



CMC 3103 Su Temini Sistemlerinin Tasarımı

3-4. KUYULAR

Prof. Dr. Ahmet GÜNAY

Balıkesir Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh. Böl.
Çağış/Balıkesir

agunay@balikesir.edu.tr

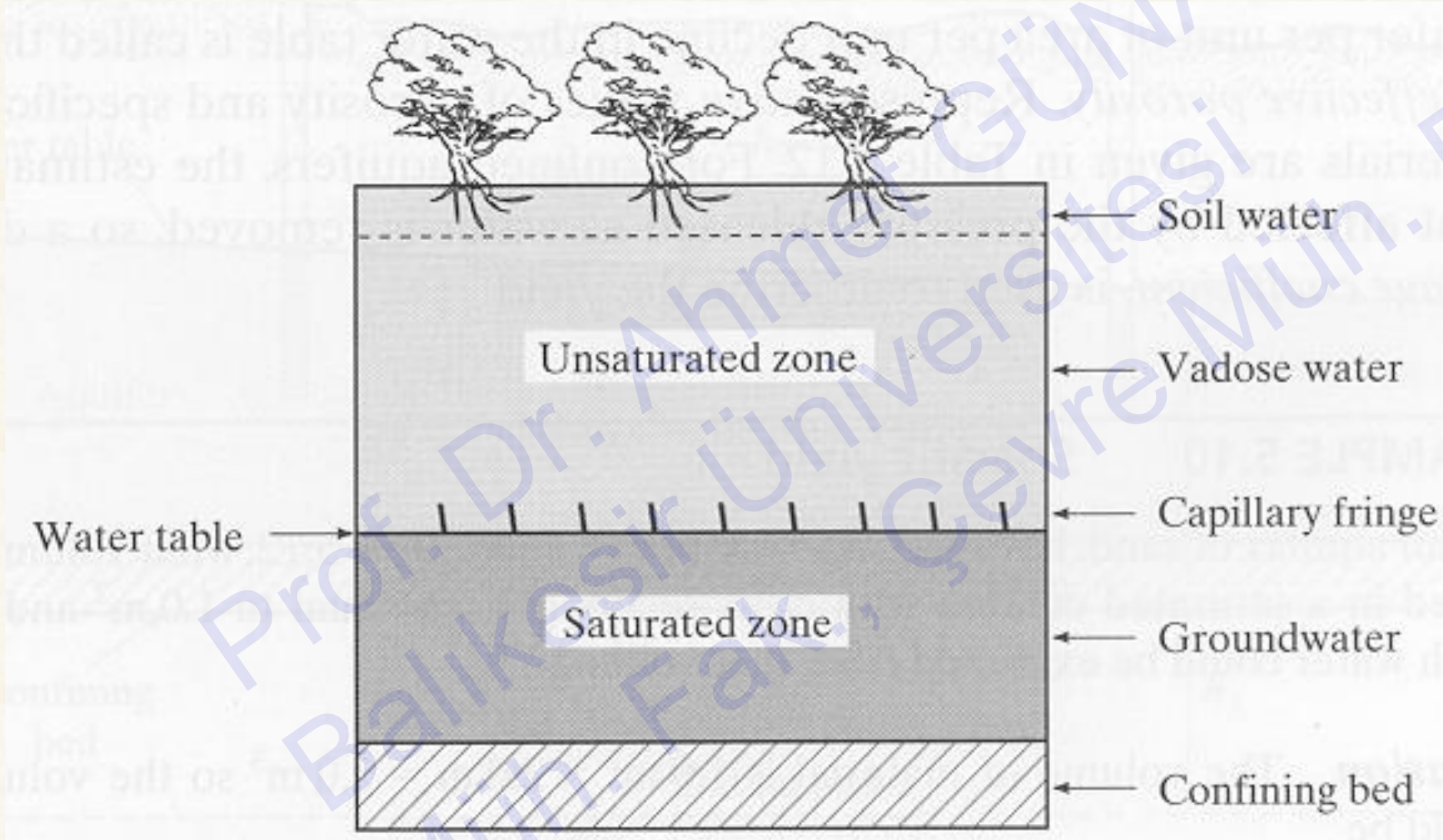
ahmetgunay2@gmail.com

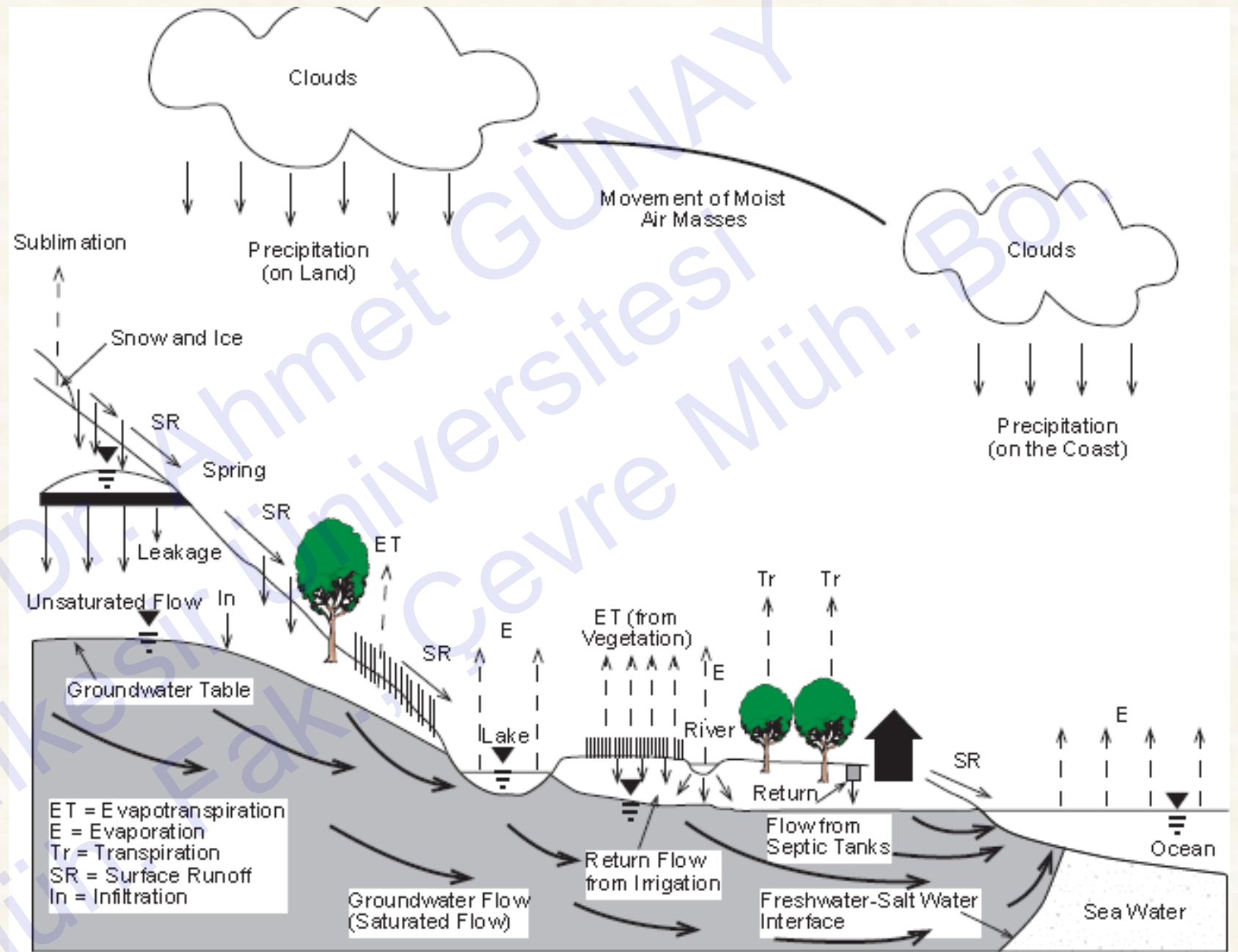
+90 505 529 43 17

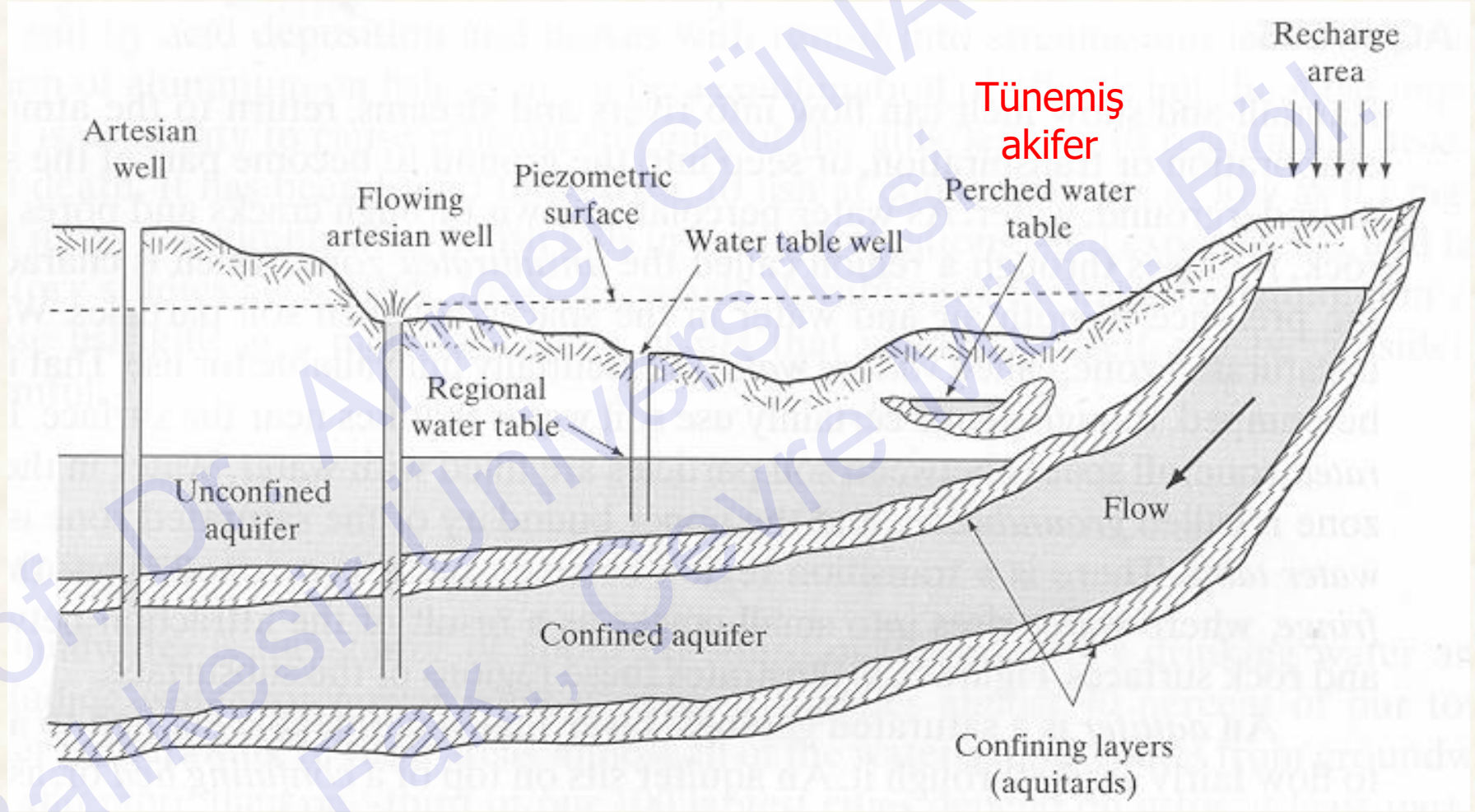
<http://cevre.balikesir.edu.tr/index.php/prof-dr-ahmet-gunay-ders-notlari/prof-dr-ahmet-gunay-su-temini-sistemlerinin-tasarimi/>



Yeraltı suyu







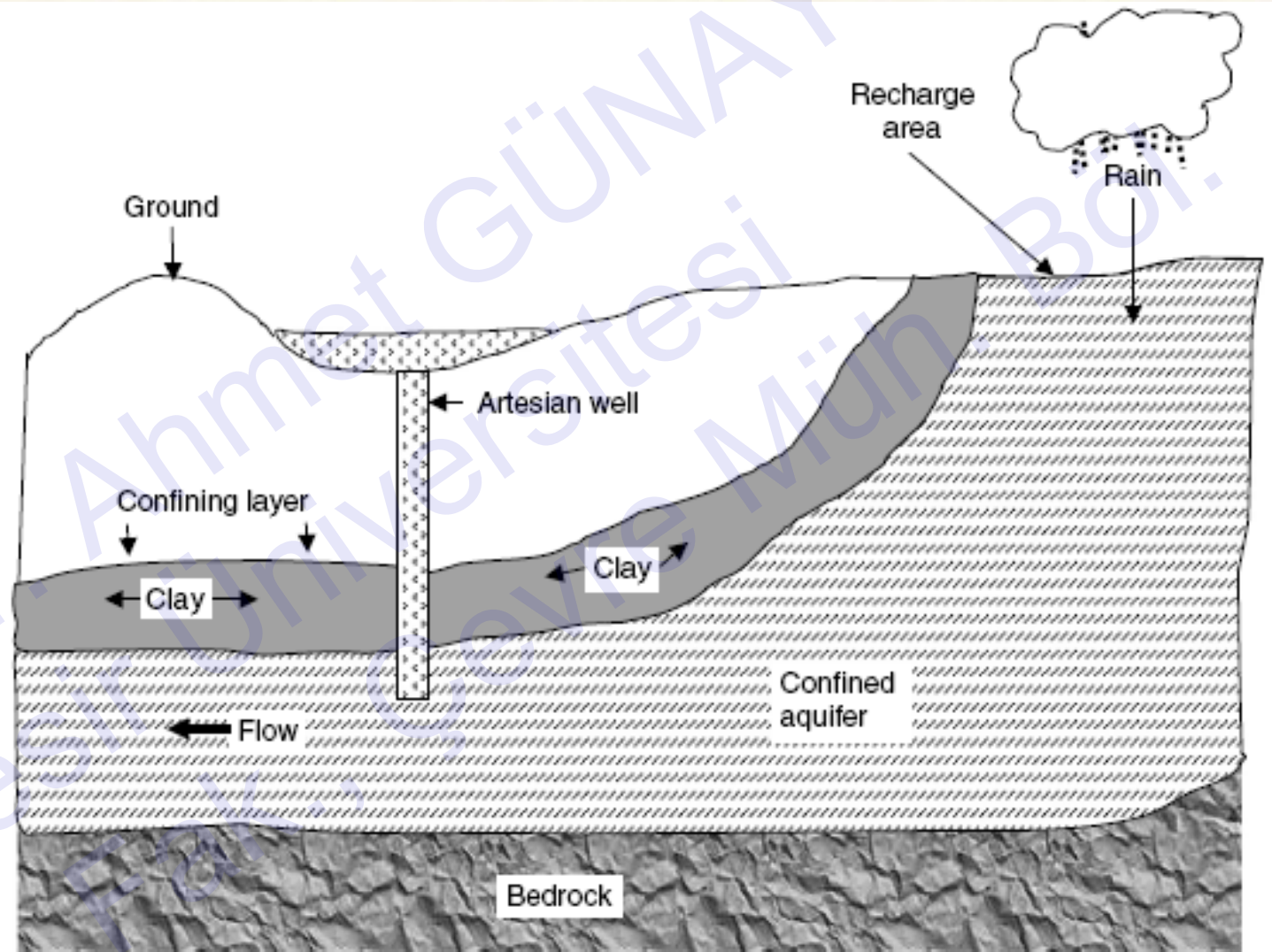
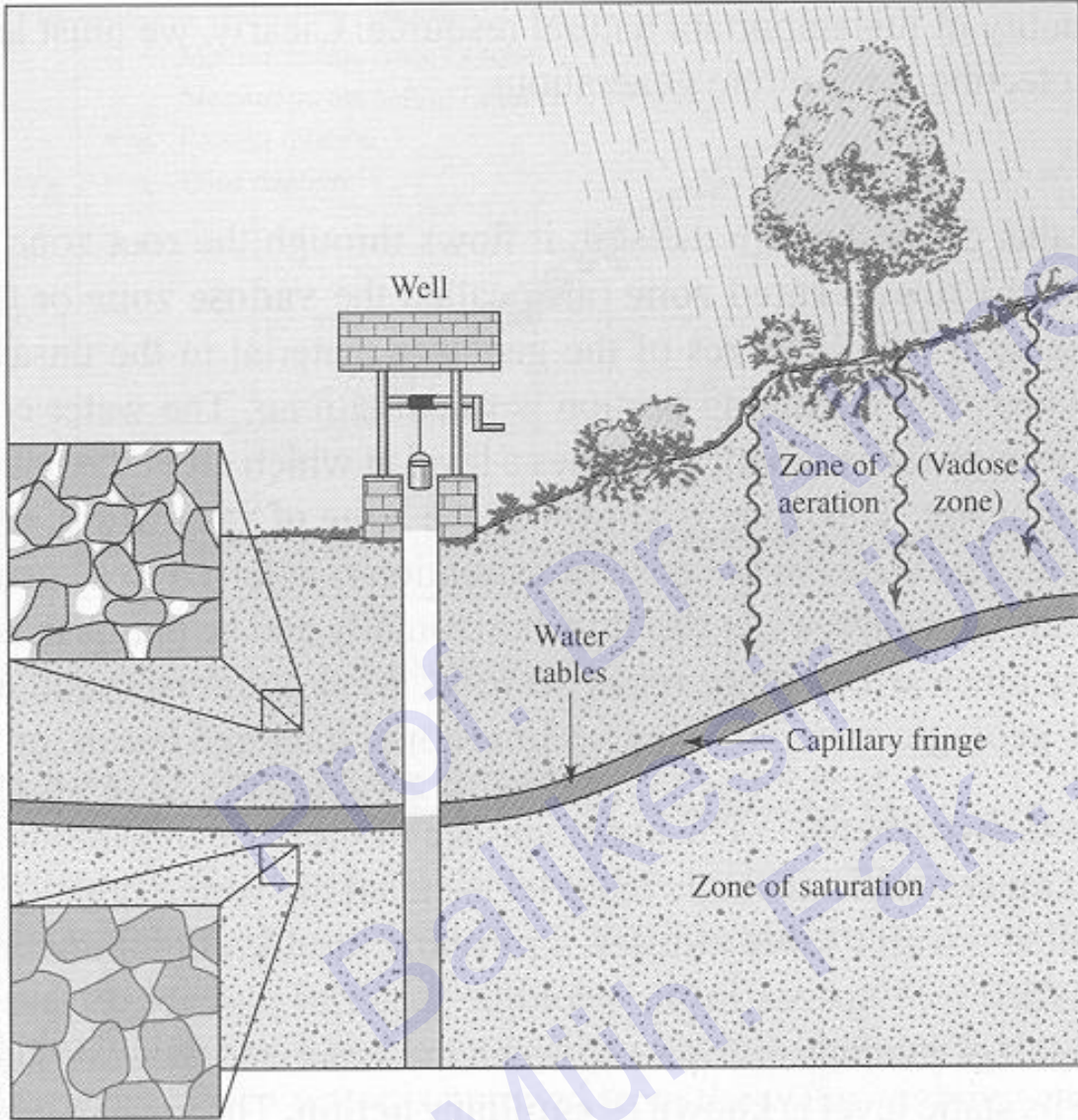


