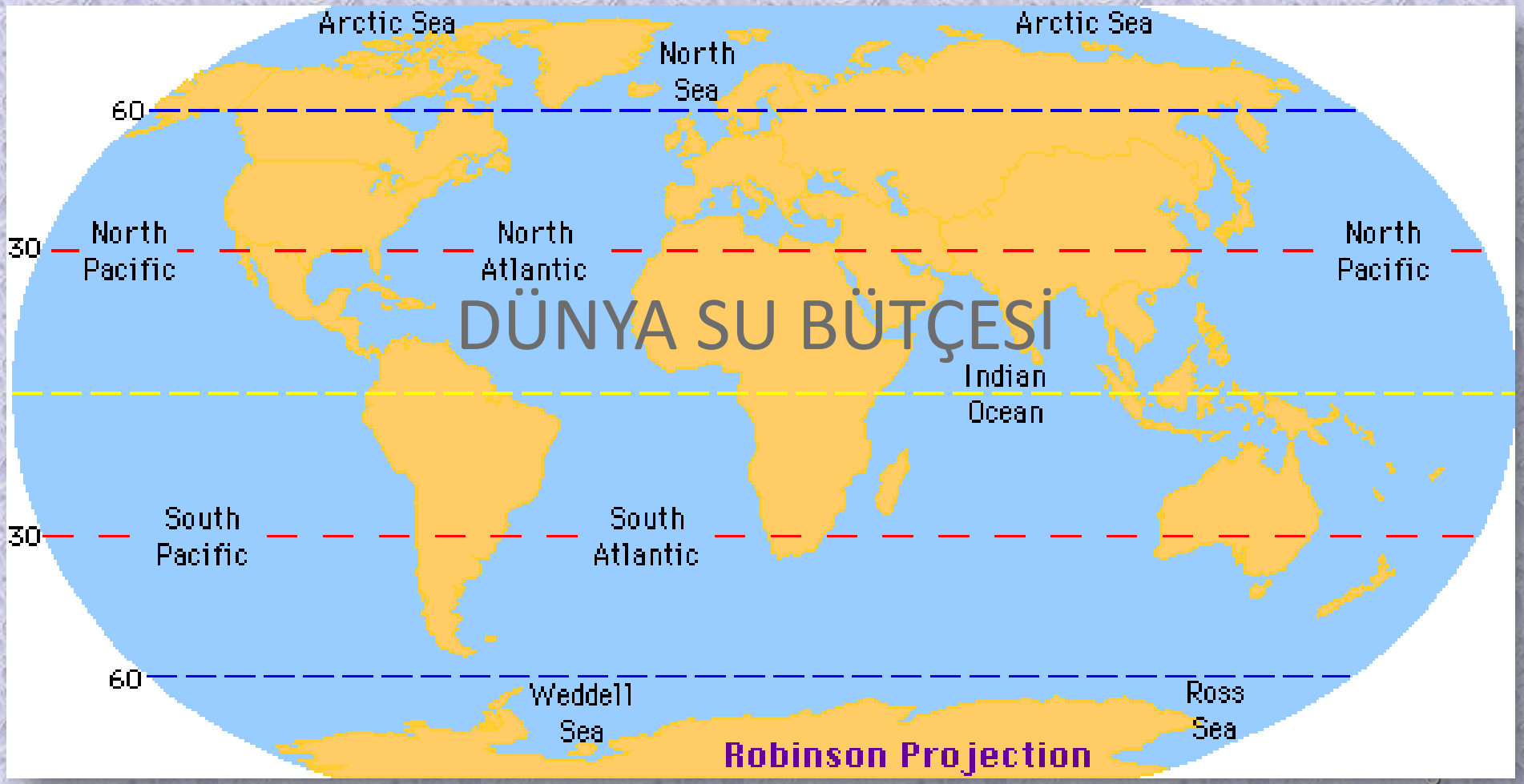


Mühendislik Jeoloji

Dersin alt konu başlıkları

- Hidrolojik döngü
- Hidrolojik kavramlar
- Drenaj (akaçlama) tipleri
- Hidrojeoloji
- Yerkabuğundaki suyun bulunuş şekilleri
- Yeraltı suyundan yararlanma
- Yeraltı suyu ile ilgili sorunlar

Yeryüzü toplam su varlığımız **1.385.000.000 km³** dolayındadır.
Bu suyun **%97**'si tuzludur. Tatlı suların toplam hacmi **37.300.000 km³** tür

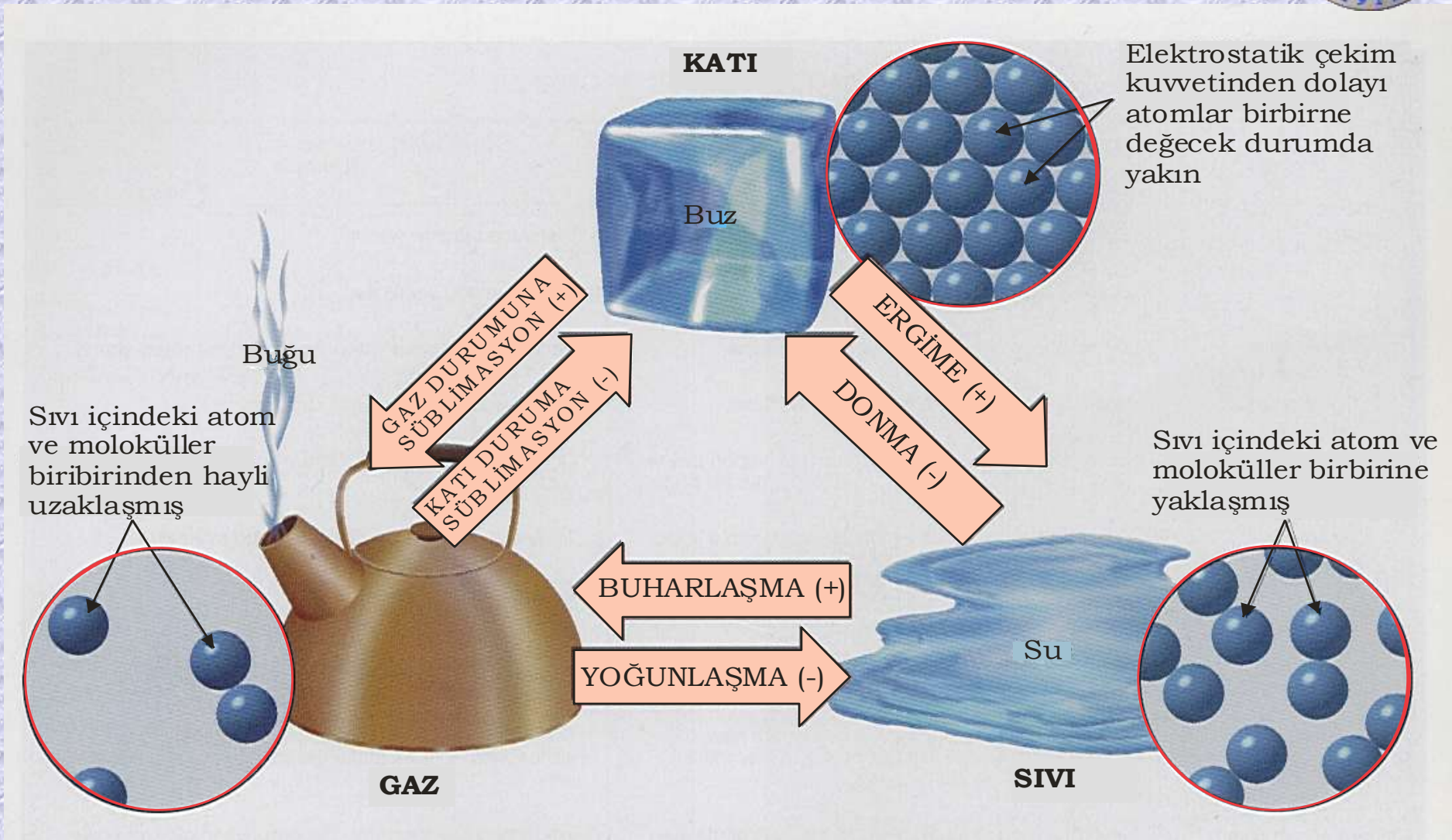




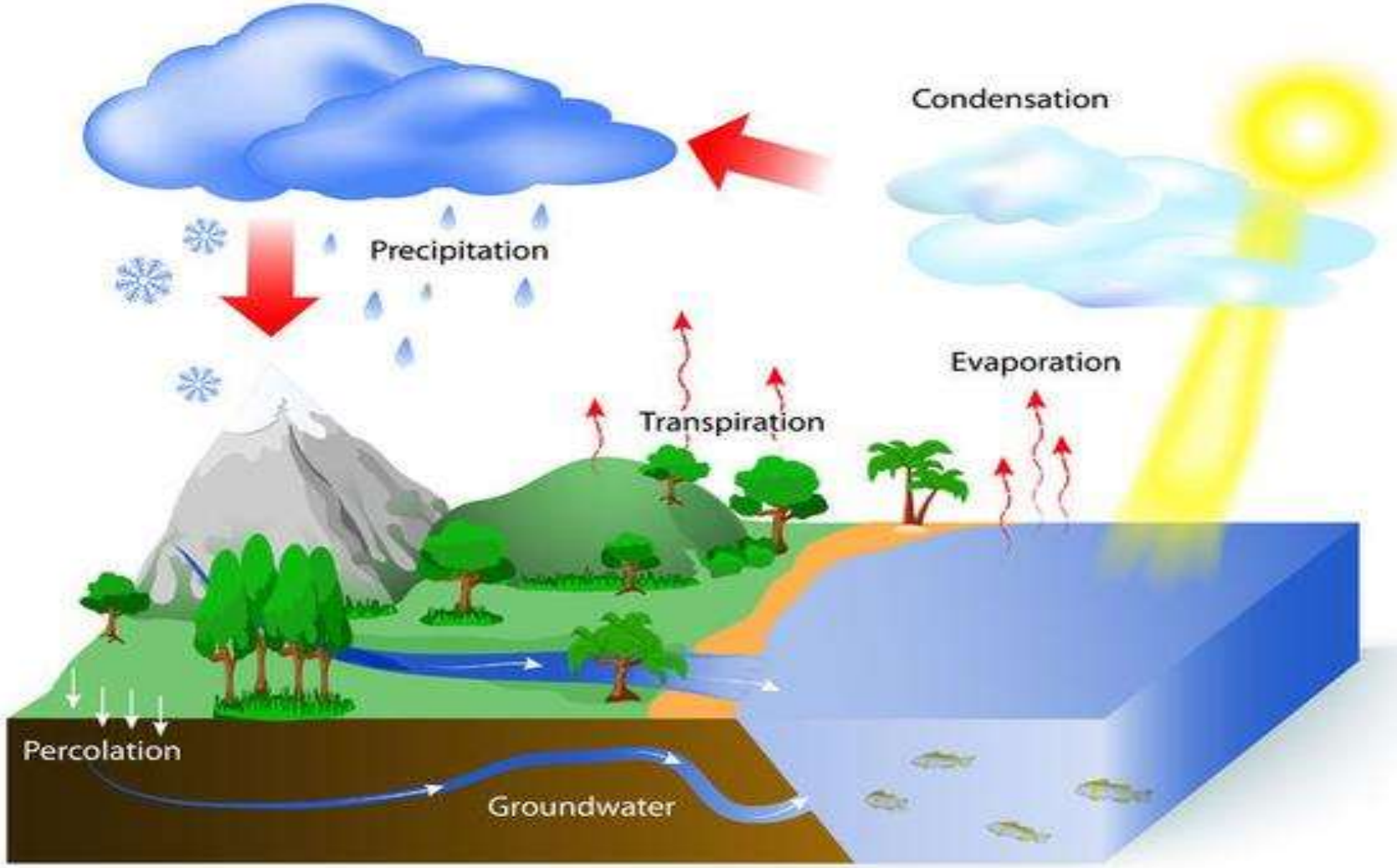
37.300.000 km^3 tatlı suyun,

% 2.04'ü Buzullarda
% 0.61'i Yeraltında
% 0.009'u Göllerde
% 0.005'i Toprak Nemi
% 0.001'i Atmosferde
% 0.0001'i Akarsularda

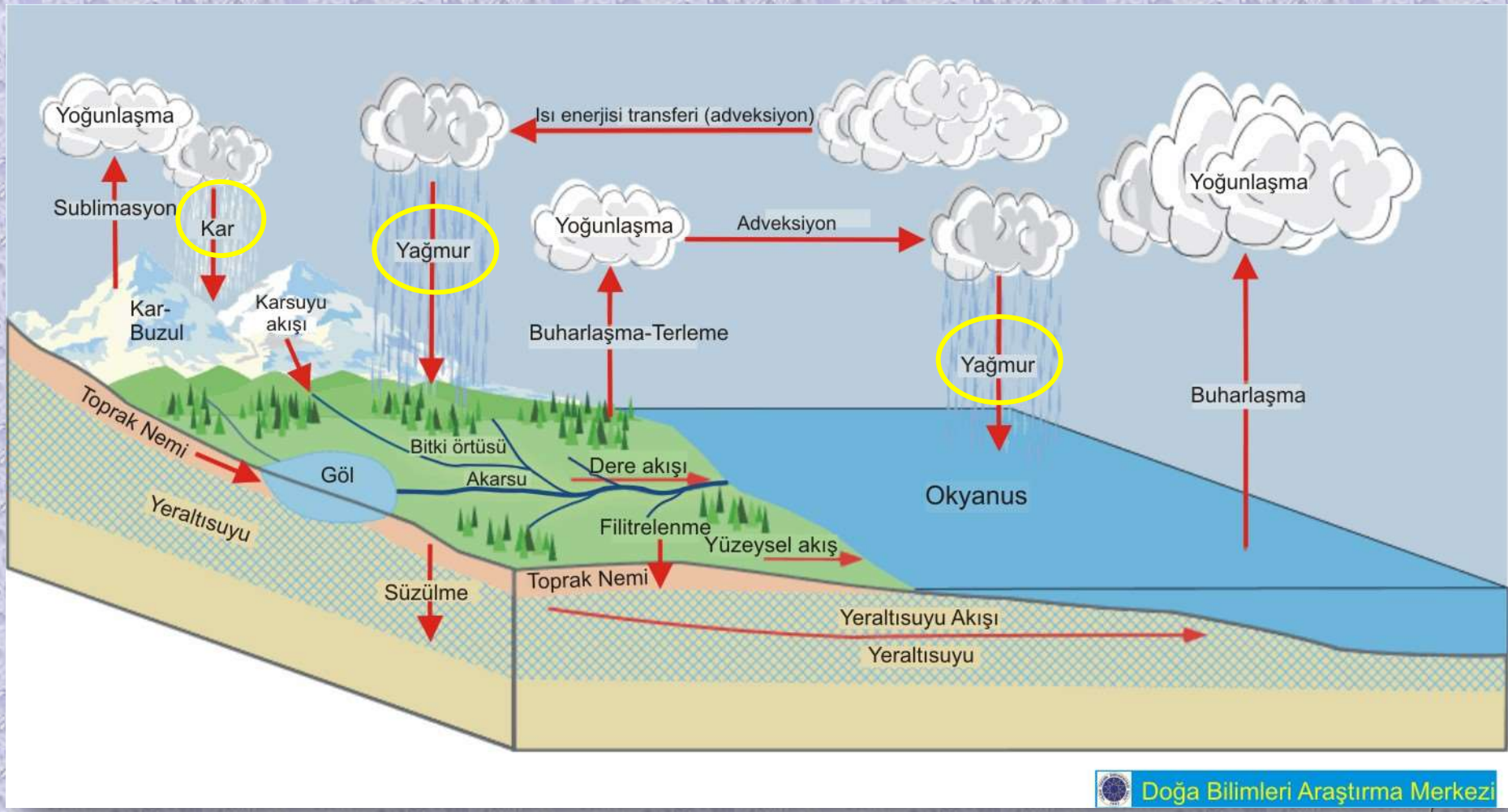
Suyun 3 hâli


KATI
Elektrostatik çekim kuvvetinden dolayı atomlar birbirine değecek durumda yakın
Buz
Buğu
GAZ DURUMUNA SÜBLİMASYON (+)
KATI DURUMA SÜBLİMASYON (-)
ERGİME (+)
DONMA (-)
Sıvı içindeki atom ve moloküller biribirinden hayli uzaklaşmış
Sıvı içindeki atom ve moloküller birbirine yaklaşmış
BUHARLAŞMA (+)
YOĞUNLAŞMA (-)
Su
GAZ
SIVI

Küresel su dolaşımı (Hidrolojik Döngü)



Küresel su dolaşımı (Hidrolojik Döngü)



Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi

Yağış :

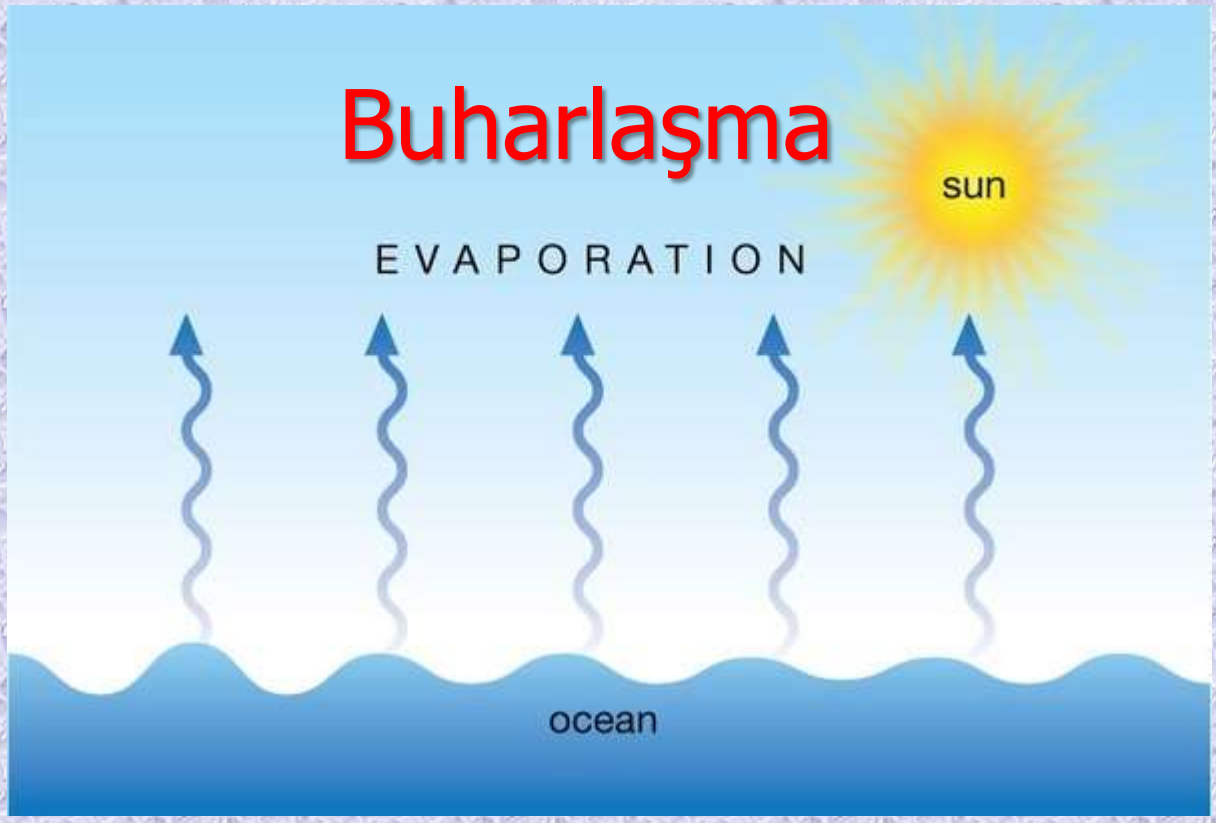
- Herhangi bir alana kar, yağmur, dolu, kırağı ve çığ halinde düşen suya denir. Meteorolojik olarak bir bölgeye düşen yağış miktarı milimetre olarak ifade edilir. 1 m^2 lik bir alana isabet eden 1 milimetre yüksekliğindeki suyun hacmi 1 litredir.
- Son yıllarda litre yerine 24 saate düşen yağış kilogram da ifade edilmektedir.

Yer kabuğu içinde sular

a. Sızma ve akma ile oluşan (**canlı, meteorik, vadoz**)
b. Derinlerde oluşan (**cansız, fosil, uyuyan**)
c. Metamorfizma ile diyajeneze bağlı olarak oluşan, Magmatizma ile oluşan (**juvenil**) sulardır.



Buharlaşma

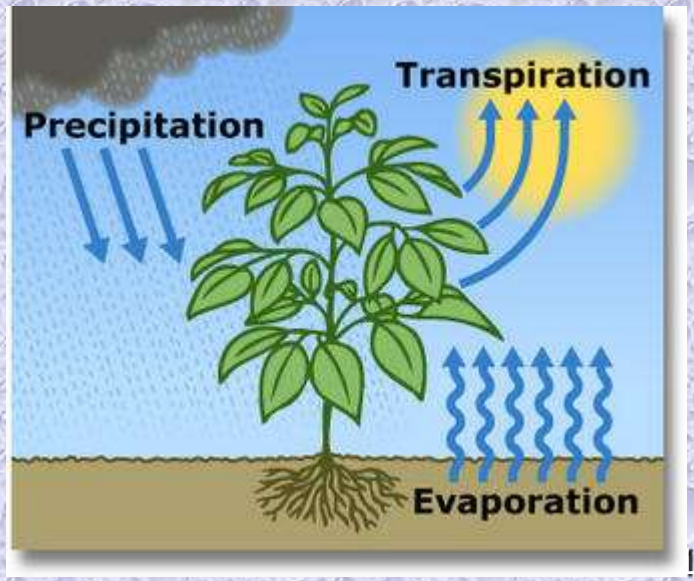


- Serbest su kütlesinden ya da zeminden buharlaşma birbirinden farklıdır. Denizler, göller, rezervuarlar, akarsular gibi yerlerde buharlaşma daha şiddetli olur

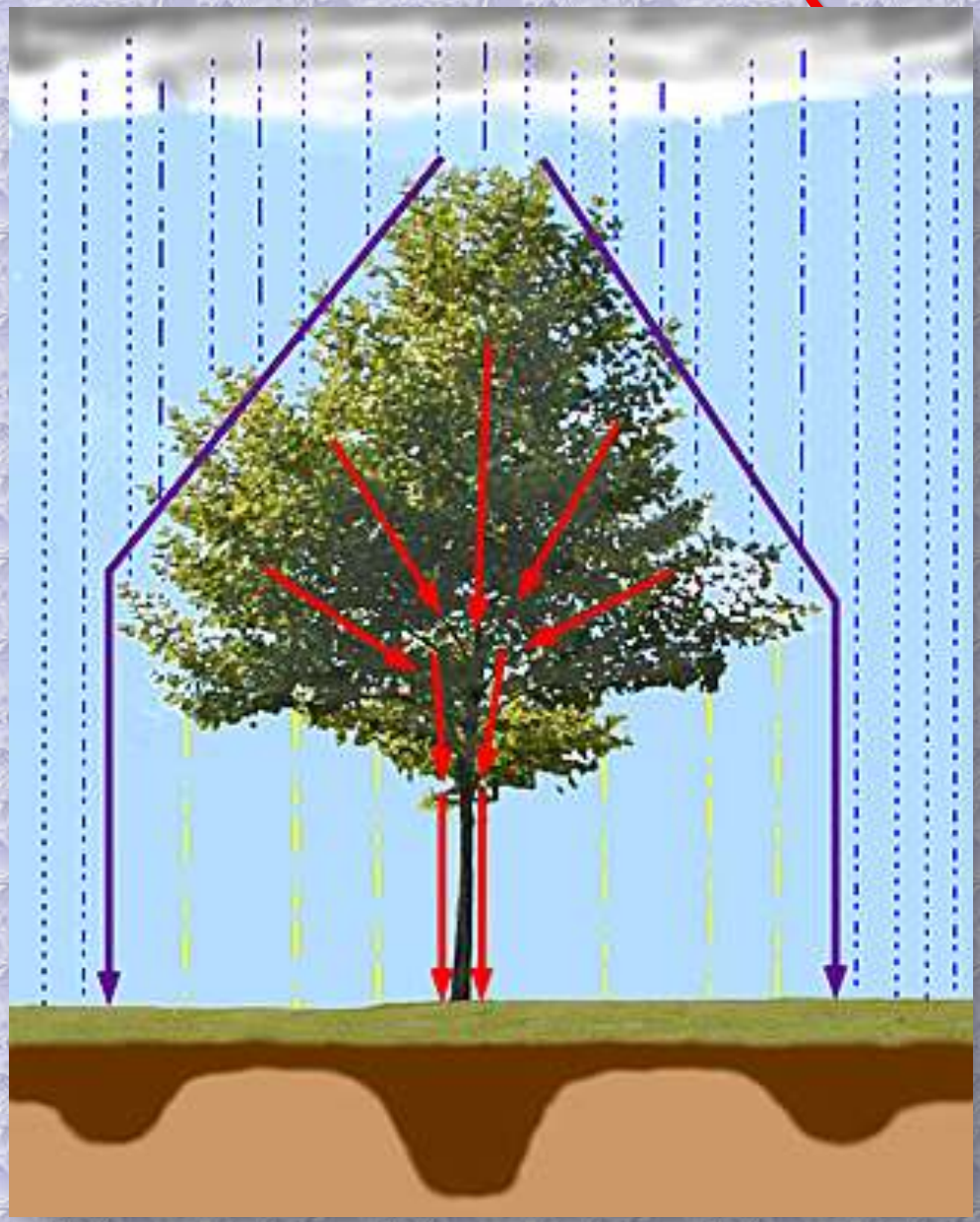
Terleme

Bitkiler kökleriyle topraktan aldıkları suyu kullandıktan sonra yaprakları vasıtasıyla su buharı halinde atmosfere veriler. Bitkilerin bu fonksiyonuna terleme (***transpirasyon***) denir. Terleme, ışık şiddeti, sıcaklık, rüzgar hızı, vejetasyon dönemi ve bitki türüne göre değişir.





