

JEM 353

HİDROJEOLJİ

Doç. Dr. Şebnem ARSLAN

Hidrojeolojiye giriş,
Hidrojeolojinin tanımı,
önemi, kapsamı nedir ?

Teknik Terimler

• Hidrojeoloji
(Hydrogeology)

Yerkabuğu içinde bulunan suların hareketini, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, kayalar içerisinde bulunuş şekillerini ve bunlara etkileyen faktörleri inceleyen bilim dalı.

• Yeraltı suyu
(Groundwater)

• Yeraltı suyu hidrolojisi
(Groundwater hydrology)

• Yeraltısuları jeolojisi
(Groundwater geology)

• Jeohidroloji (Geohydrology)

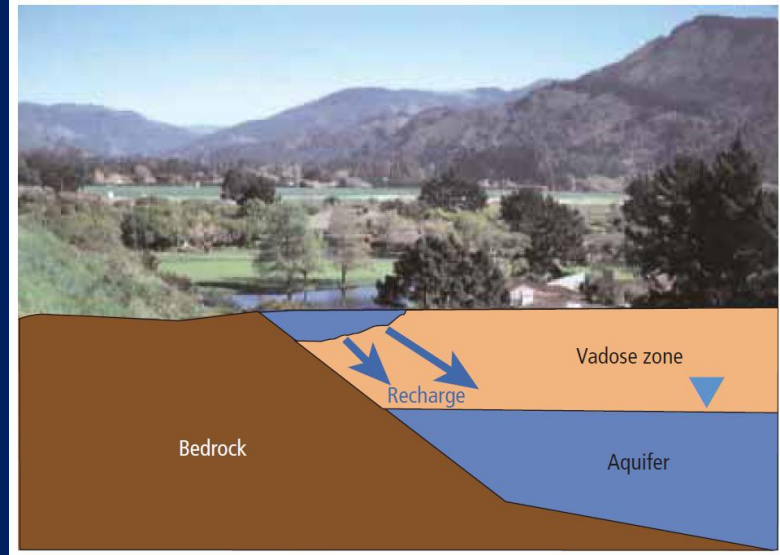
Yeraltısuları ve kuyu hidroliğine önem verilmişse

• Hidroloji (Hydrology)

Yüzey suları, bunları doğuran yağış ve çeşitleri, hareketi, buharlaşması ve bunların ölçülmesi ile Hidroloji bilim dalı ilgilenir.

• Hidrolik (Hydraulic)

Yerüstü ve yeraltı sularının hidrodinamiğini Hidrolik bilimi inceler.



Kaliforniya'da bir vadide bulunan alüvyon sedimanlarının oluşturduğu serbest bir akiferin şematik enine kesiti.

Basic Concepts of Groundwater Hydrology FWQP
REFERENCE SHEET 11.1 **UNIVERSITY OF CALIFORNIA** Division of Agriculture and Natural Resources

Hidrodinamik: akışkanların hareketi ve akışkanlarla çevrelenmiş katı cisimler üzerine etki eden kuvvetler ile ilgilenen fizik dalı

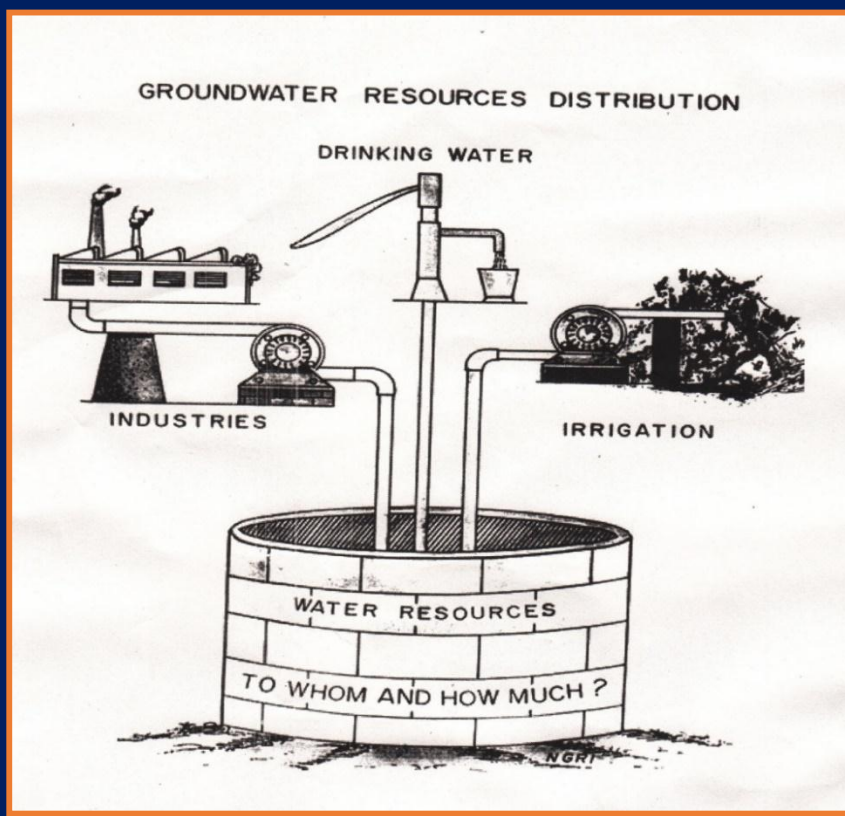
Hidrojeoloji çalışmalarında amaç:

- a) su kaynakları potansiyelinin değerlendirilmesi
- b) yeraltısuyu kaynaklarının yönetimi (ařırđ tüketimden ve kirlenmeden koruyarak)
- c) yüzey suyu-yeraltısuyu etkileşimlerinin ortaya konması
- d) yeraltısuyu kirliliği
- e) yeraltısuyu geçiş sresinin belirlenmesi

Başarılı bir hidrojeolog olabilmek için:

Toprak fiziği, zemin mekaniği, jeokimya, nmetrik metodlar ile ilgili derin bilgi sahibi olunmalıdır. Hidrojeoloji alışmaları JEOLOJĐ bilgisi kullanımını gerektirir ve en az jeoloji kadar fizik ve kimya içerir. Bunun yanı sıra ANA DĐLĐ MATEMATĐKTĐR. Ayrıca, meteoroloji, klimatoloji, hidroloji, hidroluk, bakteriyoloji hakkında da yeterli derece bilgi sahibi olunmalıdır.

Yeraltısuyu Kaynaklarının Kullanımı



İÇME-KULLANMA

Tat
Koku
Zehirli madde
Florür
Nitrat
Demir
Sertlik
Sediman
Erimiş madde

SANAYİ

pH
Asidite
Alkalinite
Silis
Sertlik
Sediman
Erimiş madde

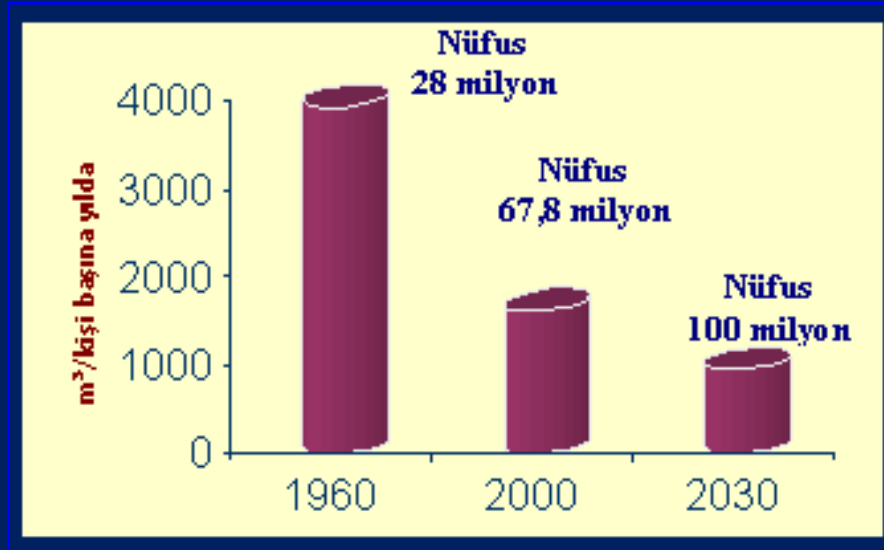
SULAMA

Bor
Alkalinite
Na/Ca oranı
Erimiş madde

U.S. Geological Survey, 1963

Türkiye’de kişi başına düşen yıllık su miktarı ne kadardır?

