



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

HİDROJEOLOJİ

4.Hafta

Yeraltında suyun bulunuşu
Gözenekli ortamın özellikleri

Prof.Dr.N.Nur ÖZYURT

nozyurt@hacettepe.edu.tr

Hidrolojik evrim Bileşenleri

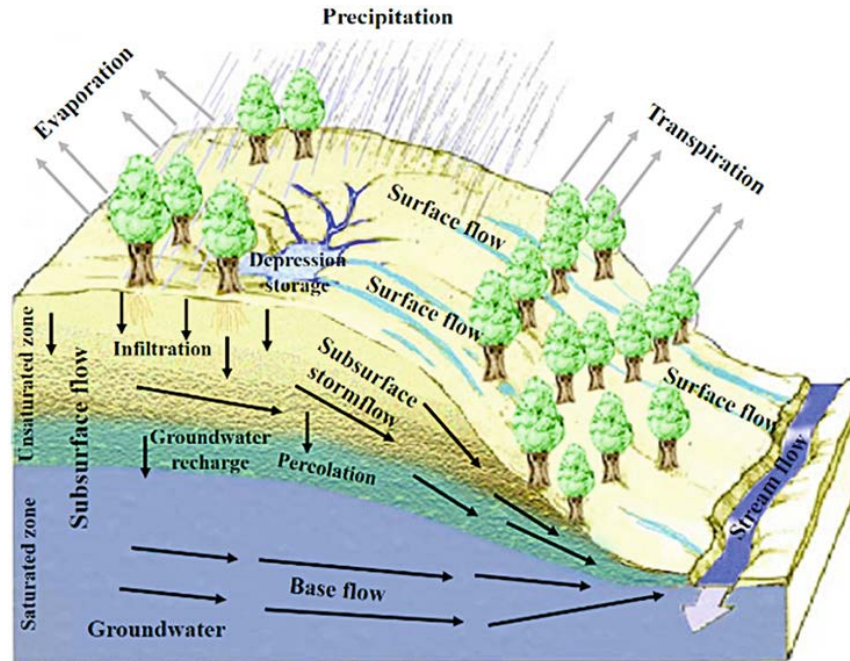
- Buharlaşıma-terleme
- Yağış
- Yüzeysel akış
- Yeraltına süzölme ve yeraltısuyu akışı

Yeryüzüne düşen yağışın buharlaşma fazlası bir bölümü yüzeyde akışa geçer bir kısmı da süzülerek yeryüzeyi altında depolanır ve akışa geçer.

- **Yüzeysel akış** havzaya düşen yağışın buharlaşma ve sızma sonrasında akışa geçen bölümü

-**Yüzeyaltı akış** (İç yada ara akış) yeraltına süzülen su zeminin üst bölümünde akışa geçer genellikle kısa sürede yüzeye çıkar

-**Yeraltı akışı** süzülen su zeminin derinlerine doğru ilerler ve akışa geçer ve yeraltısuyu olarak adlandırılır.