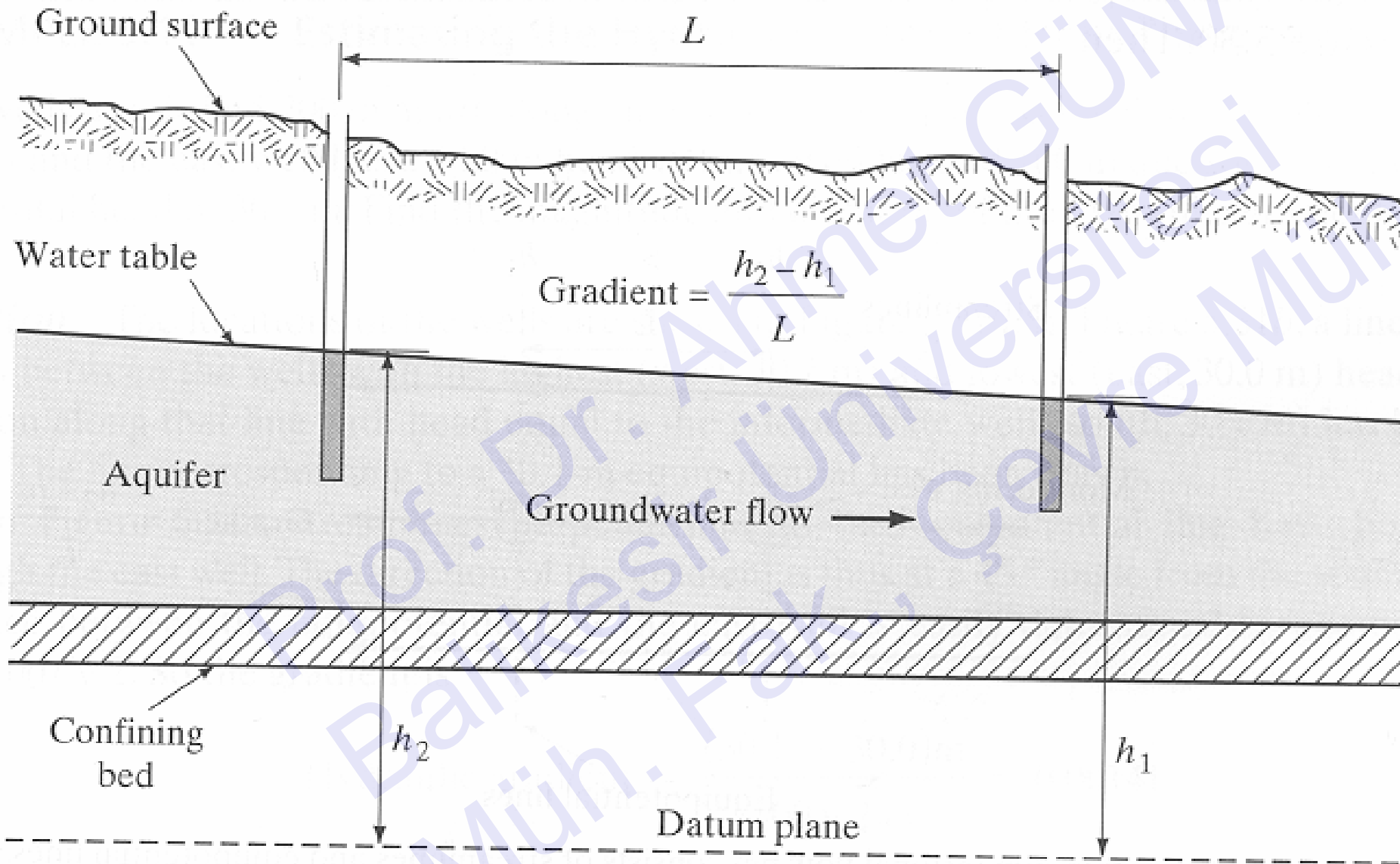
Figure 13.2 Confined aquifer. (From Spellman, F.R., 1996, *Stream Ecology & Self-Purification*. Lancaster, PA, Technomic Publishing Company.)

Doygunluk Nedir?



- » In the *saturated zone* all of the pore space is occupied by water
- » In the *unsaturated or vadose zone*, both air and water are found in the por space

Hydraulic gradient in unconfined aquifers



Well Hydraulics Terminology

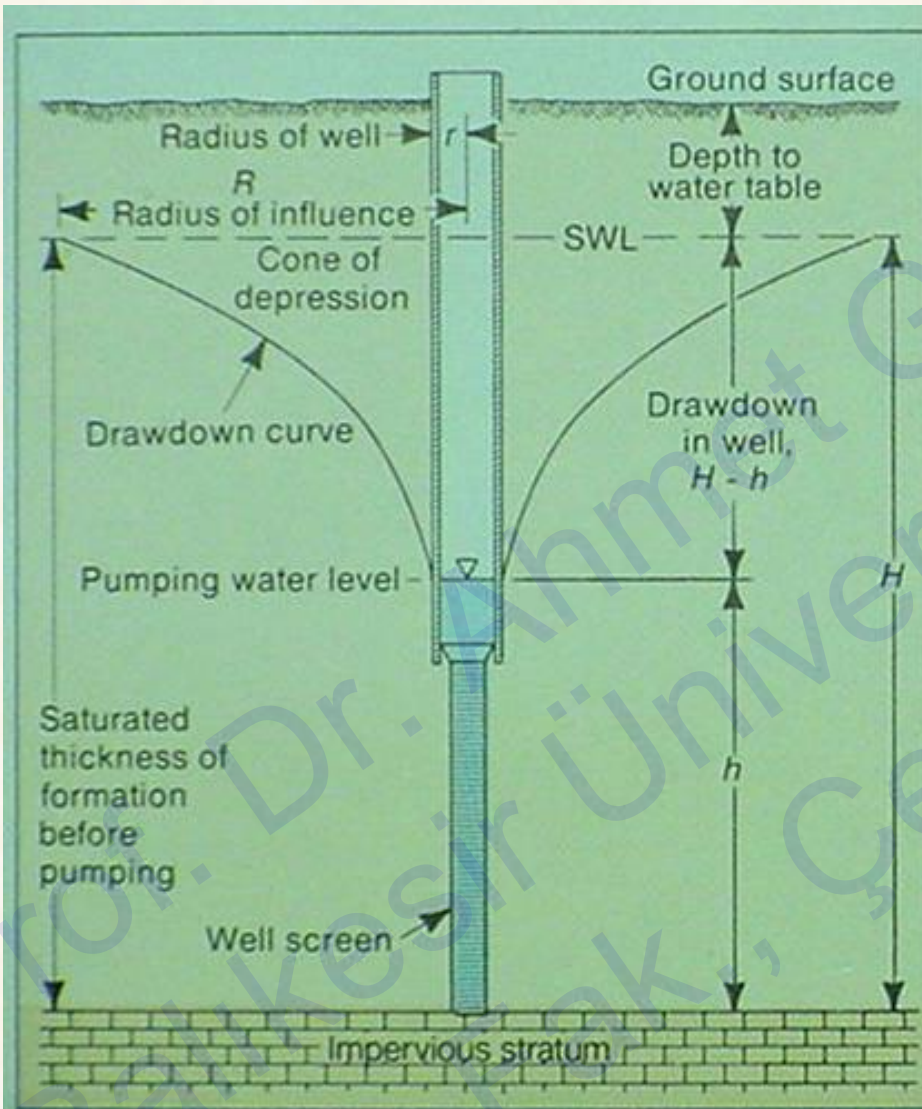


Figure 9.8. Well in an unconfined aquifer showing the meaning of the various terms used in the equilibrium equation.

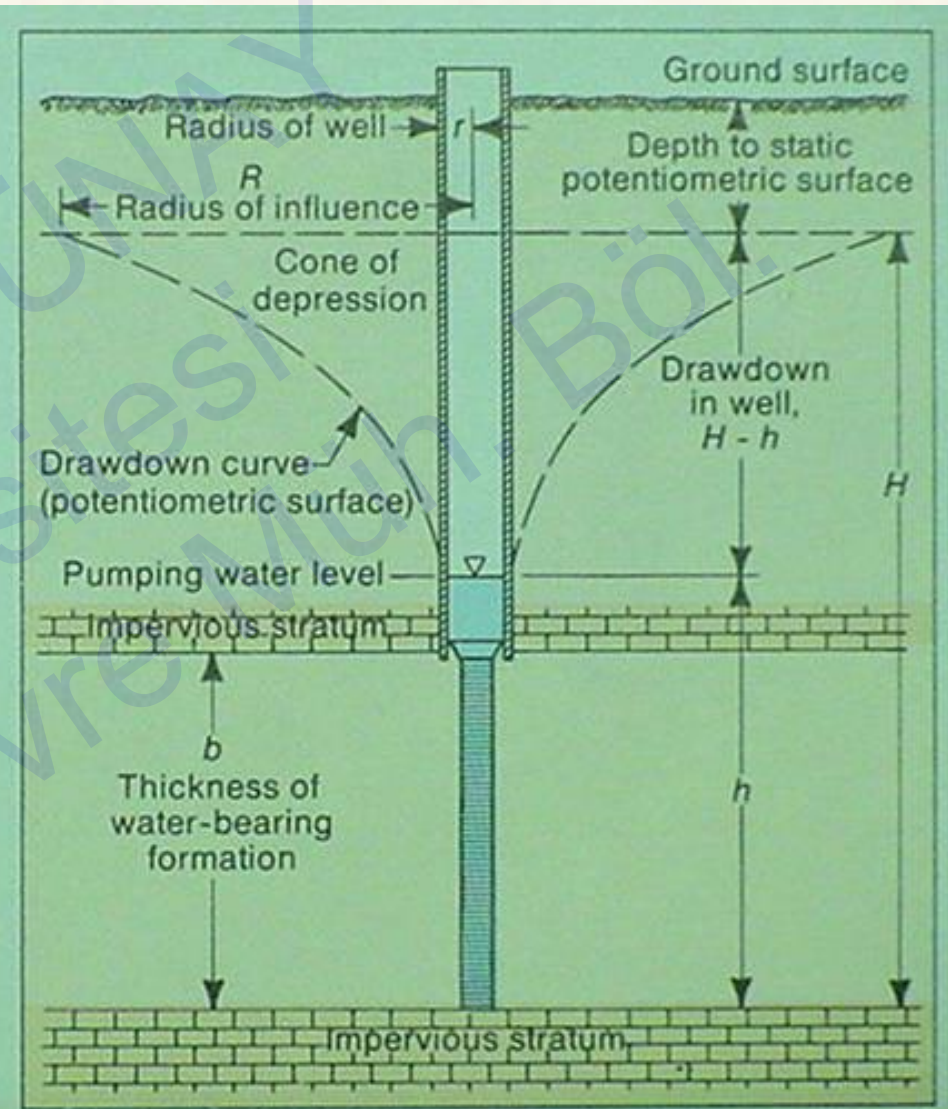


Figure 9.9. Well in a confined aquifer showing the meaning of various terms used in the equilibrium equation.



Gözenekli bir ortamdaki akışın debisi akış yolu boyunca meydana gelen yük kaybı ile doğru, akış yolunun uzunluğu ile ters orantılıdır. Yer altı suyu hareketi ve su alma tesislerinin hidroliği ile ilgili problemler Darcy Kanunu ile çözülmektedir.

Darcy Kanununun geçerli olabilmesi için;

- Zemin küçük taneli malzemeden meydana gelmiş olmalı,
- Akım laminer olmalı ($Re < 1 \sim 10$ için Darcy Kanunu geçerlidir, $Re = V \cdot d_{10} / \nu$)
- Ortam homojen olmalıdır.