Grafik dikkate alındığında, su azlığı yaşayan bir ülke konumunda olduğumuz görülmektedir. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1500 m³ civarındadır. Şimdi **daha az**, gelecekte **azalmaya devam edecek!!!**



1120 m³/yıl

<https://water.usgs.gov/edu/qa-home-percapita.html>

Kaynak :<http://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm>

Bu konuda Hidrojeoloji Bilimi kapsamında ne yapılabilir?

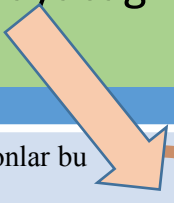
2022 yılına kadar küresel balık tüketimi ihtiyacında %18 artış beklenmektedir (FAO, 2018).

2050 yılına kadar dünyada 9 milyar insan yaşayacak ve %60 daha fazla gıda üretimi gerekli olacaktır (FAO, 2018).

2100 yılında kuraklığın etkisi Türkiye'de nasıl gözlenecek?
Deniz seviyesinde (Ak Deniz) 60 cm yükselme, atmosfer sıcaklığında 4 derece artış?
(kaynak: M. Mustafa Aral'ın 2018 yayınlarından...)

TARİHÇE

Tanımladıkları hidrolojik çevrimde eksik bir parça olması gerektiğini düşünüyorlardı çünkü yüzeydeki kaynak ve nehirlerin suyunun sadece yağış ile sağlanamayacağını hesaplamışlardı.



Tarihler ve kişiler	
M. Ö. Farklı tarihlerde, Homer, Thales, Plato, Aristotle (Yunanistan'da), Lucretius, Seneca, Pliny (Roma'da)	Hidroloji biliminin başlangıcı: Hidrolojik çevrim. Bilimsel olarak sağlam olmayan spekülasyonlar bu filozoflar tarafından ortaya atıldı.
M.Ö. V. Yy. Anaxagoras of Clazomenae (Yunan filozof)	Filozof hidrolojik çevrimin ilkel bir halini oluşturdu. Güneşin denizdeki suları atmosfere doğru çektiğine, bu suyun yağış olarak geri geldiğine, gelen yağış suyunun yeraltındaki rezervuarlarda toplanıp nehirleri beslediğine inandı.
M.Ö. III-II. Yy. Theophrastus (Yunan filozof)	Günümüzdeki hidrolojik çevrimi tanımladı, yoğunlaşma ve donma ile yağış oluşumunu mantıklı bir şekilde açıkladı.
M.Ö. I. yy. Marcus Vitruvius Pollio (Romalı yazar, mimar, mühendis)	Theophrastus'un açıklamalarını geliştirdi. Yeraltısularının, yağmur ve kar sularının yüzeyden infiltrasyonu sonucu türediğini iddia etti.
Çinde M.Ö. 900 Hidistanda M.Ö. 400 İran M.Ö. 1000	Dinamik hidrolojik döngü konsepti buralarda tartışılmış olabilir. Bu dönemde ve bölgede yapılanların batıdaki gelişmeleri etkilemediği ifade edilmiştir.
Hammurabi Yasaları	En eski bilinen Su Yasası Babil kralı Hammurabi'nin (M.Ö. 1728 - M.Ö. 1686) çeşitli meselelerde verdiği kararlar, "Babil'in koruyucu tanrısı Marduk" adına yapılan Esagila Tapınağı'na dikilen bir taş üzerine Akatça dilinde yazılmıştı. Mezopotamya, Mısır, Orta Asya ve Çin dolayında büyük nehirlerde sulama sistemi inşaa etmişlerdir.
M.Ö. 2500-3000 İran, Mezapotamya	Drenaj hendeği, galeri, kuyu, kehriz (su kanalı) yapıları
1126 Fransa	Artois kasabasında yapılan sondaj artezyen yapmış ve ismini oradan almıştır.. Katolik rahiplerin açtığı birçok kuyu bulunmakta. Suriye ve Mısır'da artezyen kuyular çok daha önceden keşfedilmiş fakat Artois rahiplerinin bu tekniği kendilerinin keşfedip keşfetmediği bilinmiyor.
1540 İtalya	St. Patrick kuyusu (60 m) (Orvieto'da Papa Clement tarafından yapılması istenmiş, Antonio San Gallo adındaki mimar tarafından inşa edilmiştir.)

Colloque International OH2 « Origines et Histoire de l'Hydrologie », Dijon, 9-11 mai 2001
International Symposium OH2 'Origins and History of Hydrology', Dijon, May, 9-11, 2001



Concepts of the hydrological Cycle.
Ancient and modern

*Les concepts des cycles hydrologiques.
Anciens et modernes*

James C.I. DOOGE
Centre for Water Resources Research,
University College Dublin, Earlsfort Terrace Dublin 2 (Ireland)
michael.brueen@ucd.ie

Suyun yükselmesine neden olan nedir?

Thales okyanus ortası ile deniz kıyısı arasındaki yükseklik farkının basınç farkına neden olabileceğini ifade etmiş.

Plato yer altında devasa bir göl olduğunu ve suyun kayalar içindeki damarlardan geçerek hareket ettiğini ve yükseldiğini söylemiş.

Aristotle ise havanın (veya su buharı) yükselip daha yeraltı düzeyinde yoğunlaşabileceği bir mekanizma önermiştir.

Marakeş, Fas, 2014



Kehriz



INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS SELECTED PAPERS

10

**Aquifer Systems Management:
Darcy's Legacy in a World of
Impending Water Shortage**

Editors: Laurence Chery
Ghislain de Marsily

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

International Association of Hydrogeologists



Founded in 1956


2013 COOLEST PAPER AWARD

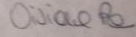
The first award in the Coolest Paper Competition of the IAH Early Career Hydrogeologists' Network (ECHN) has been made to:

Sebnem Arslan

For her paper entitled:

Environmental isotopes and noble gases in the deep aquifer system of Kazan Trona Ore Field, Ankara, central Turkey and links to paleoclimate. *Quaternary Research*, 79(2): 292-303.


John Chilton
Executive Manager, IAH


Viviana Re
Chair, IAH ECHN

<https://www.cameraetrusca.com/st-patricks-well-orvieto/>



in the water a small fortune in coins plus sun-glasses, i phones and even half dead lizards



Tarih/Kişi	Konular/Olaylar
M.S. 16. yy. Leonardo da Vinci	İki su geçirmez tabaka arasında basınçlı bir geçirimli tabakanın olabileceğini söylemiştir. Hidrolojik çevrimi açıklamıştır. Alan-hız-boşalım ilişkisini açıklamıştır.
1680 Bernard Palissy	Sular ve kaynaklar
1684 Pierre Perrault	Çeşmelerin kökeni Seine havzasında yağış ve buharlaşma ölçtü
1686 Mariotte	Suların hareketi Seine nehrinde akım ölçümü yaptı
Pitot, 1732; Venturi 1798	Hız ölçümü için cihaz kurdular
1802 JB. Lamarck	Suların araştırılması ve depolanması ilk defa Paris'te basılan bir kitapta geçti (HYDROGEOLOGY adlı kitap- hidrojeoloji terimi ilk defa kullanıldı) İlk Hidrojeoloji çalışması
1856 Darcy	Doygun ortamda suyun hareketi
1863 Dupuit	Pompaj, gözlem kuyulu-dengeli rejim
1870 Thiem	Pompaj testleri ile geçirimsizlik hesaplamaları
1879 J. Lucas	Yeraltı sularında ilk jeoloji konularının araştırılmasını Londra Alt Kretase kumtaşlarında yapmıştır (bugünkü araştırmalara yakın ilk çalışma)
1887 Daubree	Yeraltı suları (Kitap) Modern Hidrojeoloji
1919 Mead	Hydrology adlı kitabında Hydrogeology tanımını yaptı. (Yerin altındaki suların varoluş ve hareket kanunlarını çalışan bilim dalı). Hidroloji çalıştığı için daha çok nehir ve drenaj sistemlerinin anlaşılmasında yeraltısularının rolü üzerine çalıştı.
1923 Meinzer	Amerika Birleşik Devletleri'nde yeraltısuları, sonraki yıllarda rezerv değişimleri üzerine çalışmalar (Meinzer Hidrojeolojinin A.B.D.'ndeki babalarından)
1935 Theis	Lubin adlı matematikçi ile su akışı ile ısı akışı arasındaki benzerliği ortaya koydu.
1940 Hubbert	Geniş Jeolojik ortamlarda doğal yeraltısuyu akışı (bölgesel akım)

Tarih/Kişi	Konular/Olaylar
1940 Jacob	Theis çözümünün üzerine kendi çözümünü üretti.
1959 ve 1980 Todd	Groundwater Hydrology
Hantush ve diğerleri...	Kuyu hidroliğini bugüne getirdiler..