https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-662-47871-4_9-1

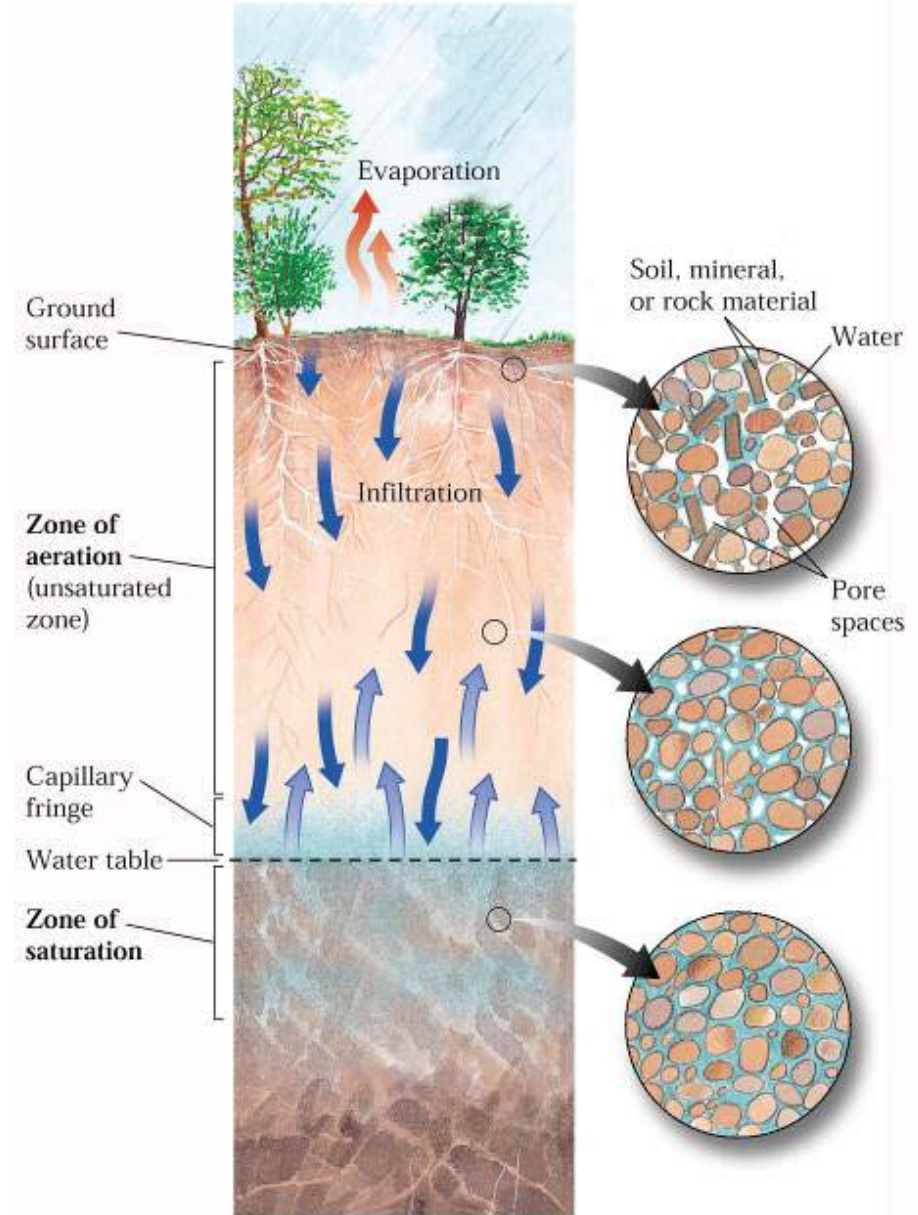
Suyun Yeraltında Bulunuşu

Doygun olmayan zon

Kapiler Saçak

Su Tablası

Doygun zon



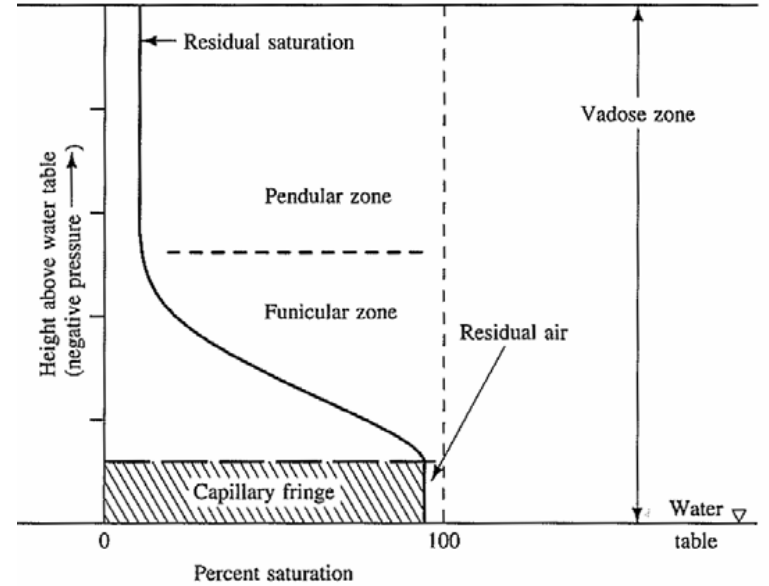
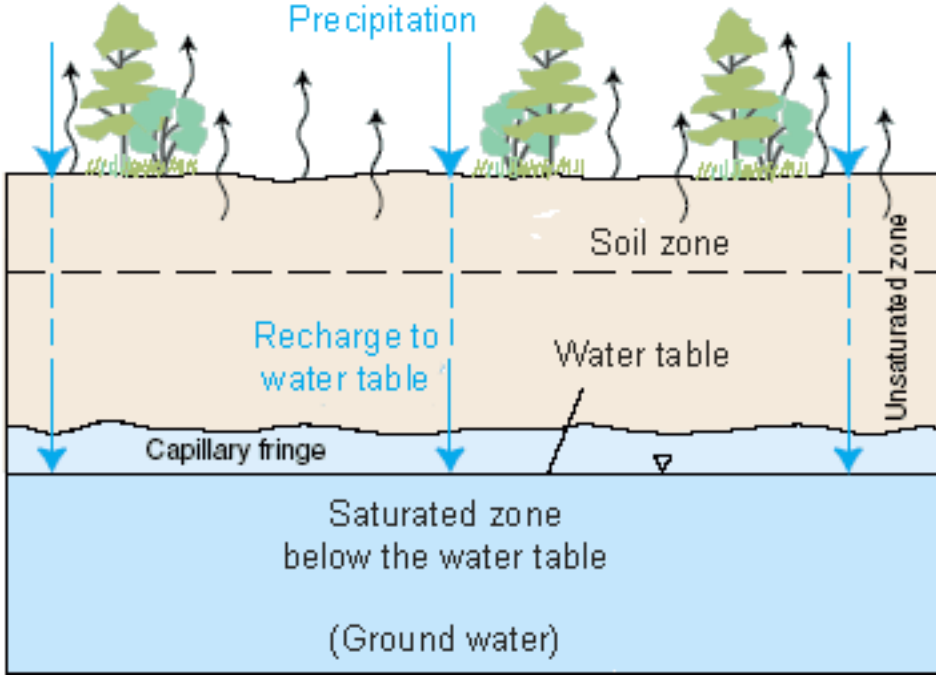
Doymun olmayan zon: Yerçekimi kuvveti etkisi ile yeraltına süzülmenin gerçekleştiği, gözeneklerin kısmen doymun olduğu bölgeyi tanımlar. Bu bölgede suyun hareketi düşey yönlüdür.

Kapiler saçak bölgesi: Su tablasının üstünde gözeneklerin kapiler çekim kuvvetleri sonucunda doymun hale geldiği bölgeyi tanımlar.

Su Tablası: Doymun zon ile doymun olmayan zon arasındaki sınırdır. Bu sınır sanal bir çizgi olarak gösterilir. Su tablası, zaman içinde ve alansal olarak değişkendir. Su tablasındaki değişimler yeraltısuyu akımı ve depolamasının tanımlanması açısından sürekli izlenmelidir.

Doymun zon: Yeraltına süzülen suyun jeolojik malzemedeki tüm gözenekleri tamamen doldurduğu bölgedir. Bu bölgedeki su artık yeraltısuyu olarak adlandırılır. Doymun zon içinde yeraltısuyunun hareketi hidrolik yükün azaldığı yönde gerçekleşir.

Suyun Yeraltında Bulunuşu



Soru: Yeraltısuyundan buharlaşma gerçekleşir mi?

Yeraltısuyundan buharlaşmanın genellikle su tablasının yüzeyden en fazla 2 m derinlikte olması durumunda gerçekleşeceği kabul edilir. Yüzeyden 2 m den daha derindeki su tablası koşullarında yeraltısuyundan buharlaşma gerçekleşmez.