Kum, silt ve kilin tane boyutu

- Kum: 0.05 – 2.0 mm
- Silt: 0.002 - 0.05 mm
- Kil: <0.002 mm



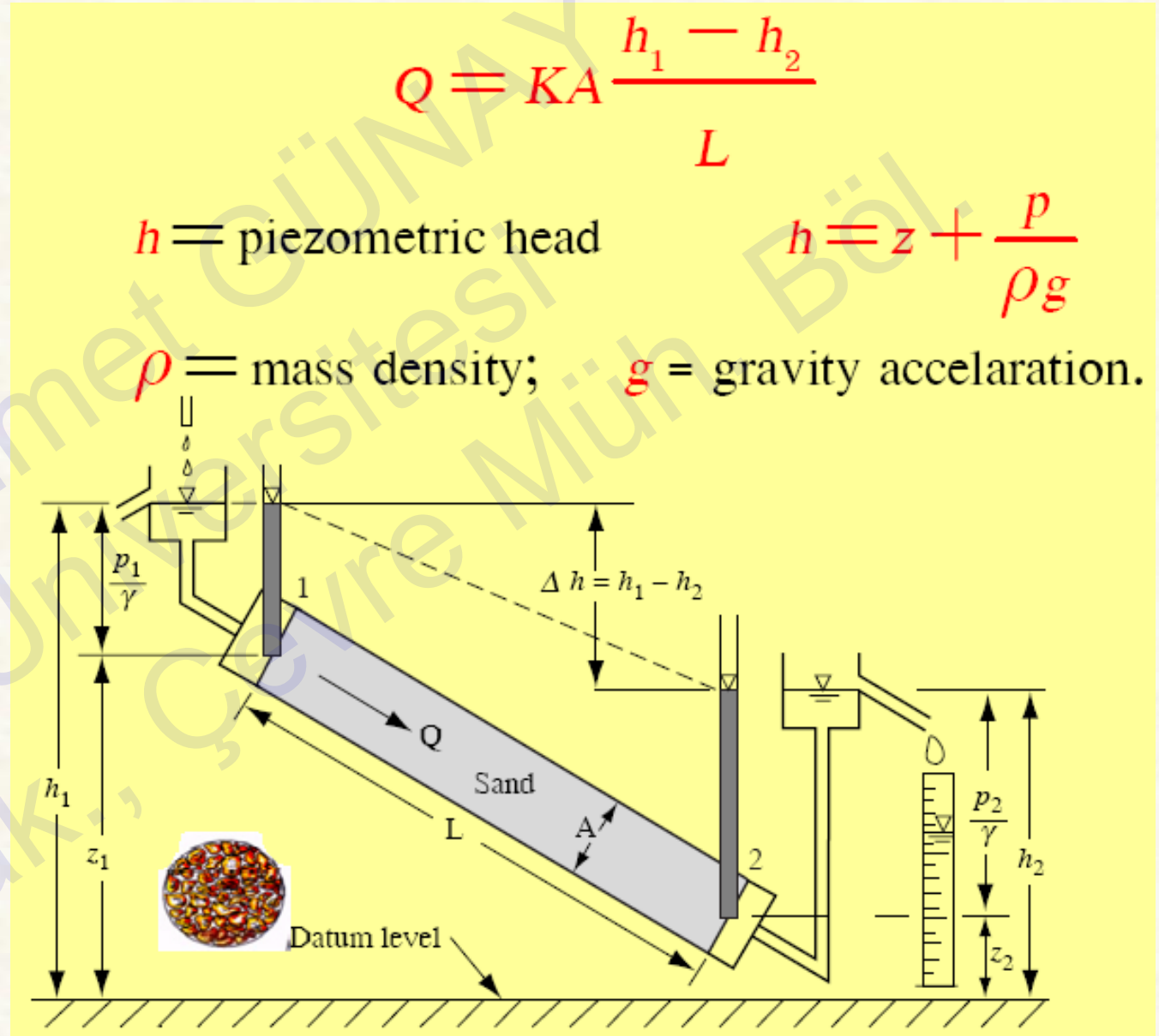
Henry (Philibert Gaspard) Darcy

Henry (Philibert Gaspard) Darcy was born in Dijon, in the Southern part of France, in 1803.

Henry Darcy died of pneumonia in 1858 and was buried in Dijon.

H. Darcy, Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, Dalmont, Paris (1856).

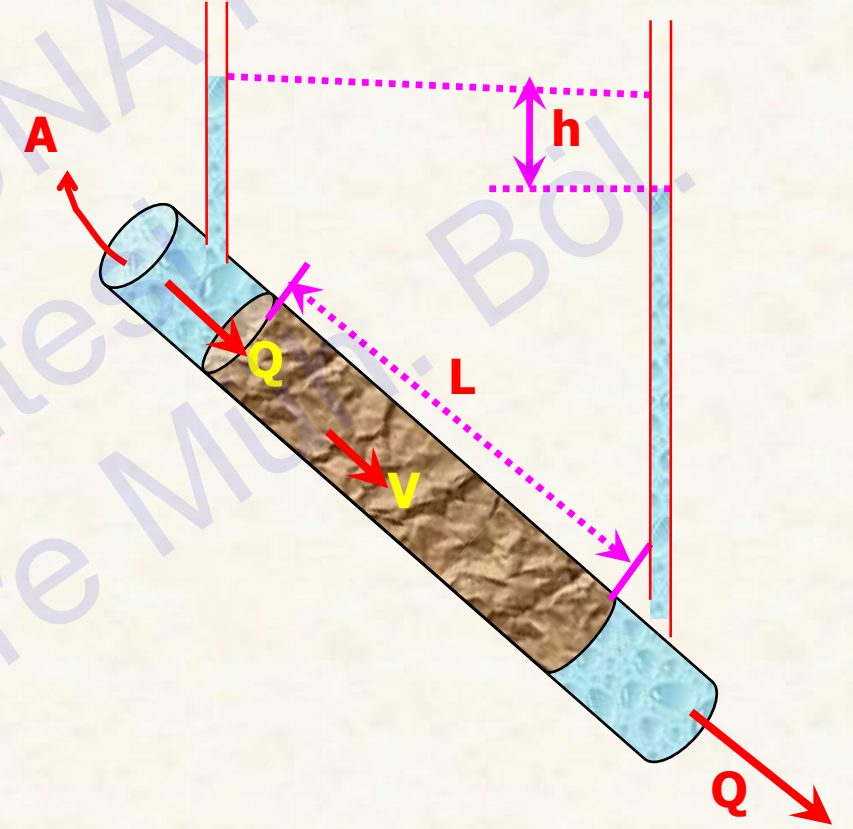
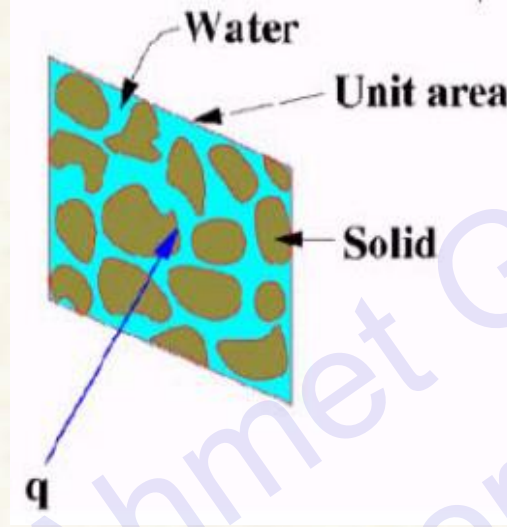
Kum kolonunda suyun akışı



Yer altı Suyu Akışı

» Darcy Kanunu

$$v = K \frac{\Delta h}{L}$$



Burada; v = Yer altı suyunun “Darcy” hızı (filtre hızı) (m/d)

K = Poroz ortamın hidrolik iletkenliği (Permeabilite katsayısı)

$$Q = vA = \left(K \frac{\Delta h}{L} \right) A$$

Burada; Q = Debi (m³/d)

Hidrolik İletkenliğin Tayini

K, hidrolik iletkenlik katsayısının tayini eldeki imkanlara göre değişik şekillerde yapılabilir. Aşağıda bu metodlardan önemli olanları özetlenmiştir:

- 1) **Tahmin Metodu:** Elde hiçbir veri yoksa, K literatürden istifade edilerek tayin edilebilir. Zemin cinsine ve jeolojik formasyonlara bağlı olarak verilen tablolardan faydalanılabilir.
- 2) **Laboratuvar metodu:** Hidrolik iletkenlik laboratuvarlarda permeametreler ile ölçülür. Doyma bölgesinden alınan zemin numuneleri örselenmeden laboratuvara getirilmelidir. Aksi taktirde ölçülen değerler gerçek değerleri yansıtmayabilir.
- 3) **Elek analizi ve amprik formüllerle:** Ortamın hidrolik iletkenliği ile tane büyüklüğü arasındaki bağıntılar pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bunun için önce zeminin granülometri eğrisi çizilir. Bu eğriden zemin numunesinin % 10 unu geçiren elek çapı, d_{10} , ve % 60'ını geçiren elek çapı, d_{60} , okunur. d_{10} , zeminin etkili tane çapı olarak tariflenir. Bu değerler yardımıyla zeminin üniformaluk katsayısı, U ,

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

şeklinde hesaplanır.



Sand media are typically defined by their effective size and uniformity coefficient. Effective size is the particle size for which 10% of the particles in the mix are smaller (d_{10}). The uniformity coefficient (UC) is defined as the particle size for which 60% are smaller (d_{60}) divided by d_{10} . The formula for

UC is: **$UC = d_{60}/d_{10}$**

The uniformity coefficient is an index of the degree to which particles in sand are of the same size or have a range of sizes. The larger the number, the greater the range of particle sizes. The recommended effective size (d_{10}) for pressure-dosed, single-pass sand filter media is 0.012 to 0.020 in. (0.3 to 0.5 mm), and the recommended UC is 1.0 to 4.0.



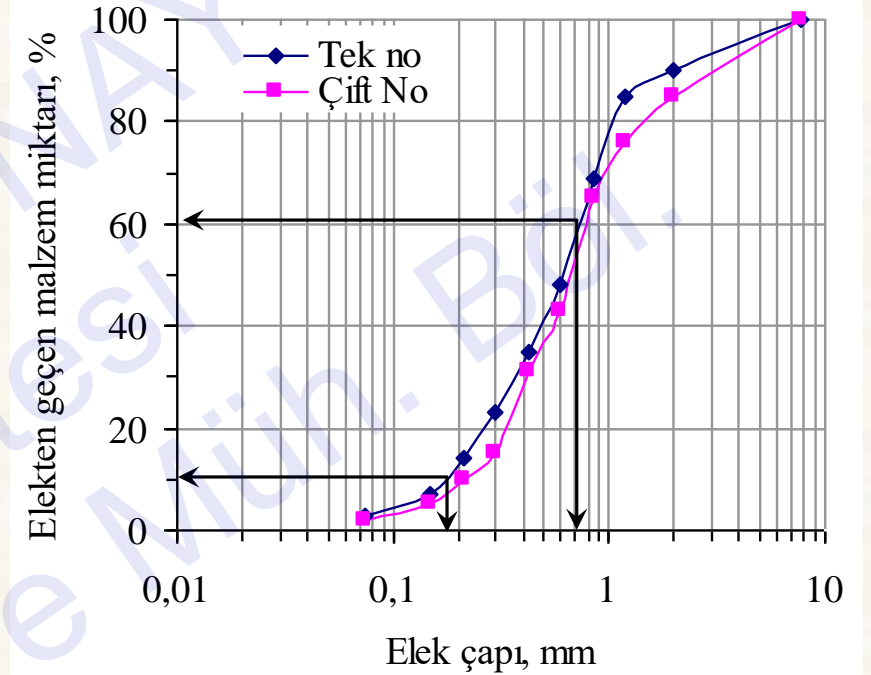
Hidrolik İletkenliğin Tayini

Üniformluk katsayısının 5 ten küçük değerleri için $U < 5$ olması halinde;

$$K = 116 \times (d_{10})^2 \quad (d_{10} \text{ cm birimindedir})$$

Şeklinde hesaplanır.

d_{10} , cm olarak etkili tane çapını gösterirse K değeri cm/sn olarak elde edilir.



| Sıra No | Elekten Geçen Yüzde | | | |
|---------|---------------------|---------------------|---------|-----|
| | Elek no | Delik Çapı (Tek no | Çift No | |
| #1 | 4 | 7,75 | 100 | 100 |
| #2 | 10 | 2 | 90 | 85 |
| #3 | 16 | 1,19 | 85 | 76 |
| #4 | 20 | 0,84 | 69 | 65 |
| #5 | 30 | 0,59 | 48 | 43 |
| #6 | 40 | 0,42 | 35 | 31 |
| #7 | 50 | 0,3 | 23 | 15 |
| #8 | 70 | 0,21 | 14 | 10 |
| #9 | 100 | 0,149 | 7 | 5 |
| #10 | 200 | 0,074 | 3 | 2 |

Tek no

Çift No

$$d_{60} = 0,072 \text{ cm}$$

$$0,080 \text{ cm}$$

$$d_{10} = 0,017 \text{ cm}$$

$$0,020 \text{ cm}$$

$$U = d_{60}/d_{10} = 4,235 < 5$$

$$4,000 < 5$$

$$k = 116 \times d_{10}^2 = 0,034 \text{ cm/sn}$$

$$0,046 \text{ cm/sn}$$

$$\text{Hazen formülü} = 0,000335 \text{ m/sn}$$

$$0,000464 \text{ m/sn}$$



4) Hidrolik İletkeliğin Arazide Ölçülmesi:

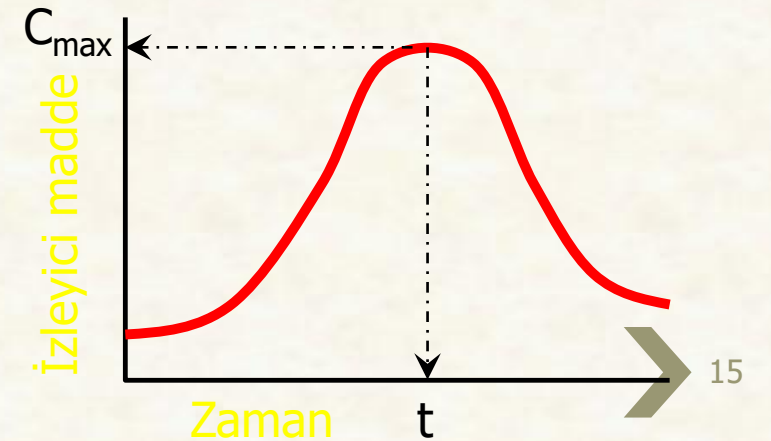
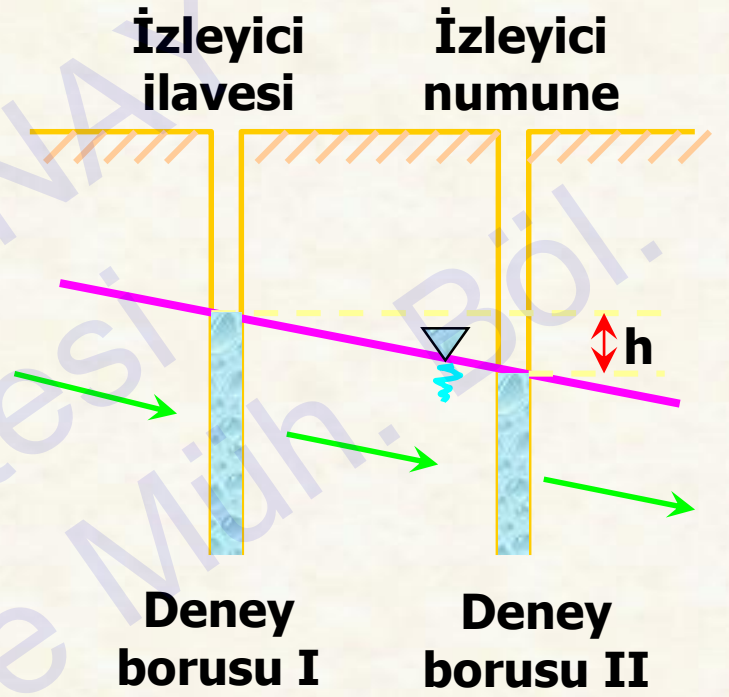
Arazide;

- a) İzleyici madde testi,
- b) Deney boruları,
- c) Kuyularda pompa deneyleri

Olmak üzere üç şekilde tayin edilebilir.

İzleyici maddelerle hidrolik iletkenliği tayin etmek için zeminde iki adet deney borusu teşkil edilir. Borular arasındaki mesafe ve iz maddenin bir borudan diğerine ulaşması için geçen sürenin ölçülmesi yardımıyla suyun hızı, borulardaki su seviyelerinden eğim ölçülür ve Darcy denklemi tatbik edilir.