ÜLKEMİZDEKİ GELİŞMELER

Türkiye’de eski Yunan, Roma, Bizans, Selçuk ve Osmanlılar zamanında yapılmış olduğu tahmin edilen değişik derinlikte kuyular, sarnıçlar ve tüneller bulunmuştur.

1920 yıllarında, İstanbul batısında Bakırköy’de Fransızların sondaj yaptıkları söylenmekte. 1929 yılından sonra basit sondaj makinalarıyla artezyen yapan kuyular açılmıştır.

1929-1930 Chapuit-Calvi

Ankara – Çubuk vadisi
Sondaj çalışmaları

ÜLKEMİZDEKİ GELİŞMELER

1932

Samsun –Modern Sondaj aletleri ile

1935 MTA Genel Müd.

Sıcak ve mineralli su kaynakları

1938 İller Bankası

Şehir, kaza ve köylere içme suyu

1954 DSİ

Yeraltısuları Şubesi (ilk çalışma Diyarbakır)

1956 DSİ

Yeraltısuları Dairesi (Türkiye kalkınmasında YAS önemi anlaşıldığı için)

İller Bankası

1933'de Belediyeler Bankası adı ile kuruldu. 2011'de İller Bankası A.Ş. İsmi aldı

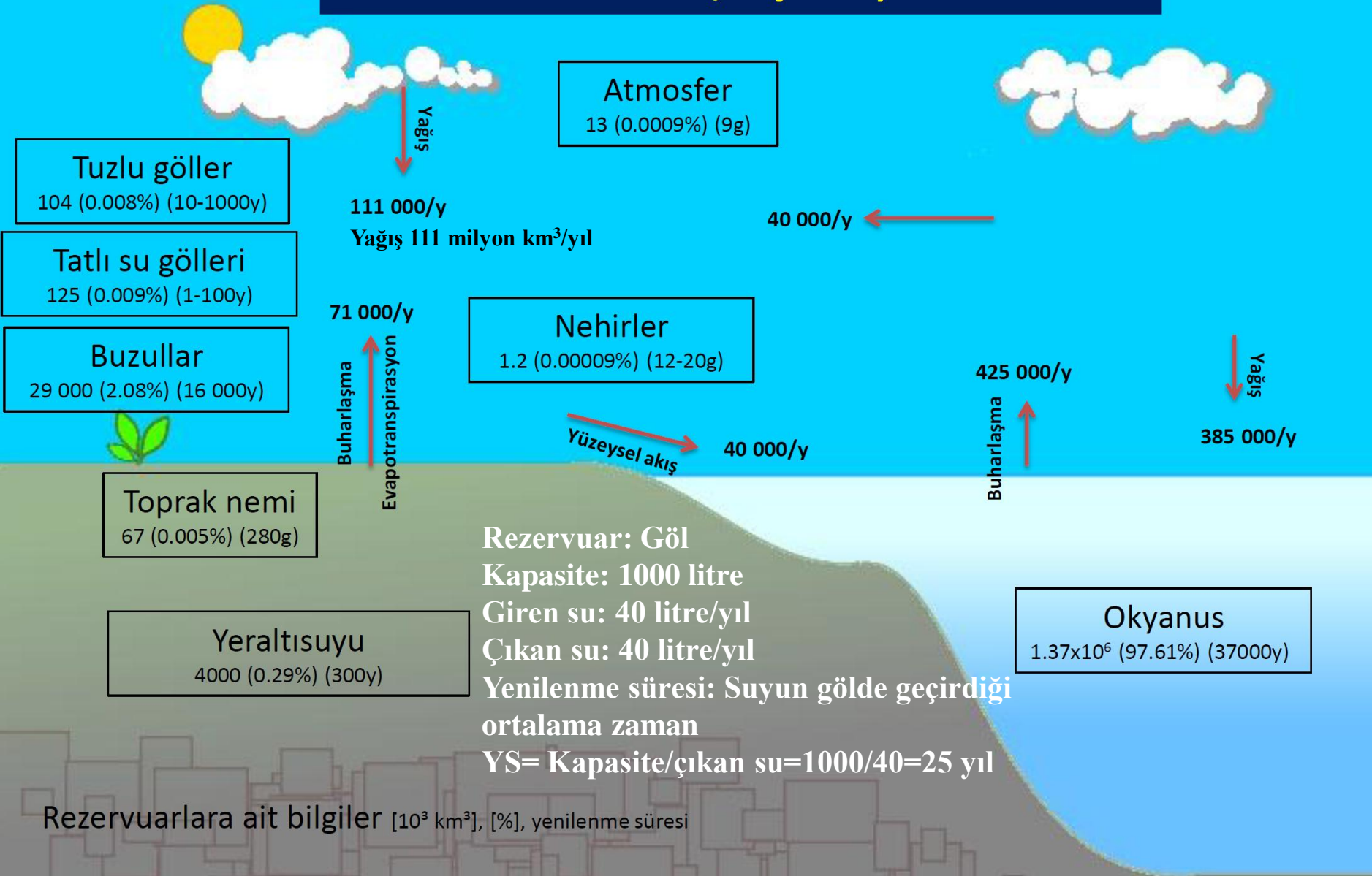
Çevre ve Orman Bakanlığı (2003)
2011 Orman ve Su İşleri Bakanlığı
(www.ormansu.gov.tr)

Tarım ve Orman Bakanlığı?

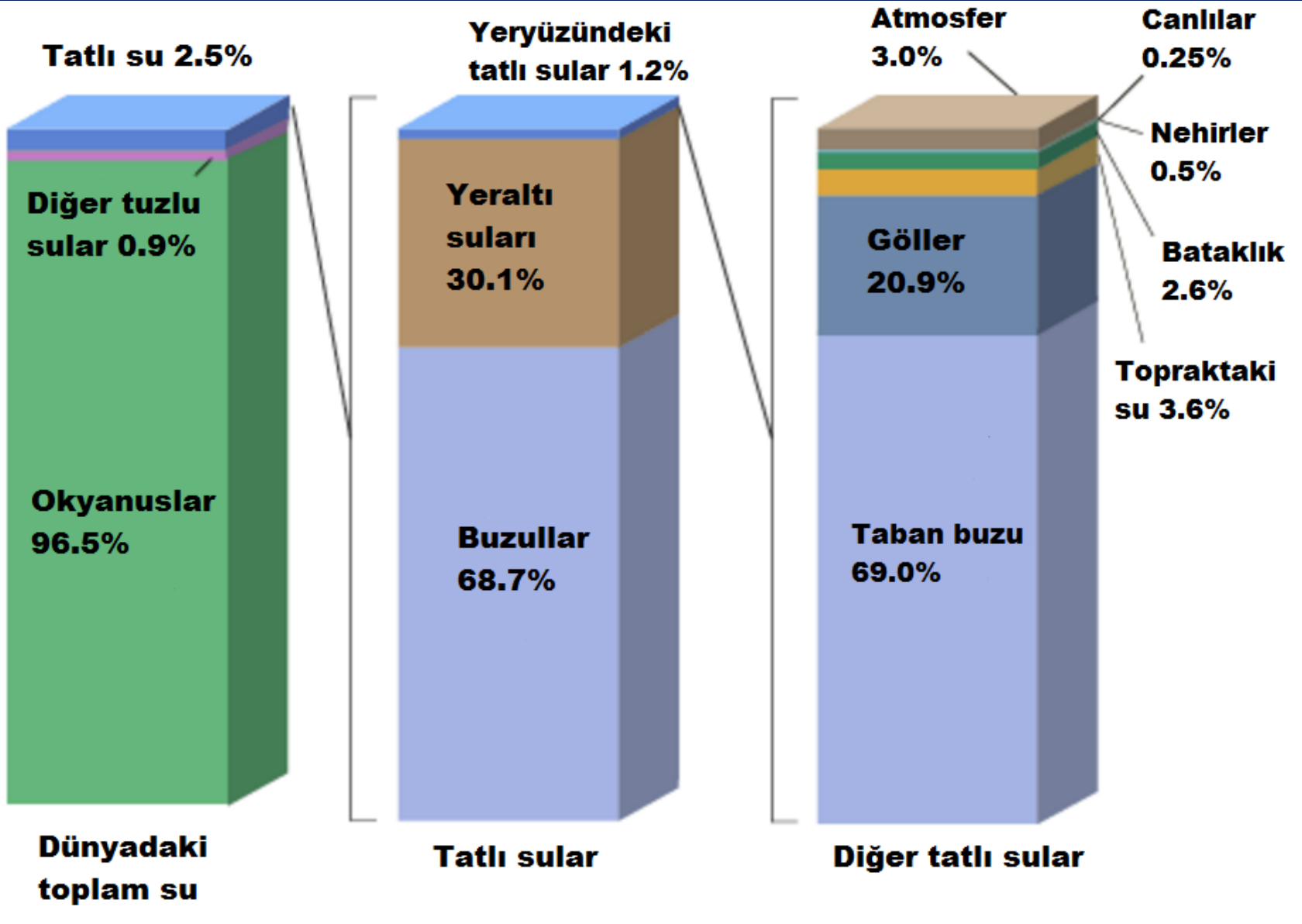
Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2011)
Türkiye Su Enstitüsü (2016)
Meteoroloji Genel Müdürlüğü (1937)