Kökenine göre suyun sınıflandırılması

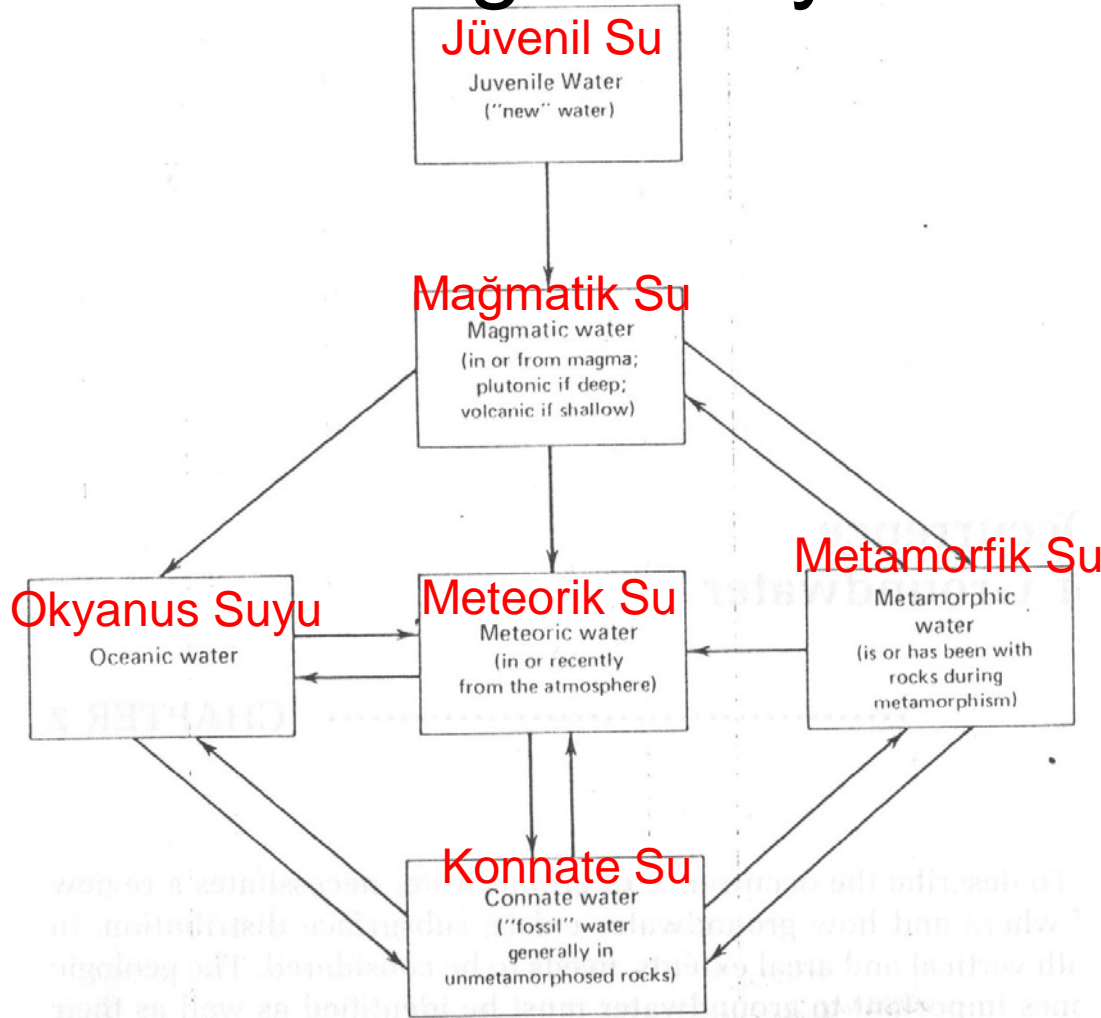


Fig. 2.1 Diagram illustrating relationships of genetic types of water (after White⁴⁹; courtesy The Geological Society of America, 1957).

Yeraltısuyunun bu şekilde kökensele olarak sınıflanması ile birlikte suyun yeraltında **bulunuş/kalış süresi** yada bir diğere deyişle **yeraltısuyu yaşı** kavramları gündeme gelmektedir.

Bu kavramlara karşılık sürelerin belirlenmesi için farklı radyoaktif izleyicilerden yararlanılır.

Bu konuya dönemin ilerleyen haftalarında tekrar geri döneceğiz.

D.K.Todd, 1976, Groundwater Hydrology, syf 24

Suyun Yeraltında Bulunuşu

Meteorik Su: Günümüz hidrolojik döngüsünün bir parçası olan sular.

Konnate Su: Uzun jeolojik zamanlar boyunca atmosfer ile teması olmayan sulardır. Fosil Su, Formasyon suyu

Formasyon Suyu: Sedimanter kayaçların boşluklarında sedimantasyon sırasında hapsolmuş sular.

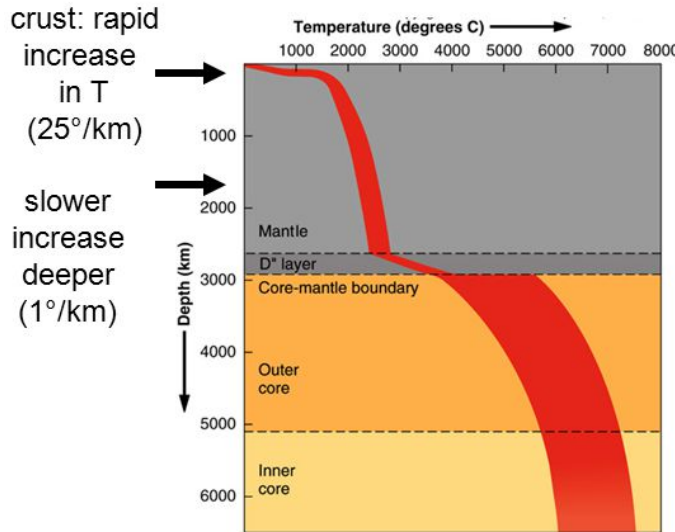
Jüvenil Su: Yerkabuğunun derinlerinden türeyen sulardır, günümüz hidrolojik çevriminin bir parçası değildir.