İzleyici madde olarak boya, toz veya radyoaktif madde yer altı suyuna ilave edilir. II numaralı kuyuda izleyici madde ölçülür ve izleyici madde konsantrasyonu maksimum olunca geçen süre suyun iki kuyu arasındaki seyahat süresidir. Kuyular arasındaki mesafe ve kuyulardaki su seviyesi farkı bellidir. **Kuyular arasındaki mesafe fazla olmamalı ve yer altı suyu akışı doğru olarak bilinmelidir.**



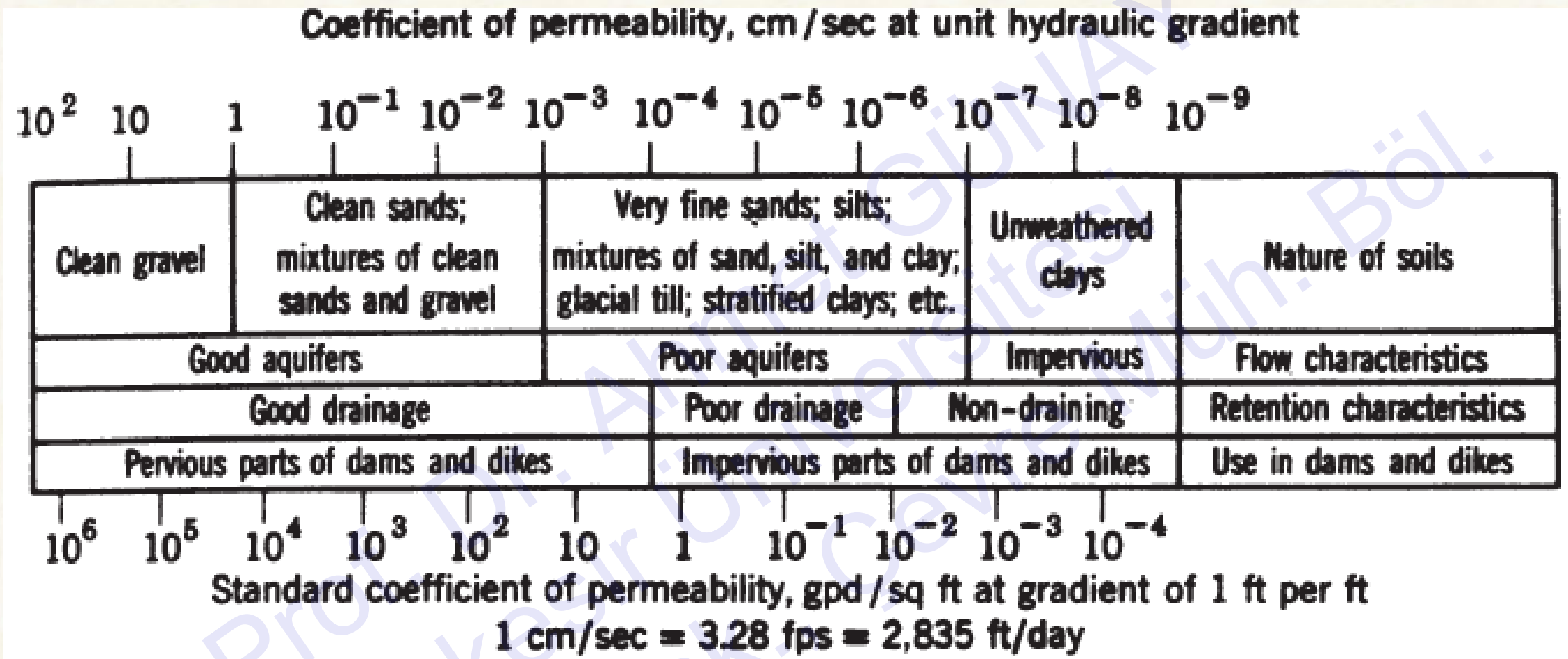


FIGURE 1.3 Magnitude of coefficient of permeability for different classes of soils. (*Source: G. M. Fair, J. C. Geyer, and D. A. Okun, Water and Wastewater Engineering, Wiley, New York, 1966, pp. 9–13.*)

Hidrolik iletkenlik

Typical Values of Aquifer Parameters

| Aquifer Material | Porosity (%) | Typical Values for Hydraulic Conductivity ($m \cdot s^{-1}$) | |
|------------------|--------------|--|--|
| | | | |
| Clay | 55 | 2.3×10^{-9} | |
| Loam | 35 | 6.0×10^{-6} | |
| Fine sand | 45 | 2.9×10^{-5} | |
| Medium sand | 37 | 1.4×10^{-4} | |
| Coarse sand | 30 | 5.2×10^{-4} | |
| Sand and gravel | 20 | 6.0×10^{-4} | |
| Gravel | 25 | 3.1×10^{-3} | |
| Slate | <5 | 9.2×10^{-10} | |
| Granite | <1 | 1.2×10^{-10} | |
| Sandstone | 15 | 5.8×10^{-7} | |
| Limestone | 15 | 1.1×10^{-5} | |
| Fractured rock | 5 | 1×10^{-8} - 1×10^{-4} | |

Tablo Hidrolik İletkenlik Değerleri

| Zemin Cinsi | Hidrolik iletkenlik, K, | |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | m/gün | m/sn $\times 10^{-3}$ |
| Kaba çakıl | 150 | 1,74 |
| Orta çakıl | 270 | 3,13 |
| İnce çakıl | 450 | 5,21 |
| Kaba kum | 45 | 0,52 |
| Orta kum | 12 | 0,14 |
| İne kum | 2,5 | 0,03 |
| Şilt | 0,08 | 0,0009 |
| Kil | 0,0002 | 0,000002 |
| Kumtaşı (ince taneli) | 0,2 | 0,002 |
| Kum taşı (orta taneli) | 3,1 | 0,04 |
| Kireçtaşı | 0,94 | 0,01 |
| Dol amit | 0,001 | 0,00001 |
| Kumullar | 20 | 0,23 |
| Lös | 0,08 | 0,0009 |
| Turba | 5,7 | 0,066 |
| Şist | 0,2 | 0,002 3 |
| Arduaz | 0,00008 | 0,000009 |
| Buzul taşları (kum) | 0,49 | 0,0057 |
| Buzul taşları (çakıl) | 30 | 0,35 |
| Sünger taşı | 0,2 | 0,0023 |
| Bazalt | 0,01 | 0,0001 |
| Bozulmuş Gabro | 0,2 | 0,0023 |
| Bozulmuş Granit | 1,4 | 0,016 |



Soil Particle Size Range for Some Soil Types

Effective porosity is the ratio of the volume of effective void space to the total volume of material, generally expressed as a percentage. Effective porosity accounts for the fact that pore spaces that are not connected, or are too small for the fluid to overcome capillarity, do not contribute to fluid movement. The difference between true porosity and effective porosity is most noticeable with clay, where true porosity is very high, 34%–60% (it can hold a lot of water). Effective porosity, however, is very low, 1%–2%, making clay relatively impermeable.

| Soil Type | Size Range |
|--------------------|-------------------|
| Clay | <0.002 |
| Silt | 0.002–0.04 |
| Very fine sand | 0.04–0.10 |
| Fine sand | 0.10–0.20 |
| Medium sand | 0.20–0.40 |
| Coarse sand | 0.40–0.90 |
| Very coarse sand | 0.9–2.0 |
| Fine gravel | 2.0–10.0 |
| Medium gravel | 10.0–20.0 |
| Coarse gravel | 20–40 |
| Very coarse gravel | 40–80 |



Table Porosity and Permeability of Some Soils

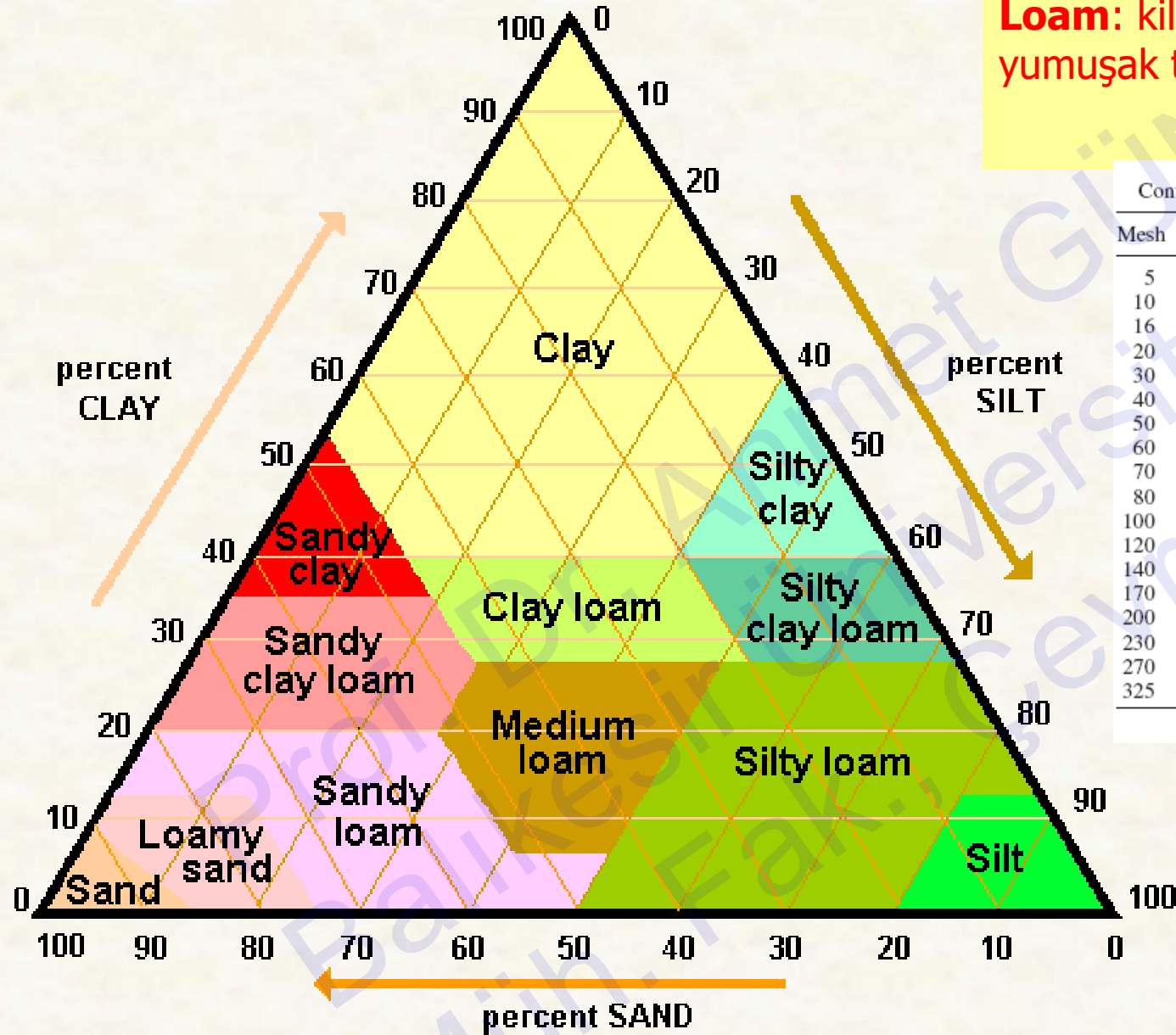
| S. No. | Type of formation | Porosity | Permeability |
|---------------|--------------------------|-----------------|---------------------|
| 1 | Granite, Quartzite | 1.5% | |
| 2 | Slate, Shale | 4% | |
| 3 | Limestone | 5 to 10% | |
| 4 | Sandstone | 10 to 15% | |
| 5 | Gravel | 25% | 10 or more |
| 6 | Sand and gravel | 20 to 30% | 1-0.1 |
| 7 | Only fine sand | 35% | 0.05-0.001 |
| 8 | Silty sand | — | 0.002-0.0001 |
| 9 | Silt | - | 0.0005-0.00001 |
| 10 | Clay | 45% | 0.000001 or lesser |



Soil particle size range determines how soil particles pack together and, thereby, the average soil pore size. **Pore size strongly affects the available soil surface area as well as the capillary attraction between the soil and liquids.** The smaller the pore size, the stronger is capillary attraction and the greater is the total soil surface area within a given volume of soil. **The larger the surface area, the larger is the volume of liquid immobilized by sorption to soil surfaces.** Capillary attractions are an additional force that acts to retard the movement of liquids through soil and can immobilize a fraction of the liquid. Where pore size is small enough, the distance between adjacent soil particles can be small enough that capillary attraction can extend across significant fractions of the pore volume. Thus, silt retards the movement of liquids more than coarser soils like sand and gravel, and will immobilize a larger quantity of liquid than will an equal volume of coarser soil. Clay also is effective at retarding the movement of liquids but, because of its low effective porosity, cannot immobilize large volumes of liquid by sorption and capillarity



Loam: kil-kum karışımı
yumuşak toprak



Conversion from mesh to cm for particle radius

| Mesh | Particle radius (cm) |
|------|----------------------|
| 5 | 0.2 |
| 10 | 0.1 |
| 16 | 0.06 |
| 20 | 0.042 |
| 30 | 0.030 |
| 40 | 0.021 |
| 50 | 0.015 |
| 60 | 0.013 |
| 70 | 0.011 |
| 80 | 0.0089 |
| 100 | 0.0075 |
| 120 | 0.0063 |
| 140 | 0.0053 |
| 170 | 0.0044 |
| 200 | 0.0037 |
| 230 | 0.0031 |
| 270 | 0.0027 |
| 325 | 0.0022 |



Representative Values of Water Hydraulic Conductivity for Some Soils

| Soil Type | Hydraulic Conductivity for Water: Typical Range (cm/s) |
|------------------|---|
| Clay | 10^{-6} to 10^{-9} |
| Silt | 10^{-3} to 10^{-7} |
| Fine sand | 10^{-2} to 10^{-5} |
| Medium sand | 10^{-1} to 10^{-4} |
| Coarse sand | 1 to 10^{-4} |
| Gravel | 10^{-2} to 10^{-1} |



TABLE 8.1 Sedimentation of Small Particles of Silica of 2.65 Sp. Gr.

| Typical | mm | μm | Surface area (total) | Settling time, 1 m fall |
|------------------|--------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Gravel | 10. | 10,000 | 3.14 cm ² | 1 s |
| Coarse sand | 1. | 1,000 | 31.4 cm ² | 10 s |
| Fine sand | 0.1 | 100 | 314 cm ² | 125 s |
| Silt | 0.01 | 10 | 0.314 m ² | 108 min |
| Bacteria | 0.001 | 1. | 3.14 m ² | 180 hr |
| Colloidal matter | 0.0001 | 0.1 | 31.4 m ² | 755 days |

NOTE: Particles larger than 100 μm are visible to the naked eye and are considered to be settleable solids. In the range of 10–100 μm , they are considered to be turbid. Below 10 μm they are considered colloidal. Particles larger than 0.1 μm are visible by light microscope; below 0.1 μm , the electron microscope is used for detection.

The Nalco Water Handbook 2nd Edition



Kuyu Debilerinin Hesabı

Serbest yüzeyli yer altı suyu yatağına açılmış bir kuyudan alınabilecek debi; kuyu ile aynı eksenli, χ yarıçaplı ve y yüksekliğindeki silindirik yüzeyinden kuyuya doğru akan suyun debisi:

$$Q = 2\pi\chi y K \frac{dy}{d\chi}$$

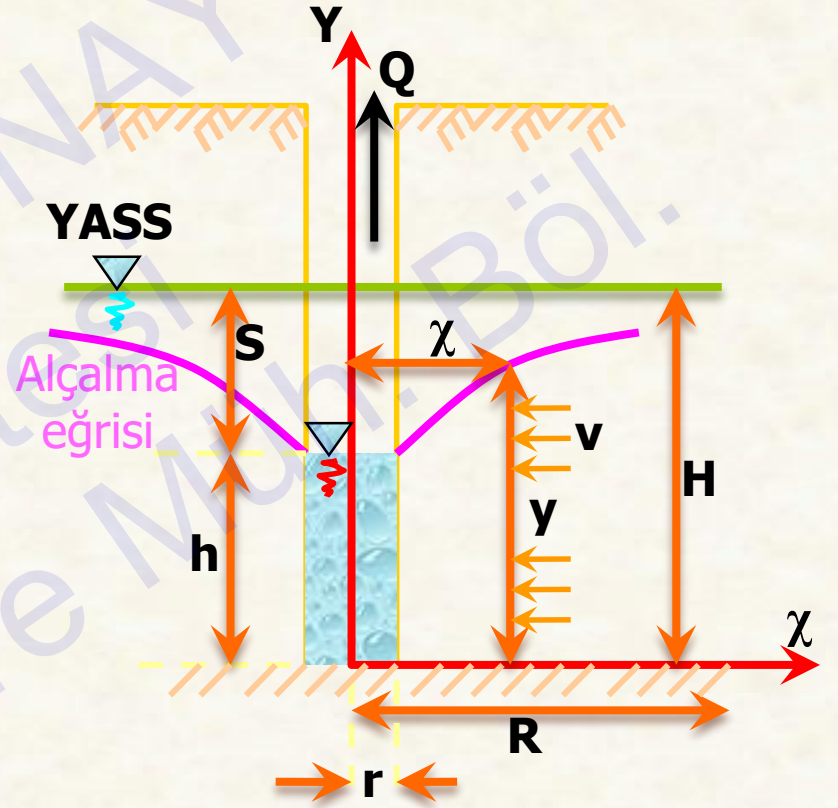
Şeklinde yazılabilir. Burada;

Q: kuyunun debisi,

χ ve y alçalma eğrisi üzerindeki herhangi bir noktanın koordinatlarını, $2\pi\chi y$ akışın meydana geldiği silindirik yüzeyi, **K** ise $dy/d\chi$ Darcy kanununa göre akımın hızını göstermektedir.