Küresel Su Döngüsü

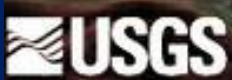
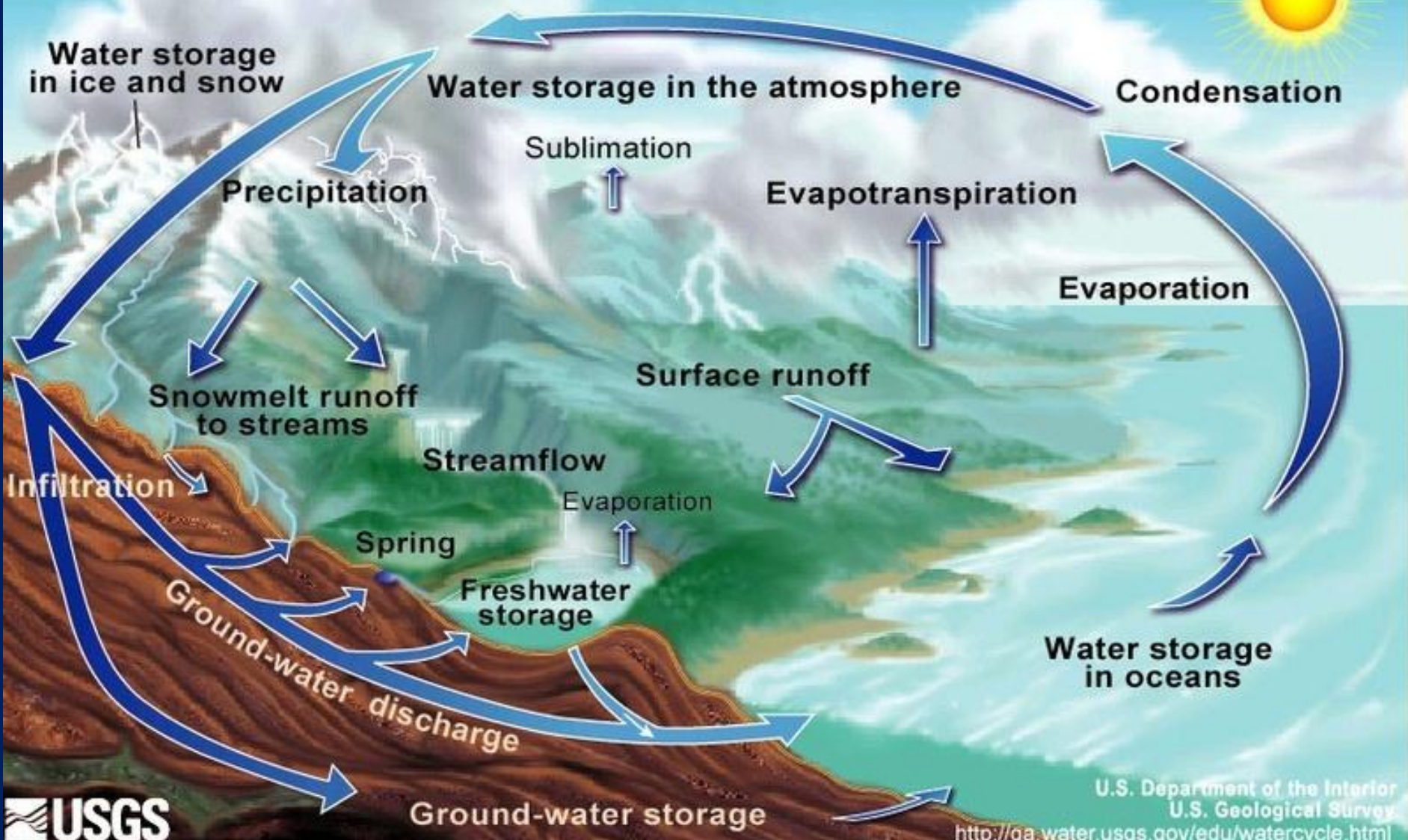
Küresel Su rezervuarları, akışlar ve yenilenme süreleri



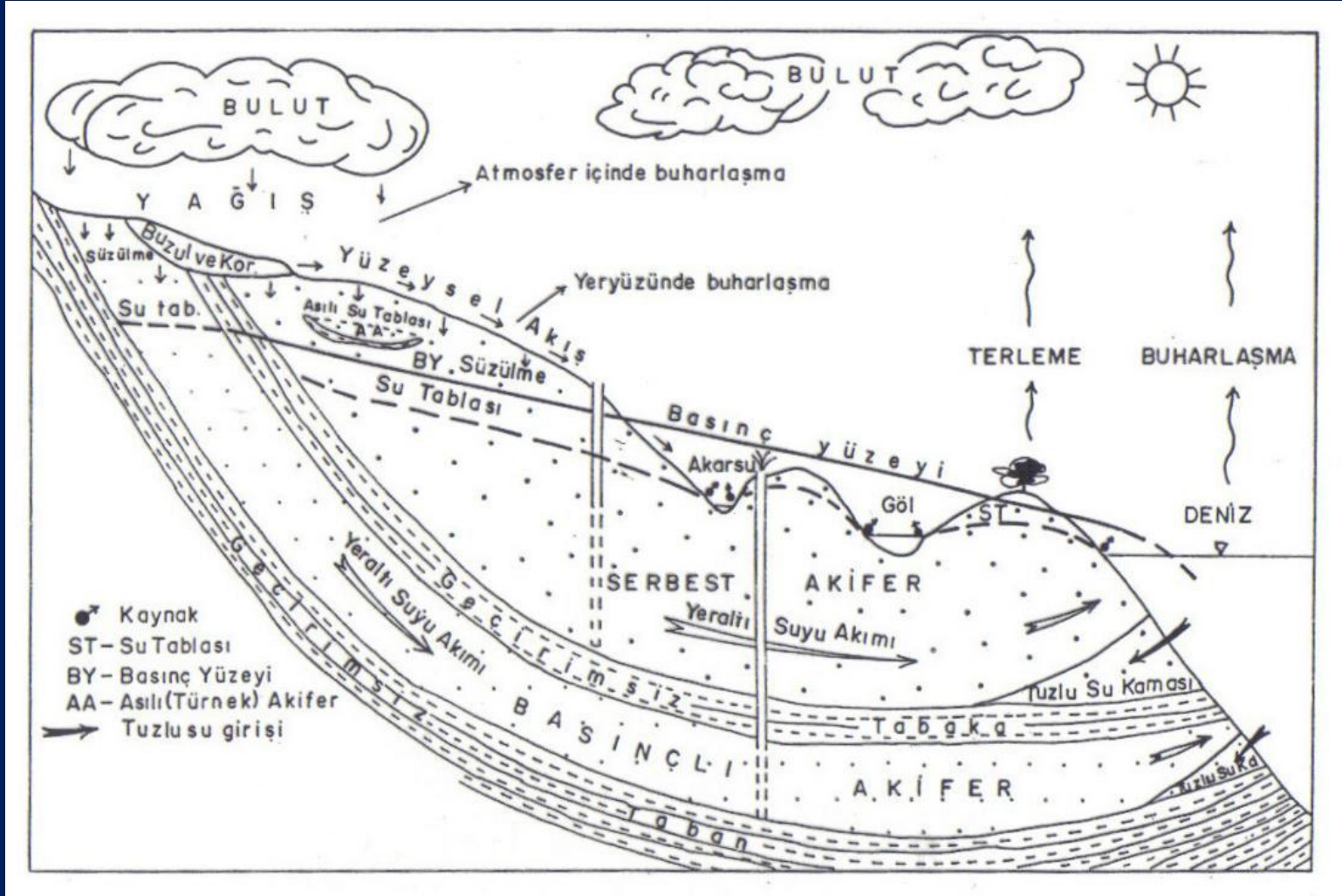
Rezervuarlara ait bilgiler [10³ km³], [%], yenilenme süresi



The Water Cycle



Hidrolojik Çevrim / Doğada suyun dönüşüm dolaşımı



TÜRKİYE'NİN SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ (DSİ, 2012)