Termal Su: Yeraltında ısınarak yeryüzüne çıkan sulardır. Hidrolojik çevrimin parçası olmasına rağmen yeraltında kalış süreleri uzun olan sulardır.

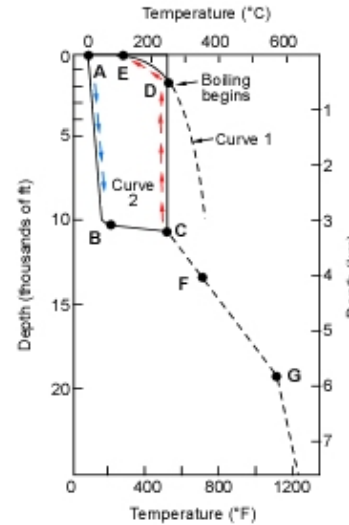
Jeotermal Su

Jeotermal (jeo-yerküre, termal-ısı) yerkabuğunun derinlerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. **Jeotermal** enerji de bu **jeotermal** kaynaklardan ve bunların oluşturduğu enerjiden doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır.

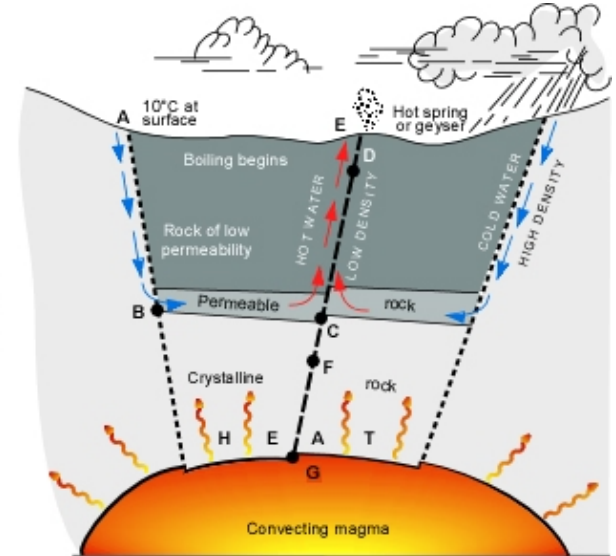
Isı gradyanı, yerkağunda (3-5 km derinlikte) $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$
Jeotermal suyun sıcaklığı 90°C ye ulaştığında jeotermal enerji üretimi yapılabilir.



<https://slideplayer.com/slide/4204336/>



http://www.unionegeotermica.it/what_is_geothermal_en.html



Soru: Jeotermal enerji yenilenebilir-temiz bir enerji kaynağı mıdır?

Gözenekli Ortamın Özellikleri

Gözenekli ortam, gözenekler içeren malzemedir. Bizim için gözenek içerek jeolojik malzemeler (pekişmemiş ve/veya pekişmiş)

Gözenekli ortam, iskeleti oluşturan matris (taneler) ve eğer varsa gözenekler arasındaki sudan oluşur.

- Gözeneklilik
- Özgül verim
- Özgül tutulma
- Geçirgenlik
- Hidrolik iletkenlik

Gözeneklilik (Porozite)

Boşluk bulunduran tüm katılar gözeneklidir.

Gözeneklilik, boşluk hacminin toplam hacme oranının yüzde olarak ifadesidir.

$$n = \frac{V_b}{V_t} \cdot 100$$

n : gözeneklilik (%)

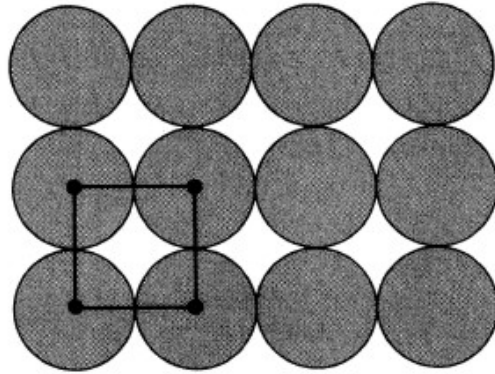
V_b : boşluk hacmi

V_t : toplam hacim

Tablo 2.4 Gözeneklilik değerlerinin değişim aralığı.

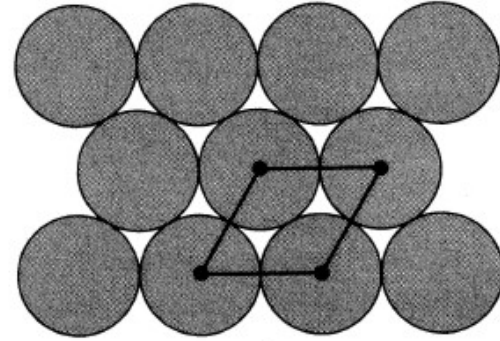
	n (%)
Tutturulmamış çökeller	
Çakıl	25 – 40
Kum	25 – 50
Silt	35 – 50
Kil	40 – 70
Kayalar	
Çatlaklı bazalt	5 – 50
Karstik kireçtaşı	5 – 50
Kumtaşı	5 – 30
Kireçtaşı dolomit	0 – 20
Şeyl	0 – 10
Çatlaklı kristalen kaya	0 – 10
Yoğun kristalen kaya	0 – 5

Tane diziliminin gözenekliliğe etkisi



Cubic packing
(48% porosity)

Kübik paketleme $n=48$



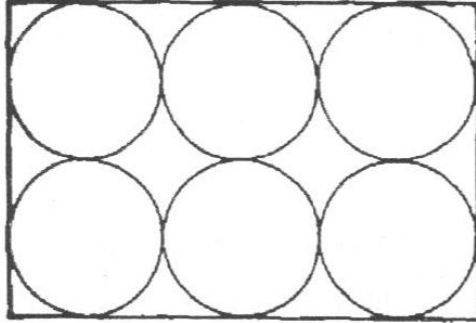
Rhombohedral packing
(26% porosity)

Rombohedrik paketleme $n=26$

Soru: Birbirine eş (aynı çapta) kürelerden oluşan gözenekli ortamda kürelerin çapı değişirse gözeneklilik değişir mi?