$\chi=r$ için $y=h$ ve $\chi=R$ için $y=H$ sınır şartlarında integre edilerek

$$\left. \begin{aligned} Q &= VA \\ A &= 2\pi r h \\ Q &= \frac{\sqrt{k}}{15} 2\pi r h \end{aligned} \right\}$$



Serbest yüzülü su yatağında açılmış kuyu



$$Q = \pi K \frac{H^2 - h^2}{\ln \frac{R}{r}} = 1,36 \times K \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}}$$

İfadesi bulunur. Burada;

r: kuyunun yarıçapı,

R: tesir yarıçapı,

h: kuyudaki su derinliği,

H: Yer altı suyu tabakasının kalınlığını göstermektedir.

Kuyudan çekilen Q debisi sebebiyle meydana gelen alçalma S kadardır.

S=H-h şeklindedir. Yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir.

$$Q = \pi K \frac{S(2H - S)}{\ln \frac{R}{r}} = 1,36 \times K \frac{S(2H - S)}{\log \frac{R}{r}}$$

Şeklinde yazılır.



Alçalma eğrisi (indirilmiş su yüzeyinin denklemi);

$$y^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{\chi}{r} + h^2$$

Şeklindedir.

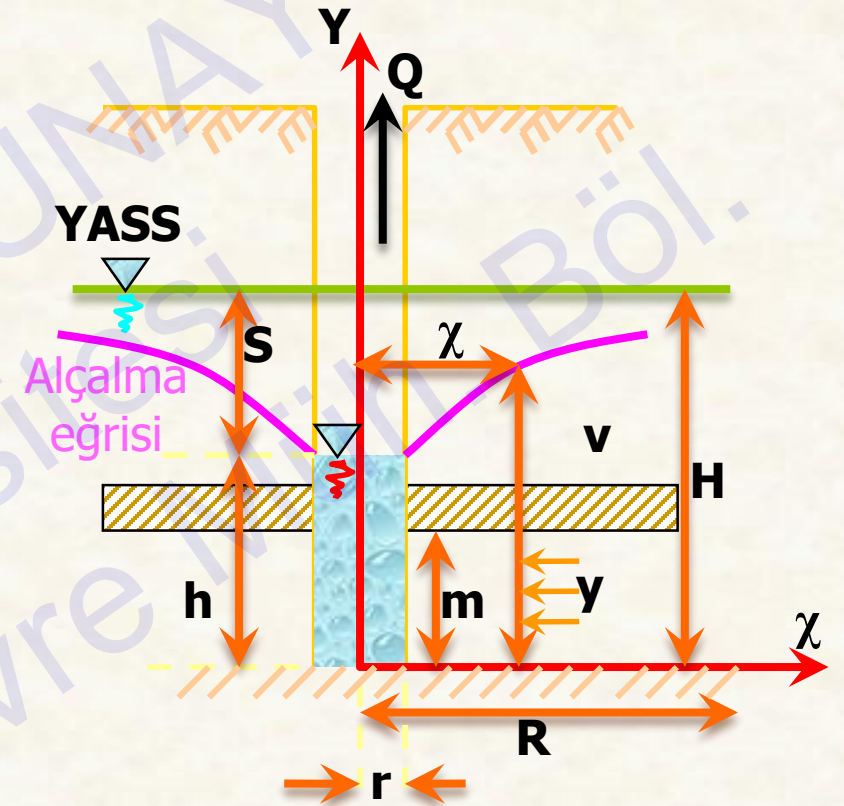
Kuyunun açıldığı su yatağı basınçlı bir akifer ise debi formülü;

$$Q = 2\pi mK \frac{H-h}{\ln \frac{R}{r}} = 2,73 \times mK \frac{H-h}{\log \frac{R}{r}}$$

Şeklide yazılabilir. Burada m basınçlı su yatağının kalınlığını göstermektedir. Bu durumda alçalma eğrisi;

$$y = \frac{Q}{2\pi mK} \ln \frac{\chi}{r} + h$$

Şeklindedir.



S=H-h olduğundan;

$$Q = 2\pi mK \frac{S}{\ln \frac{R}{r}} = 2,73 \times mK \frac{S}{\log \frac{R}{r}}$$

Denklemi elde edilir.

Kuyular geçirimsiz tabakaya kadar indirilmediği takdirde eksik ya da yarım kuyu olarak adlandırılır ve bu formüller uygulanmaz. Eksik kuyuların hidroliği tam olarak çözülmüş değildir.

Kuyularda tesir yarıçapı ampirik olarak Sichardt formülüne göre şu şekilde hesaplanabilir:

$$R = 3000 \times S \sqrt{k}$$

Kuyuya maksimum su giriş hızı Sichardt ampirik bağıntısıyla belirlenir.

$$V_{\max} = \frac{\sqrt{k}}{15}$$

α : Hazneli kuyularda kuyu kenarlarındaki giriş delikleri in toplam alanının yan yüzey alanına oranı (hazneli kuyularda $\alpha = 1/4 \sim 1/5$ ve borulu kuyularda $\alpha = 1$)



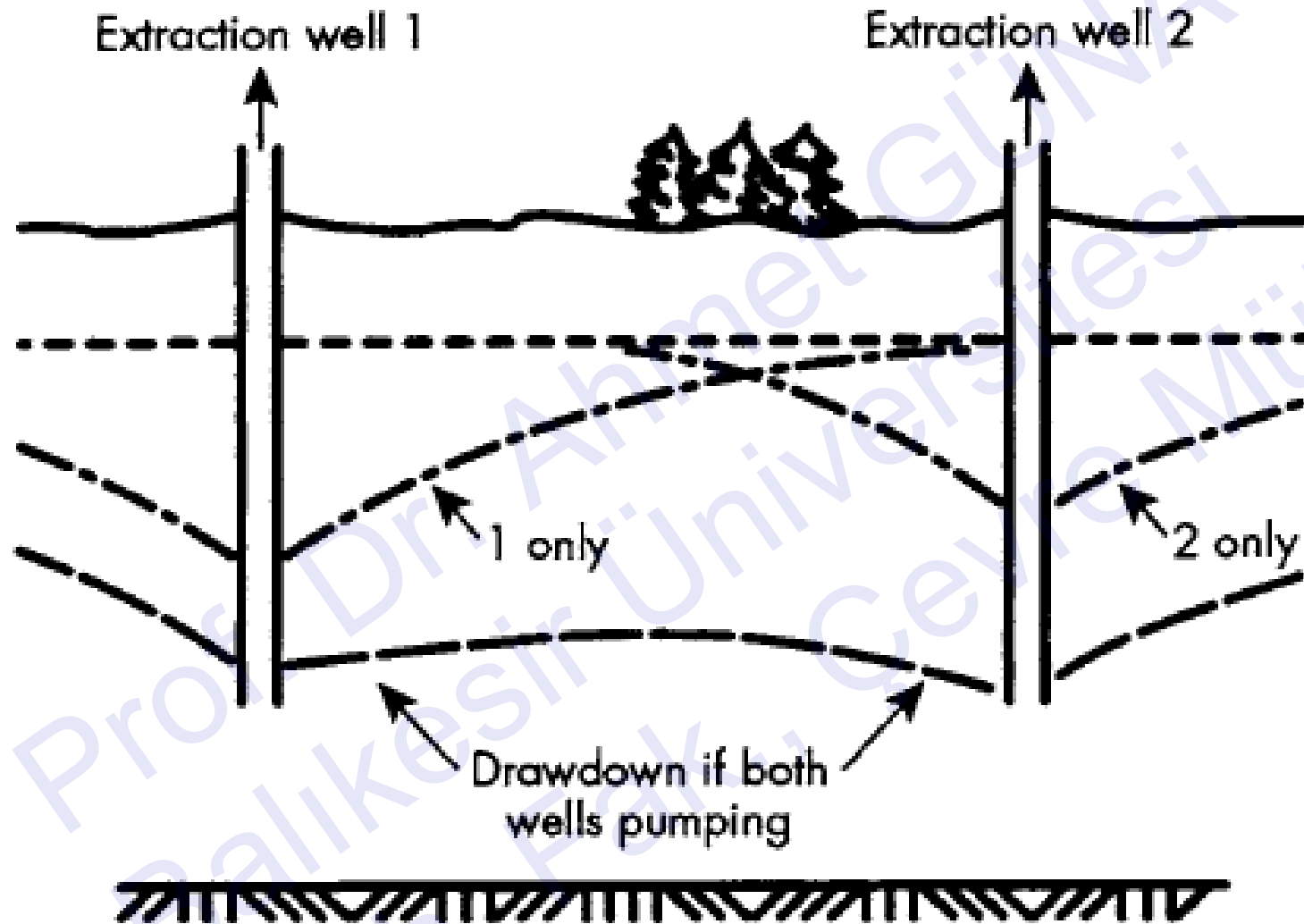
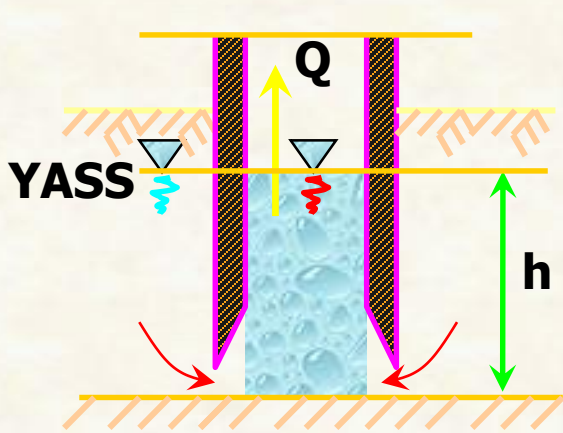
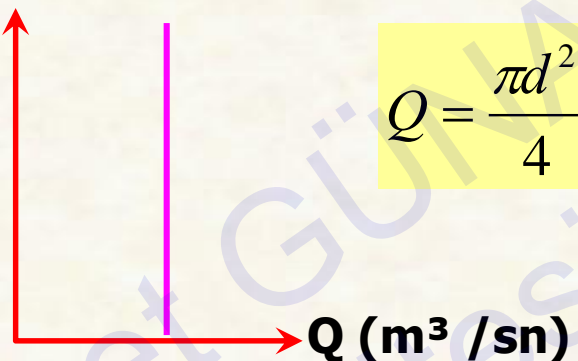


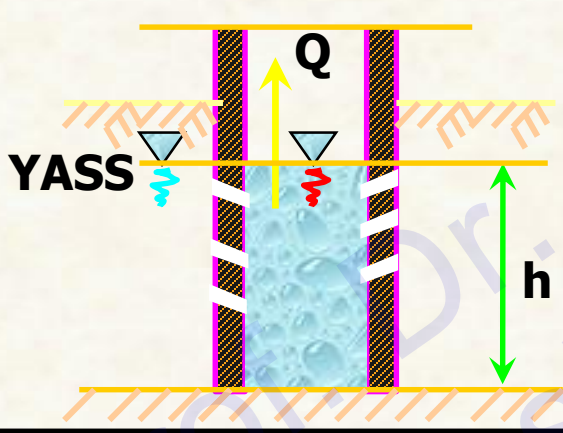
FIGURE 5-7. Multiple wells and the effect of extraction on the groundwater table



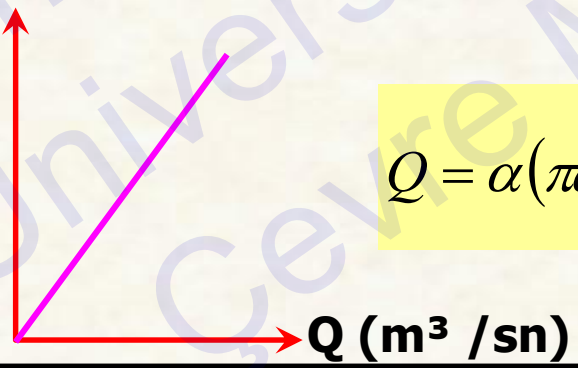
H(m)



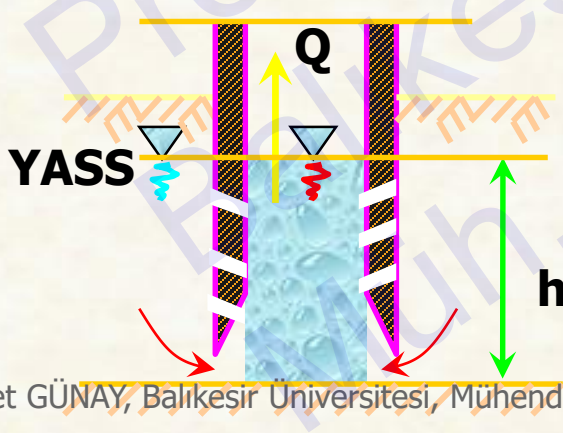
$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \frac{\sqrt{k}}{15}$$



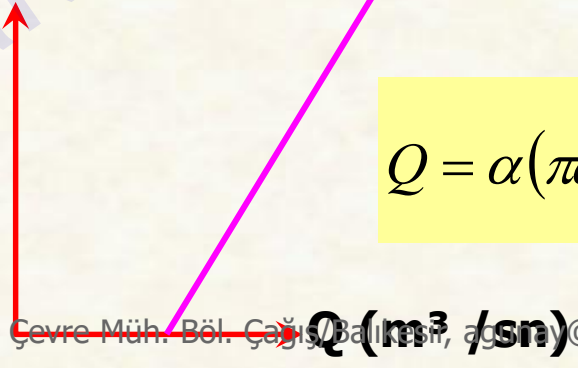
H(m)



$$Q = \alpha(\pi d h) \frac{\sqrt{k}}{15} + 0$$



H(m)



$$Q = \alpha(\pi d h) \frac{\sqrt{k}}{15} + \frac{\pi d^2}{4} \frac{\sqrt{k}}{15}$$



Kuyudan çekilebilecek maksimum debi, **suyun kuyuya girişine müsaade edilen maksimum hıza tekabül eden debidir ve;**

$$Q_{mi} = 2\pi r h \frac{\sqrt{k}}{30}$$

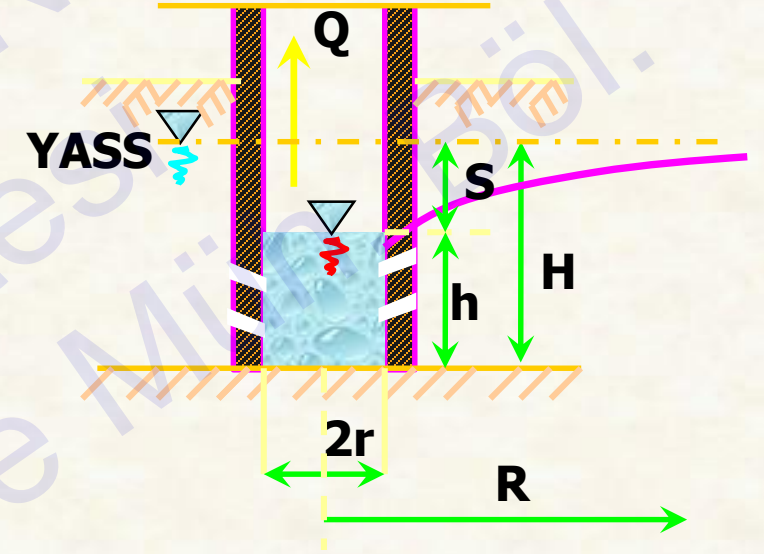
Şeklinde hesaplanır.

Yer altı suyu basınçlı bir akiferde ise;
(kuyudaki alçalma miktarına bağlı olarak kuyudan çekilebilecek debi, Dupuit denklemi)

$$Q_{Dupuit} = 2\pi m k \frac{H - h}{\ln \frac{R}{r}} = 2\pi m k \frac{S}{\ln \frac{R}{r}}$$

Basınçlı akiferde müsaade edilen debi;

$$Q_{mi} = 2\pi m k \frac{\sqrt{k}}{30}$$



$Q_{Dupuit} = Q_{mü}$ özel halinde optimum debi (Q_{opt}) ve bu andaki seviye alçalmasına optimum alçalma (S_{opt}) denir. Bu değerler grafik veya tatonman (deneme-yanılma) yöntemiyle belirlenir.