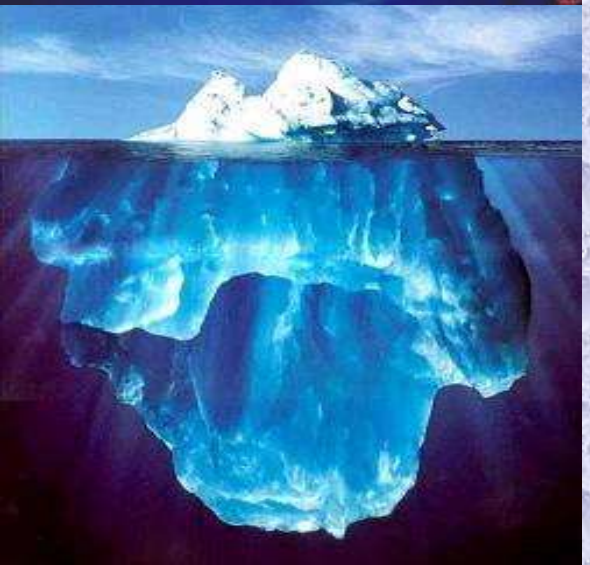
Alıkonma (interception)



Atmosferden düşen yağışın bir kısmı bitkilerin yaprakları ve gövdeleri üzerinde tutulur. Bu durum mevsime, yağışa, ağaçlara bağlı olarak değişir. Bazen ormanlarda alıkonma % 40'a kadar çıkabilir.







Buz ve Buzullar

- Küresel suyun bir kısmı buz şeklindedir. Kutup bölgelerindeki düşük sıcaklıklarda **permafrost** denilen sürekli donmuş toprak tabakası bulunmaktadır. Tüm karaların %20'si böyledir. Bu bölgelerde mühendislik yapıları inşa ederken özel dikkat gerekir.
- Erime-donma, süblimasyon biriken kar buzul oluşumuna yol açar. Buzullar 15milyon km^2 lik bir alan kaplamaktadır.
- Buzullar önemli tatlı su kaynaklarından biridir.
- Buzulların kar yağışı ve çığlarla beslenmesine **akümülasyon**; buharlaşma ve erime yoluyla kütle kaybetmesine **ablasyon** adı verilir.

Yüzeysel akış

- Yağışın bir kısmı yeraltına süzülürken diğer bir kısmı yer yüzeyinde akar. Bu akış bir yatak içerisinde ise **çizgisel akış (=akarsu)**; Buna karşılık akışın yeraltına sızmayacak kadar çok ve hızlı ise olduğu ya da toprağın doyduğu durumlarda yüzeysel akış tüm yamacı kaplayacak şekilde akarsa buna da **sellenme** denir.
- Yüzeysel akışın tüm alana düşen yağış miktarına oranına **akış katsayısı** denir. Bu, iklim, jeomorfoloji, bitki topluluğu ve zemin durumu gibi parametreler göre değişir.
- Bir akarsuyun bir yatak kesminden 1 saniyede geçen suyun hacmine **debi (*discharge*)** adı verilir.
- Bir akarsuyun sularını topladığı alana **beslenme havzası** adı verilir

Yüzeysel akışa devam.....

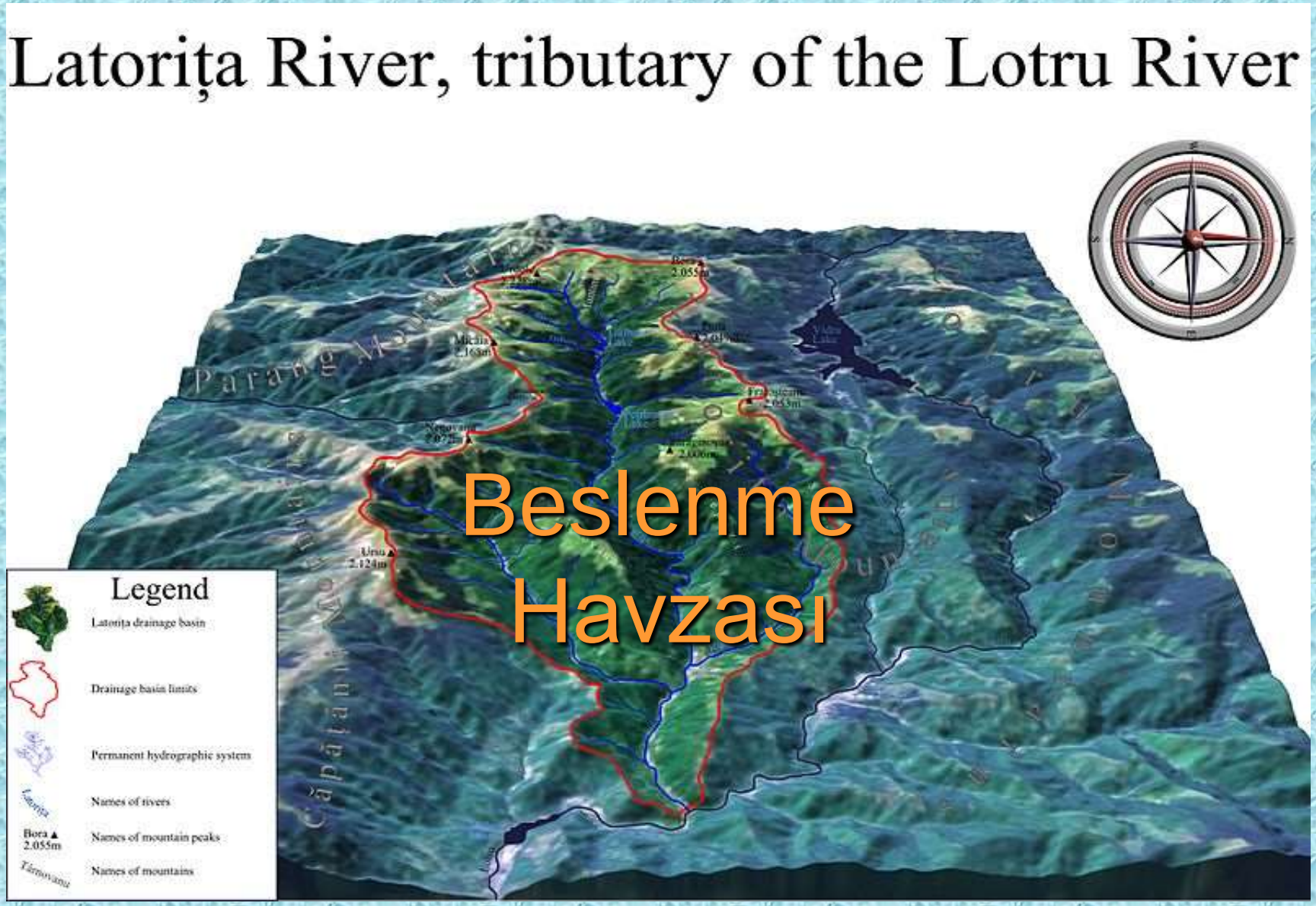
- Yıl boyunca olan akım miktarındaki değişikliğe **akarsu rejimi** denir. Aylık farkları az olan akarsulara **düzenli**; aylık akım farkı büyük olanlara ise **düzensiz akarsular** adı verilir.

- Ana akarsu ve kollarının değişik jeometrik düzen ve aralıklarda birleşmesinden oluşan tiplere **drenaj (akaçlama) tipi** adı verilir. Topografik, litolojik ve yapısal karakterler drenajın tipini etkiler.

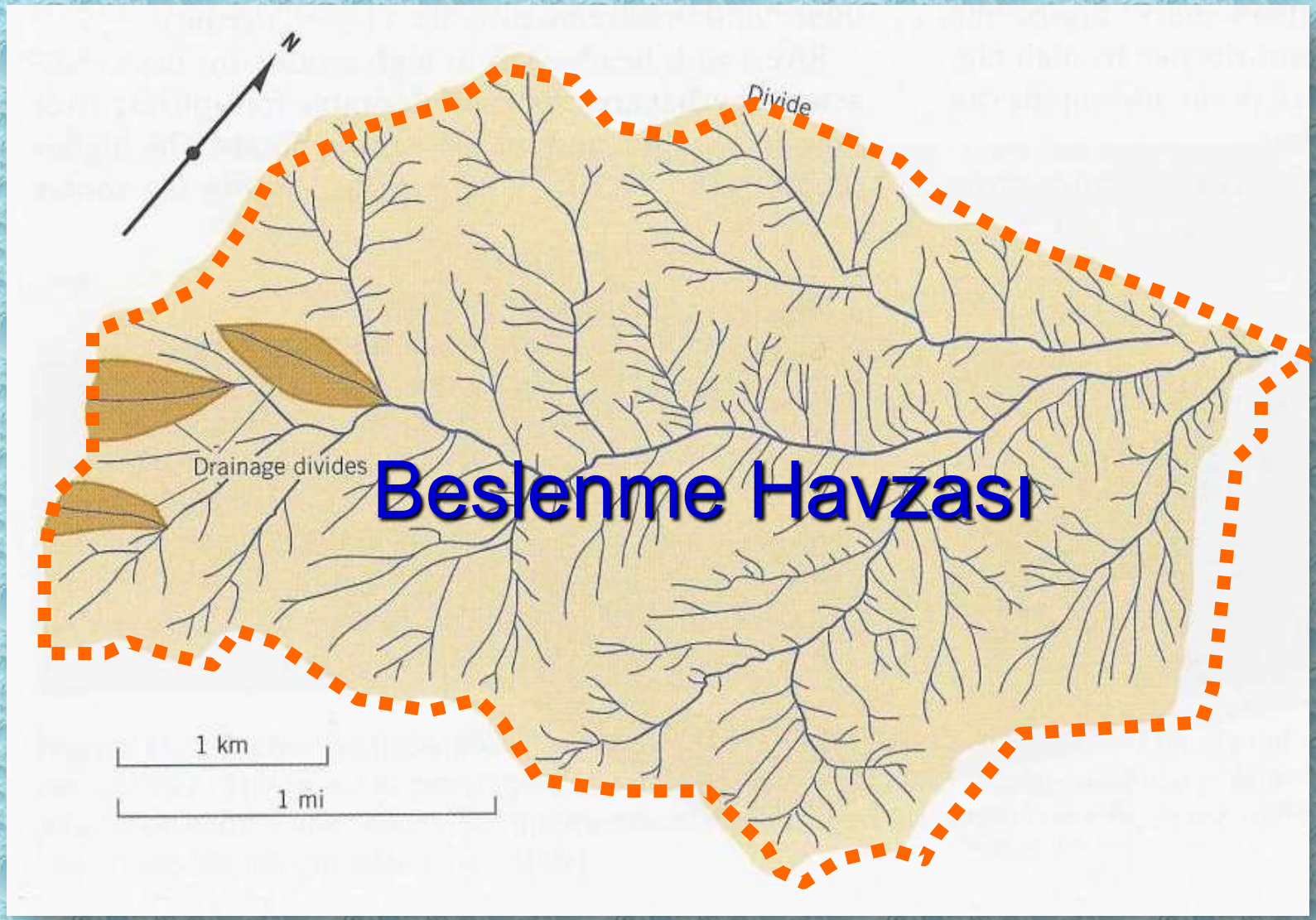
Drenaj ve beslenme havzası



Drenaj ve beslenme havzası

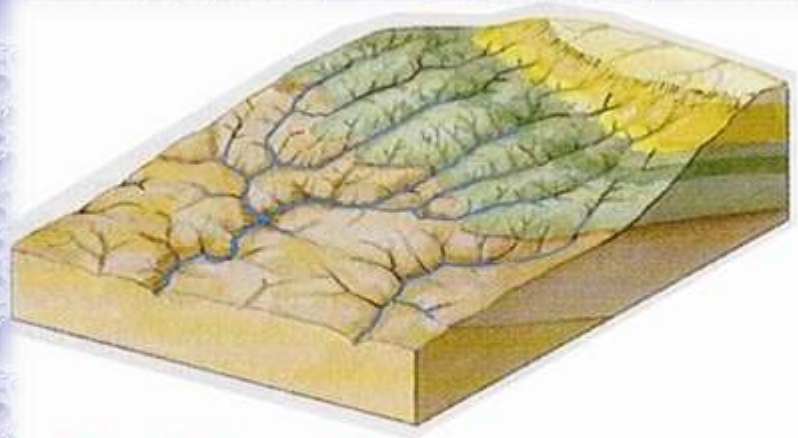


Drenaj ve beslenme havzası

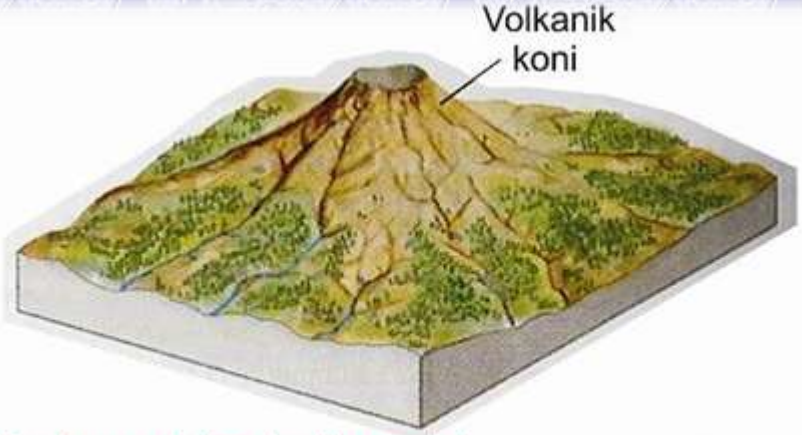


Strahler, A. and Strahler, A., 2002. *Physical Geography*. Wiley, NY.

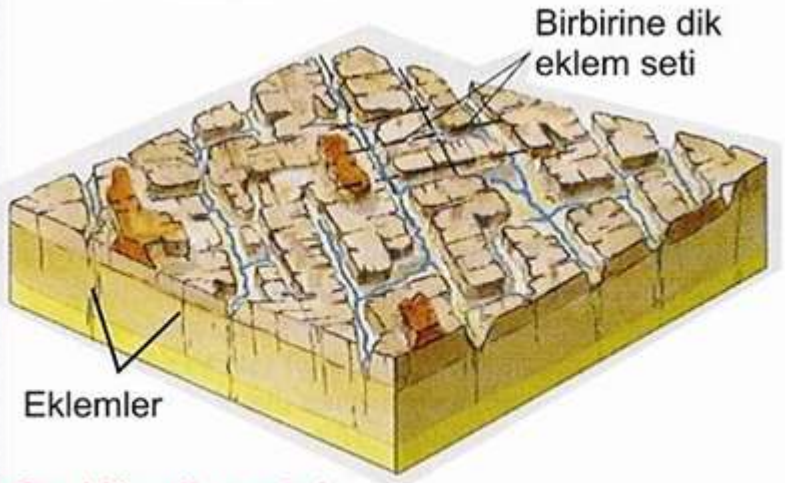
Drenaj (akaçlama) tipleri



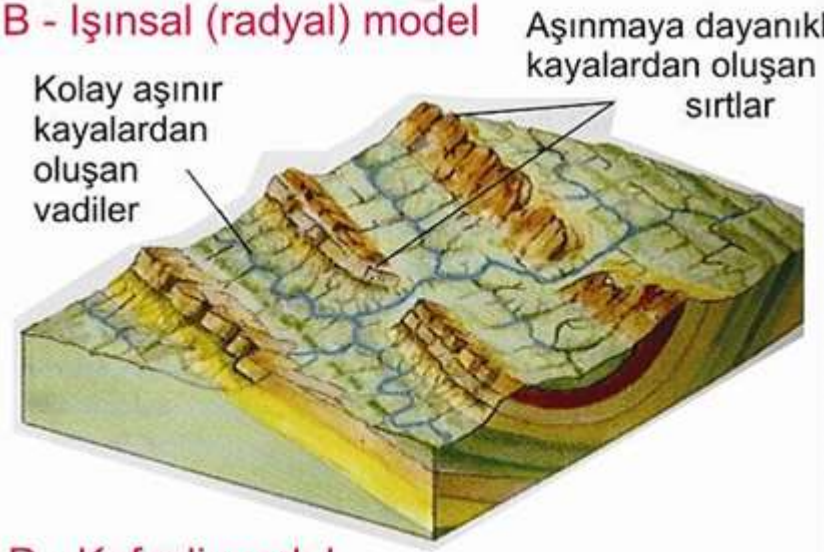
A - Dendritik model



B - Işınsal (radyal) model

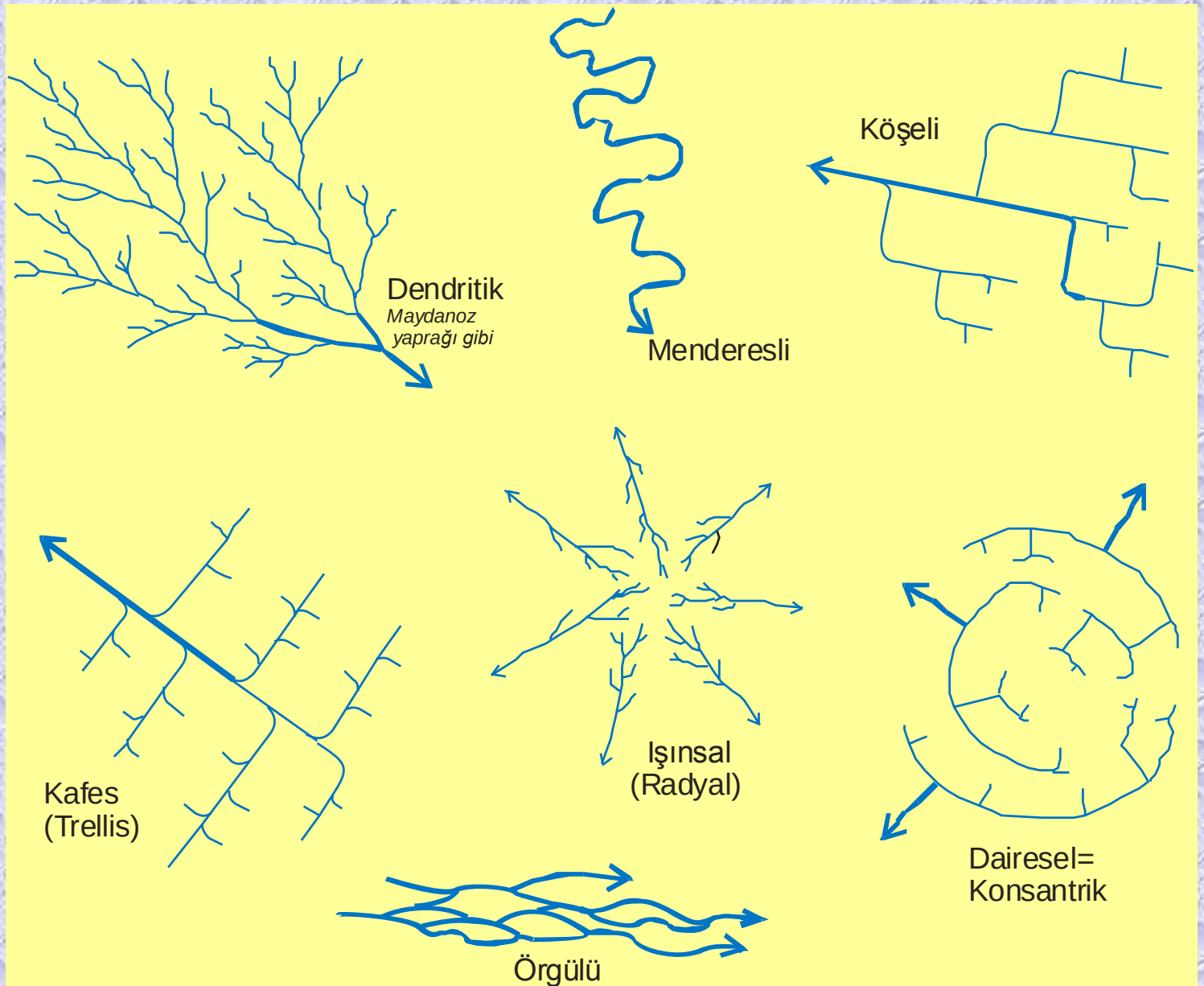


C - Köşeli model



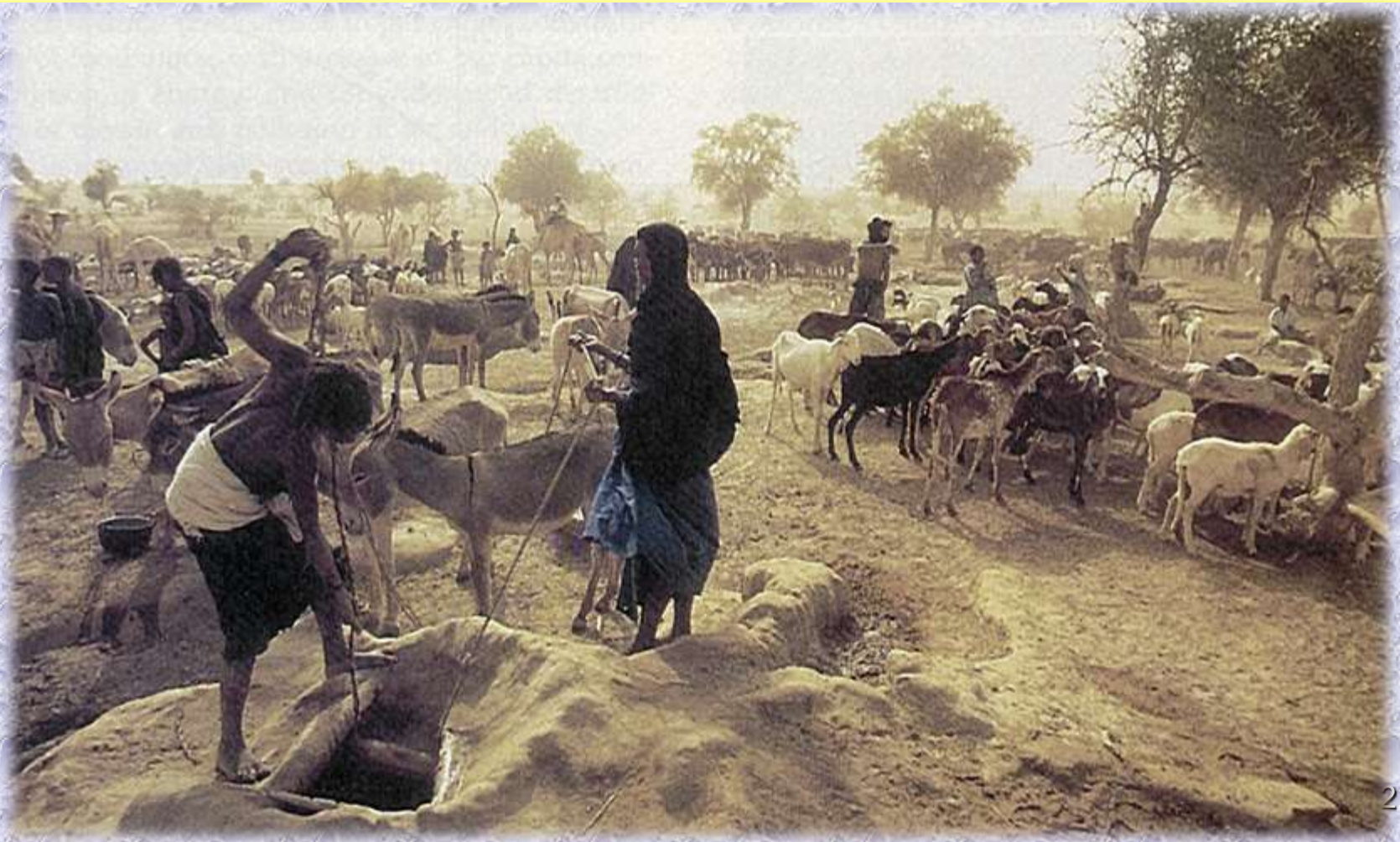
D - Kafesli model

Drenaj (akaçlama) tipleri



Yeraltı suları (Hidrojeoloji)

Tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için suya gereksinimleri vardır



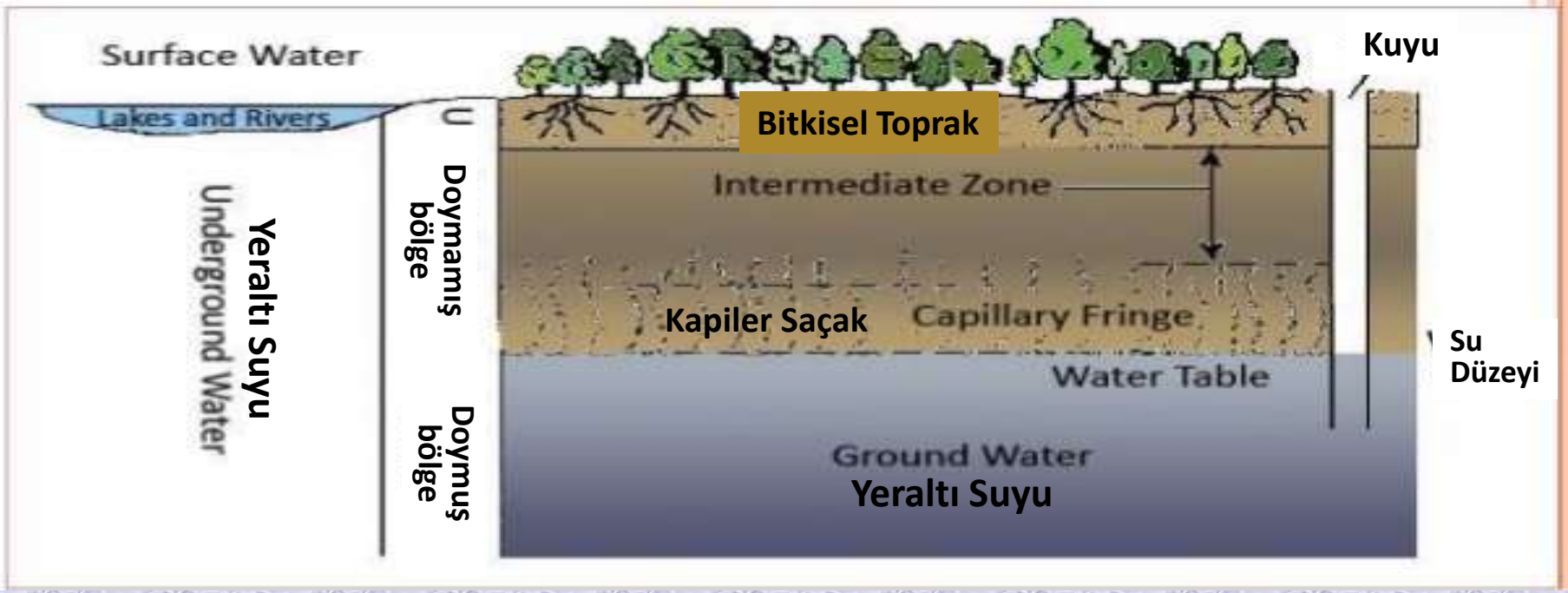
Hidrojeoloji

- Hidrojeoloji konusu, meteoroloji, klimatoloji, hidroloji, hidrolik, su kimyası, fizik, jeoloji, jeomorfoloji ve fotojeoloji ile işbirliği içindedir. Yerkabuğundaki sularla uğraşan jeologlara **hidrojeolog** adı verilir. Yeraltı suları fissür, çatlak, fay yada boşluklarda bulunur.
- yeraltı suyundan yararlanmak için bilinmesi gerekli olan en önemli kavramlar **Akma, sızma, yağış, buharlaşma, gözeneklilik, (porozite), geçirimlilik (*permeabilite*) iletkenlik (*transmissiblite*), depolama katsayısı'**dır.