Kürelerin (tanelerin) çapı gözenekliliği değiştirmez!!!

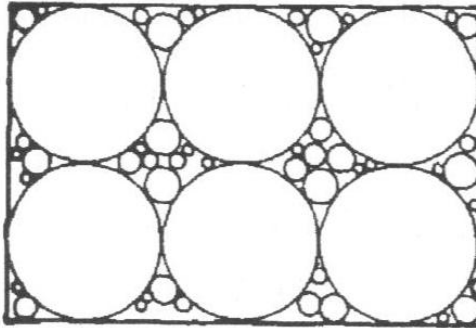
Tane boyu dağılımının gözenekliliğe etkisi



A

İyi boylanmış

Kübik paketleme $n=48$

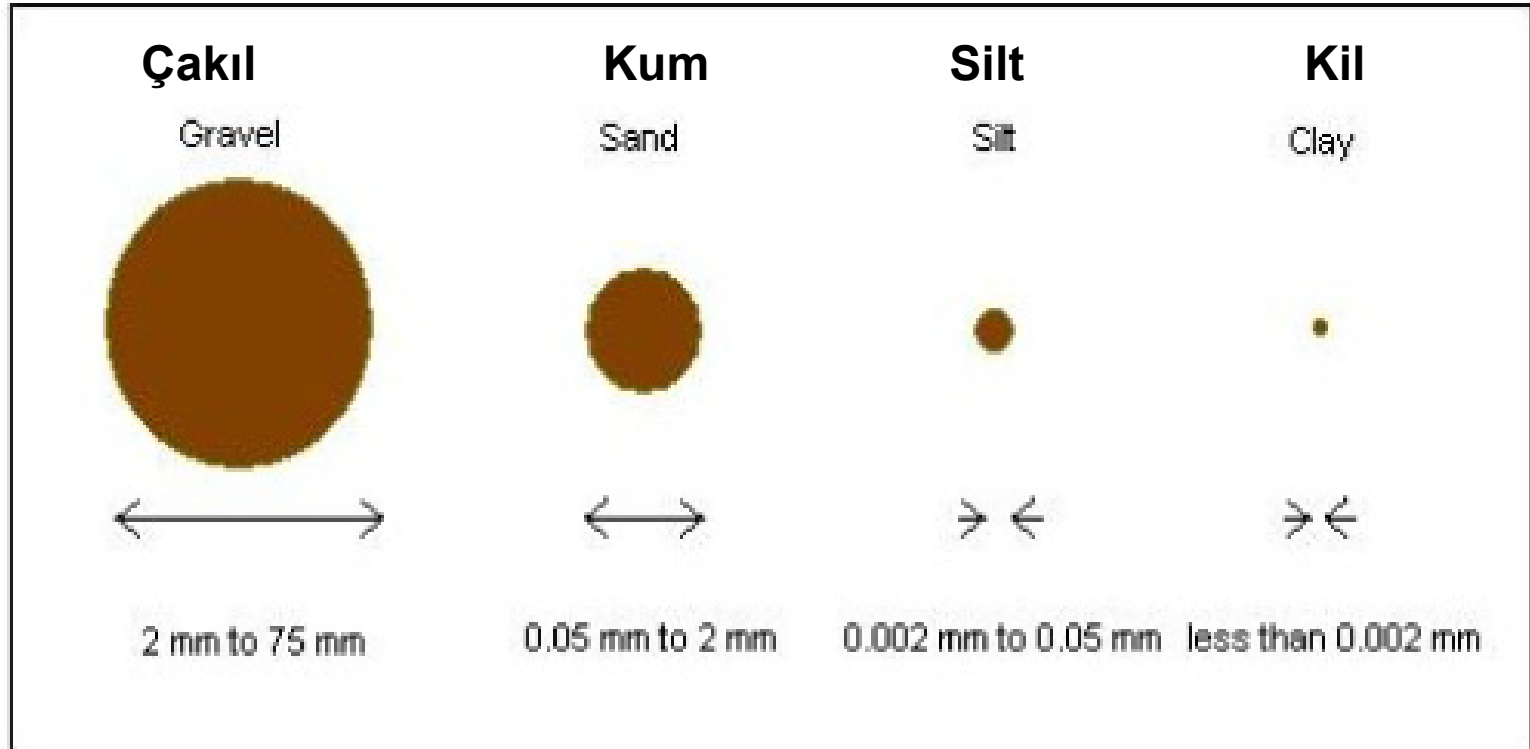


B

Kötü boylanmış

Farklı tane boylarında paketleme
 $n < 48$

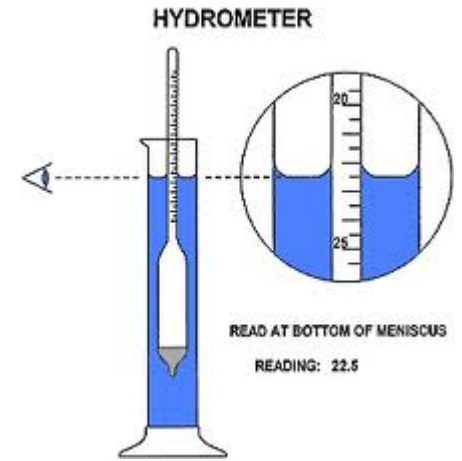
Tane Boyu Sınıflaması



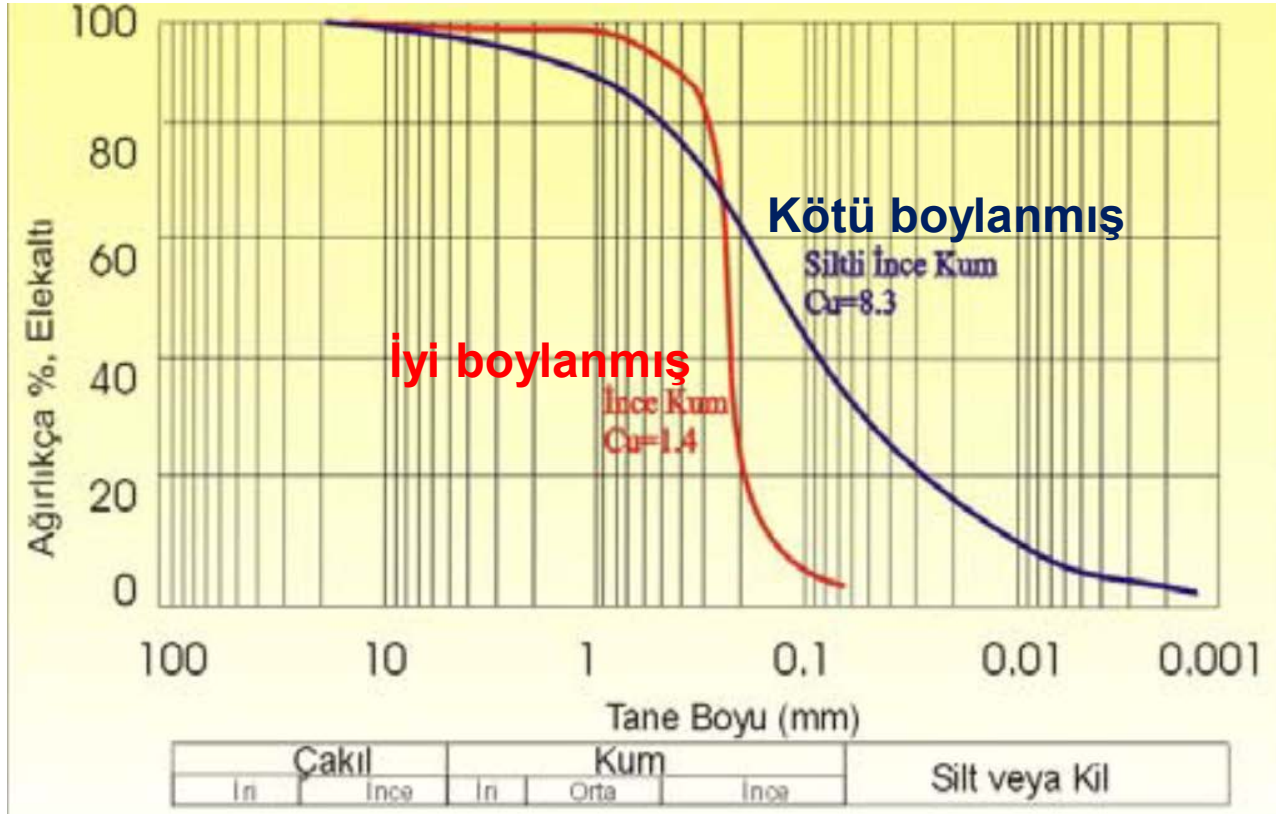
Tane boyu ve dağılımının belirlenmesi

Elek Analizi: İri taneli (çakıl, kum) malzemeler için kullanılır. Farklı elek açıklıkları için elek altına geçen sediman yüzdesine göre dağılım belirlenir.

Hidrometre Deneyi: İnce taneli (kil, silt) malzemeler için kullanılır. Suda bulunan sedimanların Stoke yasasına göre çökme hızına dayanır.



Tane boyu dağılımının



Uniformluk Katsayısı (C_u)