ÖZET

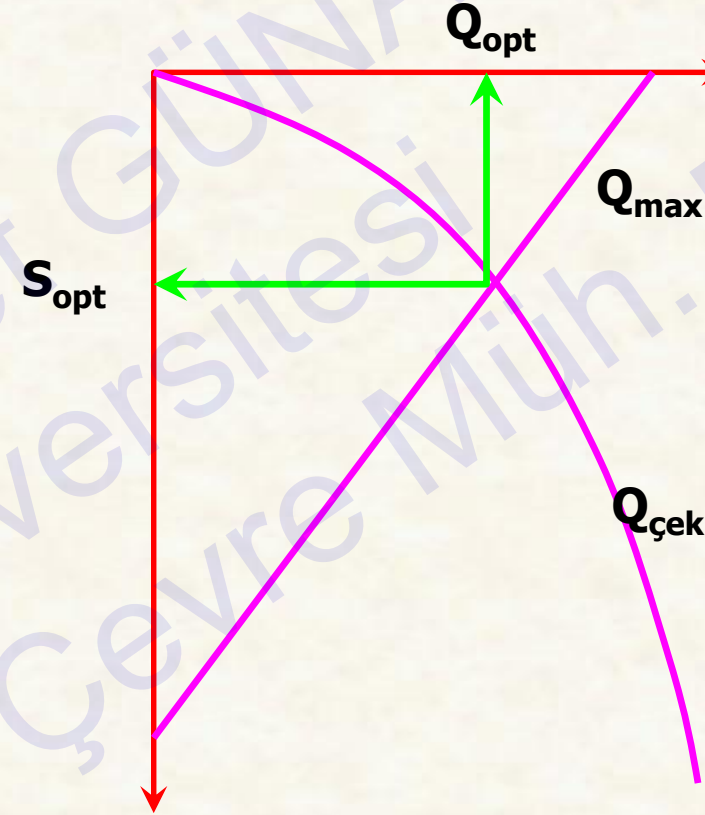
Basıncı akiferde kuyuya doğru akış denklemi;

$$Q = 2\pi mk \frac{S}{\ln \frac{R}{r}}$$

Müsaade edilen debi;

$$Q = 2\pi mr \frac{\sqrt{k}}{30}$$

Basıncı halde $Q_{mü} = Q_{dupuit}$

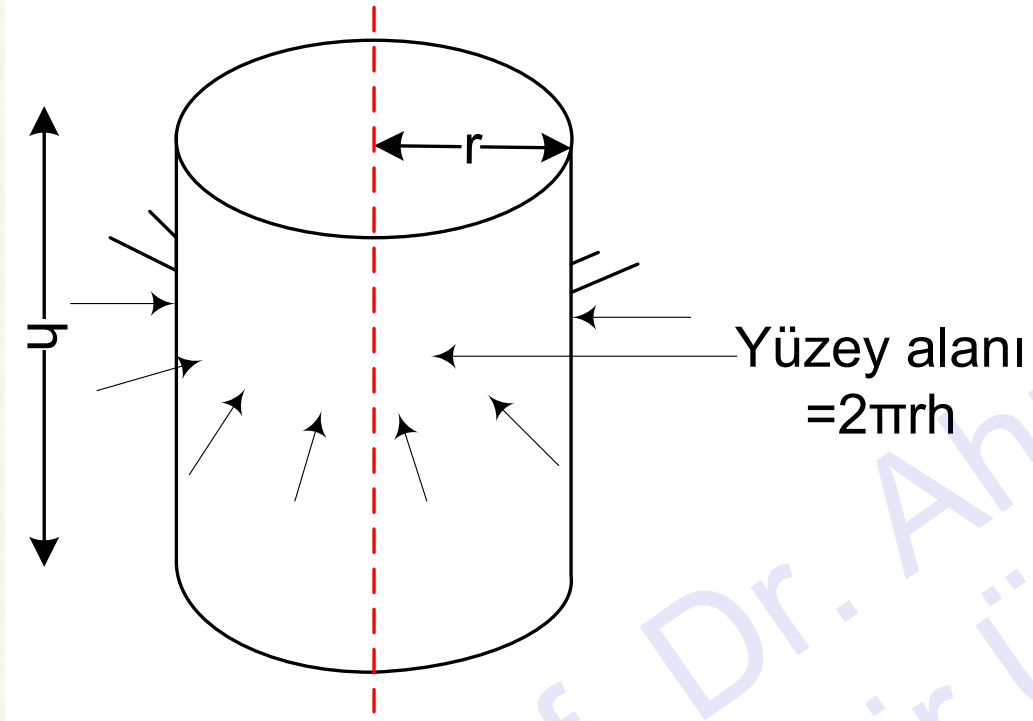


Serbest yüzlü kuyuda Q-S grafiği

($Q_{opt} = Q_{max} = Q_{çek}$ ise S_{opt})



KUYULARDAN ÇEKİLEN DEBİ



$$\int_{r_2}^{r_1} Q \frac{dr}{r} = 2\pi k \int_{h_2}^{h_1} h dh$$

$$Q \ln \frac{r_1}{r_2} = \pi k (h_1^2 - h_2^2)$$

$$Q = \frac{\pi k (h_1^2 - h_2^2)}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

$$Q = A \times V$$

$$= 2\pi rh \times \frac{\sqrt{k}}{30}$$

ÖRNEK-1

HİDROLİK İLETKENLİK



ÖRNEK: (Kaynak: P. Arne Vesilind, Susan M. Morgan, and Lauren G. Heine, 2010 *Introduction to Environmental Engineering*, Third Edition, 200 First Stamford Place, Suite 400, Stamford, CT 06902, USA. p288)

Sıkışmamış bir akiferde açılan kuyunun çapı **0,2 m** ve su taşıyan tabakanın derinliği **30 m**'dir. Kararlı halde kuyudan çekilen debi **1000 m³/gün**'dür. Kuyudan **50 m** ve **100 m** uzaklıkta ve aynı doğrultuda açılan iki kuyudaki su seviyelerinde azalma sırasıyla, **0,3 m** ve **0,2 m**'dir.

- Kuyunun açıldığı zemindeki permeabilite katsayısını hesaplayınız.
- **1000 m³/gün** debi çekildiğinde kuyudaki alçalma seviyesini hesaplayınız.

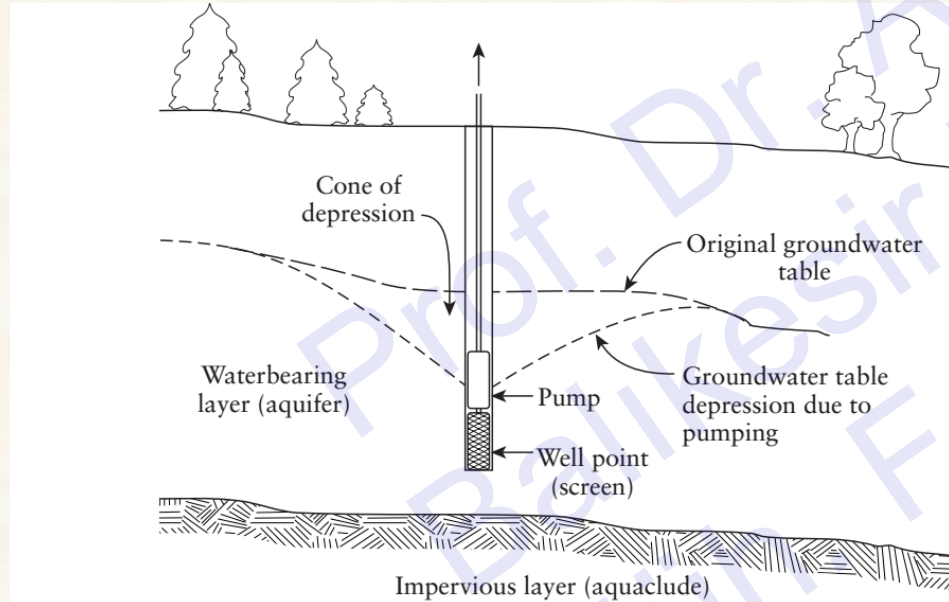


Figure 10.4 Drawdown in water table due to pumping from a well.

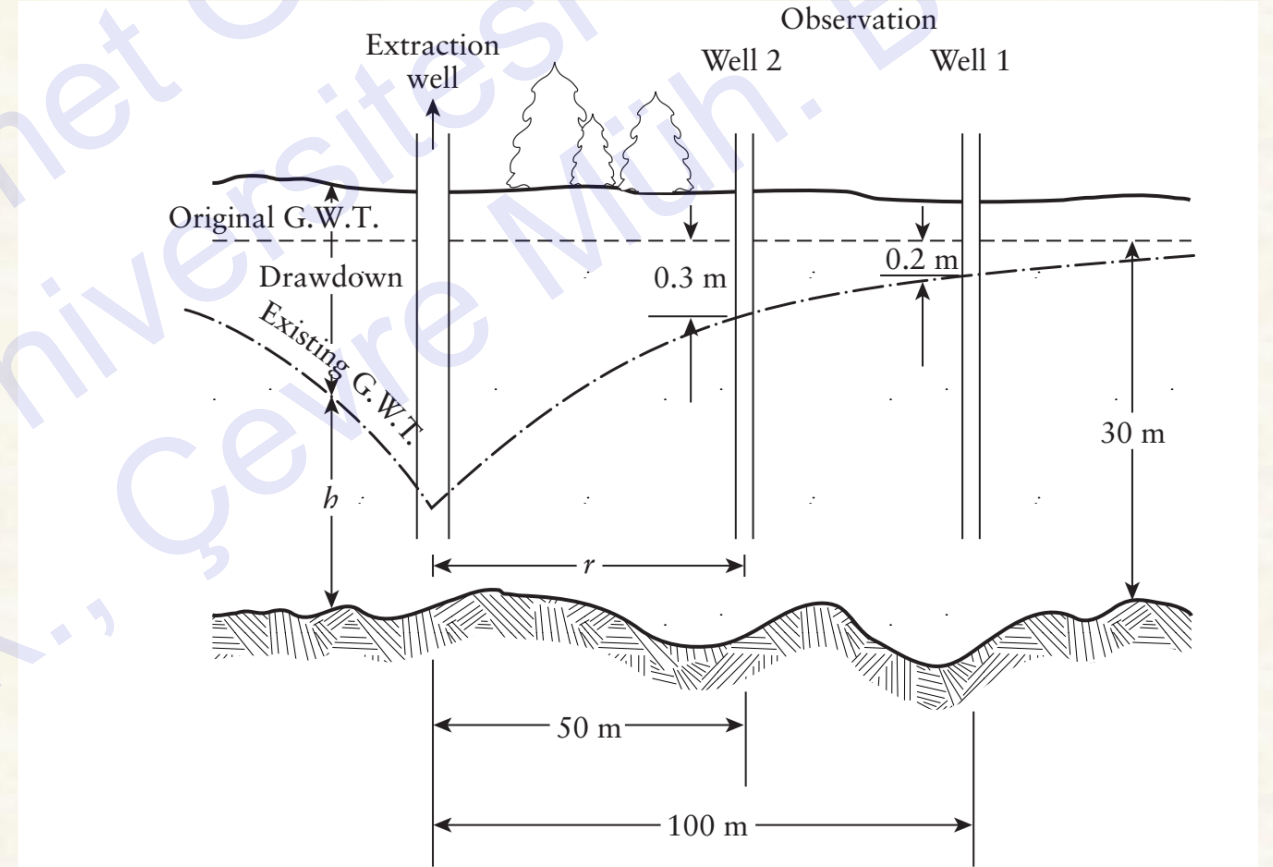


Figure 10.6 Multiple wells and the effect of extraction on the groundwater table.



ÖRNEK: (Kaynak: P. Aarne Vesilind, Susan M. Morgan, and Lauren G. Heine, 2010 *Introduction to Environmental Engineering*, Third Edition, 200 First Stamford Place, Suite 400, Stamford, CT 06902, USA. p288)

Sıkışmamış bir akiferde açılan kuyunun çapı **0,2 m** ve su taşıyan tabakanın derinliği **30 m**'dir. Kararlı halde kuyudan çekilen debi **1000 m³/gün**'dür. Kuyudan **50 m** ve **100 m** uzaklıkta ve aynı doğrultuda açılan iki kuyudaki su seviyelerinde azalma sırasıyla, **0,3 m** ve **0,2 m**'dir.

- Kuyunun açıldığı zemindeki **permeabilite katsayısını** hesaplayınız.
- **1000 m³/gün** debi çekildiğinde kuyudaki **alçalma seviyesini** hesaplayınız.

ÇÖZÜM:

$$h_1 = H - S_1 = 30 - 0,2 = \mathbf{29,8 \text{ m}} \quad h_2 = H - S_2 = 30 - 0,3 = \mathbf{29,7 \text{ m}}$$

$$k = \frac{Q \ln \frac{R_1}{R_2}}{\pi (h_1^2 - h_2^2)} = \frac{1000 (m^3 / gün) \times \ln \frac{100 (m)}{50 (m)}}{\pi \times \left\{ [29,8 (m)]^2 - [29,7 (m)]^2 \right\}}$$
$$= \mathbf{37,1 \text{ m} / \text{gün}}$$
$$= \mathbf{0,43 \times 10^{-3} \text{ m} / \text{sn}}$$

$$Q = \frac{\pi k (h_1^2 - h_2^2)}{\ln \frac{R_1}{R_2}}$$
$$= \frac{\pi \times 37,1 (m / gün) \times \left\{ [29,7 (m)]^2 - h_2^2 \right\}}{\ln \frac{50 (m)}{0,1 (m)}} \Rightarrow$$

$$h_2 = \mathbf{28,8 \text{ m}}$$

$$S = 30 (m) - 28,8 (m) = \mathbf{1,2 \text{ m}}$$



ÖRNEK-2

HİDROLİK İLETKENLİK

ÖRNEK: (Kaynak: P. Arne Vesilind, Susan M. Morgan, and Lauren G. Heine, 2010 *Introduction to Environmental Engineering*, Third Edition, 200 First Stamford Place, Suite 400, Stamford, CT 06902, USA. Introduction to environmental engineering and science SOLUTION MANUAL 2nd Ed Masters, Gilbert M, P 64—p319

Sıkışmamış bir akiferde açılan **0,10 m yarıçaplı** kuyudan çekilen debi **1000 m³/gün** ve seviye alçalması **0,70 m**'dir. Kuyudan **20 m** uzaklıkta ve aynı doğrultuda açılan bir gözlem kuyusundaki su seviyelerinde azalma **0,2 m**'dir. Kuyunun açıldığı yerdeki su taşıyan tabakanın kalınlığı **10 m**'dir. Zeminin hidrolik iletkenliğini hesaplayınız.

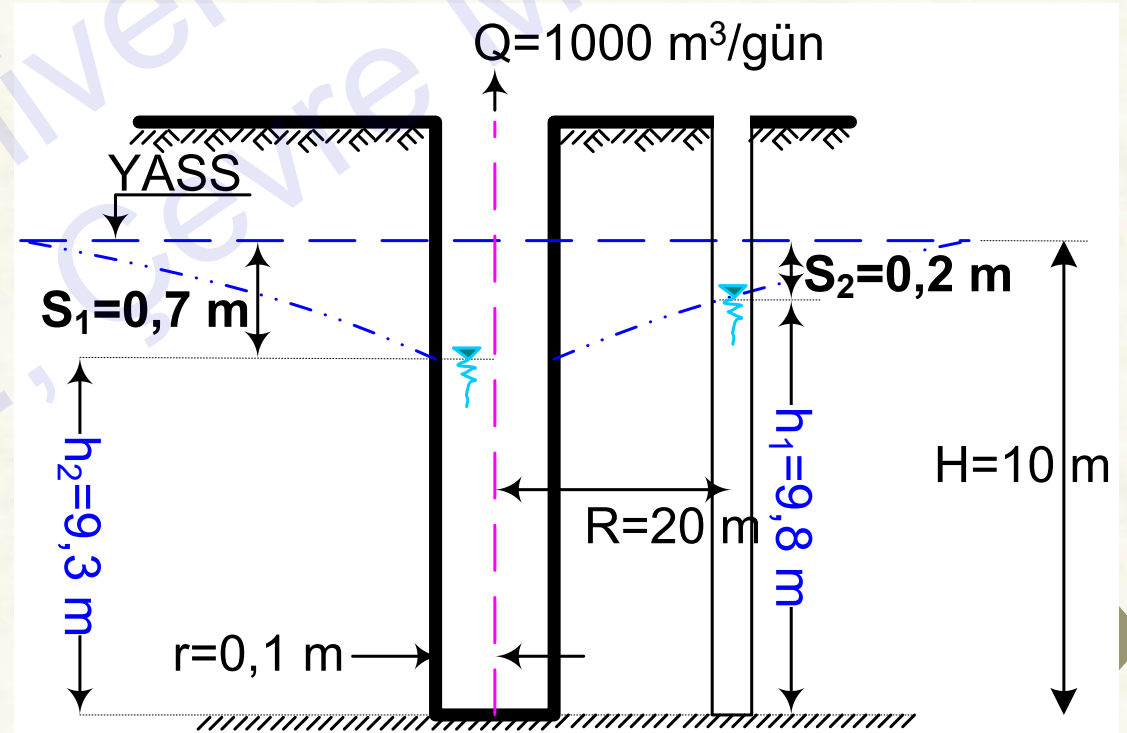
- Kuyunun açıldığı zemindeki **permeabilite (hidrolik iletkenlik) katsayısını** hesaplayınız.