Yeraltındaki Suyun Profili

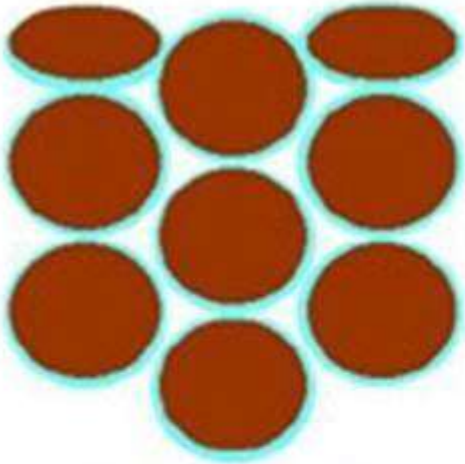
Yeryüzü altındaki zeminin altındaki kısma «**vados zonu**» ya da «**doymamış bölge**» adı verilir. Bu zonun altındaki «**doygun bölgeye**» ise «**yeraltı suyu zonu**» denir.

Doymuş bölgenin üst kısmı «**yeraltı su yüzeyi**» denir. Bu düzey «**havalanma bölgesi**» ile «**doymuş bölge**» arasındaki sınırı gösterir.



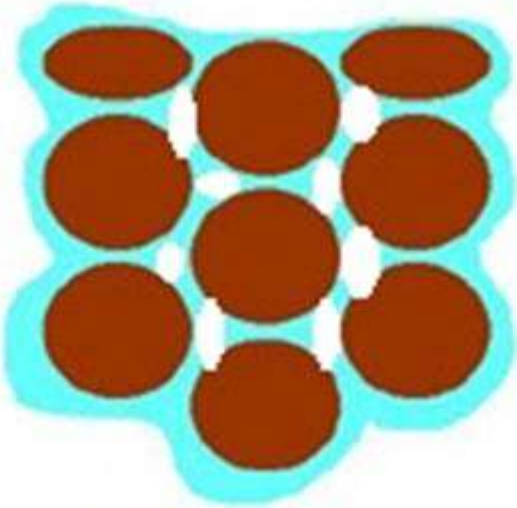
Tane ve çatlakların etrafındaki su

Higroskopik Su
(Film ya da Peliküler su)



Tanelere yapışık kalan tutuklu su

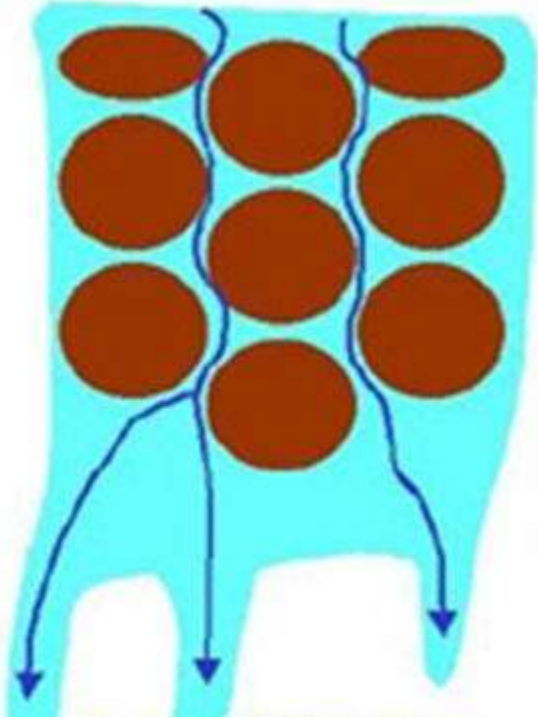
Kapiler Su



Mikroanelerde tutulan su

Mevcut suyu bitki kökleri absorbe eder

Kapiler Su

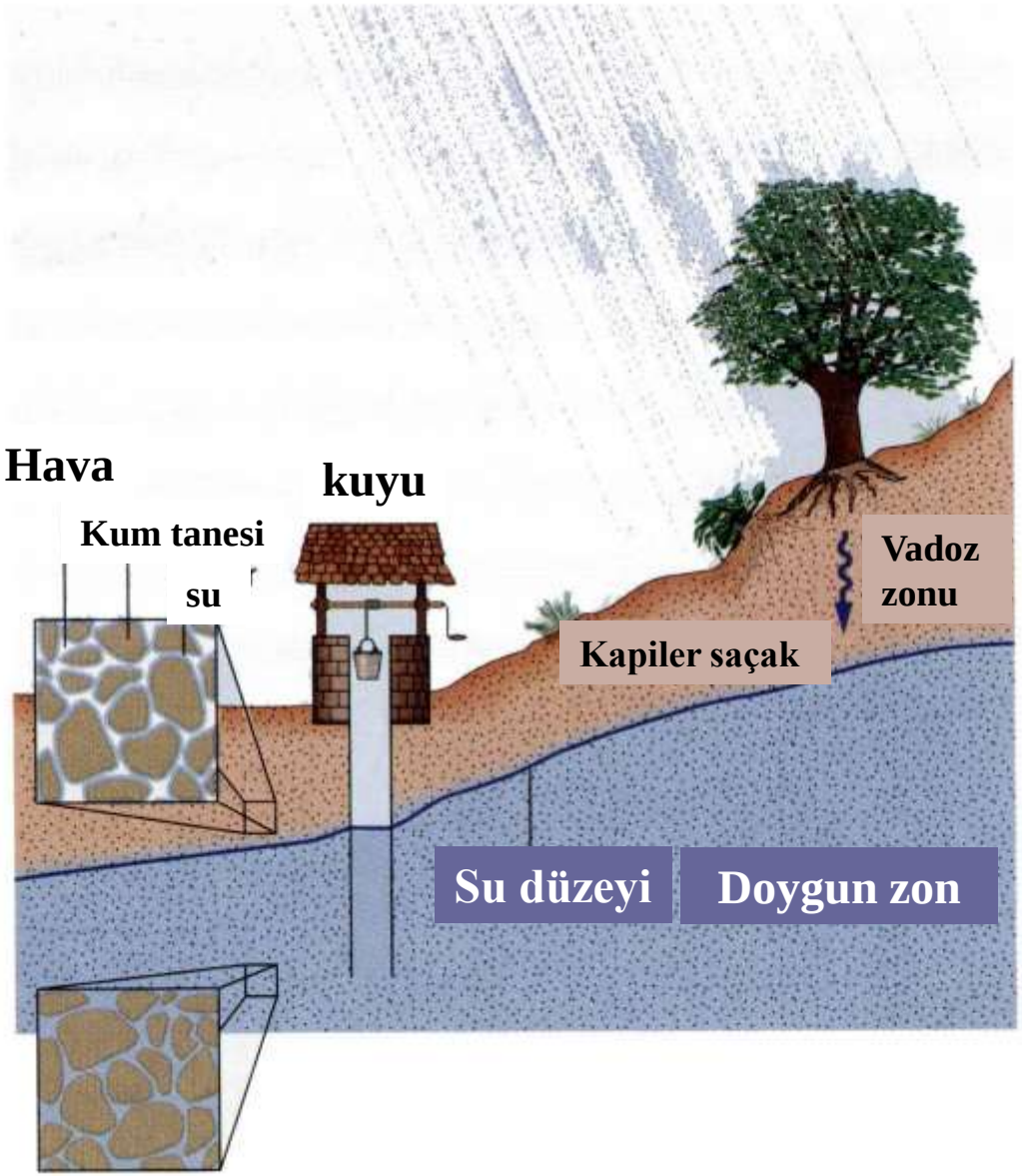


Tane aralarından sızan su

Solma noktası →

← Saha Kapasitesi

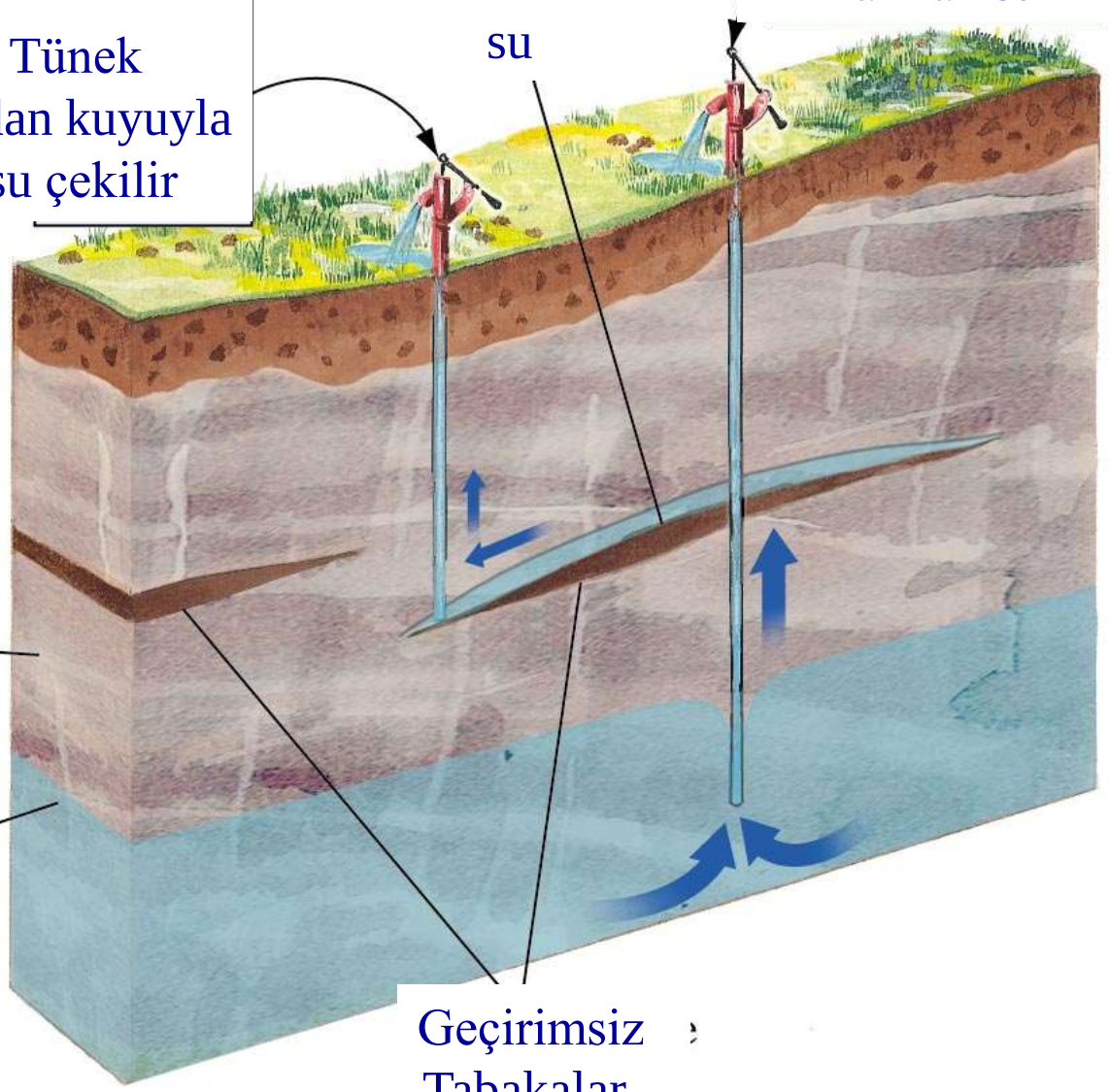
Yeraltı suyunun bulunuş şekilleri



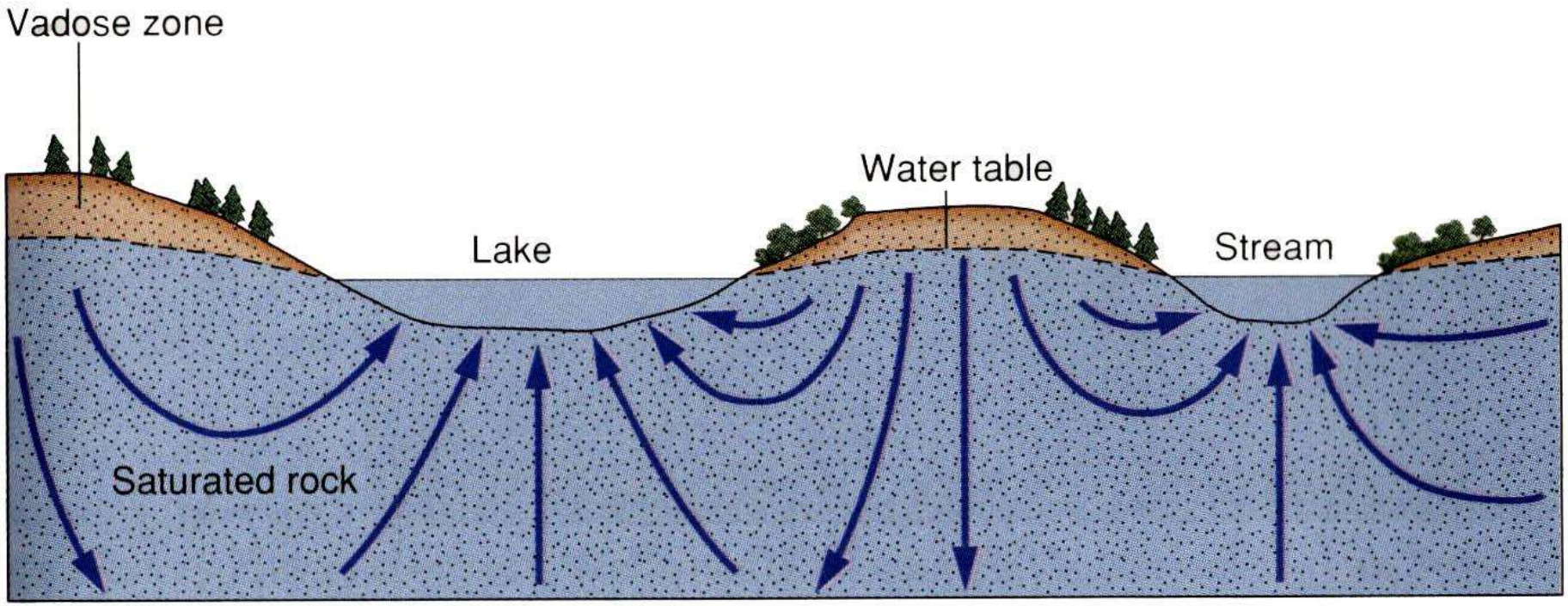
Tünek su


Tünek su bölgeleri
Kuru kuyu
Verimli kuyular
Clay (Kil)
Sand (Kum)
Clay
Yeraltı suyu (doymuş bölge)

Tünek su


Tünek
sudan kuyuyla
su çekilir
Tünek
su
Doymuş bölgeden
alınan su
Havalanma
zonu
Yeraltı
su düzeyi
Geçirimsiz
Tabakalar

Yeraltı suyu-göl ve dereler



Gözeneklilik (porozite)

- Kayaçların içindeki boşluk ve çatlakların tümü için **gözeneklilik (porozite)** terimi kullanılır. Yüzde ile ifade edilir. Formülü;

$$n = A/V \times 100 = Wd-Wk/V \times 100$$

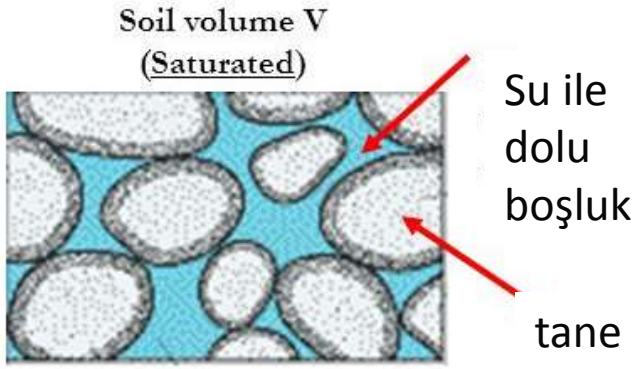
n= porozite
Wd= doygun ağırlık
Wk= kuru ağırlık
A= Wd-Wk= Zemin içindeki boşluk hacmi
V= zeminin tüm hacmi



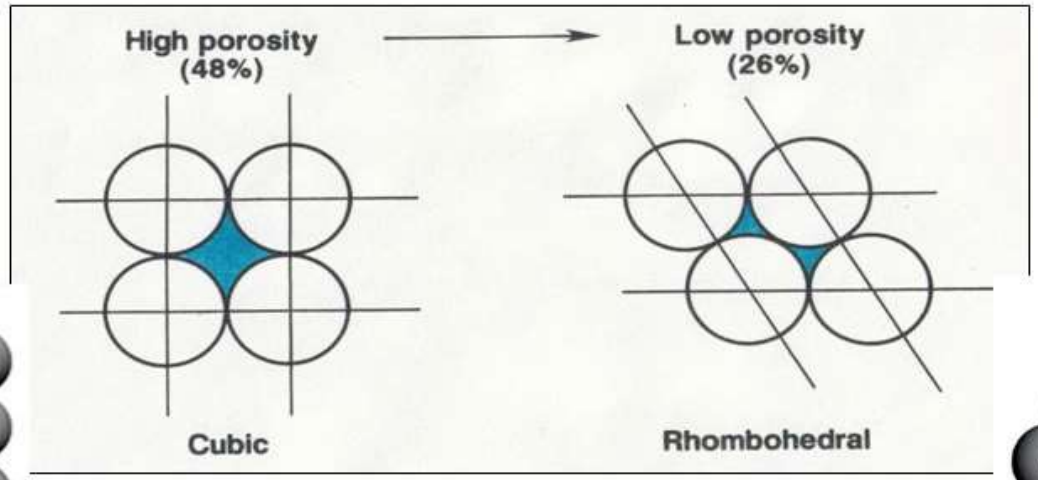
- Gözeneklilik tanelerin şekline, çapına, dizilişine, çimentolanmasına ve sıkılık derecesine bağlıdır.
- Taneli, çimentosuz kayaçların gözenekliliği % 0-40 arasında değişir. Silt ve killerde bu oran %60 a kadar çıkabilir.
- Çimentolu kayaçlarda gözeneklilik **birincil** ya da **ikincil** olabilir.
- Eğer gözenekler birbiriyle bağlantılı ise **geçirimli (permeabilite)** demektir. Sözgelimi, killerde gözeneklilik yüzdesi yüksek olmasına karşın geçirimli zayıftır.

Gözeneklilik (porozite)

- Gözenekli ortamın boşluk özelliği
- Boşlukların doldurduğu toplam hacım yüzdesi



Kübik paketleme

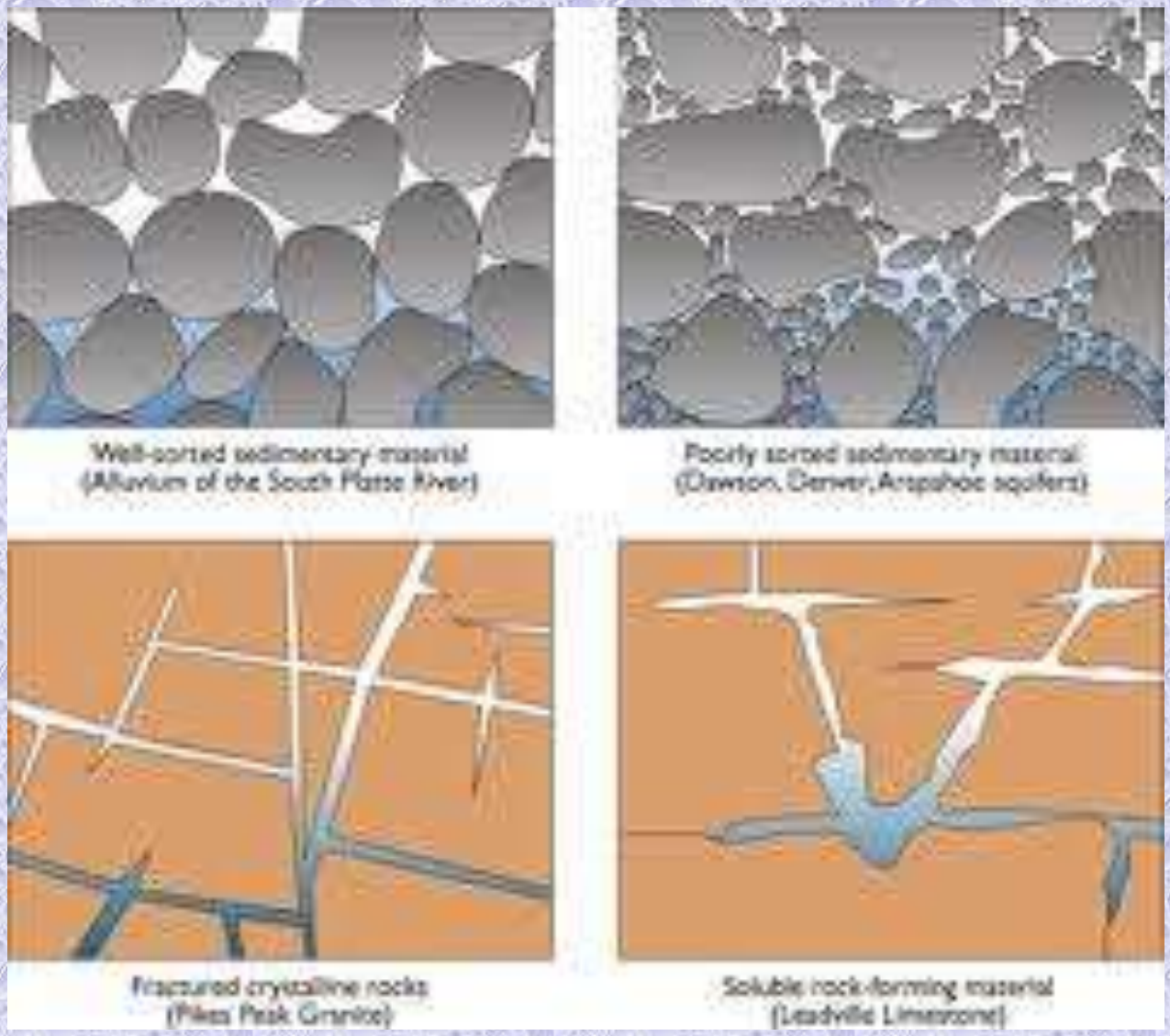


Romboeder paketleme





Birincil ve İkincil Gözeneklilik



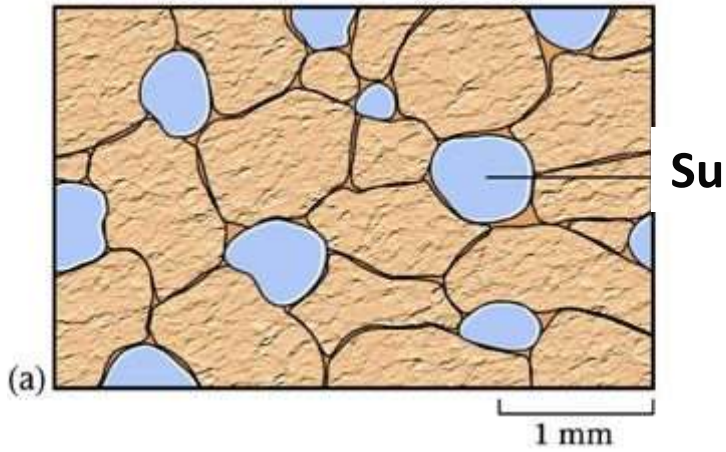
Geçirimlilik (Permeabilite)