$$C_u = d_{60}/d_{10}$$

$C_u < 4$ iyi boylanmış

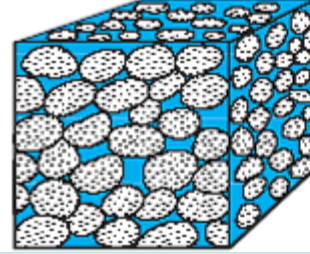
$C_u > 6$ kötü boylanmış

Etkin tane çapı (d_{10}): tane boyu dağılım eğrisi üzerinde %10'a karşılık gelen tane çapıdır.

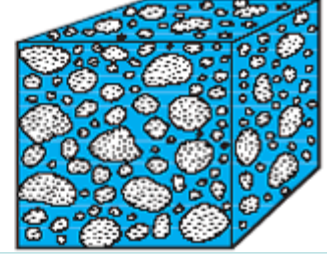
Soru: Yukarıdaki tane boyu dağılım eğrisi grafiğindeki kırmızı ve mavi ile gösterilen malzemeler için Uniformluk katsayısı ve etkin tane çapını belirleyiniz.

Gözenekliliğin oluşumu

Birincil gözeneklilik: Kayacın oluşumu sırasında oluşan gözenekliliktir. Tane boyu ve dağılımı etkilidir.

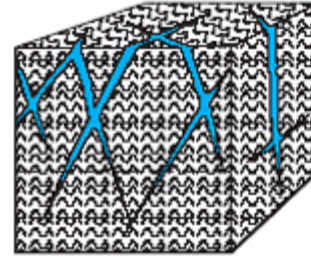


İyi boylanmış kum

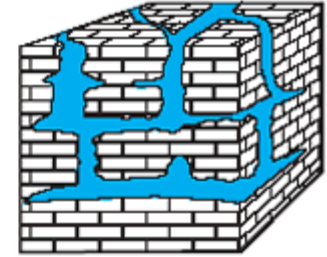


Kötü boylanmış kum

İkincil gözeneklilik: Kayacın oluşumundan sonra kırık-çatlak ya da çözünme şeklinde oluşan gözenekliliktir.