YILLIK ORTALAMA YAĞIŞ : 643 MM/YIL

TÜRKİYE'NİN YÜZÖLÇÜMÜ : 783.577 KM²

YILLIK YAĞIŞ MİKTARI : 501 MİLYAR M³
BUHARLAŞMA : 274 MİLYAR M³
YERALTINA SIZMA : 41 MİLYAR M³

YÜZEYSEL SU
YILLIK YÜZEY AKIŞI : 186 MİLYAR M³
KULLANILABİLİR YÜZEY SUYU : 98 MİLYAR M³

YERALTISUYU
YILLIK ÇEKİLEBİLİR SU MİKTARI : 14 MİLYAR M³
TOPLAM KULLANILABİLİR SU : 112 MİLYAR M³

KULLANIM YERLERİ
TARIMDA KULLANILAN : 32 MİLYAR M³
İÇME SUYU İÇİN KULLANILAN : 7 MİLYAR M³
SANAYİDE KULLANILAN : 5 MİLYAR M³
TOPLAM KULLANILAN SU : 44 MİLYAR M³

Yararlanılabilecek kaynakların bir bölümü

Kitaplar

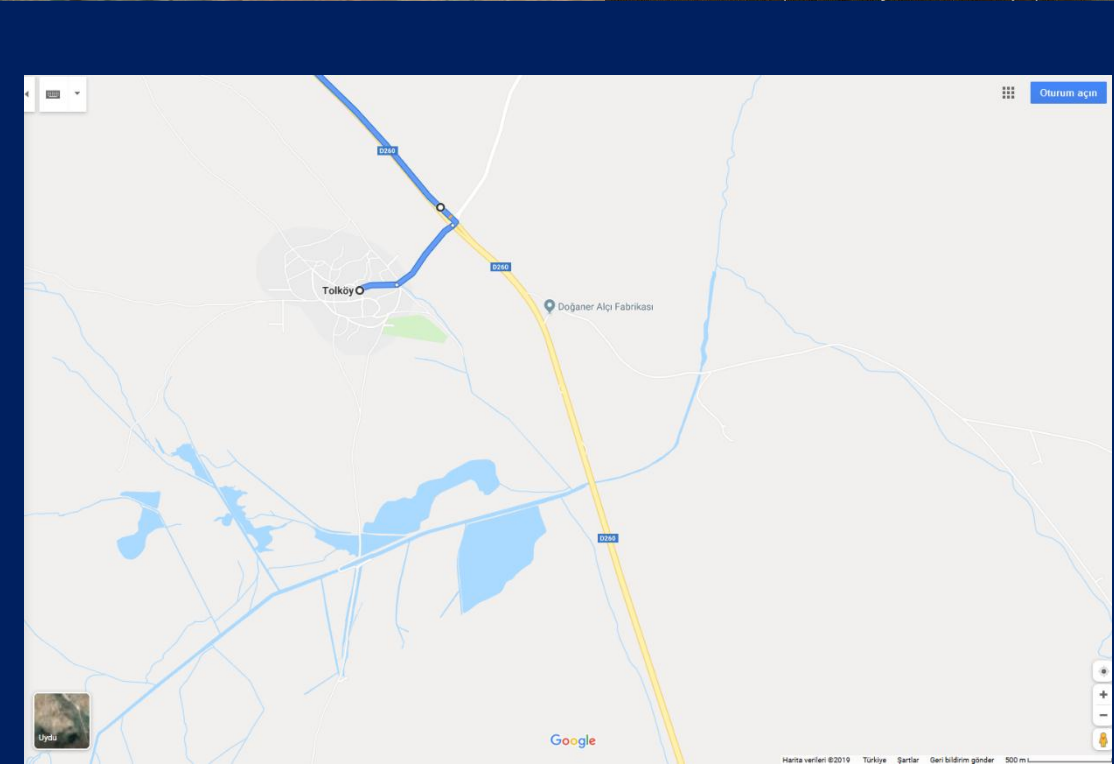
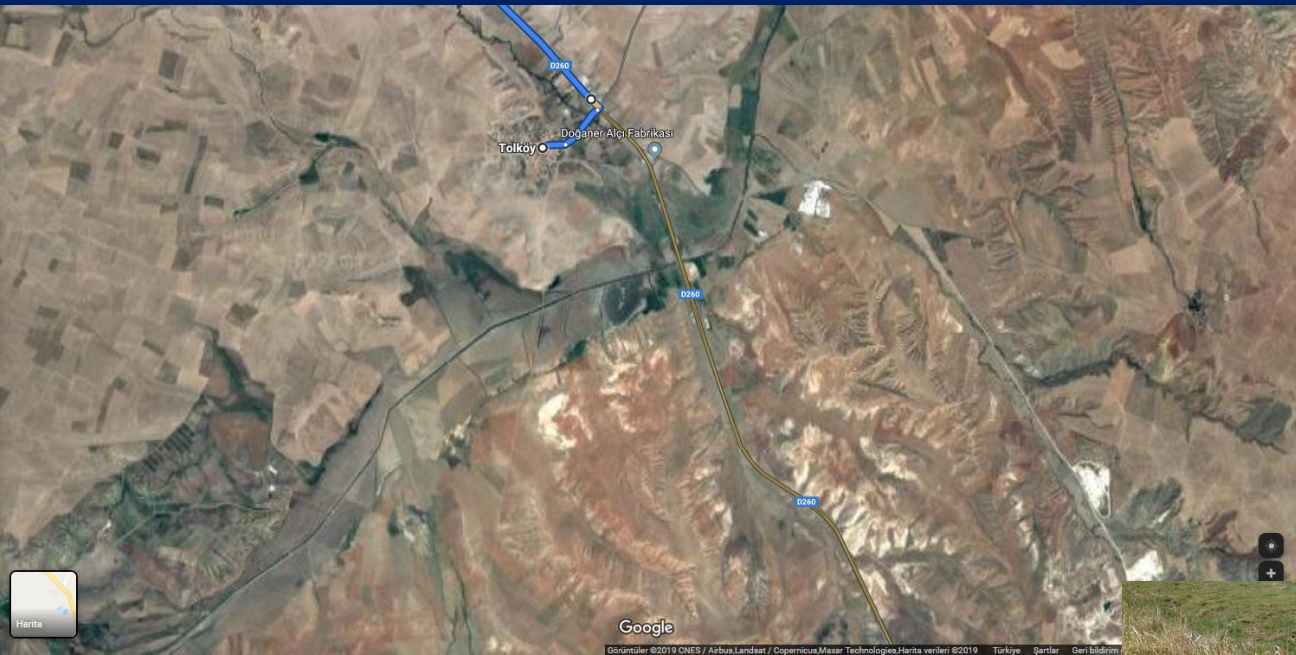
- Todd, DK, 1980. Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons, Second edition, New York.
- Domenico P A and Schwartz F W, 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York.
- Fetter CW. 1997. Applied Hydrogeology.
- Canik, B. 1998. Hidrojeoloji: Yeraltı sularının aranması, işletilmesi, kimyası. Jeoloji Müh. Bölümü, Birinci baskı, Ankara.
- Dingman, S.L. 2002. Physical Hydrology. Second Edition, USA.
- Şen, Z., 2003. Yeraltı suyu (Hidrojeoloji). Su Vakfı Yayınları, Özener Matbaacılık, İstanbul.
- Freeze and Cherry 1990. Groundwater (Hidrojeoloji).

Dergiler

Hydrogeology Journal, Ground Water, Environmental Earth Sciences...

Konu Başlıkları

- I- Hidrojeolojinin tarihçesi
- II- Kayaçların hidrojeoloji özellikleri (n, K, T, S)
- III- Akiferler
- IV- Uzun ve kısa süreli seviye değişimleri
- V- Hidrojeoloji haritaları
- VI- Debi ölçme yöntemleri
- VII- Deniz suyu (tuzlu su) girişimi
- VIII- Kaynaklar
- IX- Karstik kaynakların boşalım analizi
- X- Yeraltı suyu bilançosu
- XI- Yeraltı suyu kimyası
- XII- Su kalitesi ve kirliliği
- XIII- Hidrojeoloji incelemelerinde izlenecek yollar