ÇÖZÜM: Tek gözlem kuyusu açılmıştır.

$$k = \frac{Q \ln \frac{R}{r}}{\pi (h_1^2 - h_2^2)} = \frac{1000 (m^3 / gün) \times \ln \frac{20 m}{0,10 m}}{\pi \times \left\{ [9,80 m]^2 - [9,30 m]^2 \right\}}$$

$$= 176,6 m / gün$$

$$= 2,044 \times 10^{-3} m / sn$$



ÖRNEK-3

HİDROLİK İLETKENLİK

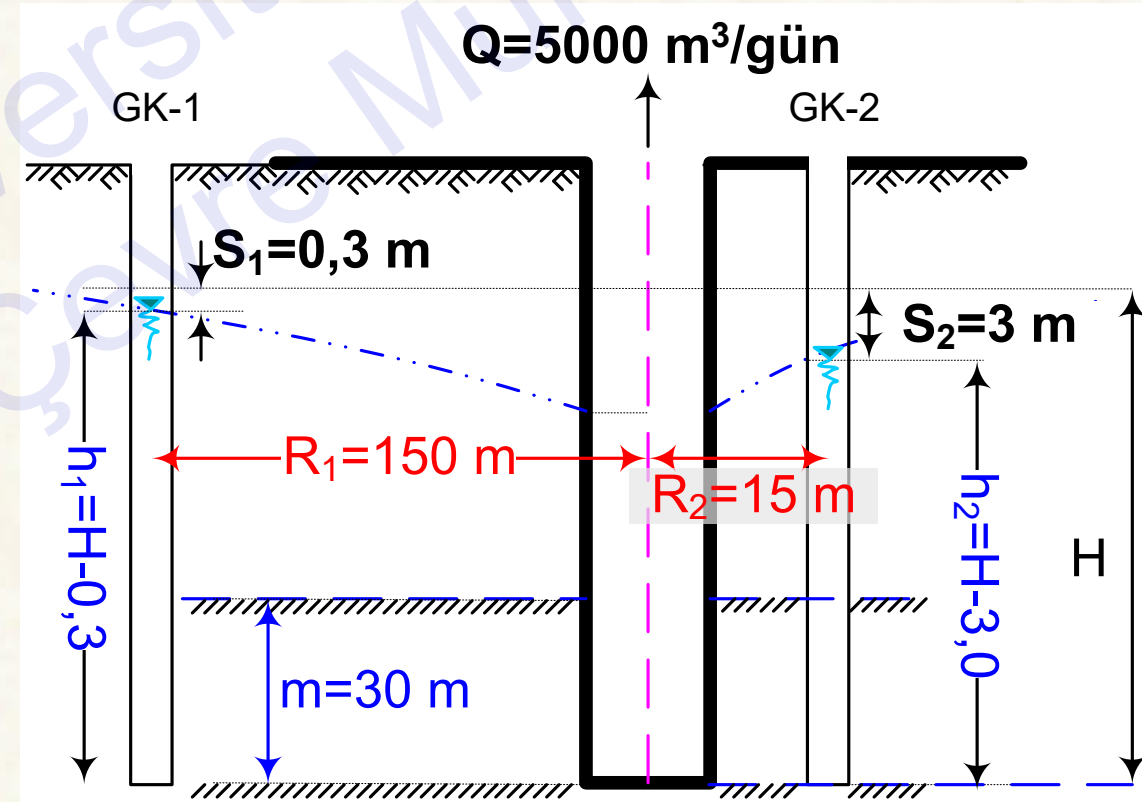
ÖRNEK: (Kaynak: P. Aarne Vesilind, Susan M. Morgan, and Lauren G. Heine, 2010 *Introduction to Environmental Engineering*, Third Edition, 200 First Stamford Place, Suite 400, Stamford, CT 06902, USA. Introduction to environmental engineering and science SOLUTION MANUAL 2nd Ed Masters, Gilbert M, P 64—p319)

Yeraltısuyu ihtiva eden **30 m** kalınlığında sıkışmış bir akiferden **5000 m³/gün** debi çekildiğinde **15 m** ve **150 m** uzaklıkta iki adet gözlem kuyusundaki alçalma seviyeleri sırasıyla **3,0 m** ve **0,30 m** olmaktadır.

Kuyunun açıldığı akiferdeki **permeabilite (hidrolik iletkenlik) katsayısını** hesaplayınız.

ÇÖZÜM: İki adet gözlem kuyusu açılmıştır.

$$k = \frac{Q \ln \frac{R_1}{R_2}}{2\pi m (h_1 - h_2)} = \frac{5000 (m^3 / gün) \times \ln \frac{150 m}{15 m}}{2\pi 30 m [(H - 0,30) - (H - 3,0)] m}$$
$$= 22,62 m / gün$$
$$= 0,262 \times 10^{-3} m / sn$$



ÖRNEK-4

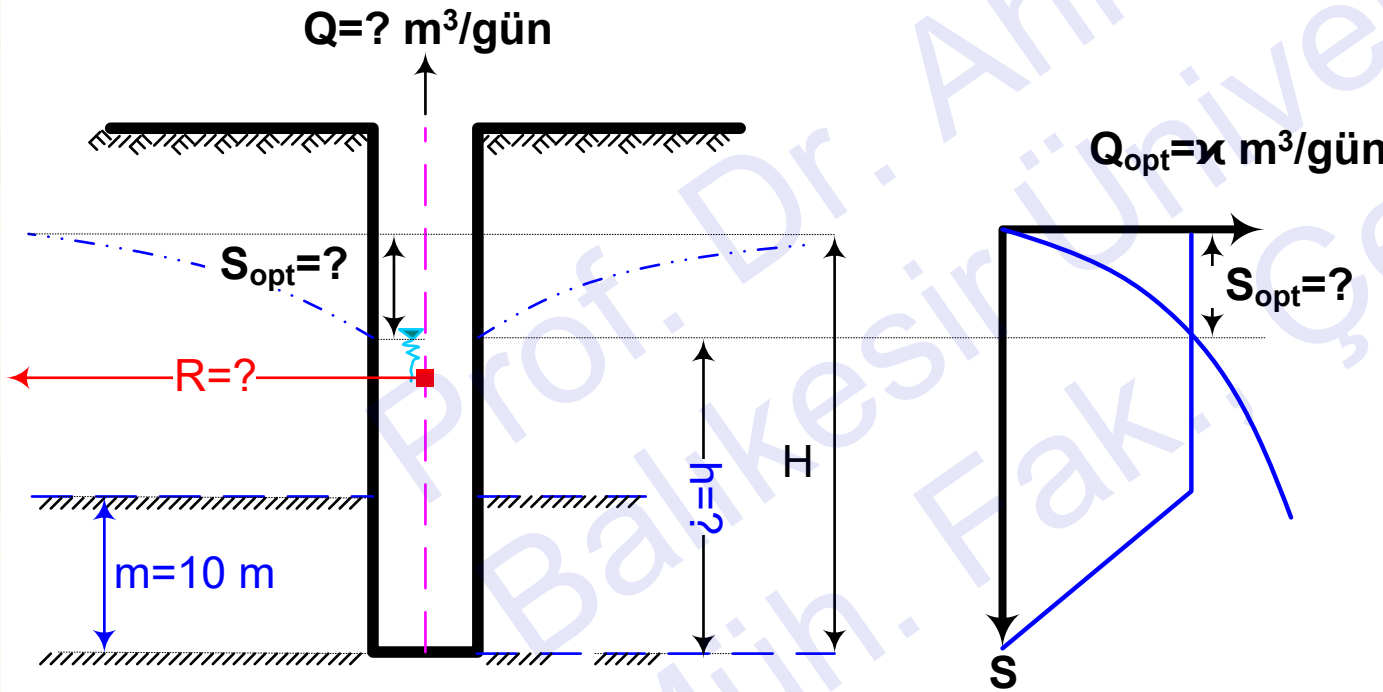
BASINÇLI KUYU DEBİSİ



ÖRNEK: (Kaynak: (Topacık, D. Ve Eroğlu V., Su Temini ve Atıksu Uzaklaştırma Uygulamaları, İTÜ Vakfı Yayınları, 1993, p102)

İki geçirimsiz zemin arasında bulunan **10 m** kalınlıklı basınçlı akifere **60 cm** çaplı kuyular açılacaktır. Kuyudan çekilebilecek optimum debiyi ve optimum seviye alçalmasını hesaplayınız. Yazlık su ihtiyacı **300 L/N-gün** ve nüfusu **95 000** olan bir kasabanın su ihtiyacını karşılamak için gerekli kuyu sayısını hesaplayınız. Kuyuların açılacağı vadinin hidrolik iletkenlik katsayısı **k=0,0125 m/sn**'dir.

ÇÖZÜM:



$$Q_{opt} = 2\pi mk \frac{S_{opt}}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$Q_{müs} = 2\pi rm \frac{\sqrt{k}}{30}$$

1. Optimum debi;

$$Q_{müs} = 2\pi r m \frac{\sqrt{k}}{30}$$

$$= 2\pi \times 0,30 \times 10 \times \frac{\sqrt{0,0125}}{30}$$

$$= 0,0702 m^3 / sn$$

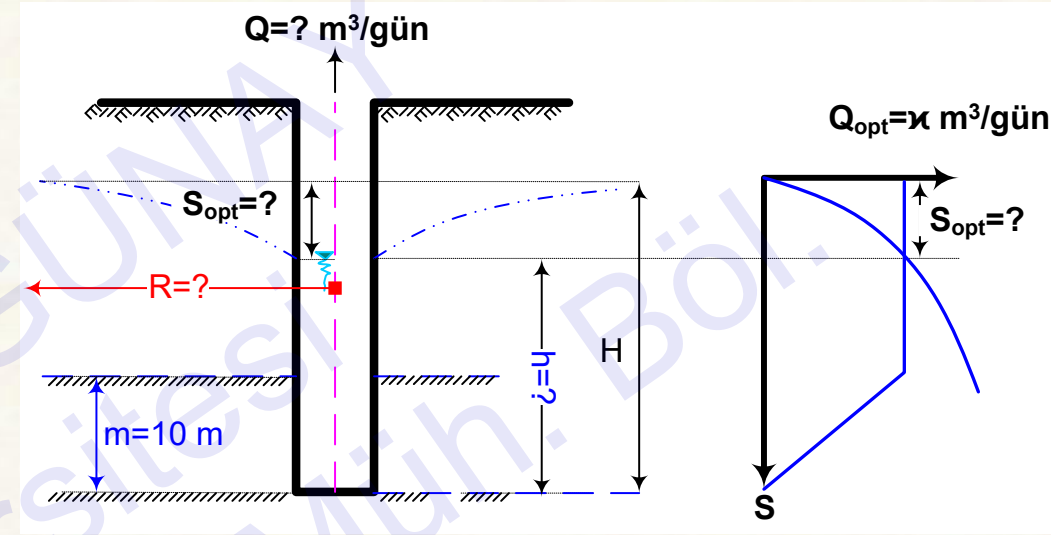
$$Q_{opt} = 2\pi m k \frac{S_{opt}}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$0,0702 = 2\pi \times 10 \times 0,0125 \times \frac{S_{opt}}{\ln \frac{3000 \times S_{opt} \times \sqrt{0,0125}}{0,30}}$$

$$S = 0,625 + 0,089 \ln S$$

1. YÖNTEM: Bu eşitlik fx-5800 P solve ile ya da MS Excel çözücü ile çözülebilir.

$$S_{opt} = 0,579 m$$

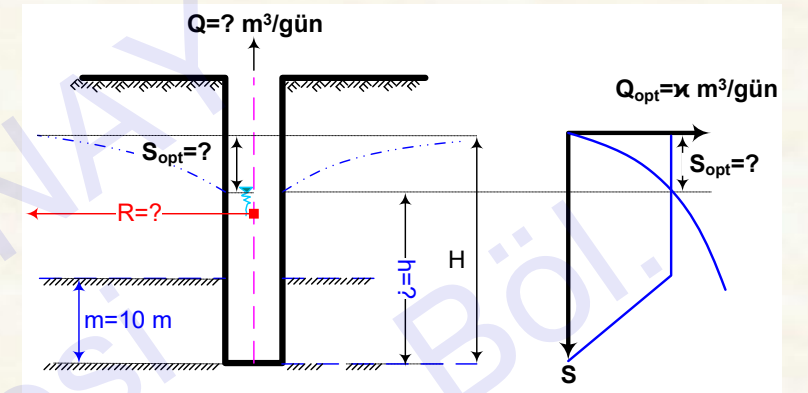


2. YÖNTEM: Bu eşitlik tatonman ile çözülebilir.

$$S = 0,625 + 0,089 \ln S$$

| | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|-------------|------|
| S | 0,50 | 0,52 | 0,54 | 0,56 | 0,58 | 0,60 |
| 0,625+0,089lnS | 0,56 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,58 | 0,58 |

$$S_{opt} = 0,579 \text{ m} \cong 0,58 \text{ m}$$



3. YÖNTEM: Farklı S değerleri için debileri aşağıdaki formüllere göre birbirine eşitleme

$$Q_{opt} = 2\pi mk \frac{S_{opt}}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$Q_{müs} = 2\pi rm \frac{\sqrt{k}}{30}$$