Kırık-çatlaklı granit



Kireçtaşında oluşmuş çözünme boşlukları/mağaralar

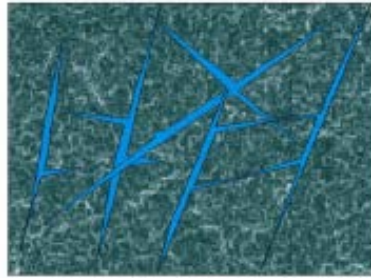
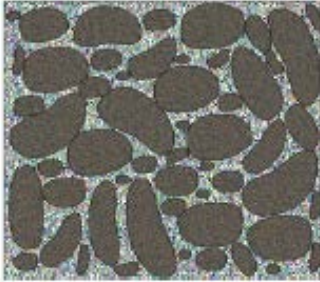
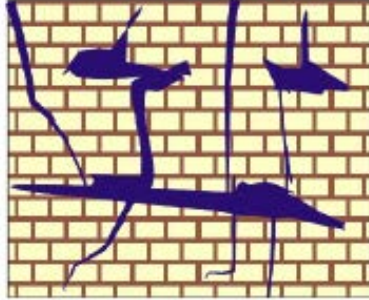
Oluşumlarına göre kayaçlar ve gözeneklilik

Sedimanter
Plütonik
Metamorfik
Volkanik

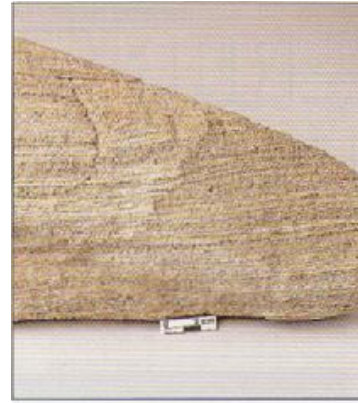
İyi Boylanmış-Gözenekli Taneler
Yüksek Gözeneklilik



Çözünme-Karstik İkincil Gözeneklilik



Kötü Boylanmış-İkincil Mineral Çökelimi
Çok Düşük Gözeneklilik



Tuff



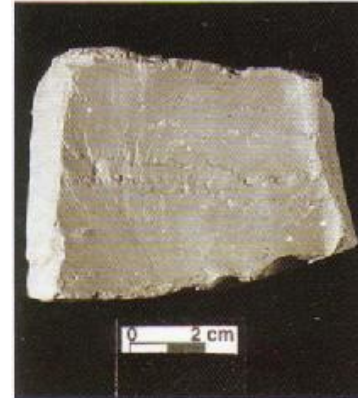
Conglomerate



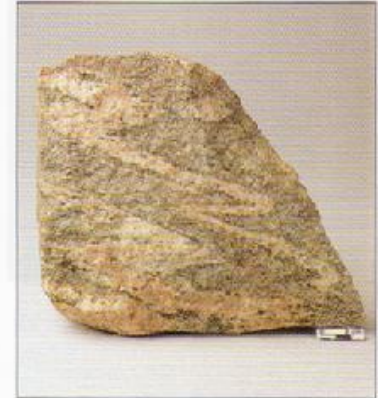
Sandstone



Siltstone (showing laminations)



Limestone



Gneiss (with deformed foliation)

Etkin Gözeneklilik

Suyun iletilmesini sağlayan birbiri ile bağlantılı gözenek hacmi, etkin gözeneklilik olarak adlandırılır.

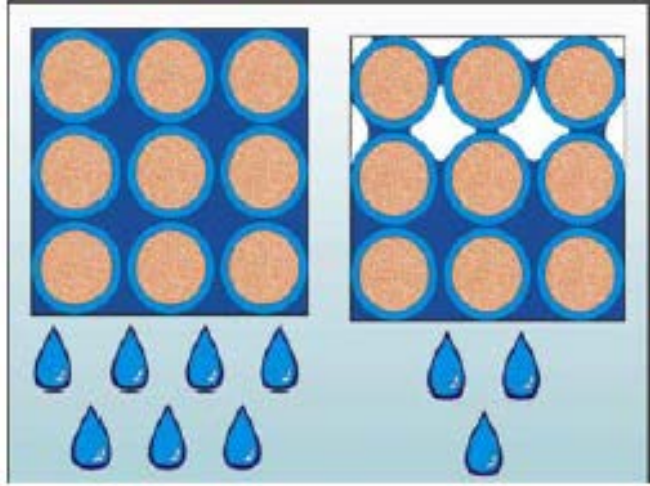
Yüksek etkin gözeneklilik, yüksek iletkenlik sağlar.

Yüksek gözeneklilik
Düşük etkin gözeneklilik

Yüksek etkin gözeneklilik
Yüksek iletkenlik



Özgül Verim ve Özgül Tutulma



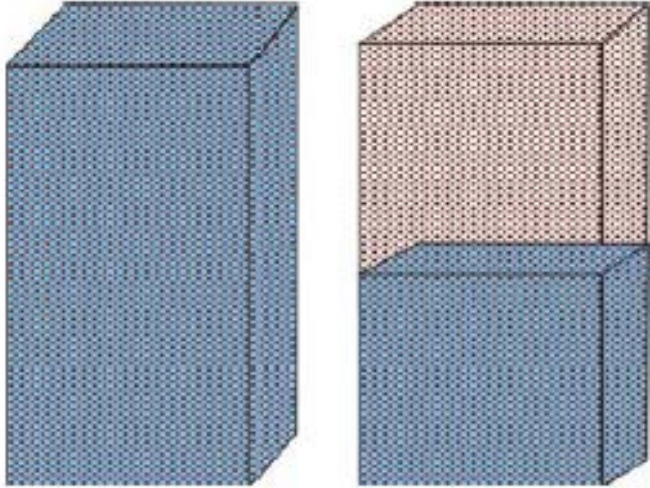
Özgül Verim: yerçekimi etkisi ile gözenekli ortamdan ayrılabilen su hacminin toplam hacme oranıdır.

$$S_y = V_w / V_T$$

S_y = özgül verim

V_w = yerçekimi etkisi ile alınabilen su hacmi [L³]

V_T = toplam hacim [L³]



Özgül Tutulma: yerçekimi etkisi ile gözenekli ortamdan ayrılamayan su hacminin toplam hacme oranıdır.