Tolköy, 06720 Bala/Ankara
Çavuşlu, 06705 Çankaya/Ankara

Hızlı Ekle

Hemen kalkın

SEÇENEKLER

Telefonunuza yol tarifi gönderin

D260 üzerinden 10 dk.
En hızlı rota 8,8 km
AYRINTILAR

Keşfedin: Çavuşlu

Restoranlar Oteller Benzin Park Alanları Daha fazla istasyonlar



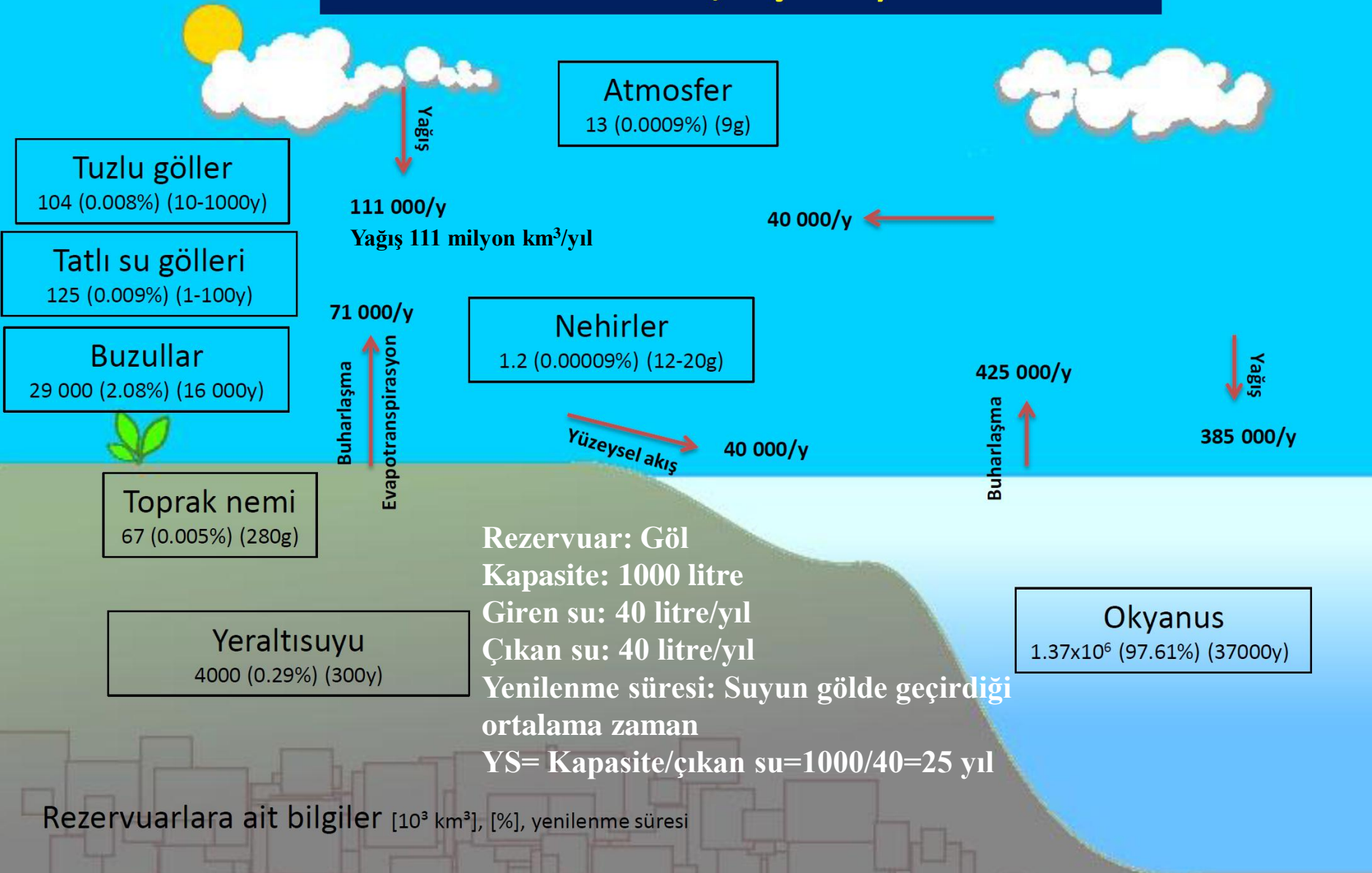
Hidrolik olarak aralarında bağlantı var mı?

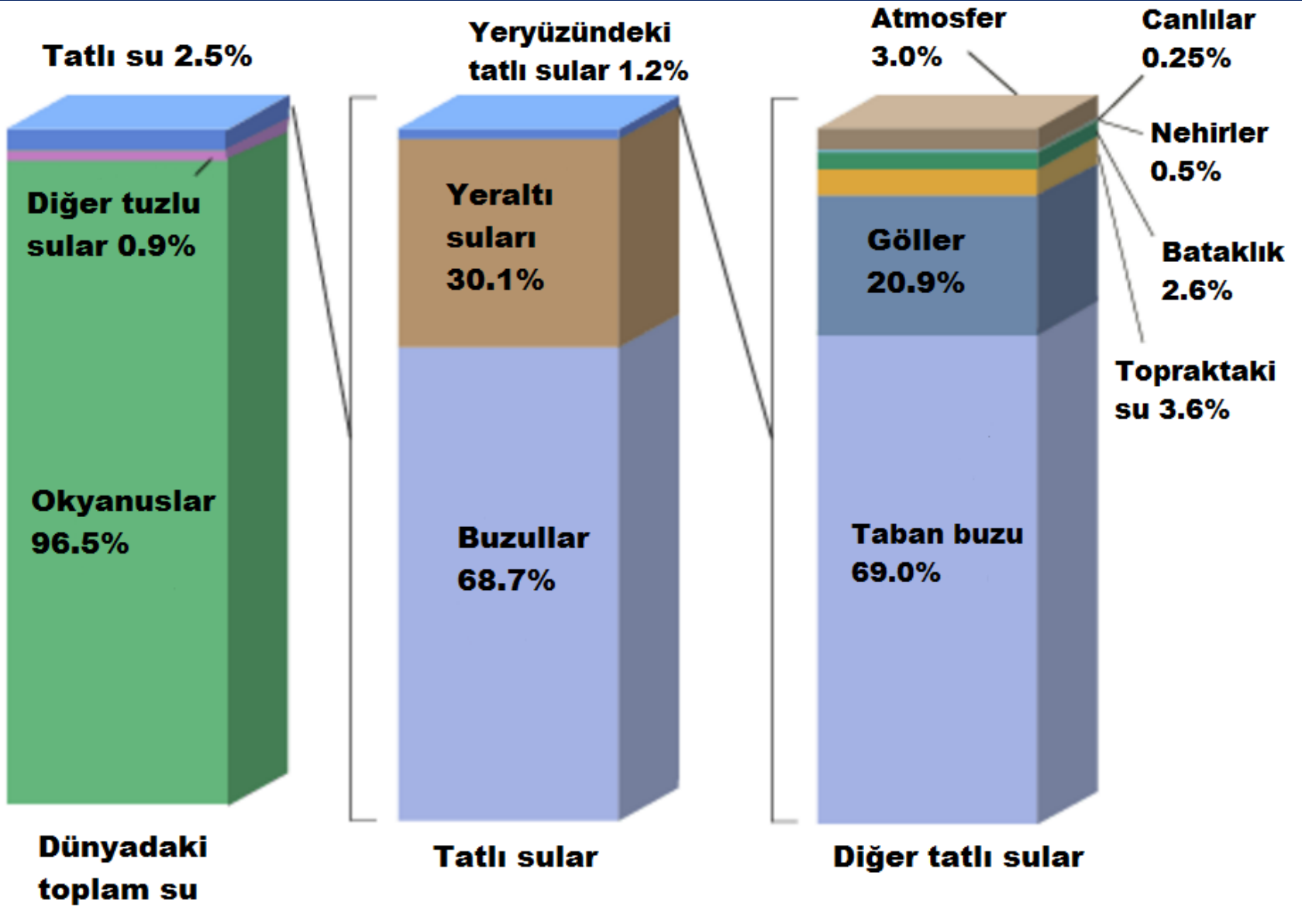


Kütahya Köprüören Havzası'nda bir kaynak

Küresel Su Döngüsü

Küresel Su rezervuarları, akışlar ve yenilenme süreleri





Sistem hidrolojik bütçesi

$$P - (Q_{\text{out}} - Q_{\text{in}}) - (E_s + E_g) - (T_s + T_g) - (G_{\text{out}} - G_{\text{in}}) = \Delta(S_s + S_g)$$

Net kütle değişimi ile

$$P - Q - G - E - T = \Delta S$$

Hidrolojik bütçe yeraltısuyu ile ilişkili ne tip çalışmalarda kullanılabilir?

- Göl-yaş ilişkisi
- Yüzey suyu- yaş ilişkisi vb.