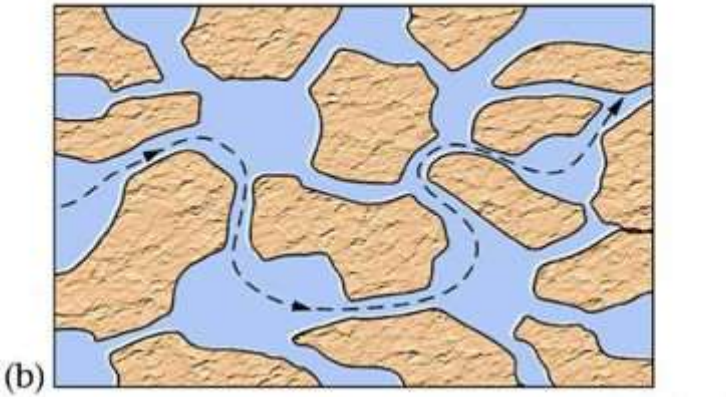
- Bir kayacın ya da bir zeminin suyu geçirebilme özelliğidir. (**K**) ile gösterilir ve metrik sistemde geçirimli bir ortamın birim kesit ve birim uzunluktaki prizması içinden birim yük kaybı altında birim zamanda geçen su miktarıdır. Birimi $m^3/sn/m^2$=**m/sn**

Gözeneklilik ve Geçirgenlik
Porozite ve Permeabilite

Gözeneklilik = Porozite – kaya içindeki çatlak ve çökel içindeki tane arası boşlukların tümü

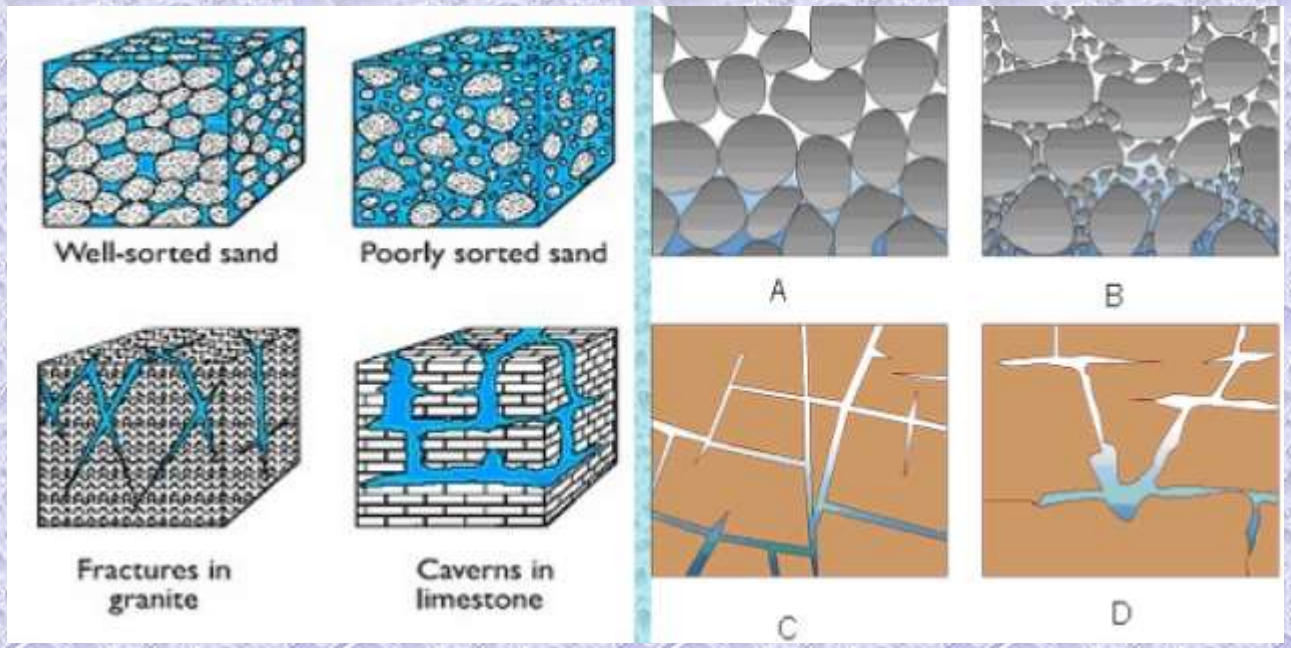
Geçirgenlik = Permeabilite – boşluklar arasında suyun dolaşabilme ya da iletkenlik özelliğidir





Gözeneklilik ve Geçirgenlik

Porozite ve Permeabilite



- **Yüksek poroziteli litolojiler**
  - Kum, kumtaşı, bazı kireçtaşları, bazı bazaltlar
  - Genellikle fazla geçirgen (permeabilite)
- **Düşük poroziteli litolojiler**
  - Granit vb magmatikler, metamorfik kayaçlar
  - Çatlaklardan dolayı fazla geçirgen olabilir

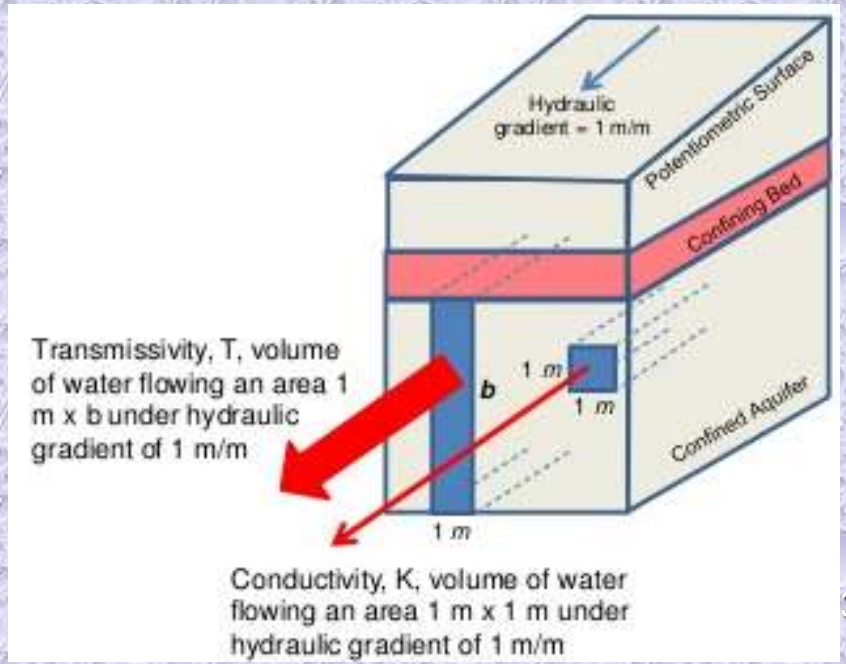
İletkenlik (Transmissiblite)

- Bir ortamın su iletebilme yeteneğidir. (**T**) harfi ile gösterilir. Doymuş akifer yüksekliğindeki birim taban kesitli bir prizma içinden, birim yük altında ve birim zamanda geçen su miktarıdır.
- Başka bir deyişle iletkenlik, akiferin geçirimlilik katsayısı (**K**) ile akifer kalınlığı (h) çarpımına eşittir. Metrik sistem birimi,

  $M^3/sn/m$

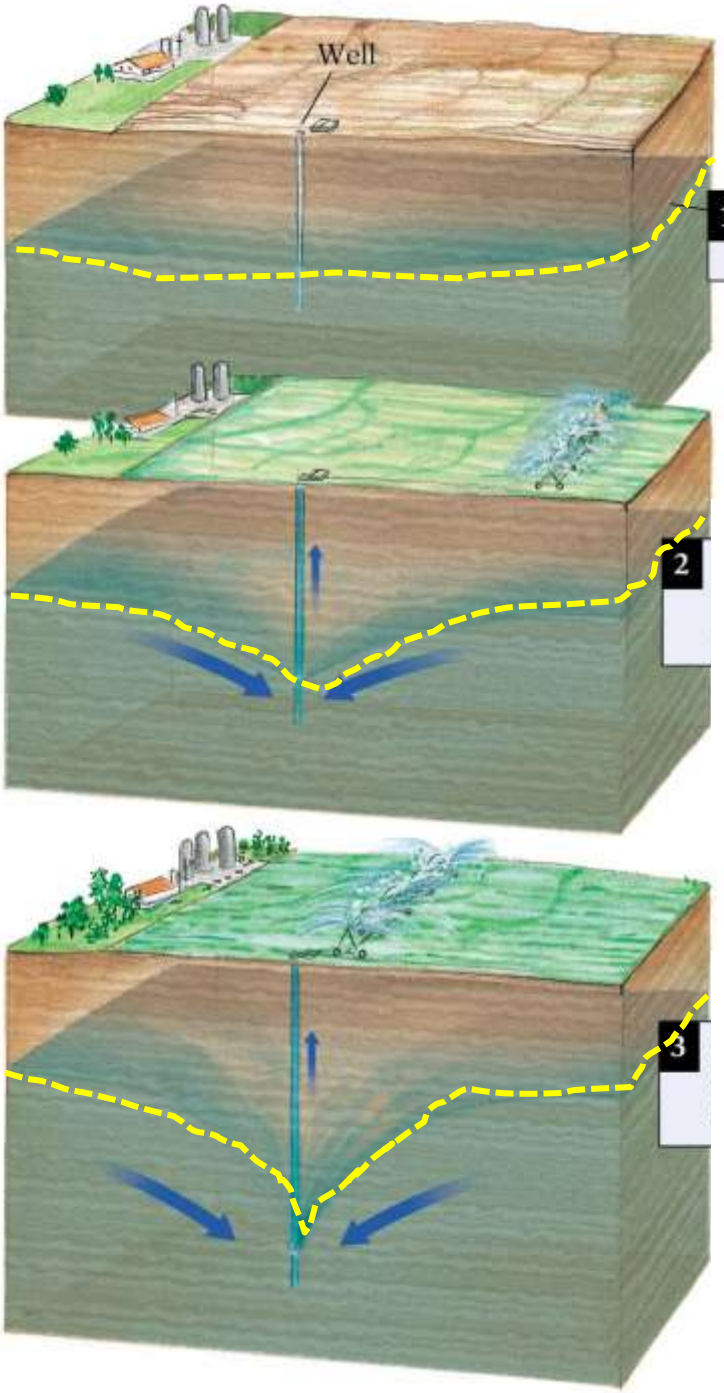
  veya **m^2/sn**'dir.

$$T = K \cdot h$$



Depolama katsayısı

- Bir akiferden ne kadar suyu alabileceğini tanımlar. Bu miktar, serbest akiferde pompajla alınabilecek su miktarıdır. Akiferin gözenekliliğinden daima daha küçüktür ve % olarak ifade edilir.
- (**S**) harfi ile gösterilir. Birim basınç düşmesi altında, birim uzunluk ve birim kesitteki bir akifer prizmasından alınabilecek su miktarı olarak tanımlanır.

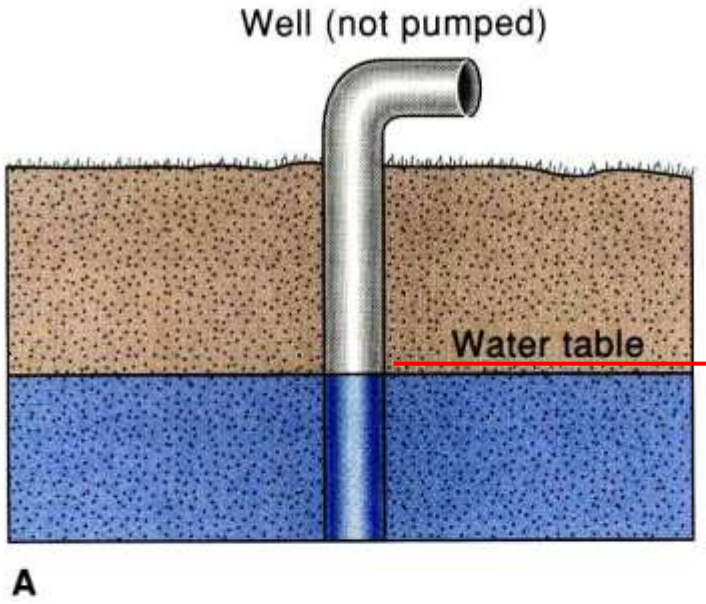


Pompalama öncesi

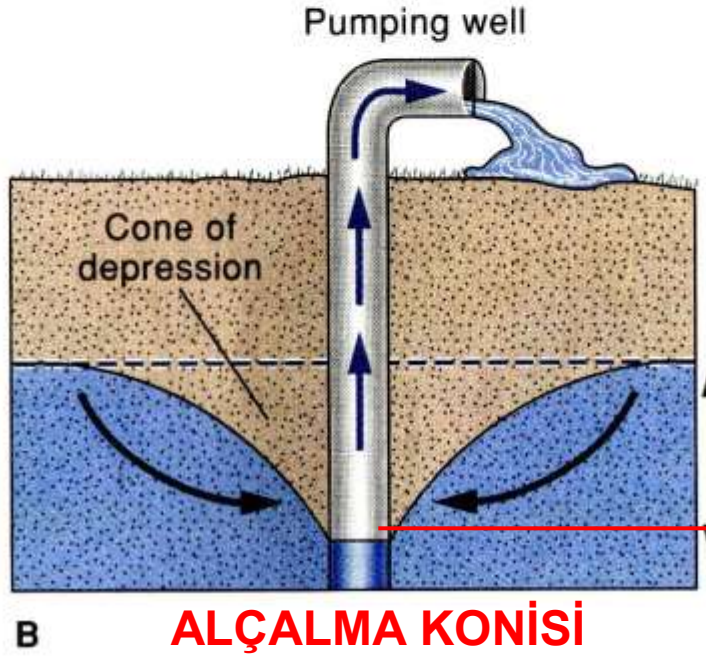
Su düzeyi Pompaj Sırasında düşer

Pompalama Devam ettiğinde koni düşemeye devam eder

Çökme konisi ve Su seviyesinin düşmesi



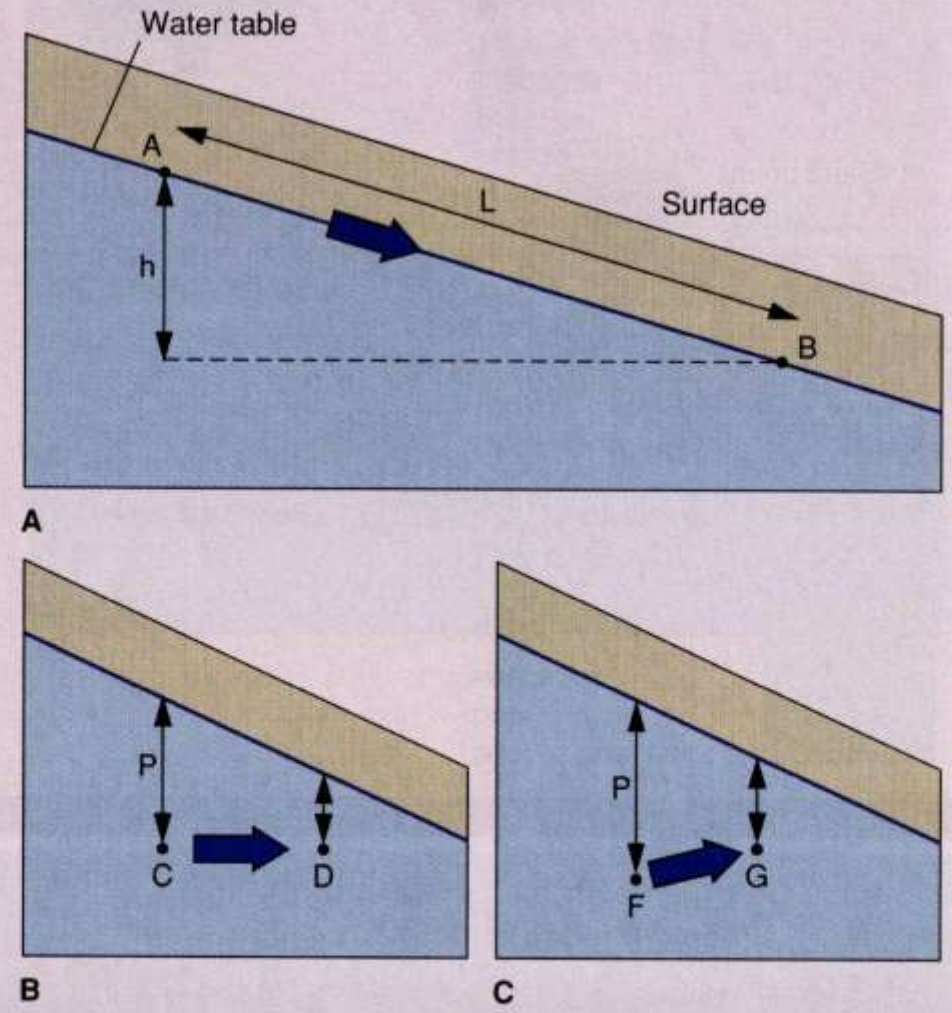
Statik Düzey



Dinamik Düzey

ALÇALMA KONİSİ

Bir su kuyusunun pompajdan önceki ve sonraki durumu ve alçalma konisinin oluşumu



BOX 17.1 — FIGURE 1

Ground water moves in response to hydraulic head (elevation plus pressure). Water movement shown by dark blue arrows. (*A*) Points A and B have the same pressure, but A has a higher elevation; therefore water moves from A to B. (*B*) Point C has a higher pressure (arrow marked P) than D; therefore water moves from C to D at the same elevation. (*C*) Pressure also moves water upward from F to G.

Hidrolik Eğim ve Basınç

Yeraltı suyunun hareketini denetleyen en önemli etken hidrololik Eğimdir.

$$i = h/l$$

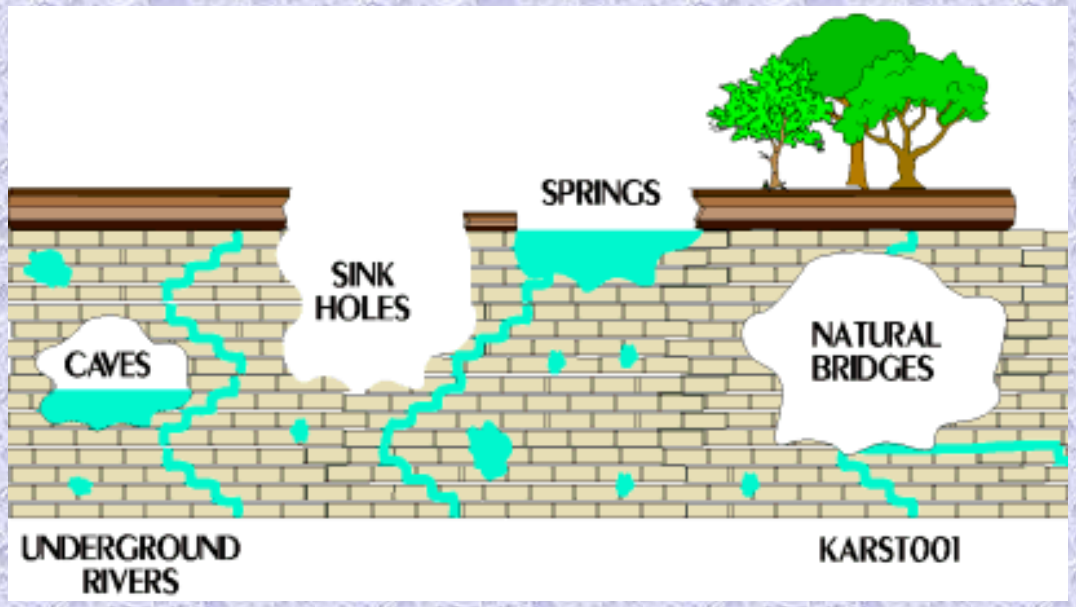
olarak tanımlanır. h= kot farkı, yükseklik; l= yatay uzaklık. Suyun akış hızı (V), permeabilite ile hidrololik eğimin çarpımına eşittir.

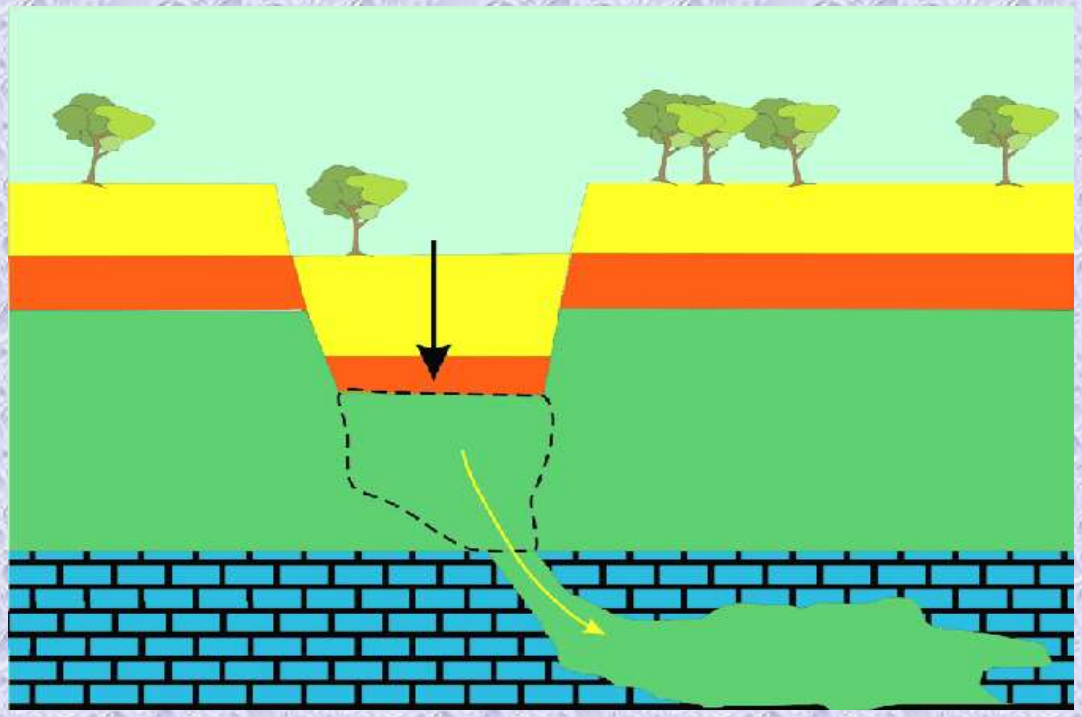
$$V = K \cdot i = K \cdot h/l$$

Kayaçların su tutma özellikleri ve akifer türleri

1. **Akifer** : Su taşıyan formasyonlara denir. Gevşek kum, çakıl, kumtaşı ve konglomera iyi akiferdir.
2. **Akifüj** : Su kaçıran formasyonlara denir. Erime boşluklu Kireçtaşı buna örnektir.
3. **Akiklüd** : Gözenekli, yavaş yavaş su emen fakat suyu geri vermeyen formasyonlara bu ad verilir. Buna, kiltaşı iyi bir örnektir.
4. **Akitard** : Düşük permeabliteli yani az geçirimli birimler

- **Serbest Akifer** : Üzerinde basınç olmayan her taraftan su alınabilen akiferlere denir. Sözgelimi, Alüvyon
- **Basınçlı Akifer (artezyen)** : Üzerinde basınç olan, bu nedenle açılan kuyudan herhangi bir güç olmadan yükselen hatta yeryüzüne fışkıran akiferlerdir. Buna artezyen de denir.