$$S_r = V_r / V_T$$

S_r = özgül tutma

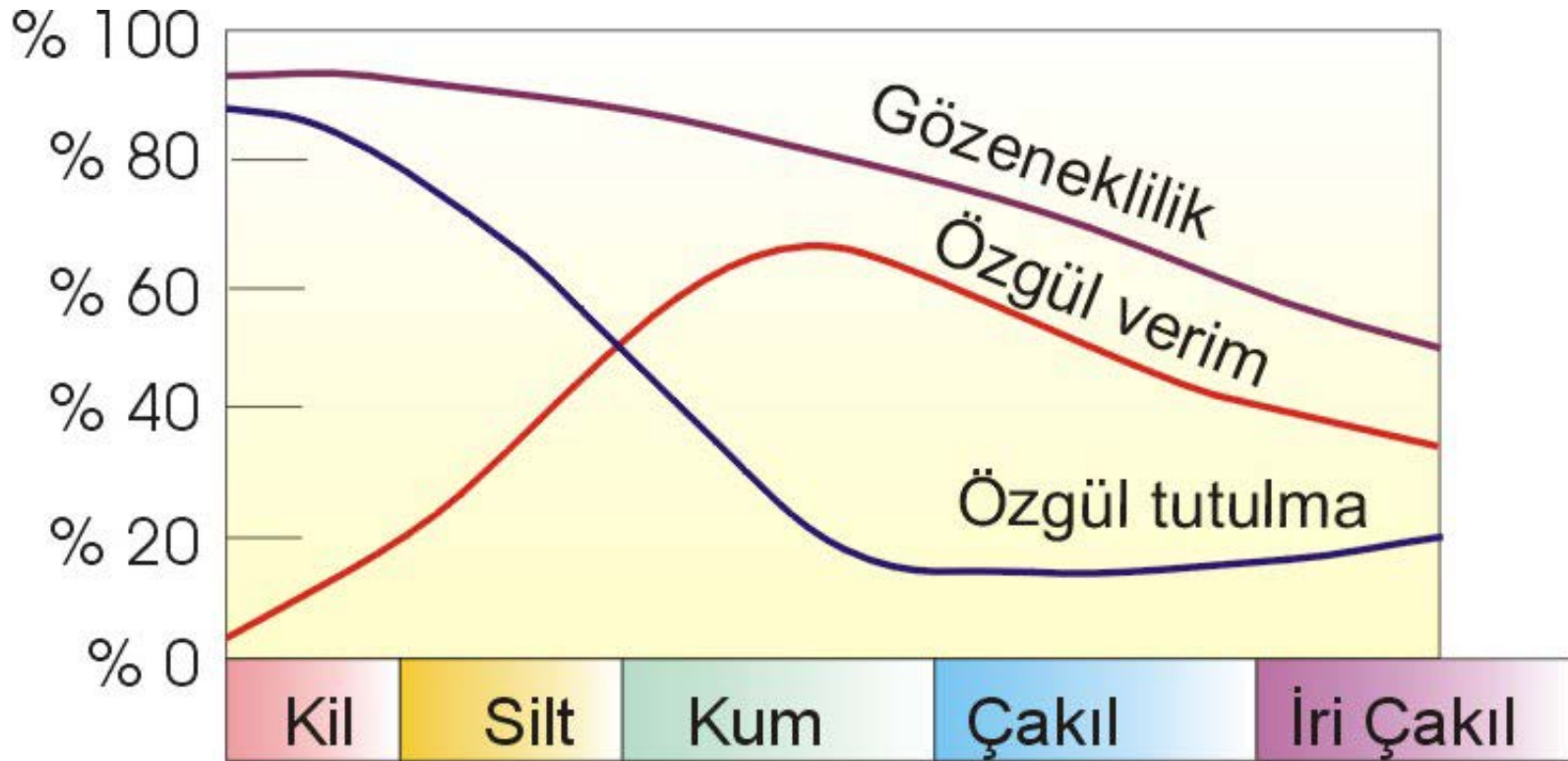
V_r = kılcal kuvvetlerle gözeneklerde tutulan su hacmi [L³]

V_T = toplam hacim [L³]

Özgül Tutulma ve Özgül Verimin toplamı gözenekliliğe (n) eşittir!!

$$n = S_y + S_r$$

Gözeneklilik, Özgül Verim ve Özgül Tutulmanın Tane Boyu ile Değişimi



Yeraltısuyu işletmesi açısından en uygun ortamlar özgül verimin olabildiğince yüksek, özgül tutulmanın ise düşük olduğu gözenekli ortamlardır.

Soru: Yukarıdaki grafiği yeraltısuyu işletmesi açısından değerlendirirseniz hangi tane boyundaki malzemenin yoğun olarak bulunduğu gözenekli ortamı tercih edersiniz?

Tane boyuna göre özgül verimin değişimi

Tablo 3.5 Yüzde cinsinden özgül verim.

Malzeme	Özgöl Verim		
	Maksimum	Minimum	Ortalama
Kil	5	0	2
Kumlu kil	12	3	7
Silt	19	3	18
İnce kum	28	10	21
Orta kum	32	15	26
İri kum	35	20	27
Çakıllı kum	35	20	25
İnce çakıl	35	21	25
Orta çakıl	26	13	23
İri çakıl	26	12	22

Kaynak: Johnson (1967).

Akifer Nedir?

Akifer, suyu depolayan ve iletebilen jeolojik birimdir (pekişmemiş kum ve çakıl).

Akiklöd, suyu depolayan ama iletemeyen jeolojik malzemeler (kil)

Akifüj, su bulundurmeyen ve geçişine izin vermeyen geçirimsiz jeolojik birimdir (granit).

Akitard, suyu depolayan ancak iletme kabiliyeti sınırlı jeolojik birimdir (killi kum).

Serbest ve Basıncılı Akifer

Serbest Akifer, alttan geçirimsiz birim ile sınırlanan üst sınırı yeraltısu tablası olan jeolojik birimdir.

Basıncılı Akifer, alttan ve üstten geçirimsiz birim ile sınırlı akiferdir.

Önem verdiğimiz bu konunun gözünüzde daha iyi canlanması için aşağıdaki bağlantıdan videoyu izleyiniz. Altyazı ve çeviri seçeneklerini kullanabilirsiniz.

<https://www.youtube.com/watch?v=wx0w-Az5JOY>