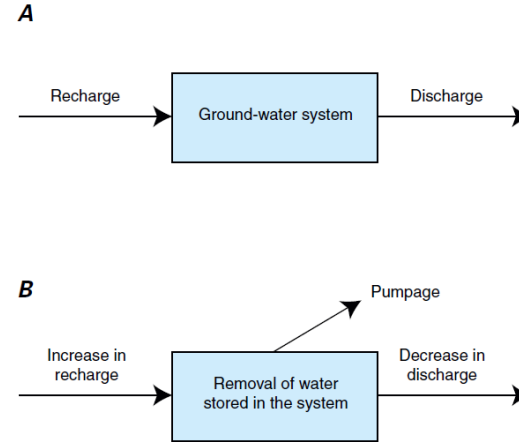
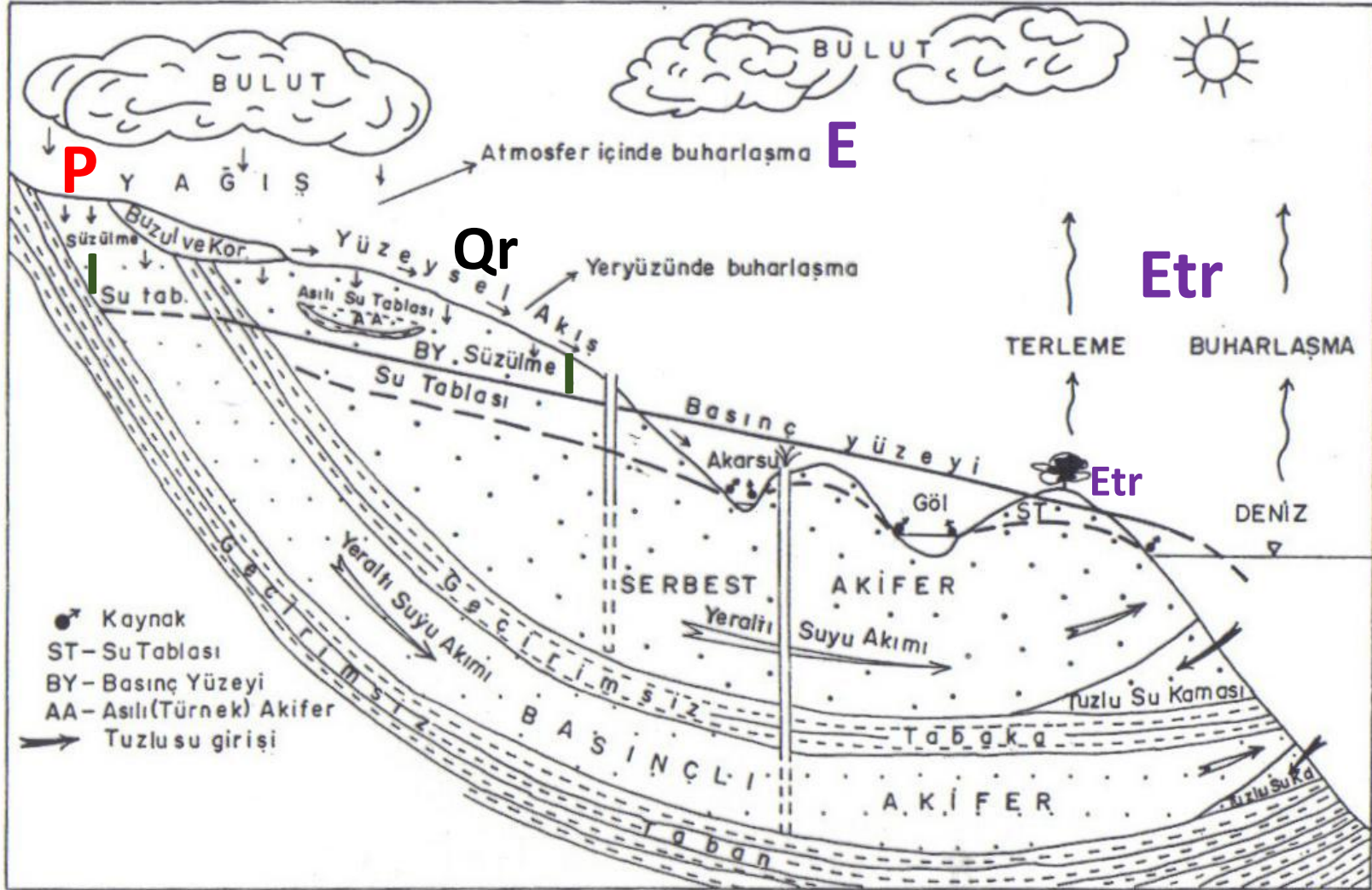


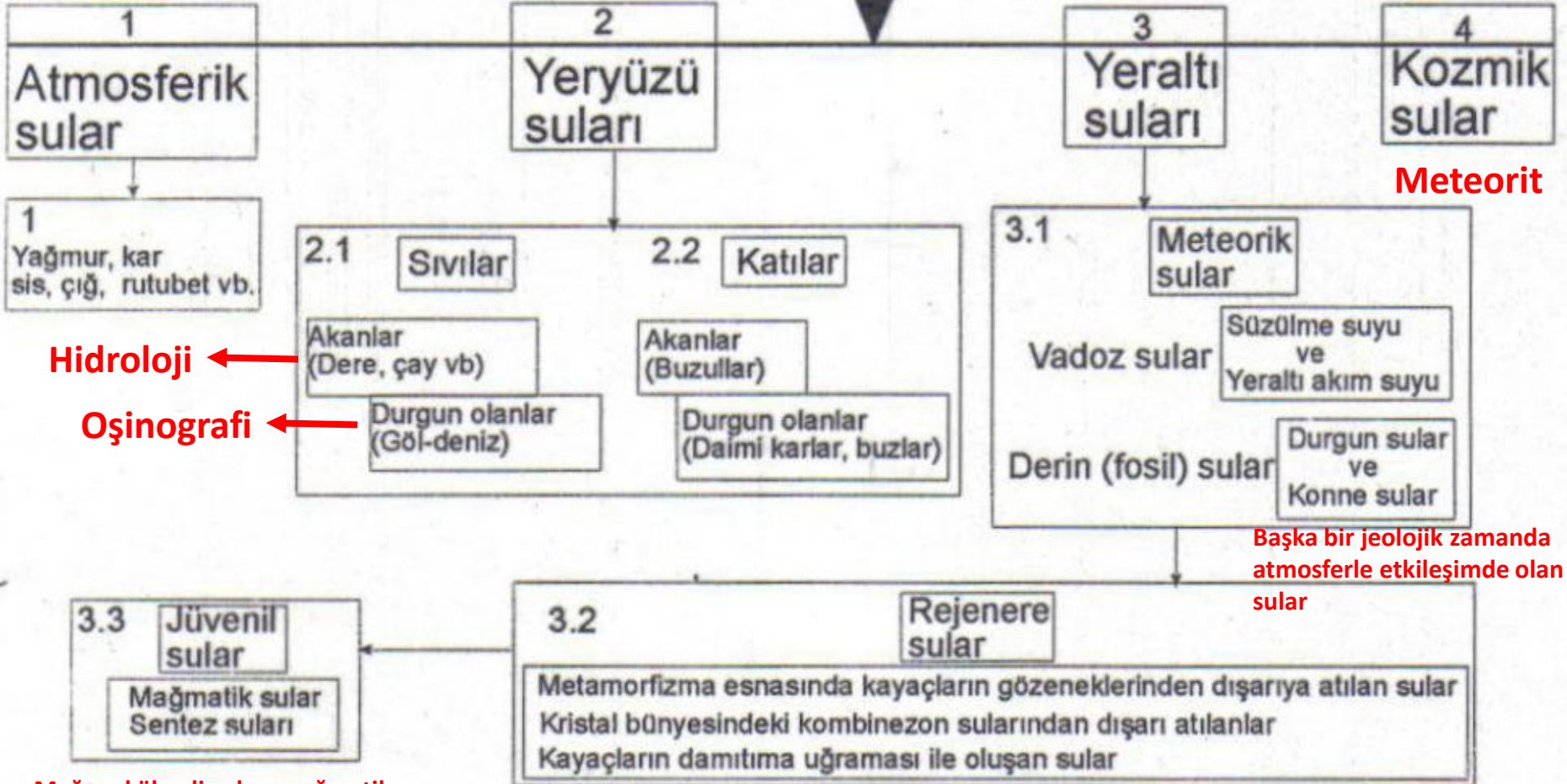
Figure 8. Diagrams illustrating water budgets for a ground-water system for predevelopment and development conditions.

(A) Predevelopment water-budget diagram illustrating that inflow equals outflow. (B) Water-budget diagram showing changes in flow for a ground-water system being pumped. The sources of water for the pumpage are changes in recharge, discharge, and the amount of water stored. The initial predevelopment values do not directly enter the budget calculation.