Kireçtaşları

Eriyebilir (=Karstik) kayalar

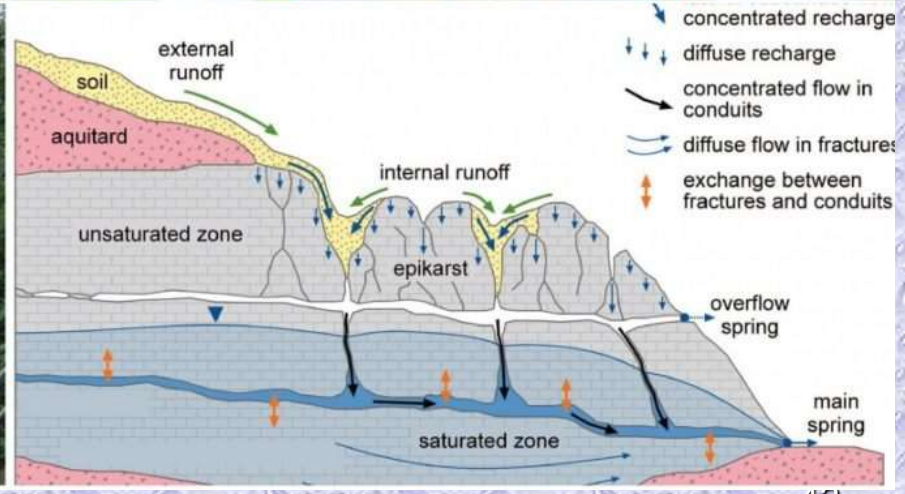
Kireçtaşları geçirimsiz kayalardır. Ama eriyebilir özelliği nedeniyle çatlaklı , boşluklu ve mağara sistemleri aracılığı ile ikincil porozitesi vardır

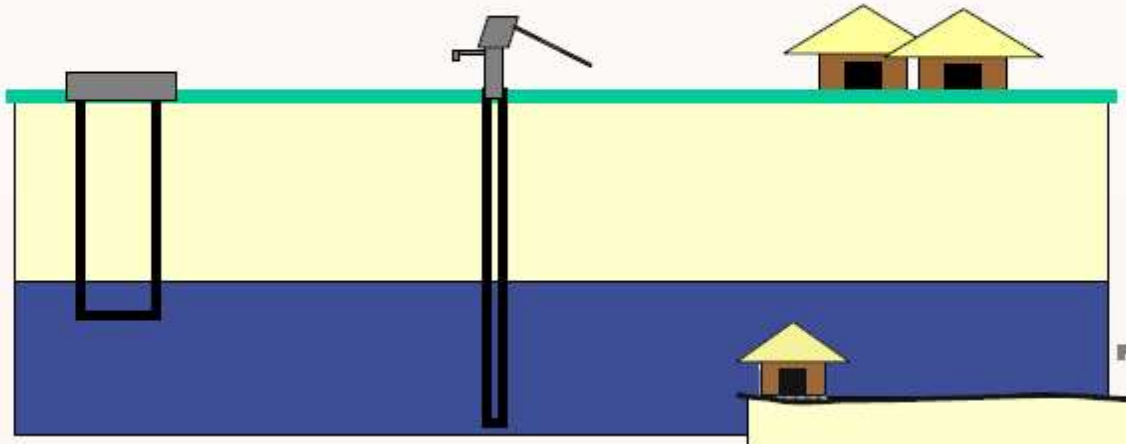
Akifüj birimler
(kireçtaşları)



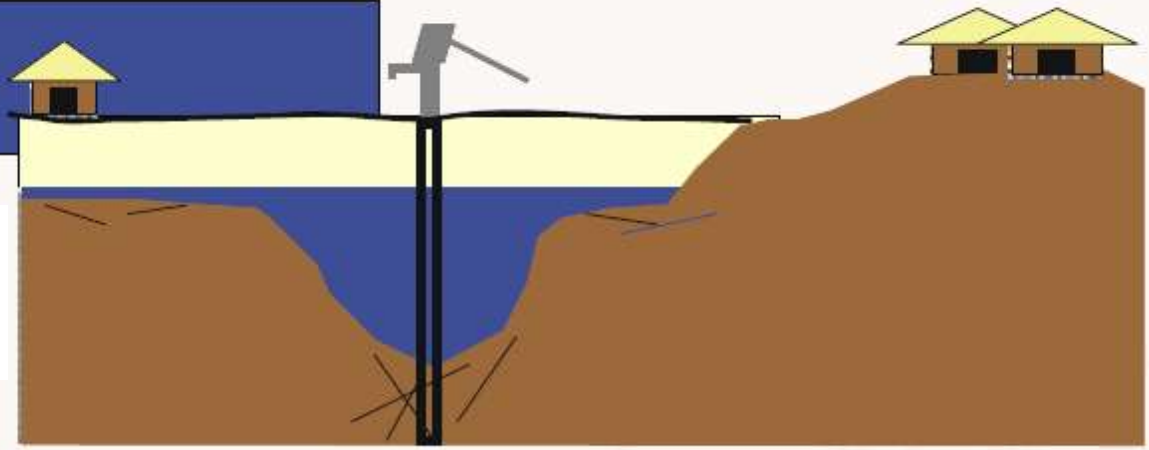




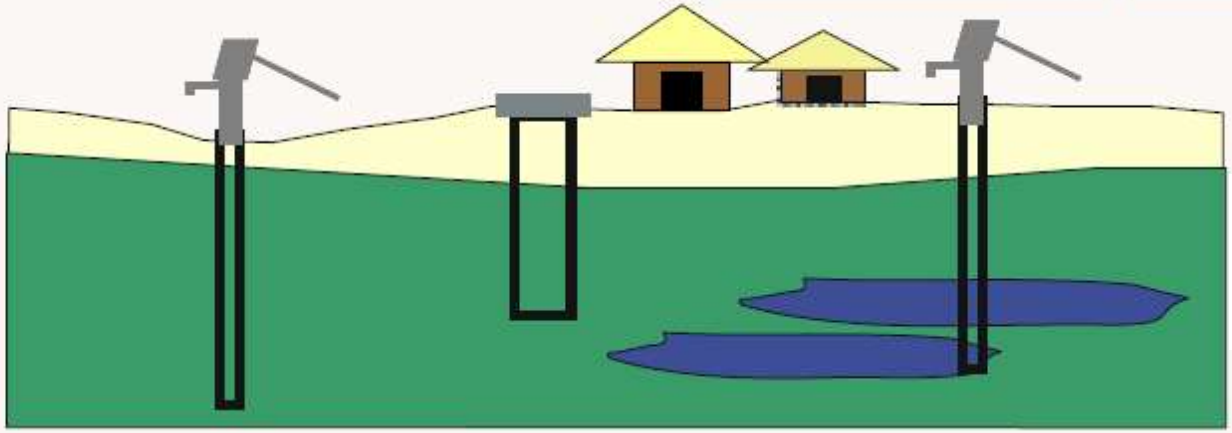




Yeraltı suyunu bulmak kolay



Anlaşılabilir Hidrojeoloji

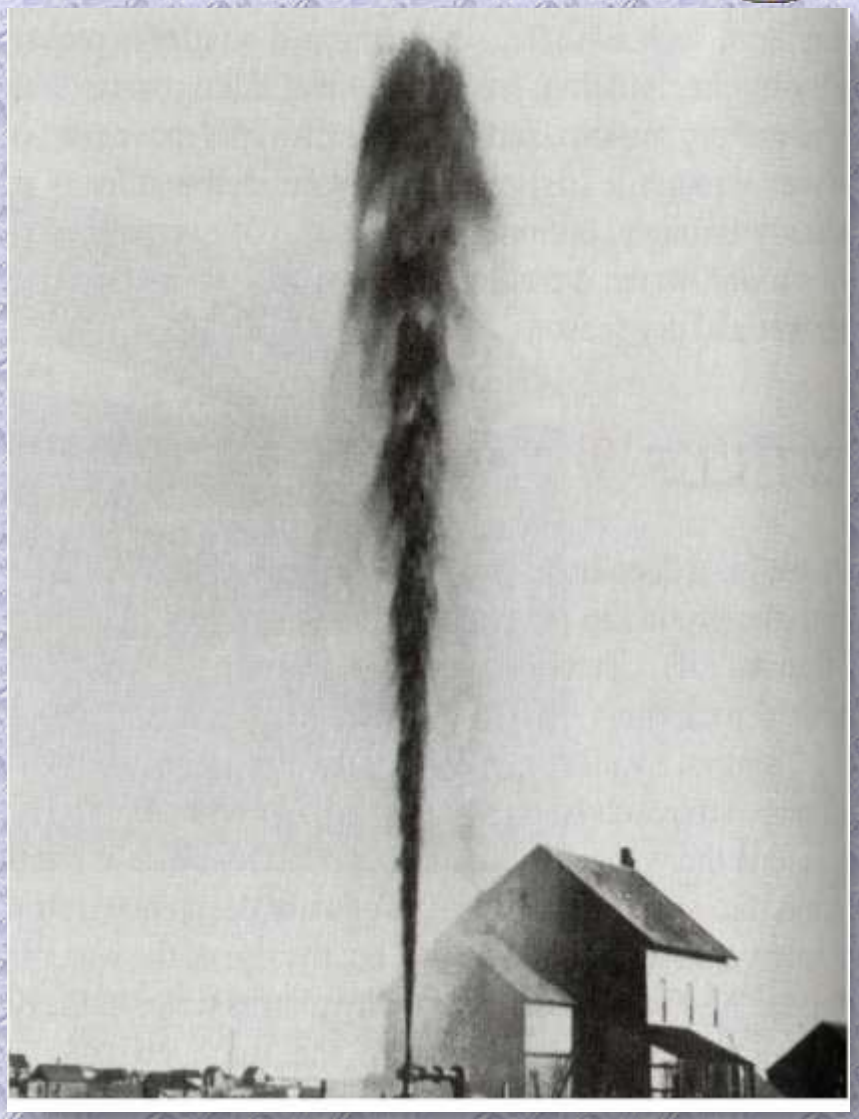


Karmaşık Hidrojeoloji

Artezyen







Artezyen Kuyuları

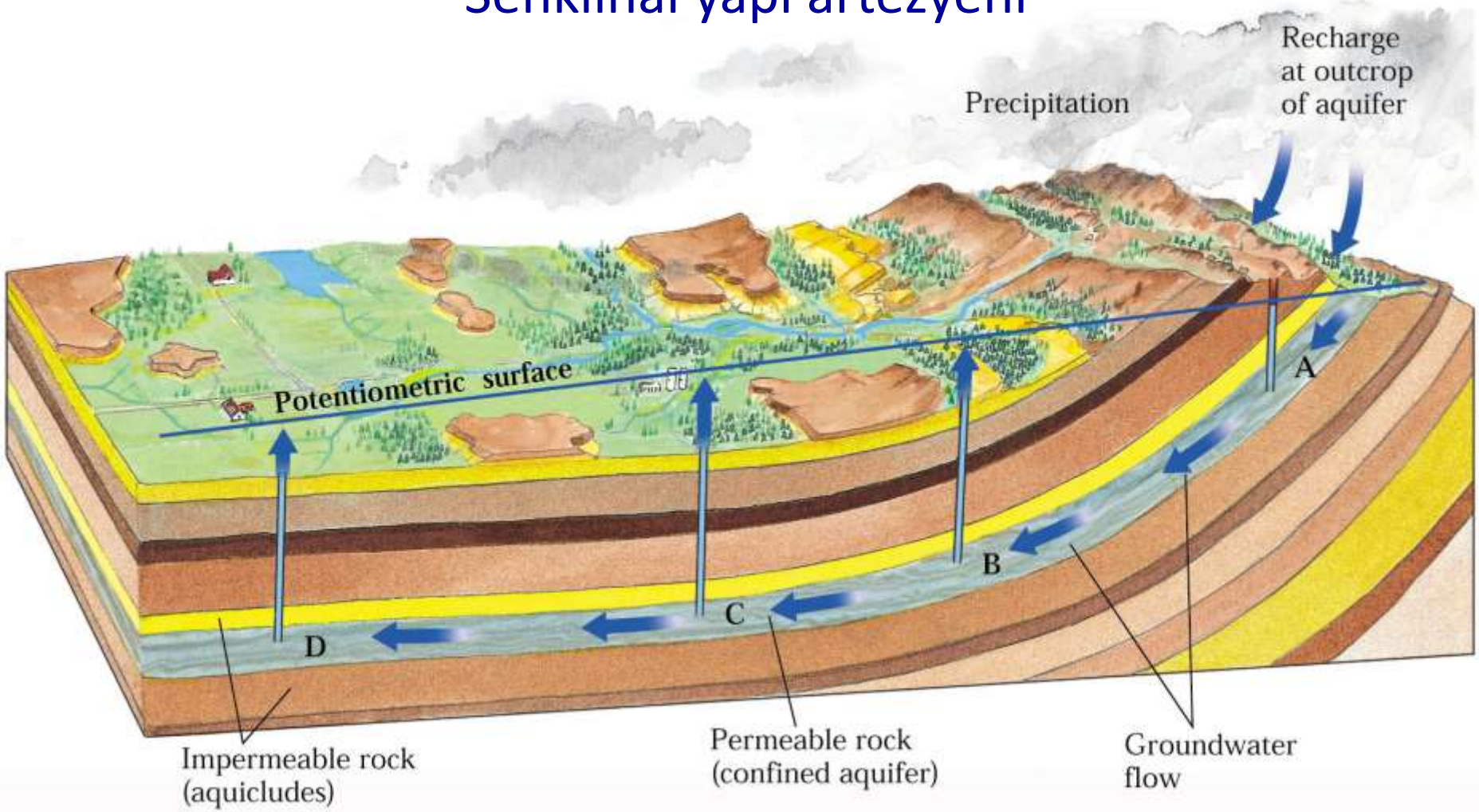
- ARTEZYEN KUYUSU= su pompalamadan kuyudan çıkar