$$Q_{müs} = 2\pi rm \frac{\sqrt{k}}{30}$$

$$Q_{opt} = 2\pi mk \frac{S_{opt}}{\ln \frac{R}{r}}$$

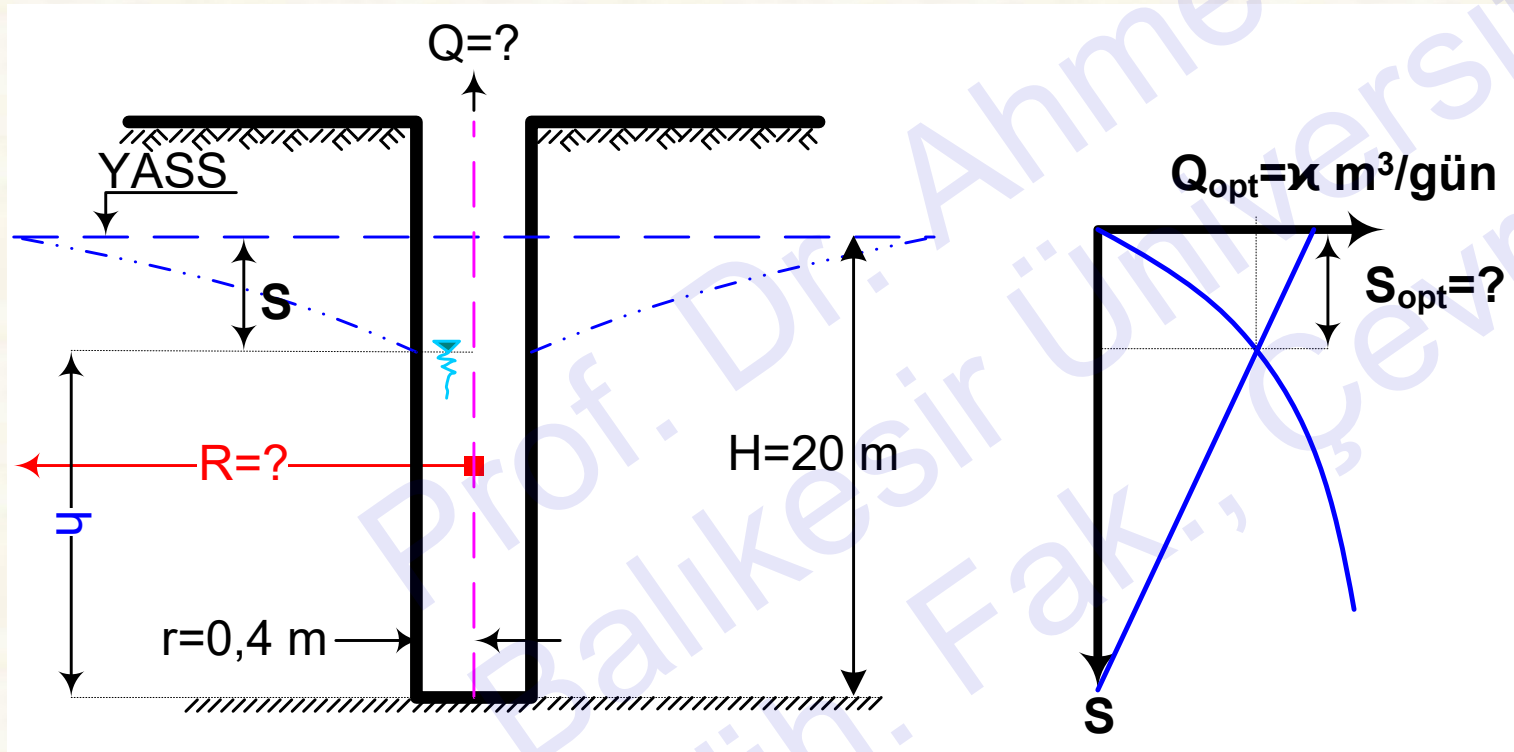
| S | Qmüs | Qopt |
|-------------|----------------|----------------|
| 0,2 | 0,07025 | 0,02904 |
| 0,3 | 0,07025 | 0,04052 |
| 0,4 | 0,07025 | 0,05148 |
| 0,5 | 0,07025 | 0,06208 |
| 0,55 | 0,07025 | 0,06727 |
| 0,56 | 0,07025 | 0,0683 |
| 0,57 | 0,07025 | 0,06933 |
| 0,58 | 0,07025 | 0,07036 |
| 0,59 | 0,07025 | 0,07138 |
| 0,6 | 0,07025 | 0,0724 |

ÖRNEK-5

BASINÇSIZ AKIFER KUYU DEBİSİ

ÖRNEK: (Kaynak: (Topacık, D. Ve Eroğlu V., Su Temini ve Atıksu Uzaklaştırma Uygulamaları, İTÜ Vakfı Yayınları, 1993, p103)

20 m kalınlıklı bir basınçsız akiferin hidrolik iletkenlik (permeabilite) katsayısı **$k=0,002 \text{ m/sn}$** 'dir. Bu akifere açılan **80 cm** çaplı bir kuyu, ortalama su ihtiyacı **200 L/N-gün** olan kaç kişilik bir yerleşim merkezinin ihtiyacına yeter?



$$Q_{opt} = \pi k \frac{S(2H-S)}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$R = 3000 \times S \sqrt{k}$$

$$Q_{müs} = 2\pi r(H-S) \frac{\sqrt{k}}{30}$$

ÇÖZÜM: Optimum seviye alçalmasında $Q_{opt}=Q_{müs}$ olur.

1. Optimum debi;

1. YÖNTEM: Farklı S değerleri için debiler hesaplanarak eşitlenir.

| S | R | Q _{opt} | Q _{müs} |
|---------|--------|------------------|------------------|
| 1 | 134,16 | 0,0421 | 0,0712 |
| 1,5 | 201,25 | 0,0583 | 0,0693 |
| 2 | 268,33 | 0,0734 | 0,0674 |
| 1,75 | 234,79 | 0,0660 | 0,0684 |
| 1,85 | 248,20 | 0,0690 | 0,0680 |
| 1,83 | 245,52 | 0,0684 | 0,0681 |
| 1,82 | 244,18 | 0,0681 | 0,0681 |
| 1,82132 | 244,36 | 0,0681 | 0,0681 |

2. YÖNTEM: fx-5800 P solve ile ya da MS Excel çözücü ile çözülebilir.

S=1,8213 m

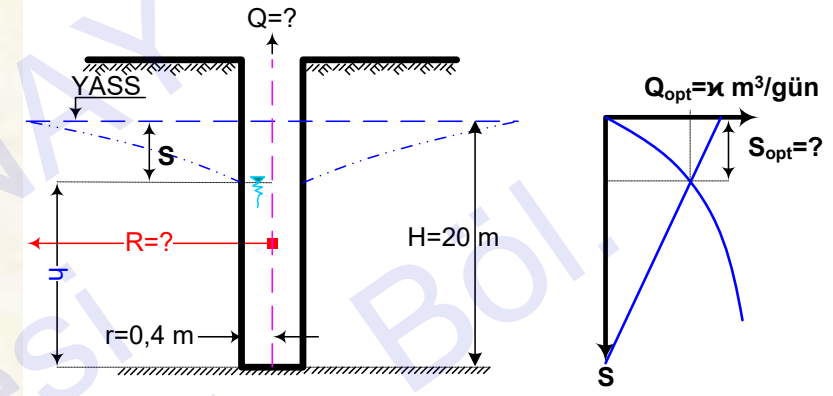
$$Q_{opt} = \pi k \frac{S(2H-S)}{\ln \frac{R}{r}}$$

$$Q_{müs} = 2\pi r(H-S) \frac{\sqrt{k}}{30}$$

$$S_{opt} = 1,82 \text{ m ve } Q_{opt} = 0,0681 \text{ m}^3 / \text{sn}$$

$$Q_{opt} = \pi k \frac{S(2H-S)}{\ln \frac{R}{r}} = Q_{müs} = 2\pi r(H-S) \frac{\sqrt{k}}{30}$$

$$\pi \times 2 \cdot 10^{-3} \frac{S(2 \times 20 - S)}{\ln \frac{3000 \times S \times \sqrt{2 \cdot 10^{-3}}}{0,40}} = 2\pi \times 0,40 \times (20 - S) \frac{\sqrt{2 \cdot 10^{-3}}}{30}$$



3. YÖNTEM: Grafik?



2. Nüfus;

$$S_{opt} = 1,82 m$$

$$Q_{opt} = 0,0681 m^3 / sn$$

$$Q_{opt} = \frac{N \times \max q_{gün}}{86400}$$

$$N = \frac{Q_{opt} \times 86400}{\max q_{gün}}$$

$$\begin{aligned} \max q_{gün} &= 1,50 \times_{ort} q_{gün} \\ &= 1,50 \times 200 \\ &= 300 L / N - gün \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{86400 \times 0,0681}{300} \\ &= 19612 \text{ kişi} \end{aligned}$$



ÖRNEK-6

BASINÇSIZ AKIFER KUYU DEBİSİ



ÖRNEK: (Kaynak: (Topacık, D. Ve Eroğlu V., Su Temini ve Atıksu Uzaklaştırma Uygulamaları, İTÜ Vakfı Yayınları, 1993, p104)

16 m kalınlıklı bir basınçsız bir akifere 70 cm çaplı kuyular açılarak 120 L/sn'lik ihtiyaç debisi karşılanacaktır. Zemine ait elek analizi sonuçları aşağıdaki tablodaki gibi olduğuna göre;

1. Permeabilite katsayısını,
2. Kuyuya ait optimum debi ve seviye alçalmasını,
3. Kuyu sayısını hesaplayınız.

| Elek çapı | Elekler arasında kalan, % |
|-----------|---------------------------|
| 1,8-2,5 | 0,5 |
| 1,4-1,8 | 2,3 |
| 0,8-1,4 | 9,3 |
| 0,63-0,8 | 5,9 |
| 0,5-,63 | 12 |
| 0,4-0,5 | 43,9 |
| 0,36-0,4 | 12,1 |
| 0,28-0,36 | 14 |

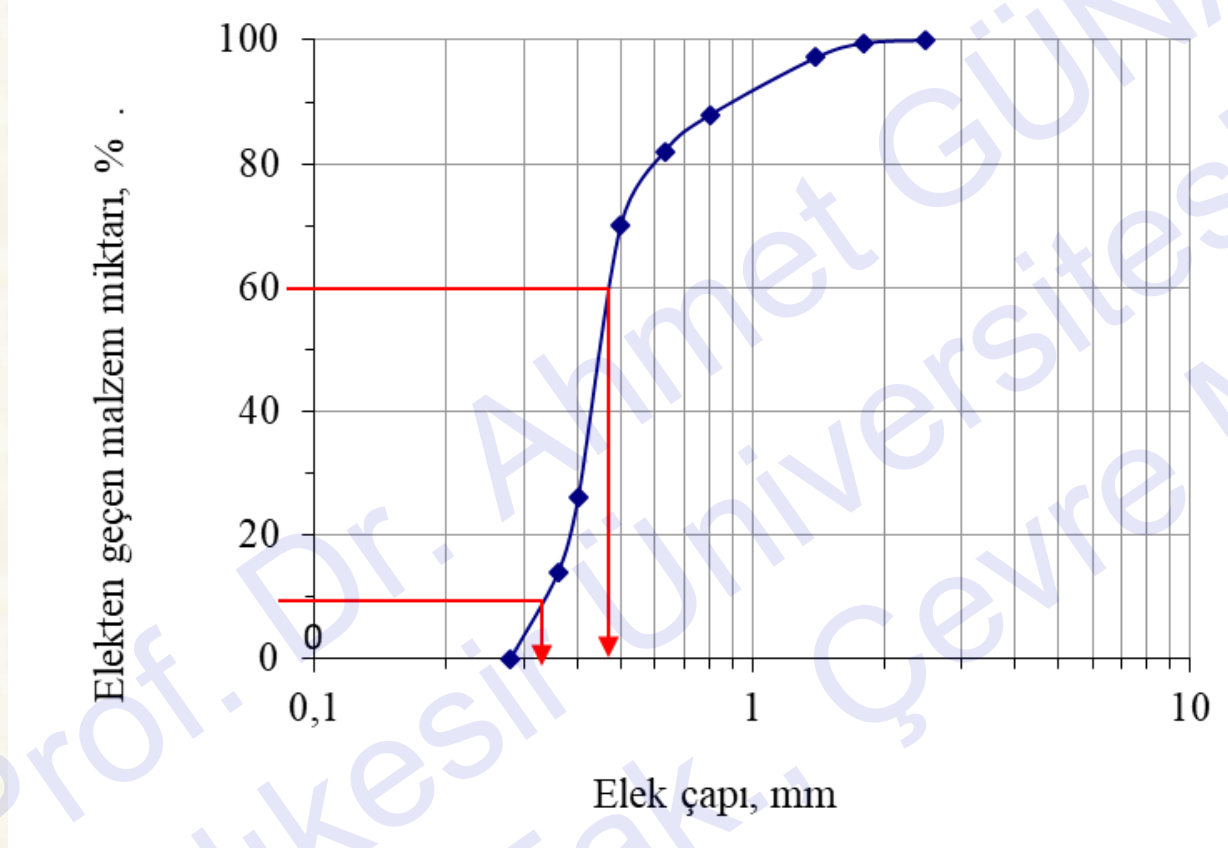
ÇÖZÜM: En büyük elek çapı en üstte olacak şekilde, her elekten geçen yüzdeler hesaplanır.

| Delik Çapı (mm) | Elekten Geçen Yüzde | Elekler arasında kalan, % |
|-----------------|---------------------|---------------------------|
| 2,5 | 100 | 0,5 |
| 1,8 | 99,5 | 2,3 |
| 1,4 | 97,2 | 9,3 |
| 0,8 | 87,9 | 5,9 |
| 0,63 | 82 | 12 |
| 0,5 | 70 | 43,9 |
| 0,4 | 26,1 | 12,1 |
| 0,36 | 14 | 14 |
| 0,28 | 6,2E-15 | |



1. Hidrolik iletkenlik

| Delik Çapı (mm) | Elekten Geçen Yüzde |
|-----------------|---------------------|
| 2,5 | 100 |
| 1,8 | 99,5 |
| 1,4 | 97,2 |
| 0,8 | 87,9 |
| 0,63 | 82 |
| 0,5 | 70 |
| 0,4 | 26,1 |
| 0,36 | 14 |
| 0,28 | 6,2E-15 |



| | | |
|---------------------------|------------|-------|
| $d_{60} =$ | 0,047 | cm |
| $d_{10} =$ | 0,034 | cm |
| $U = d_{60}/d_{10} =$ | 1,382 | < 5 |
| $k = 116 \times d_{10}^2$ | 0,134 | cm/sn |
| Hazen formülü | 0,00134 | m/sn |
| $V = k^{(1/2)}/30$ | | |
| $V =$ | 0,00122064 | m/sn |

2. S_{opt} ve Q_{opt}

$$H = 16m$$

$$k = 1,34 \cdot 10^{-3}$$

$$r = 0,35m$$

$$Q_{müs} = 2\pi r(H-S) \frac{\sqrt{k}}{30}$$

$$Q_{opt} = \pi k \frac{S(2H-S)}{\ln \frac{3000 \times S \sqrt{k}}{r}}$$

S_{opt} için $Q_{opt} = Q_{müs}$ olmalıdır.

$$Q_{opt} = \pi k \frac{S(2H-S)}{\ln \frac{R}{r}} = Q_{müs} = 2\pi r(H-S) \frac{\sqrt{k}}{30}$$

$$\pi \times 1,34 \cdot 10^{-3} \frac{S(2 \times 16 - S)}{\ln \frac{3000 \times S \times \sqrt{1,34 \cdot 10^{-3}}}{0,35}} = 2\pi \times 0,35 \times (16 - S) \frac{\sqrt{1,34 \cdot 10^{-3}}}{30}$$

$$S_{opt} = 1,9089m$$

3. Kuyu sayısı;

$$Kuyu\ sayısı = \frac{Q_{iht}}{Q_{opt}} = \frac{120}{38} = 3,2 \cong 4\ adet$$

+1 yedek

= 5 adet kuyu

| S | Qmüs | Qopt |
|--------------|---------------|---------------|
| 0,500 | 0,0416 | 0,0131 |
| 1,000 | 0,0403 | 0,0227 |
| 1,500 | 0,0389 | 0,0313 |
| 2,000 | 0,0376 | 0,0392 |
| 1,750 | 0,0383 | 0,0354 |
| 1,800 | 0,0381 | 0,0361 |
| 1,850 | 0,0380 | 0,0369 |
| 1,900 | 0,0378 | 0,0377 |
| 1,950 | 0,0377 | 0,0385 |



TERMİNOLOJİ

Akifer: Su taşıyan tabaka

Porosity: percentage of a geologic formation that consists of open spaces (same as soil porosity)

Specific yield: percentage of a formation that is occupied by water which will drain out by gravity

Specific retention: percentage of the formation that is occupied by water which is retained against gravity

Specific retention + Specific yield = Porosity

Permeability: property of formations indicating how rapidly water will be transmitted (high in sands and gravels; low in clays)

Saturated zones: portions of a soil profile or geologic formation where all spaces or voids are filled with water (no air is present)

Unsaturated zones: soil and geologic materials located between the land surface and the saturated zone (spaces or voids are filled with combination of air/water)

Water table: level in a formation below which all spaces or voids are filled with water (top of the saturated zone)

Unconfined aquifer (water table aquifer): aquifer whose upper water surface is the water table (no layers restricting water movement into the saturated zone from above)

Confined aquifer (artesian aquifer): aquifer in which the water is confined under pressure between low-permeability materials (aquitards)



TERMİNOLOJİ

Static water level: water level in a well when the pump is not operating (is idle for several days)

Pumping water level: water level in a well when the pump is operating at some flow rate

Drawdown: difference between water levels in a well under non-pumping and pumping conditions

Cone of depression: drop in ground water levels around a well or group of wells in response to ground water withdrawal [aquifer volume that is affected by pumped well(s)]

Lift: vertical distance from the water level in a well during pumping to some delivery point