- POTENSİYOMETRİK YÜZEY = kuyu içindeki su düz düzeyi ile tanımlanan yüzeydir

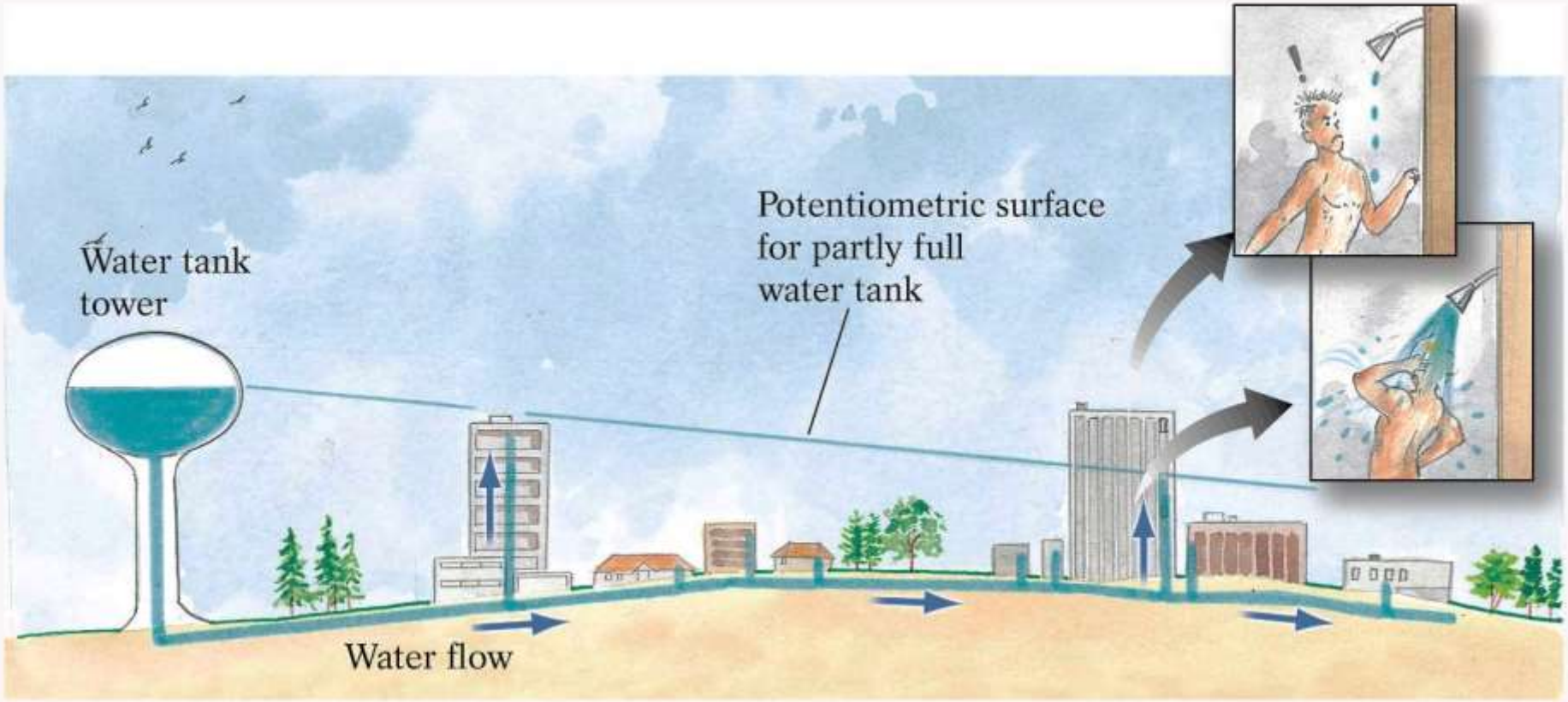


Hapsolmuş Akifer

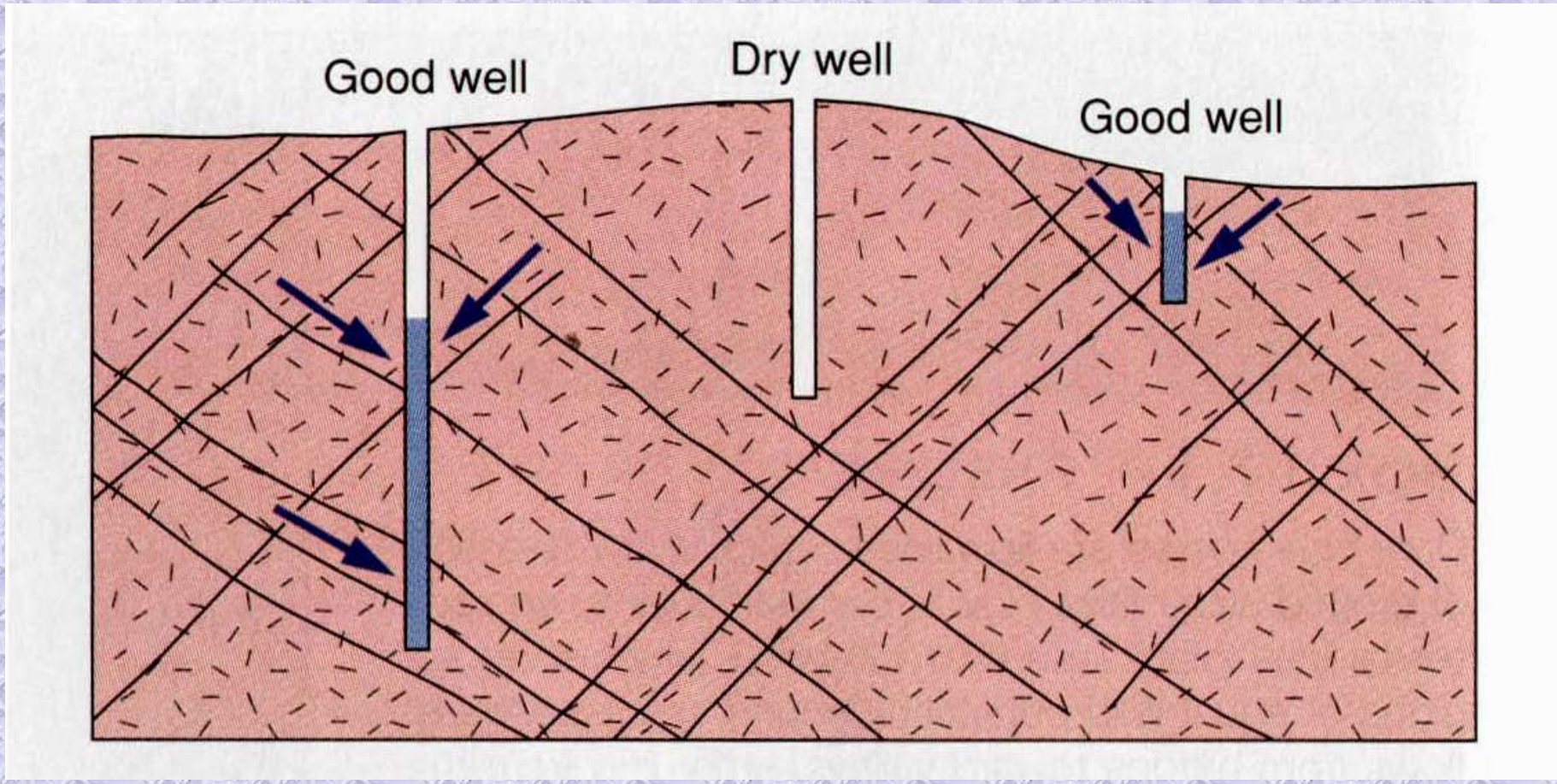
Senklinal yapı artezyeni



Potensiyometrik Yüzey



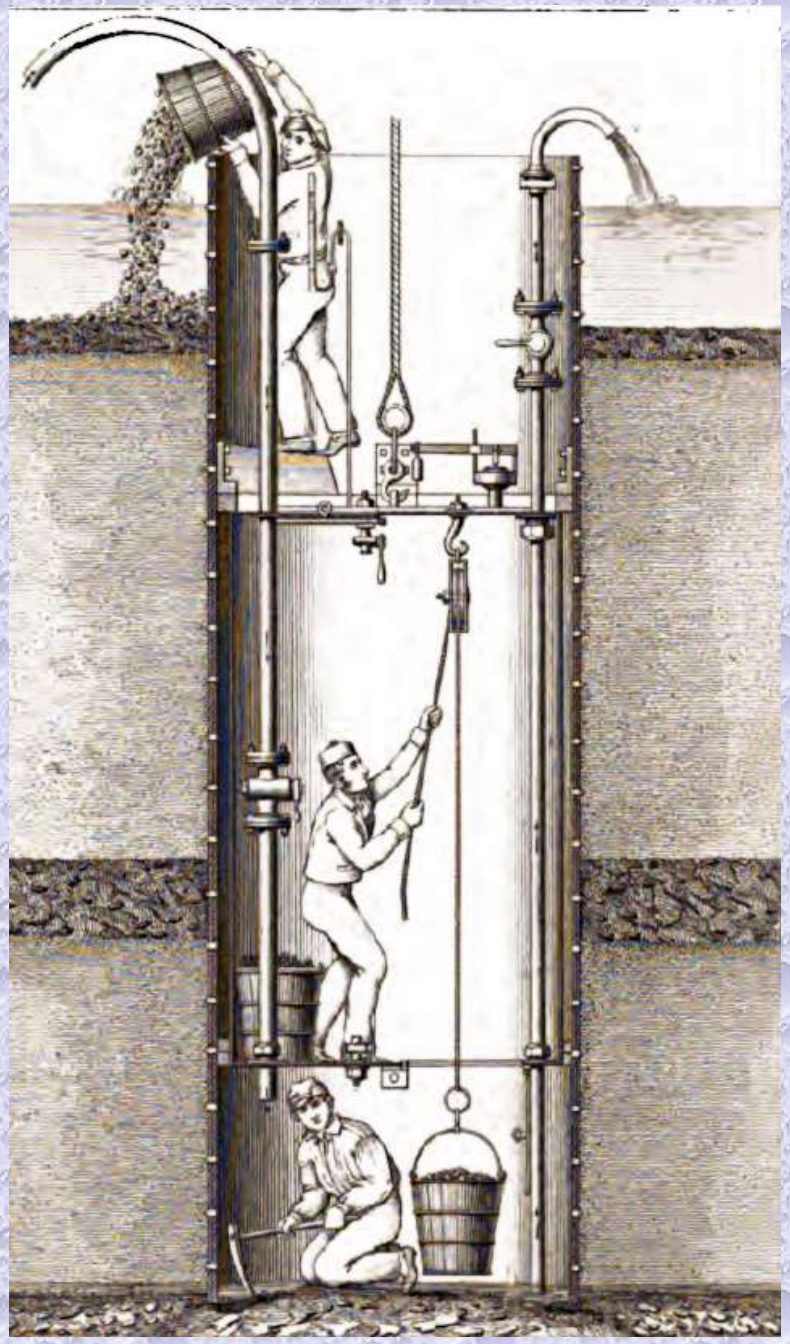
Çatlaklı kaya artezyeni

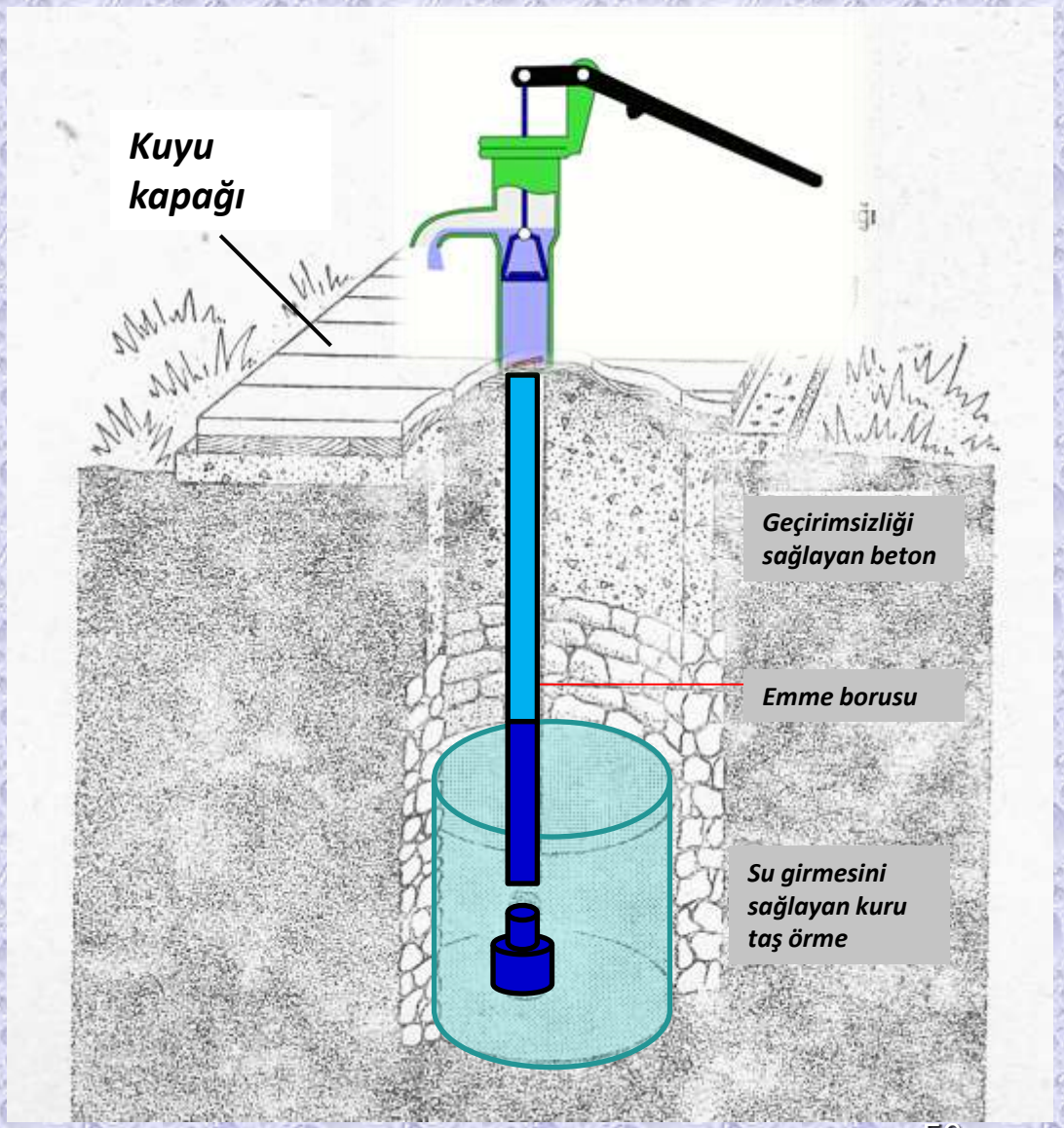


Yeraltı suyundan yararlanma

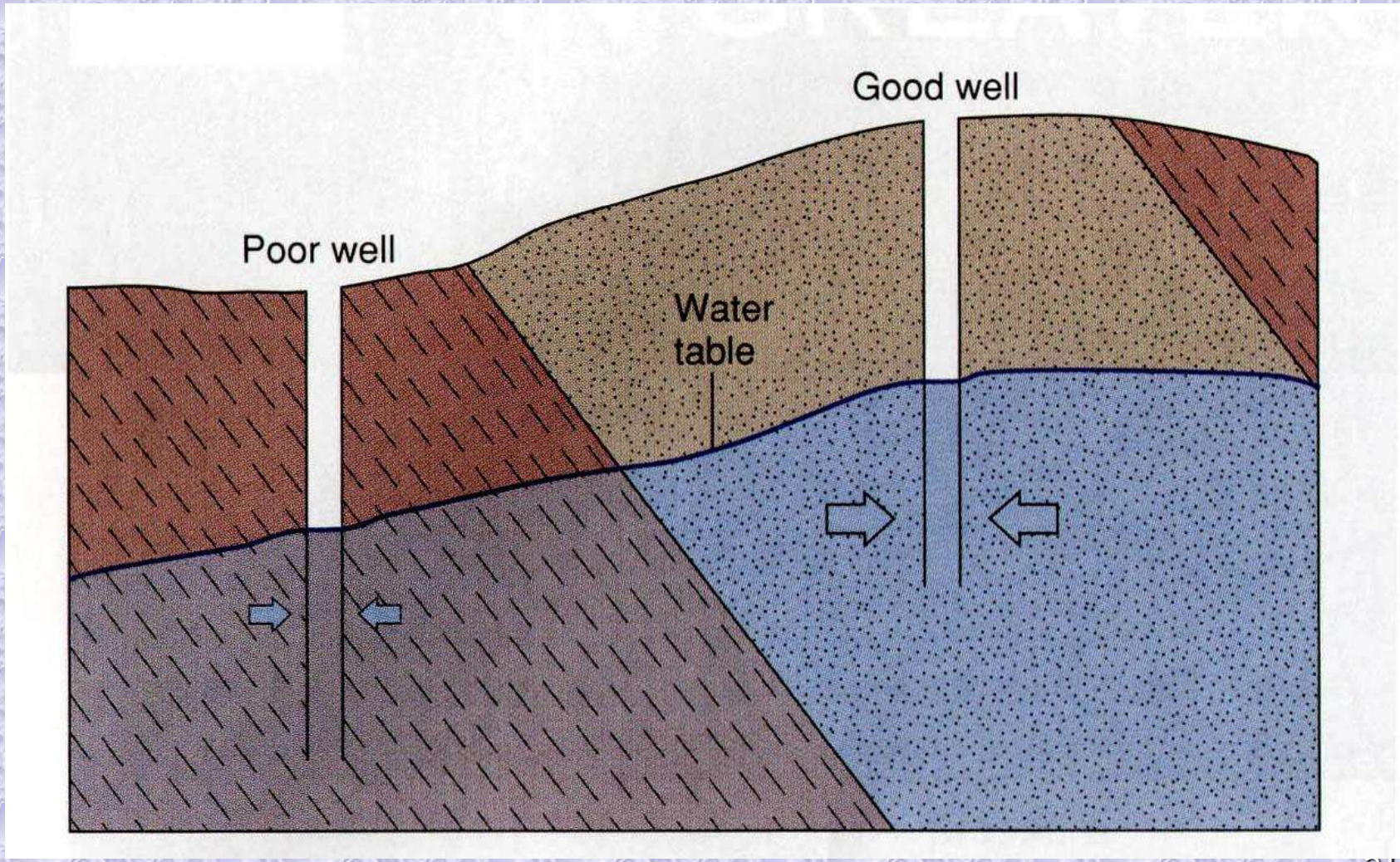
- Kaynaklar : *Göze*, *pınar*, *memba*,
  - *Kaynak suları sertliklerine göre*
  - **Menba suları** (sertlikleri 10 Fransız derecesi veya da az)
  - **Sert sular** (sertlikleri 50 Fransız derecesinden fazla)
  - **Maden suları** (içerisinde 1 gram/litre ergimiş kimyasal madde bulunan ve sağlığa yararlı özelliği olan)
  - **Termal sular**: Sıcaklıkları 20-22^0 C fazla olan sulardır.
    - Kuyu :
  - *Adi kuyu :*
  - *Keson kuyu :*
  - *Çakma kuyu :*
  - *Sondaj kuyusu :*

Keson kuyu

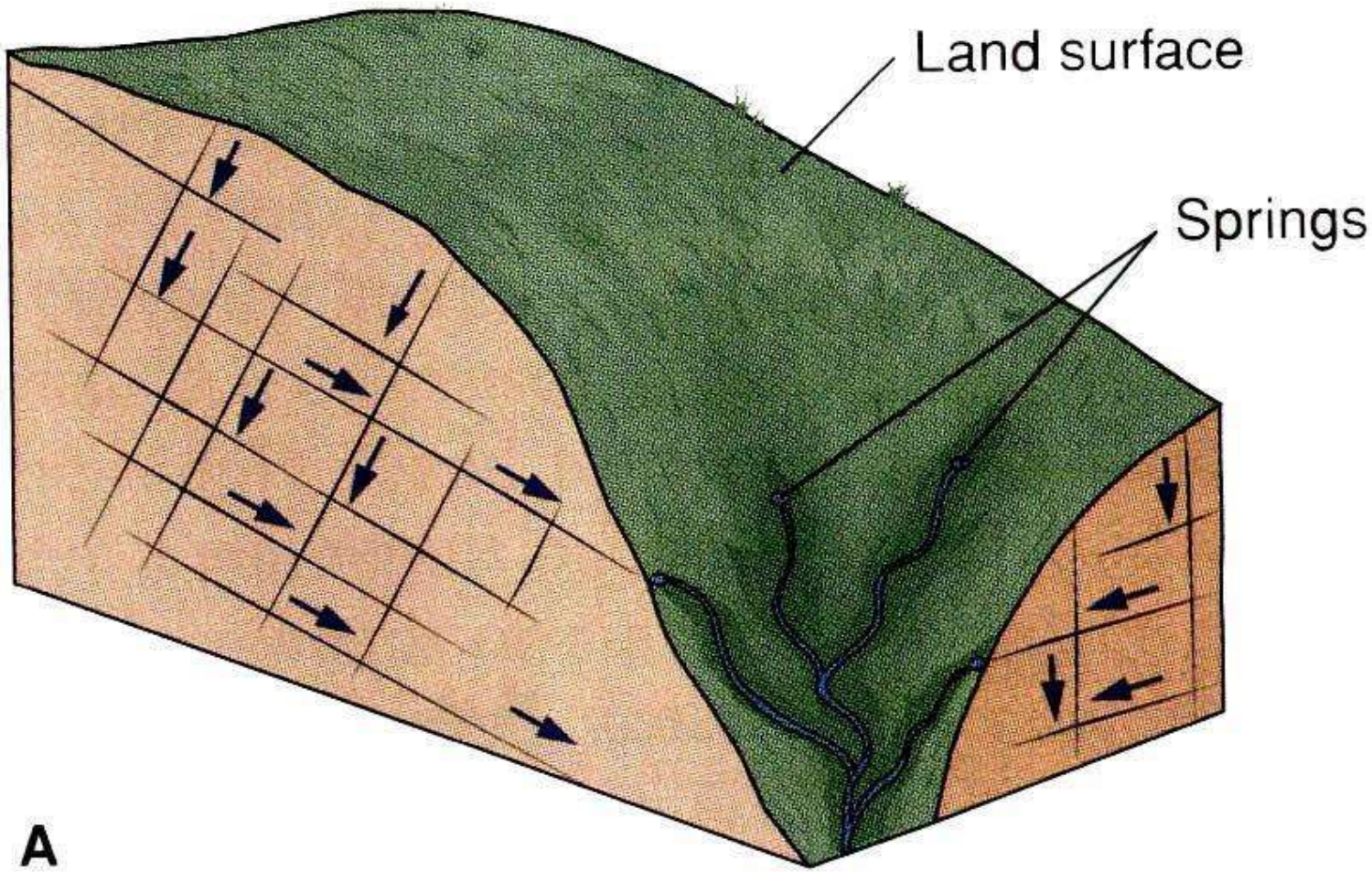



Kuyu kapağı
Geçirimsizliği sağlayan beton
Emme borusu
Su girmesini sağlayan kuru taş örme

Kuyu yeri seçimi : verimli ve verimsiz kuyu

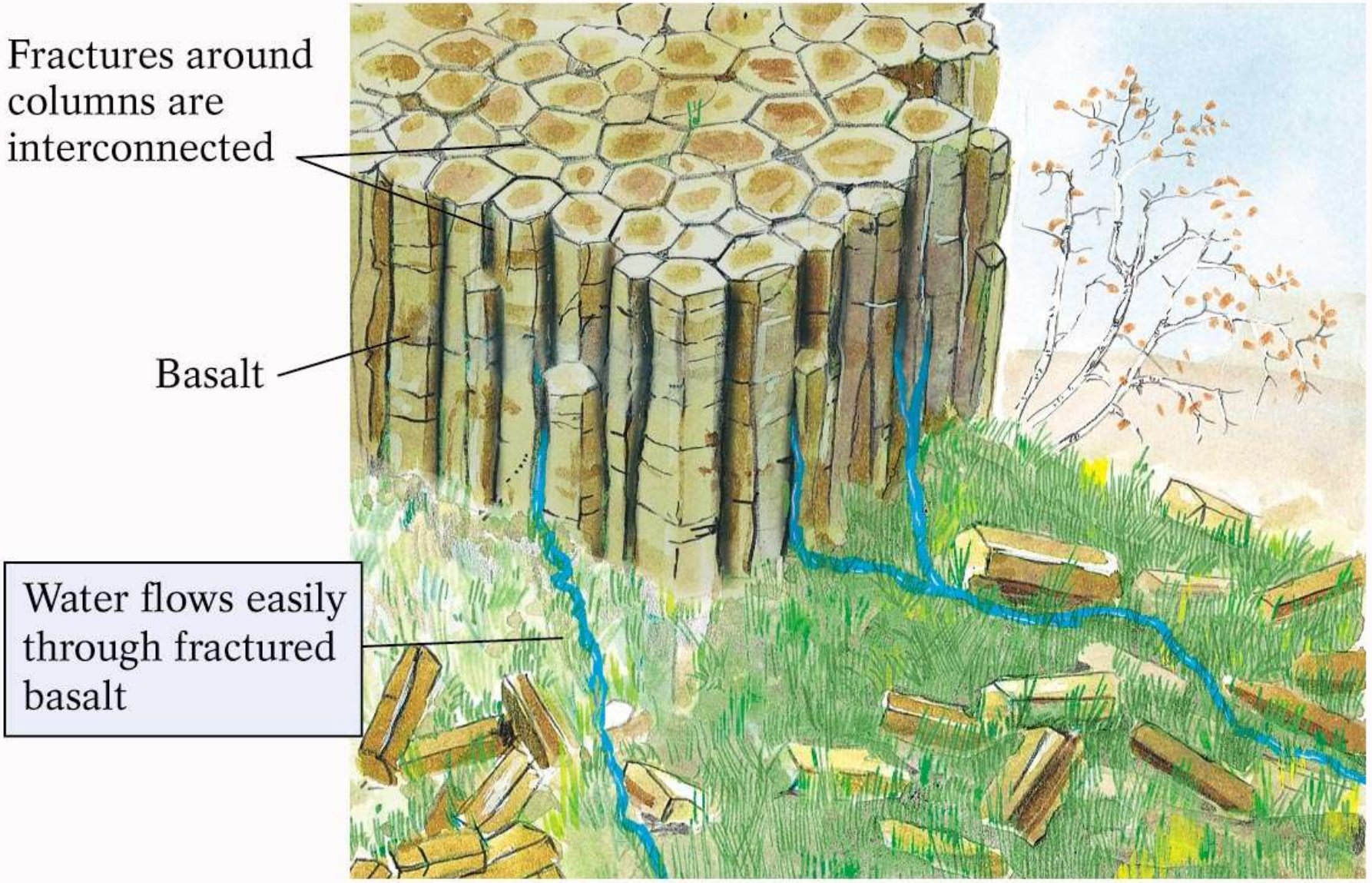


Bazı kaynak türleri:
Çatlaklı kaya Kaynağı

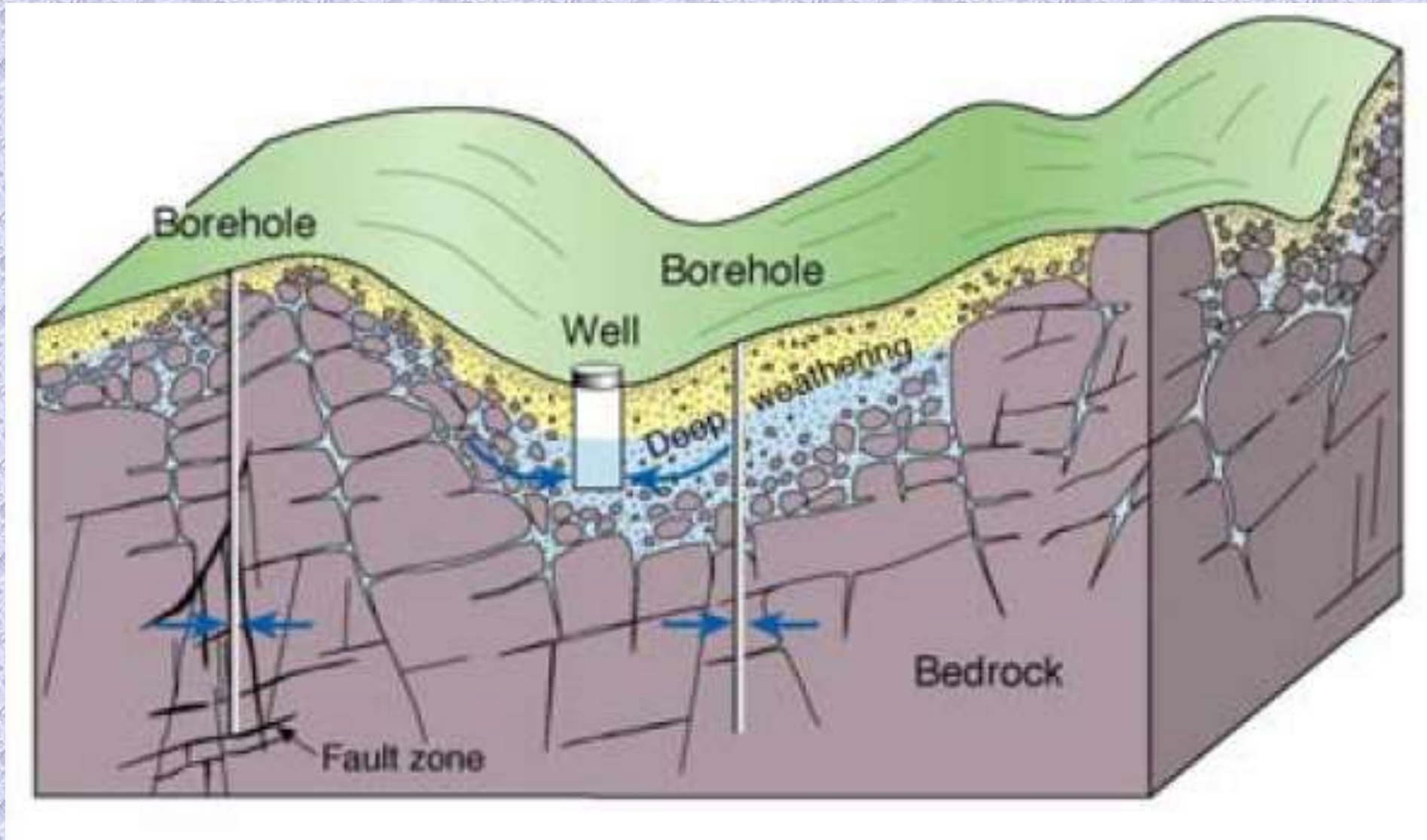


Çatlaklı kaya Kaynağı

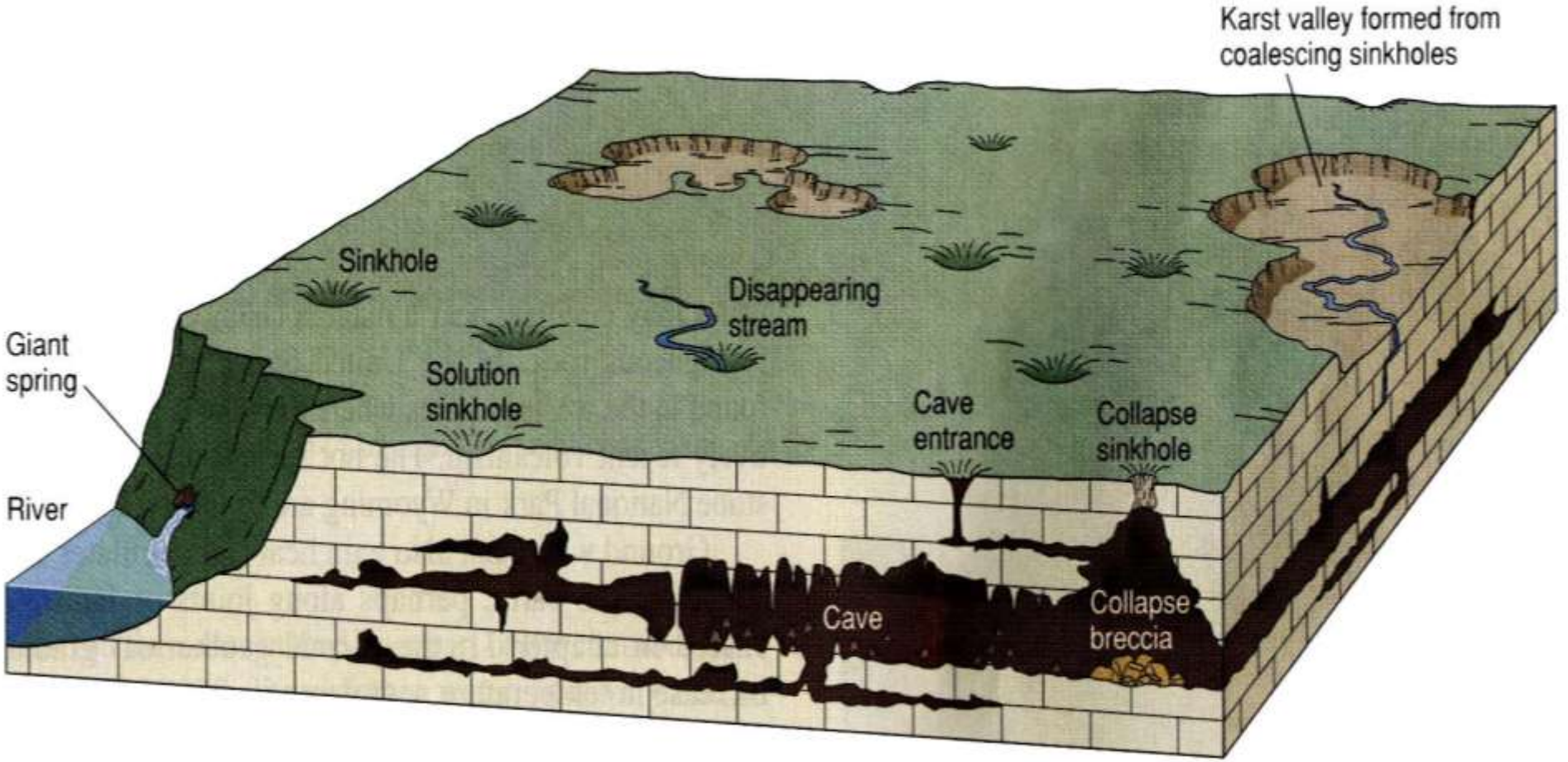
Sütun bazalt (volkanik) kayanın çatlakları



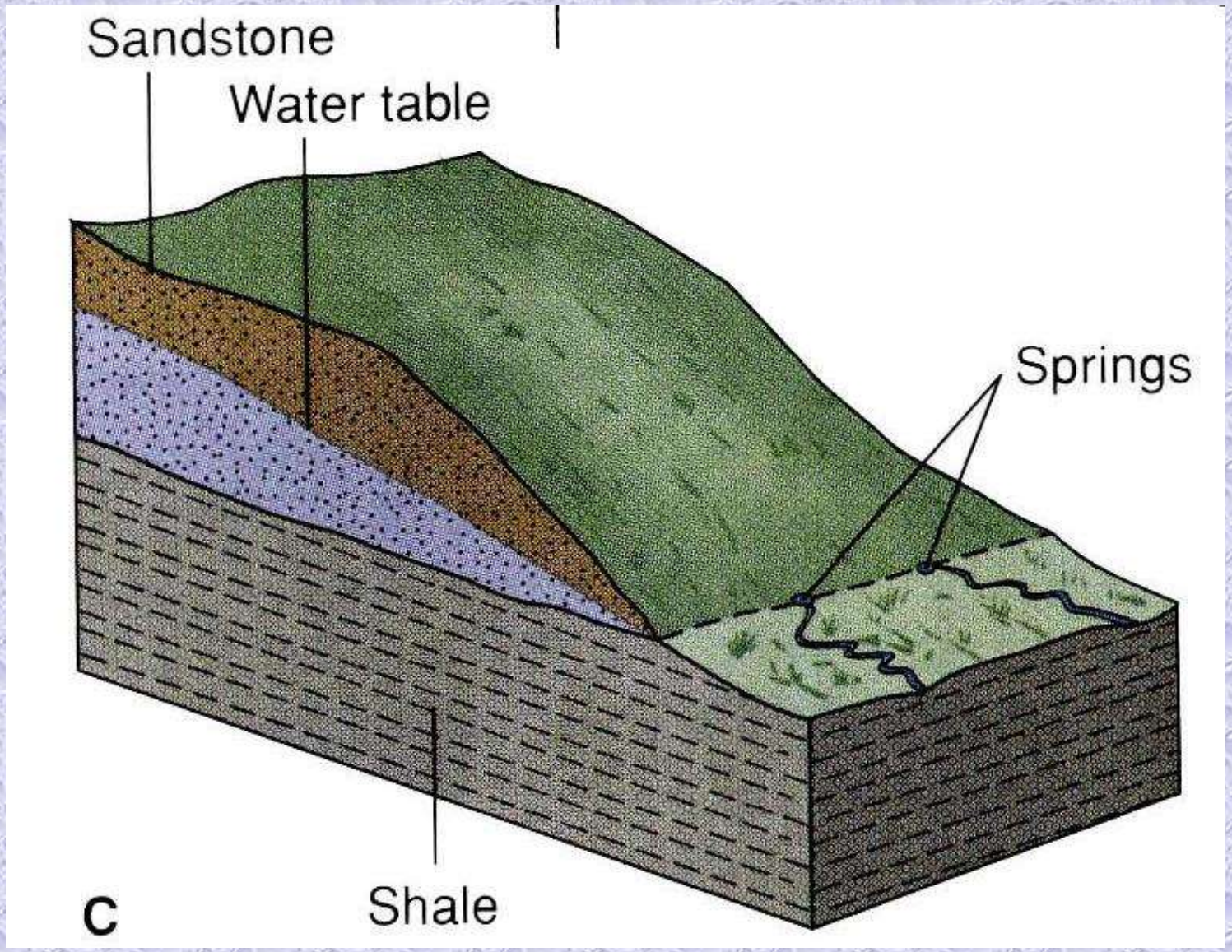
Bazı kaynak türleri:
Çatlaklı kaya Kaynağı



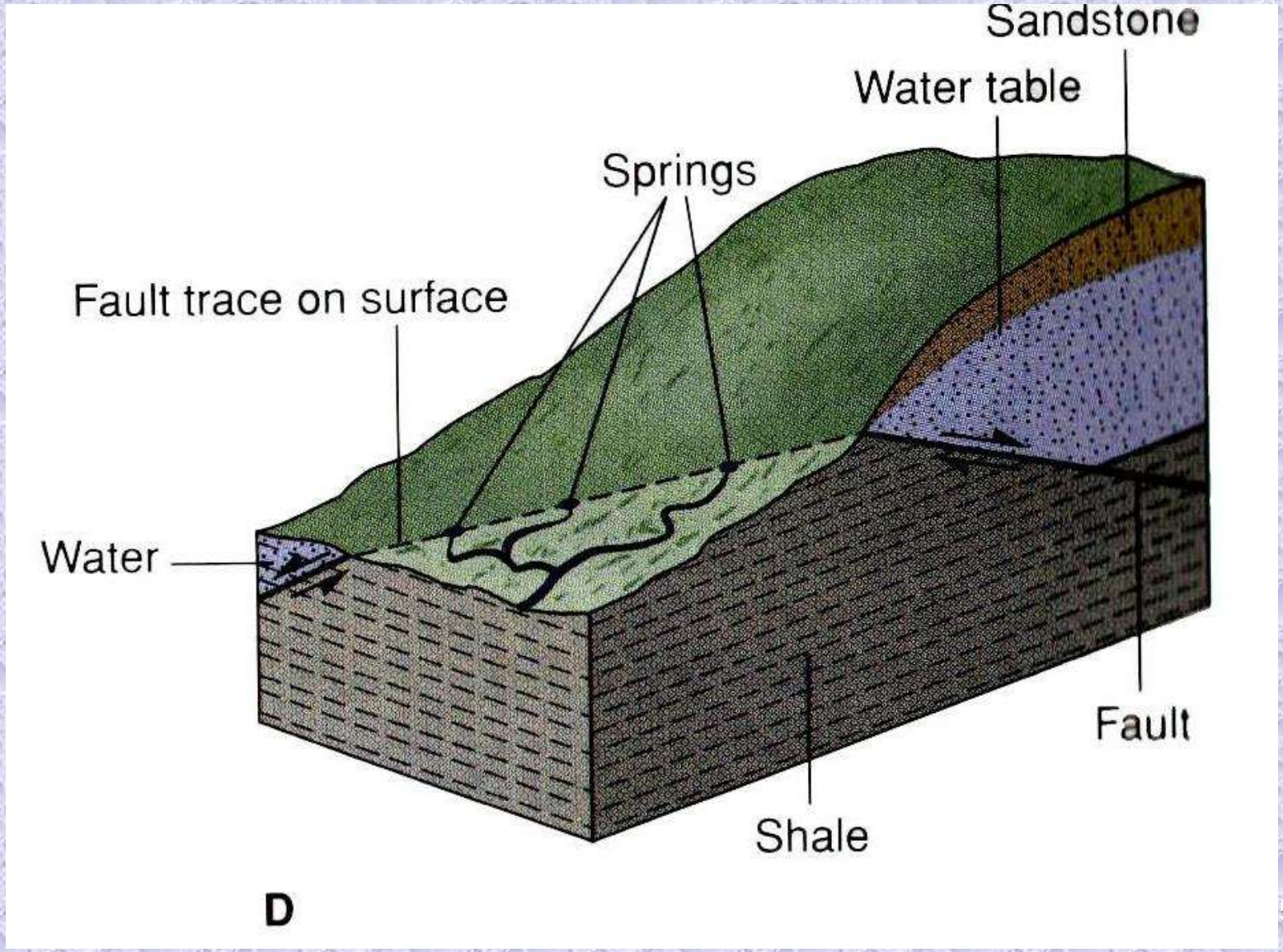
Karstlaşma (kireçtaşları)
karst kaynağı



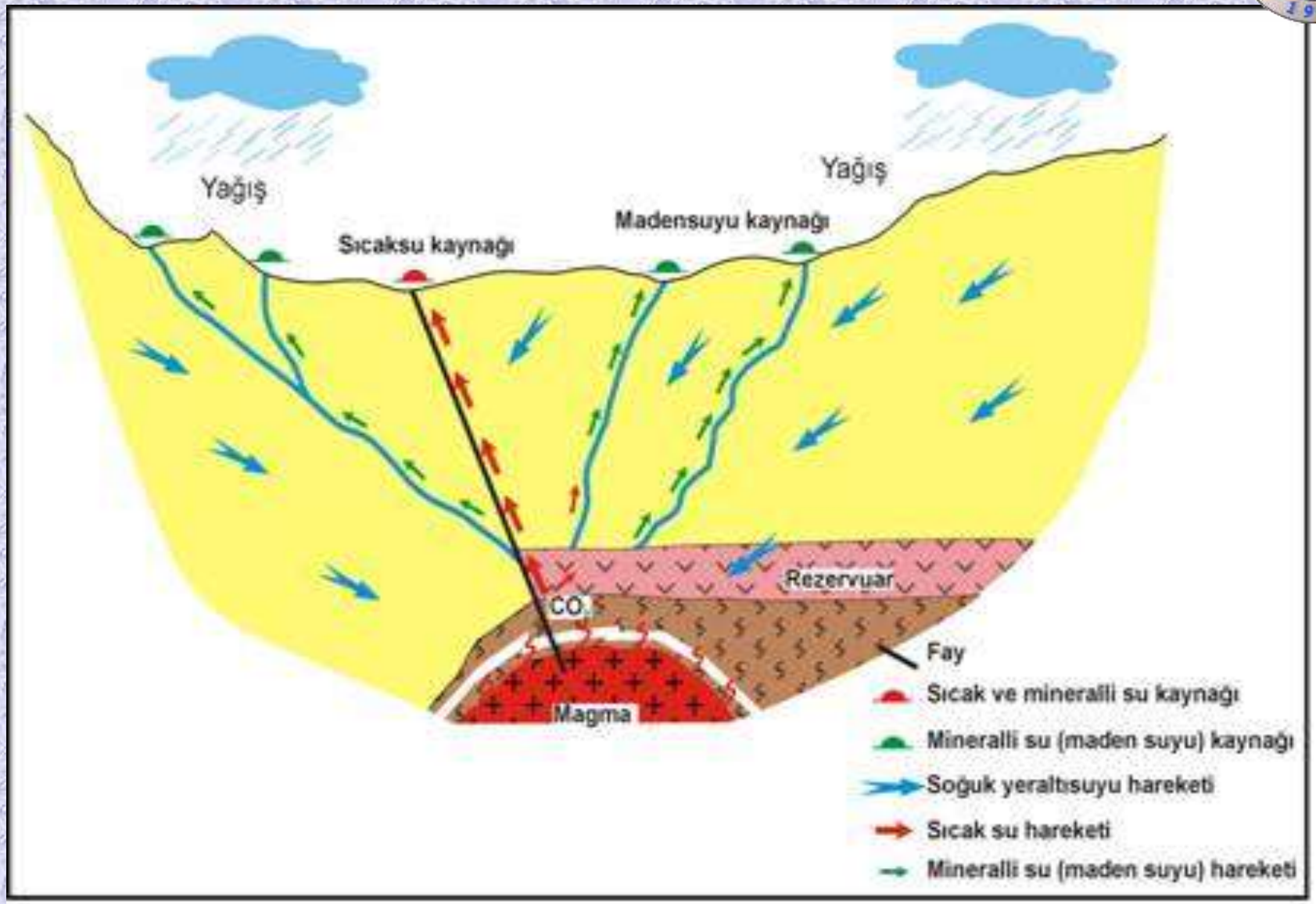
Bazı kaynak türleri:
Tabaka Kaynağı



Bazı kaynak türleri:
Fay Kaynağı

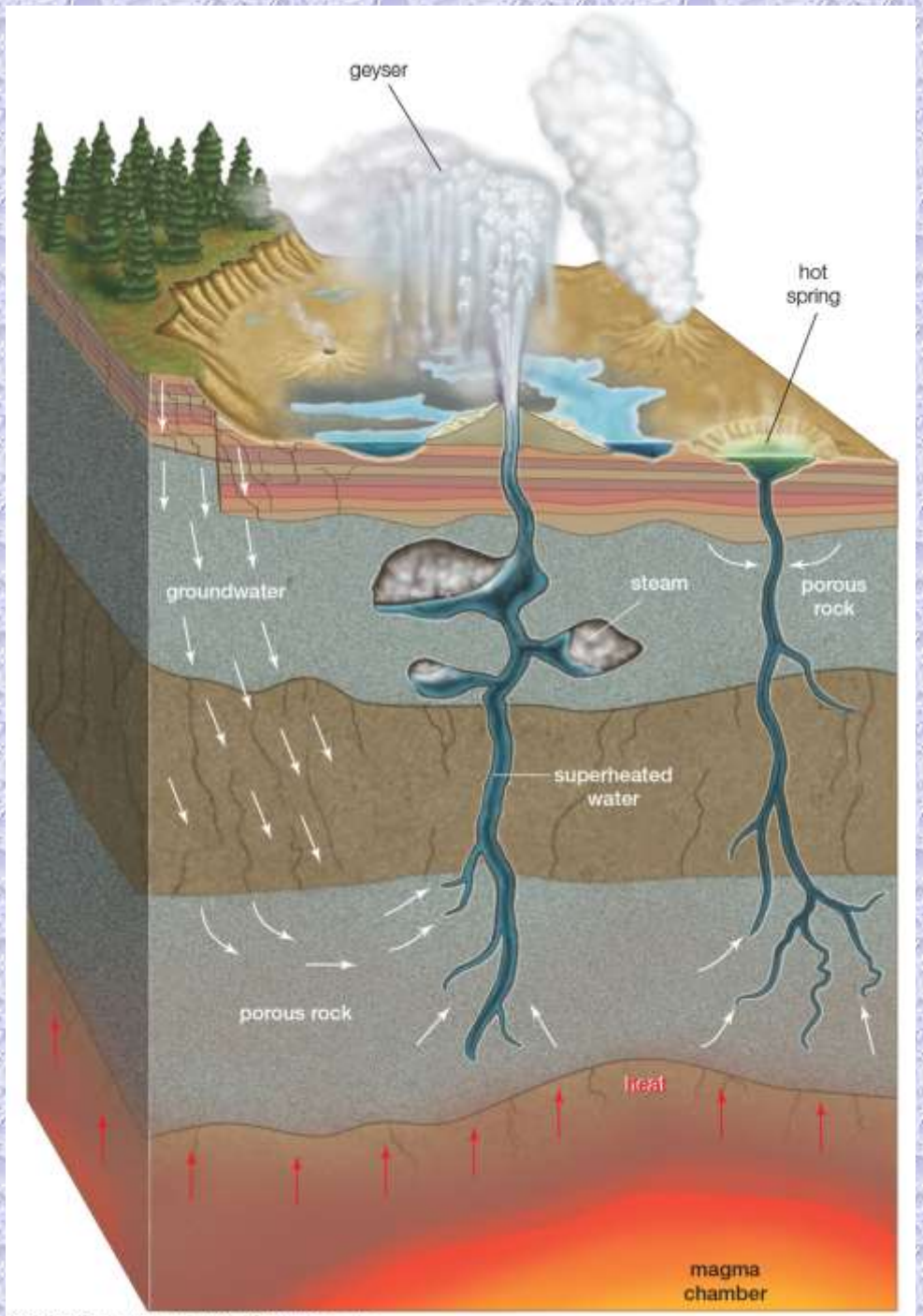


Maden suları ve kaplıcalar



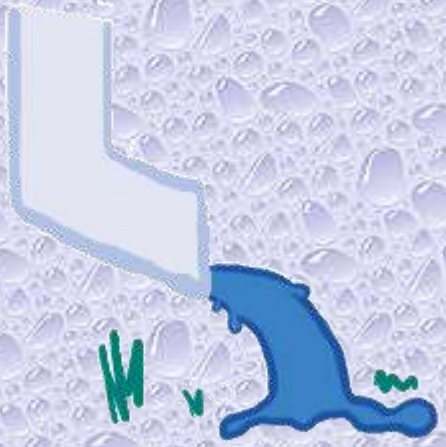
Şekil 2: Sıcak ve mineralli su (maden suyu) kaynaklarının oluşumu

Gayzerit



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.



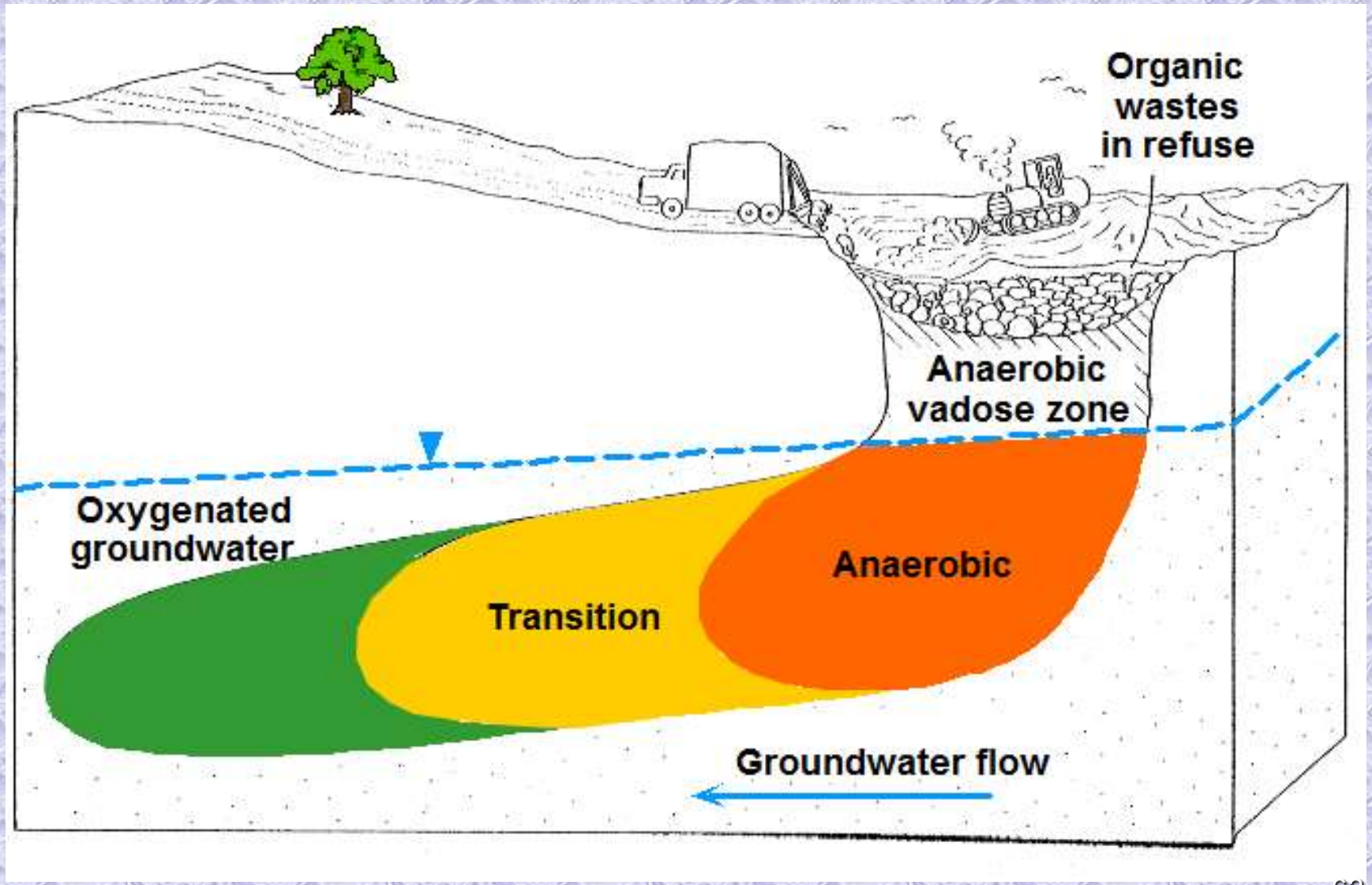


Yeraltı Suyu Sorunları

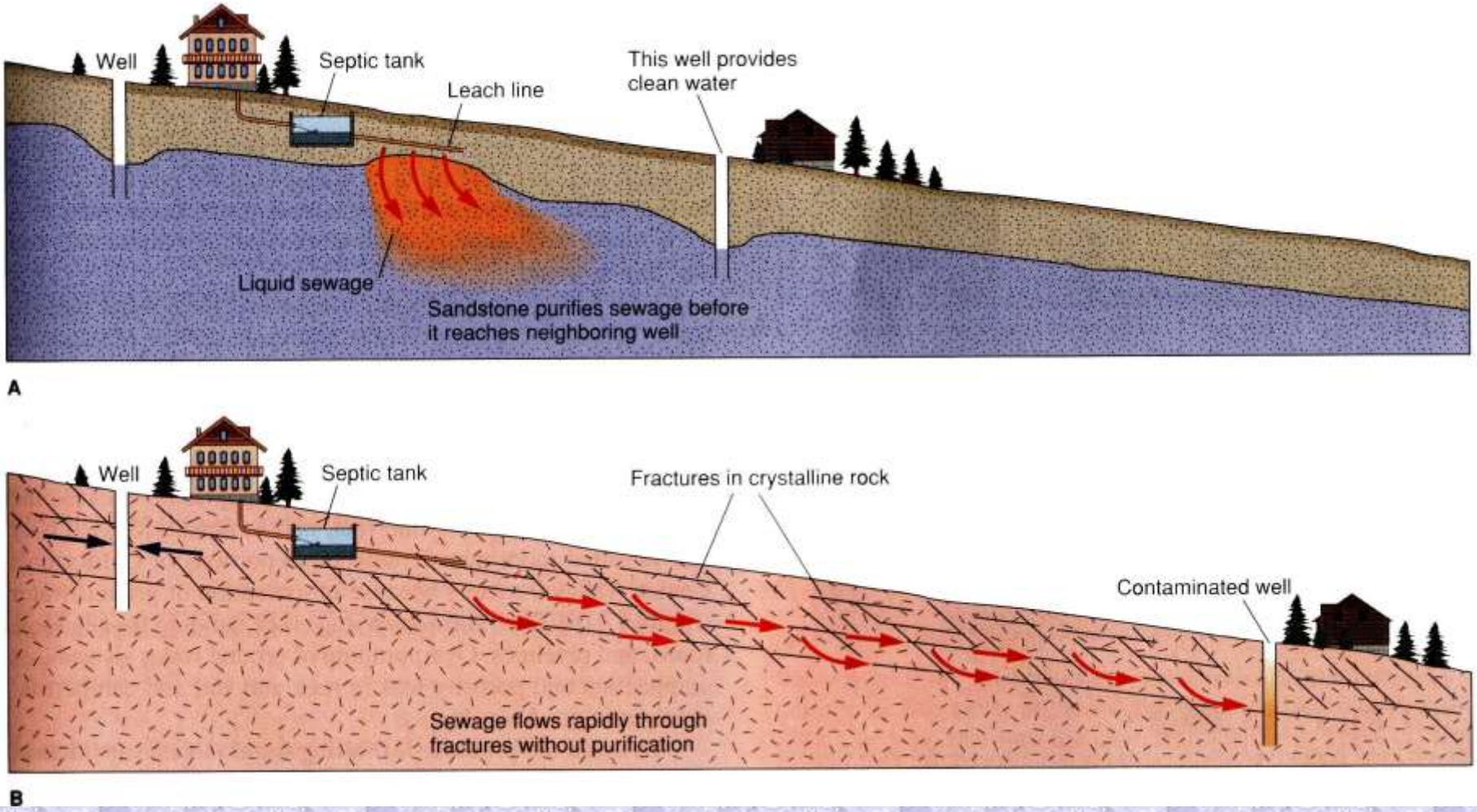
Yeraltı suyu kirleticileri



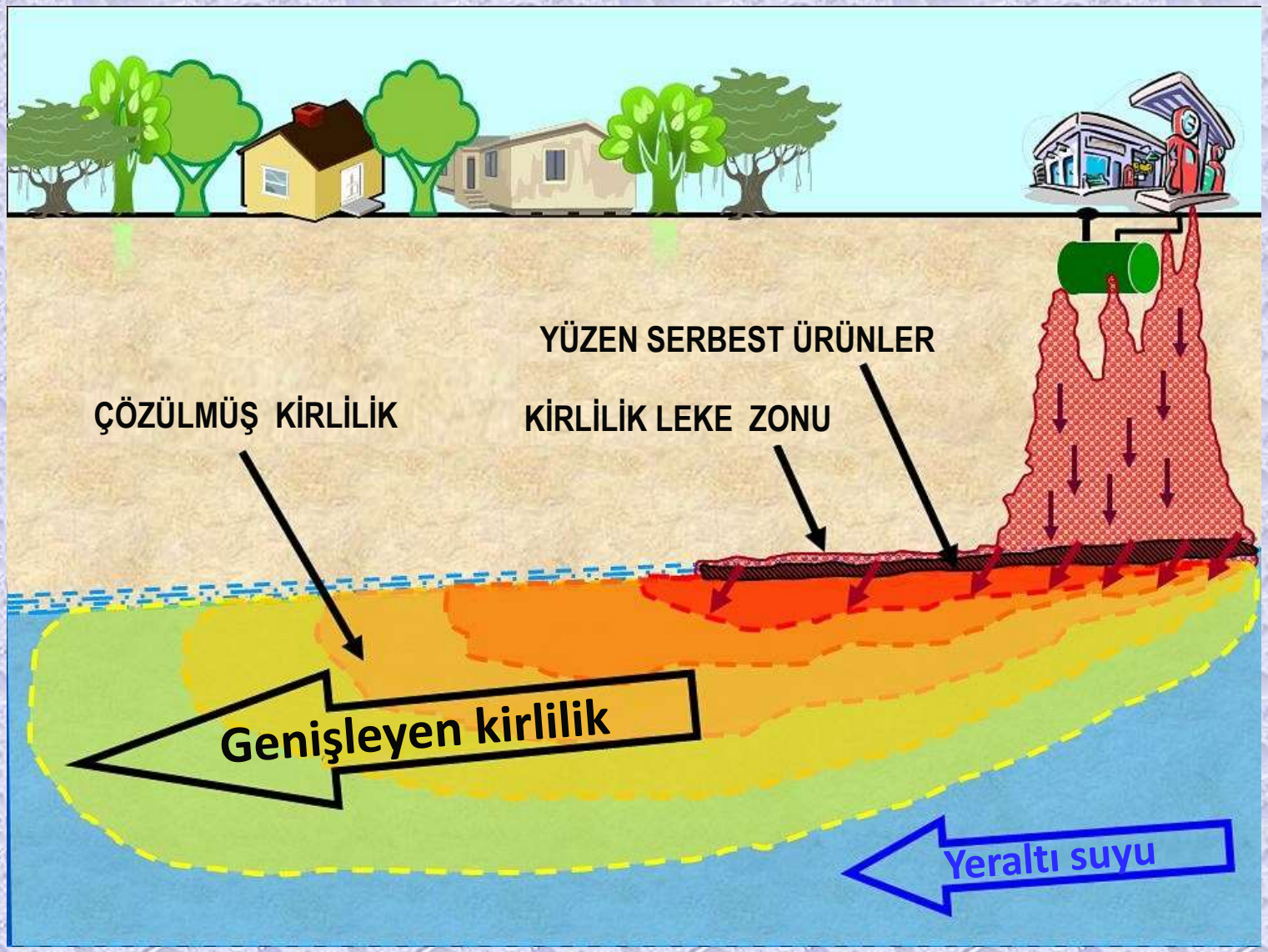
Yeraltı suyu kirleticileri

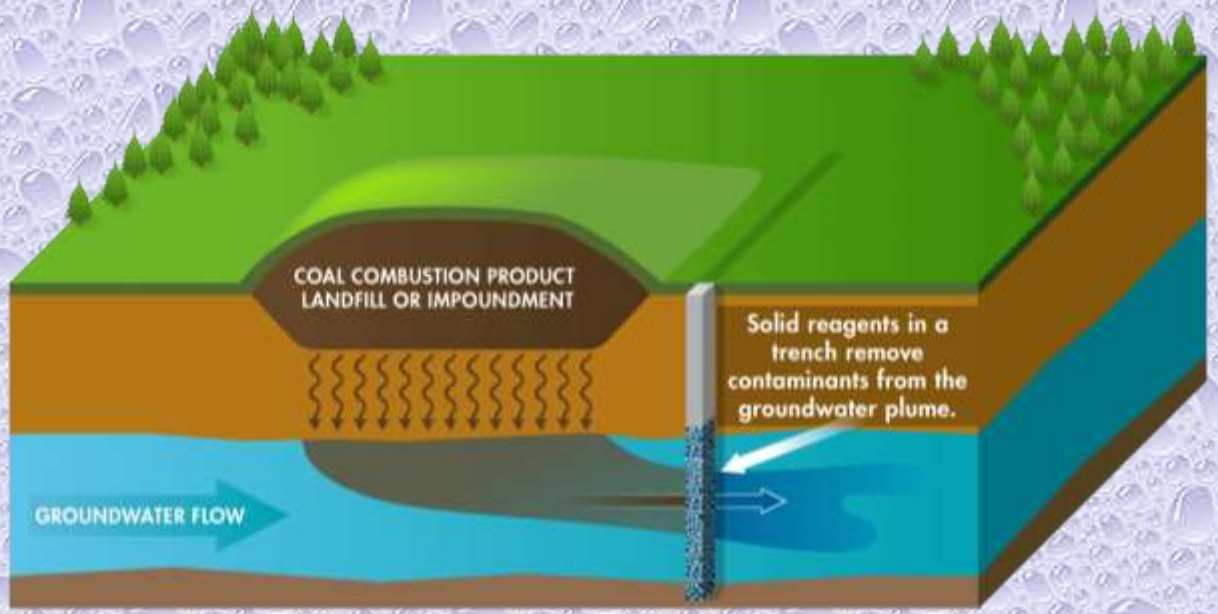


Yeraltı suyunun kirlenme şekli

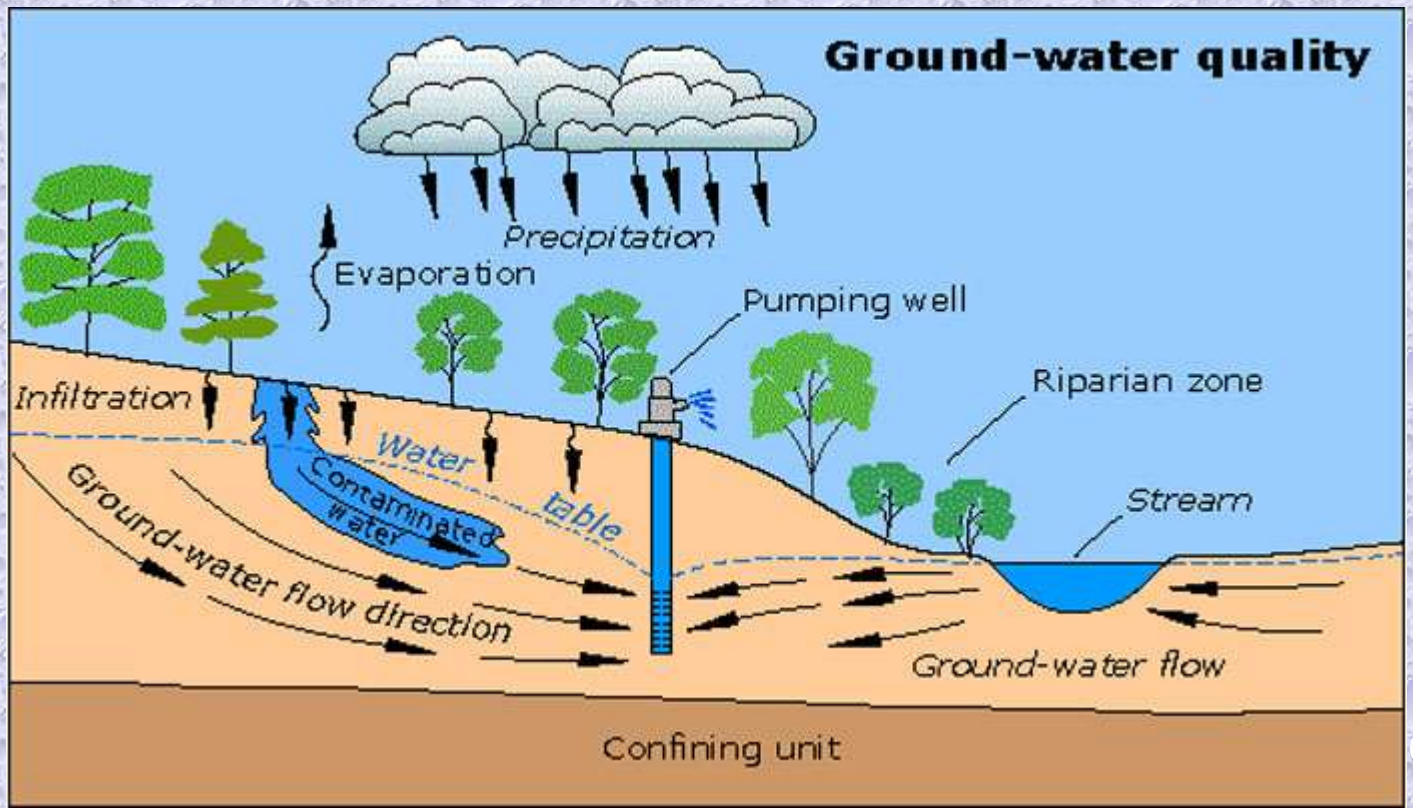


Yeraltı suyunun kirlenmesi

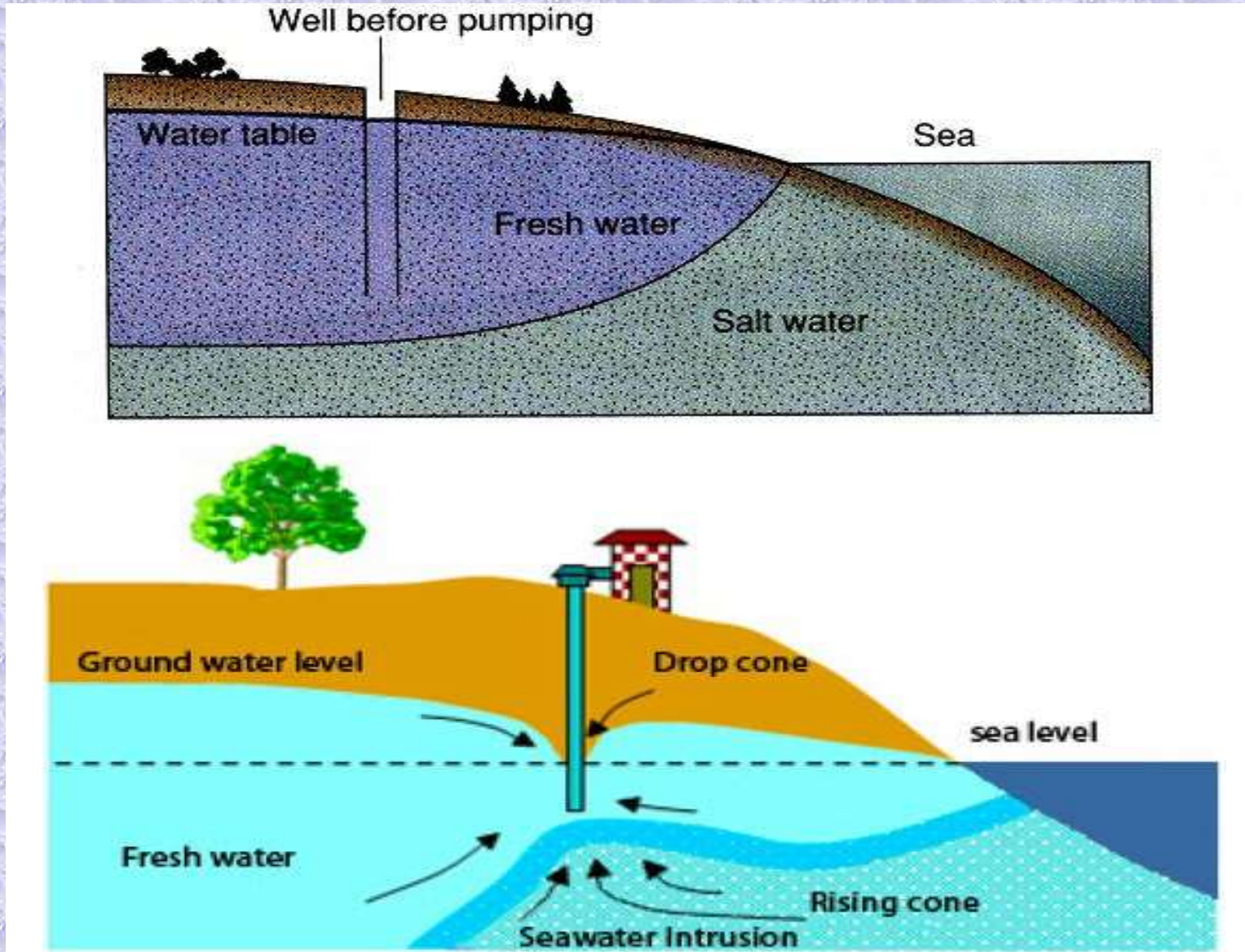


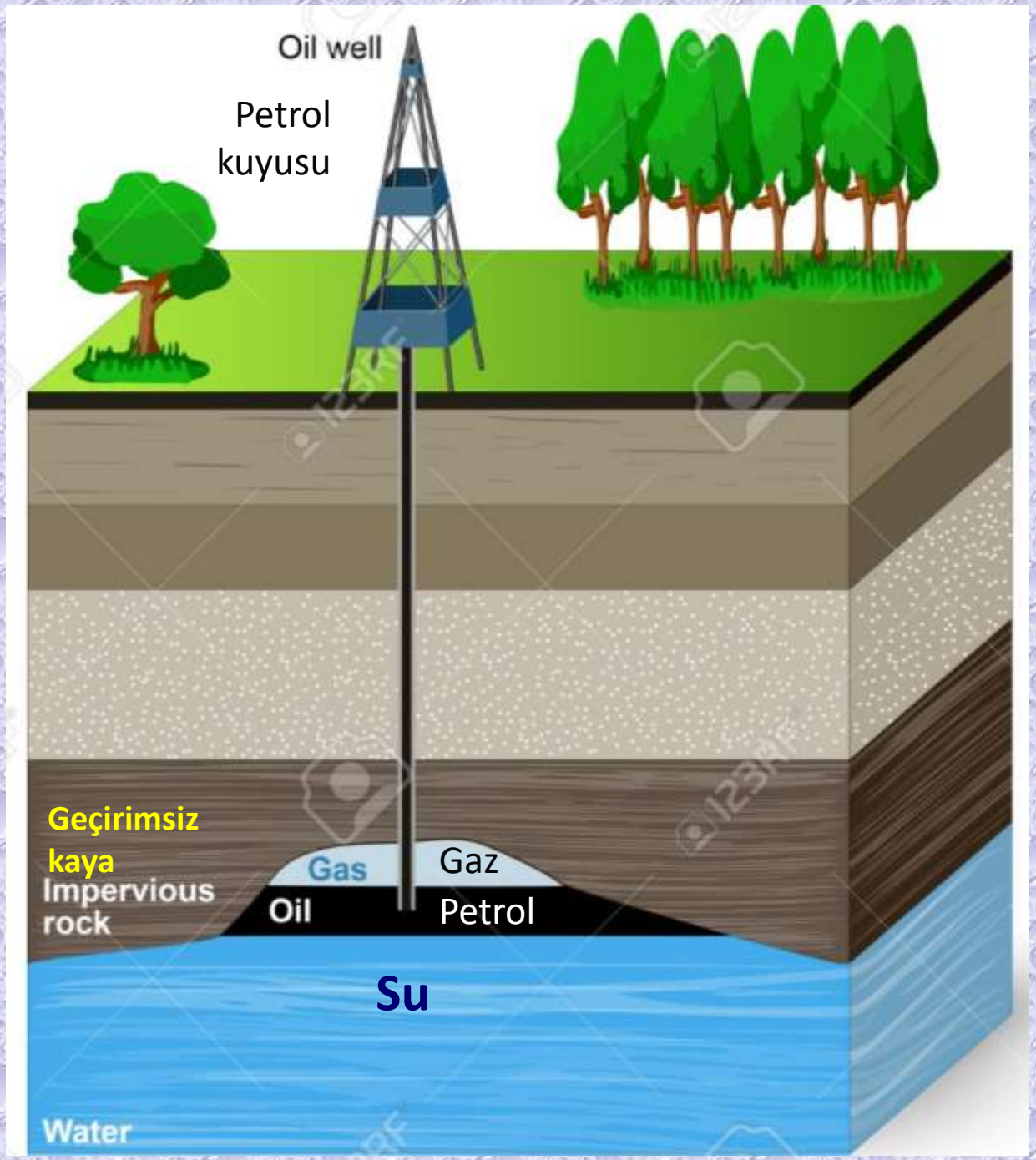


Yeraltı suyunun kirlenmesi ve önlemleri



Yeraltı suyunun kirlenme şekli : Yeraltı suyunun tuzlanması





Yeraltında petrol, gaz ve su üçlüsünün durumu

Aral Gölü'nün kuruması (1960-2014)

Aral, Dünyanın en büyük dördüncü gölüydü. Fakat kurudu. Çünkü gölü besleyen nehir sularının tarım için aşırı ve kontrolsüz bir biçimde kullanılması sonucu kurudu. Aşırı su kullanımı gölün 50 yılda tamamen çöle dönmesine neden oldu





Yeraltı suyunun fazla kullanımı ve yerde meydana gelen çökmeler :

Kaliforniya'da bir vadide 1925'den 1977'ye kadar meydana gelen 9 metrelik çökme

Dünya'daki su durumu

Dünyanın, su kaynağı bol olsa da, bu suların %97.5'ini tuzlu sulardır. Kalan tatlı suyun büyük kısmı buz kütleleri halinde tutlmaktadır.

Batı'da diş fırçalamak için 8 litre, sifonu çekmek için 10-35 litre, duş için 100-200 litre su kullanılıyor.

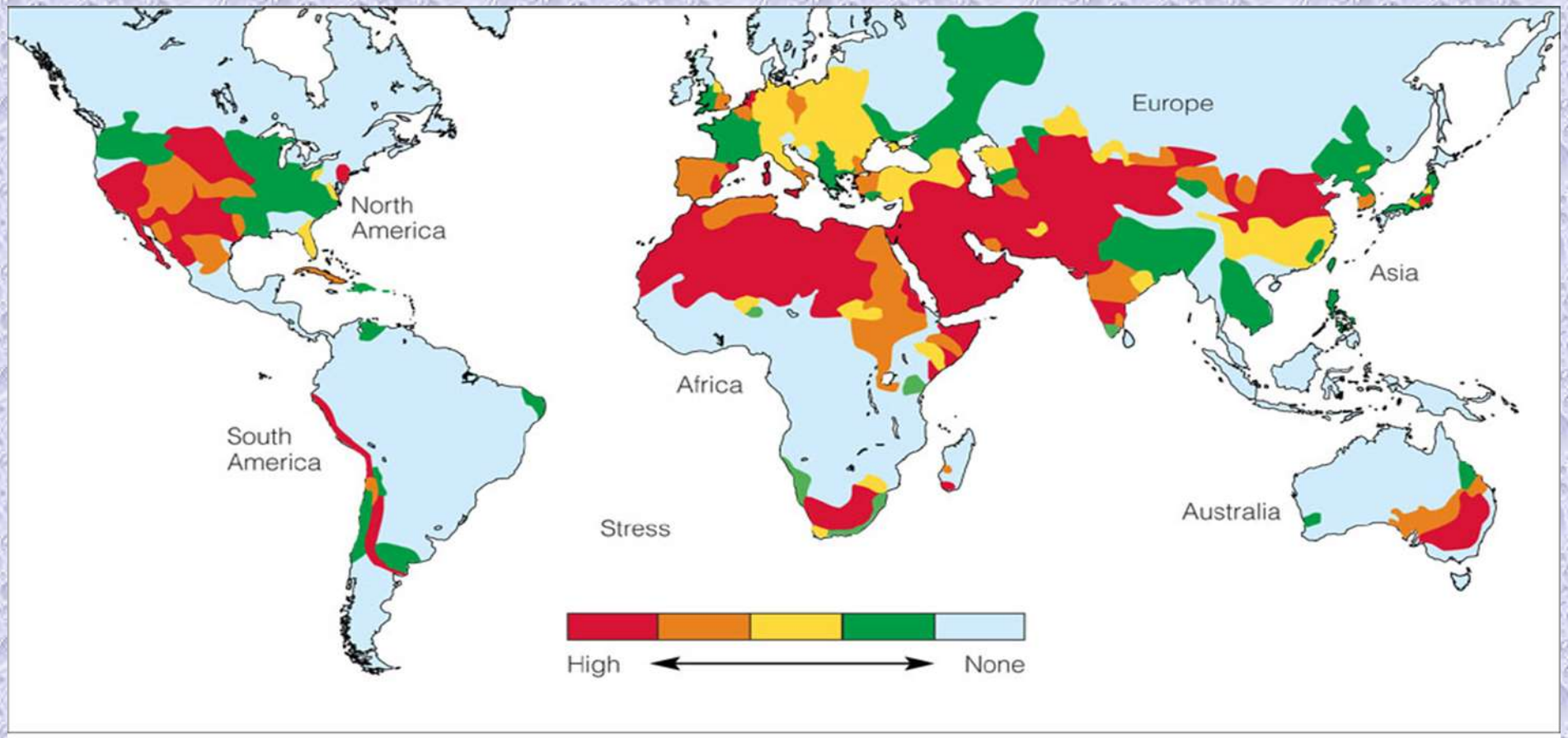
Kişi başına düşen günlük su ihtiyacı 50 litre olsa da, 30 litre suyla da günlük işler halledilebiliyor; yiyecek ve içecekler için 5 litre, hijyen için 25 litre su gerekiyor.

Bir ABD'li günde ortalama 500 litre, bir İngiliz 200 litre su tüketiyor.

Bazı ülkelerde kişi başına günde 10 litrenin altında su düşüyor. Gambiyalılar günde 4.5, Malililer 8, Somalililer 8.9, Mozambikliler 9.3 litre su kullanıyor.

Bir kilogram patates üretmek için 1000, bir kilogram mısır için 1400, bir kilogram buğday için 1450 litre su gerekiyor.

Küresel Su Sorunu



© 2005 Brooks/Cole - Thomson

Su Sıkıntısının İki Nedeni: İklimin Kurak Olması ve İnsan nüfusu. Pekçok insan temiz suya ulaşamadığı için su yoksulu olarak yaşamaktadır (*www.centralia.edu/Academics/envscience/.../chap09.ppt)*

Toronto’dan (Kanada) bir örnek







İklim Değişimi

Son felaket raporu

En çok yoksul ülkelerin etkilenecek. Rapora göre en önemli etkiler şöyle sıralandı:

- Tarımda verimin azalması ve özellikle Avrupa ile Rusya'da hasatlarda büyük düşüş,
- Kuzey Afrika'nın çölleşmesiyle büyük oranda göç,
- 2.8 milyar insanın susuzlukla karşı karşıya kalması
- Mercan resiflerinin yüzde 97'sinin yok olması
- Kuzey Buz Denizi'nin tamamen ortadan kalkması ve kutup ayılarının soylarının tükenmesi
- Afrika ve Kuzey Amerika'da sıtmanın yayılması

Geleceğin kâbusu sel ve kasırgalar

Uzmanlara göre küresel ısınma, okyanuslarda sıcaklık artışına neden olacak. Bu da yaşadığımız yüzyılda özellikle tropikal bölgelerde daha şiddetli ve sık kasırgalarla sel baskınlarına yol açacak



2017 Harvey kasırgası- Houston kıyıları

Küresel ısınmaya bağlı su kaynaklarının azalması ülkeler arasında anlaşmazlıklara neden olmaktadır

İsrail - Ürdün - Filistin

Dünya nüfusunun %5'ini barındıran Ortadoğu, dünya su kaynaklarının %1'ine sahip. Bu sorun 1967'deki Arap-İsrail sorununu daha da körüklemektedir. İsrail, Filistin bölgeleri ve Ürdün, **Ürdün Nehri**'ne bağımlı durumda...

Ancak nehri İsrail kontrol ediyor ve su azaldığında diğer bölgelere su akışını kesiyor. İsrail, Filistinlilerin bu sudan faydalanmalarını büyük ölçüde önlüyor.

İsrail - Ürdün – Filistin Su Sorunu



Su Alanları konusunda anlaşmazlıklar

- **Türkiye - Suriye**

  Türkiye'nin Fırat Nehri üzerinde baraj inşası 1998 yılında Suriye ile bizi savaşın eşiğine getirdi.

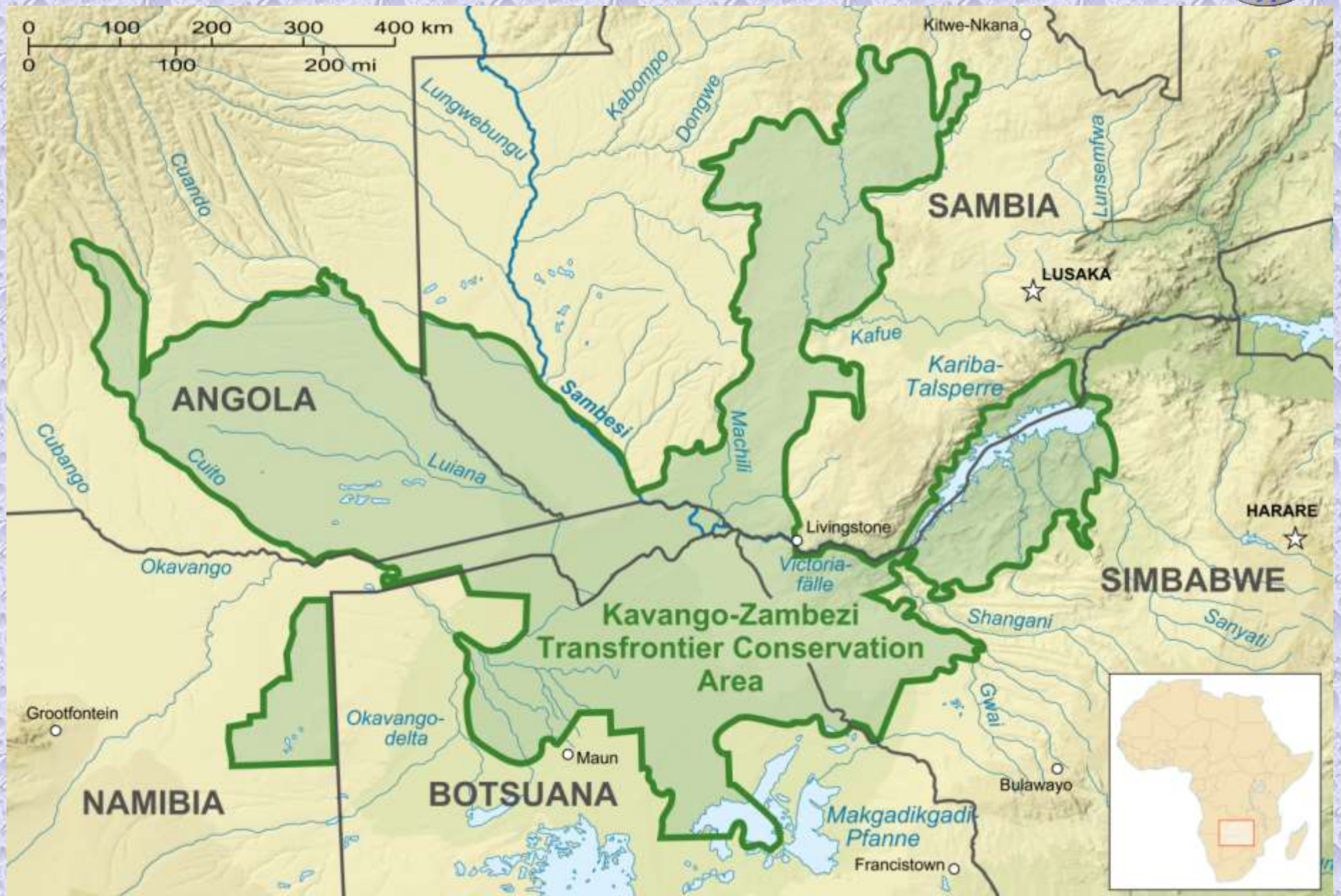
- **Angola - Namibya**

  Afrika'da, Botswana, Namibya ve Angola arasında Okavango Havzası yüzünden bir gerilim yaşanıyor.

  Kuraklık yüzünden Namibya 400 kilometrelik boru hattıyla başkentine su taşımayı planlıyor.

  Deltanın kurutulması yerel halk ve turizm için ölümcül olabilir.

Afrika, Okavango Havzası ve su anlaşmazlıkları



Etiyopya - Mısır

Mısır, Sudan ve Etiyopya arasında, Nil Nehri yüzünden çatışma tehlikesi yaratıyor. Etiyopya, Nil'in suyundan daha fazla pay istiyor. Mısır, Uganda ve Sudan üzerinden de geçen Nil'in Sina Çölü'ne ulaştığında suyunun azalmasından endişe duyuyor.

Çin - Hindistan

Brahmaputra Nehri, Hindistan ile Çin arasında gerginlik yaşanıyor. Hindistan, kendi topraklarında ve Bangladeş'te sellere ve Tibet ise toprak kaymalarına yol açan su artışını konusunda sık sık Çin'i suçlamaktadır. Çin'in nehrin yönünü değiştirme önerileri de Delhi'yi endişelendiriyor.

Bangladeş - Hindistan

Himalayalar'daki buzulların erimesiyle taşan Ganj Nehri Bangladeş'te büyük yıkıma yol açıyor. Bu nedenle Bangladeş'ten Hindistan'a yasadışı göç oranı artıyor. Hindistan sınırından her gün 6 bin kişi yasadışı olarak geçiyor. Hindistan, yasadışı göçmenlerin ülkeye girişini önlemek için sınıra dev çitler yerleştirdi.

Küçük Buzul Dönemi (1400-1800) ve donan Thames nehri (İngiltere)




1928
©ARCHIVO MUSEO SALESIANO/GREENPEACE
2004
© GREENPEACE/BELTRA


1859
2001
© GARY BRAASCH


1999
2004
© GARY BRAASCH


1985
2002
© GARY BRAASCH

İstanbul Boğazı ve Haliç 40 kez dondu

Boğaz ve Haliç 2000 yılda 40 kez dondu. Boğaz 12 kez tamamen, 6 kez kısmen; Haliç ise 15 kez tamamen, 6 kez de kısmen donmuştur















Figure 2. Partially frozen Bosphorus in the winter of 1929; position 1 in Figure 1 (from Ünter 2008).