Hidrolojik Çevrim / Doğada suyun dönüşüm dolaşımı



SULARIN SINIFLANDIRILMASI

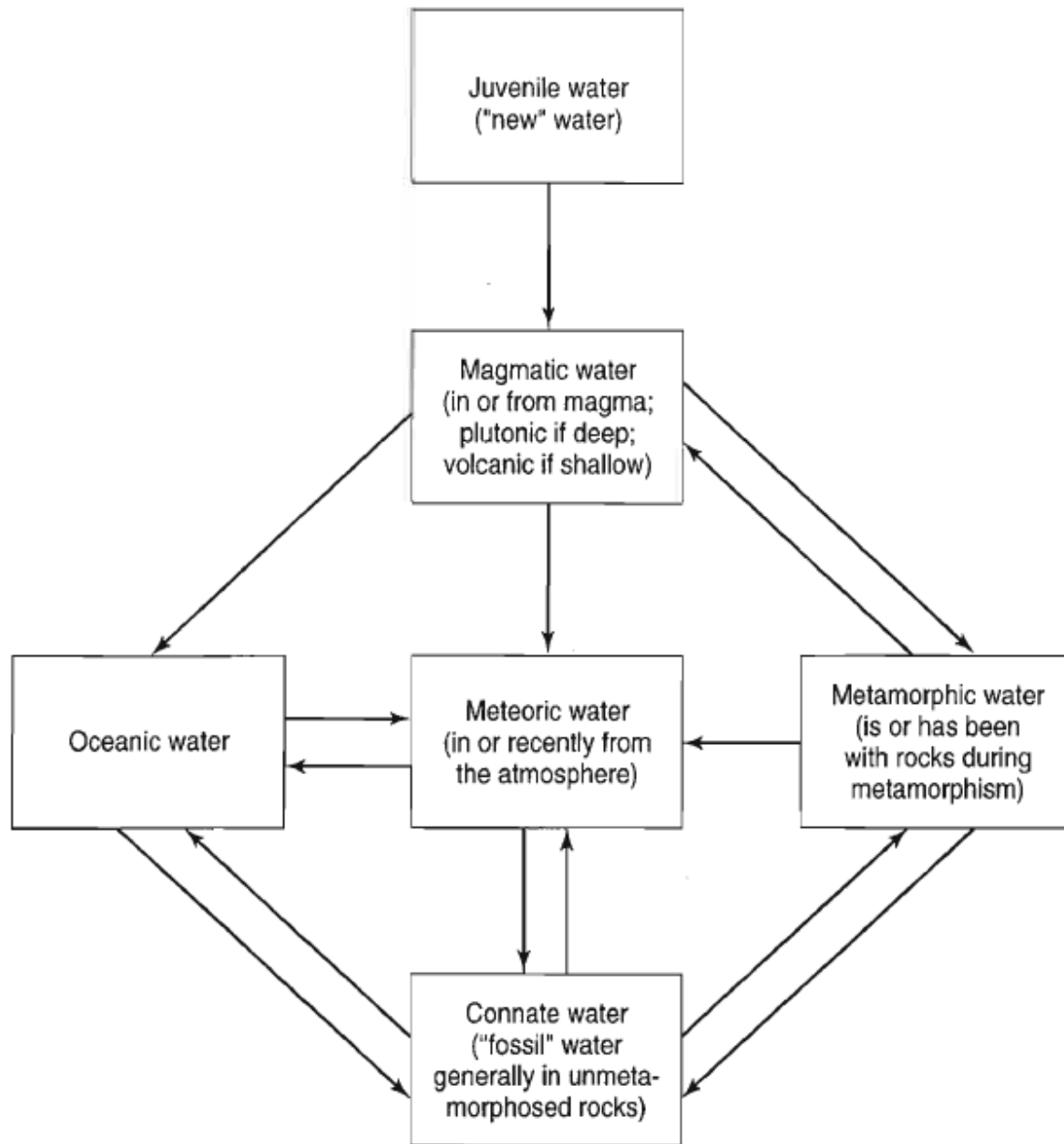


Hidroloji

Oşinografi

Başka bir jeolojik zamanda atmosferle etkileşimde olan sular

Mağma kökenli sular: mağmatik,
Mağmatik veya kozmik kökenli sular
önceden hidrosferin bir parçası değilse
jüvenil olarak adlandırılır.



Yararlanılabilecek kaynakların bir bölümü

Kitaplar

- Todd, DK, Mays, LW, 2005. Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons, Third edition, New York.
- Domenico P A and Schwartz F W, 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York.
- Fetter CW. 1997. Applied Hydrogeology.
- Canik, B. 1998. Hidrojeoloji: Yeraltı sularının aranması, işletilmesi, kimyası. Jeoloji Müh. Bölümü, Birinci baskı, Ankara.
- Dingman, S.L. 2002. Physical Hydrology. Second Edition, USA.
- Şen, Z., 2003. Yeraltı suyu (Hidrojeoloji). Su Vakfı Yayınları, Özener Matbaacılık, İstanbul.
- **Freeze and Cherry 1979. Groundwater**

Dergiler

Hydrogeology Journal, Ground Water, Environmental Earth Sciences...

Freeze ve biz 😊



Konu Başlıkları

- I- Hidrojeolojinin tarihçesi
- II- Kayaçların hidrojeoloji özellikleri (n, K, T, S)
- III- Akiferler
- IV- Uzun ve kısa süreli seviye değişimleri
- V- Hidrojeoloji haritaları
- VI- Debi ölçme yöntemleri
- VII- Deniz suyu (tuzlu su) girişimi
- VIII- Kaynaklar
- IX- Karstik kaynakların boşalım analizi
- X- Yeraltı suyu bilançosu
- XI- Yeraltı suyu kimyası
- XII- Su kalitesi ve kirliliği
- XIII- Hidrojeoloji incelemelerinde izlenecek yollar

KAYAÇLARIN HİDROJEOLOJİ ÖZELLİKLERİ

Hidrojeoloji özellikleri nelerdir? **Akifer tabakayı meydana getiren kayacın gözenekliliği, geçirimsilik, transmissivite, özgül verim, depolama katsayısı**

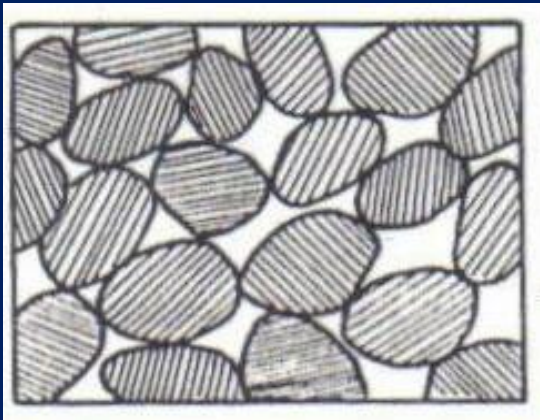
Gözeneklilik nedir ? Kayaçların içindeki boşlukların toplam hacminin tüm hacime oranı

Boşluk tipleri

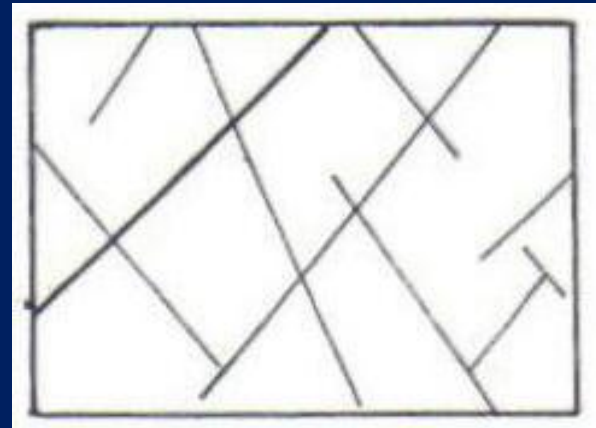
Kaynak: Canik, B. 1998. Hidrojeoloji, Ankara

I-Bağlantılı boşluklar- açık gözeneklilik

İki tip:



Taneler arası boşluklar
(kum, kmtş, çakıl vs.)



Erime, Çatlak, yarık vb boşlukları
Kçt, granit, bazalt

II-Bağlantısız boşluklar- kapalı gözeneklilik

Lavlardaki soğuma ve gazlardan oluşan kendi başına kabarcık şeklindeki boşluklar

HİDROJEOLOJİK OLARAK HANGİ BOŞLUK TİPİ ÖNEMLİDİR? NEDEN?

Bağlantılı boşluklar- Tanelerin yığılma ve sıkılanma derecesine göre değişir.

A-Gevşek yapıda- tane teması az (80-90% kadar çıkabilir)

B-Sıkı yapıda- tane teması çok fazla

B1-Basit gözeneklilik tane boyu benzer- boşluklar küçük taneler ile dolu değil

B2-Yarılanmış gözeneklilik

B3-Sıvalı gözeneklilik

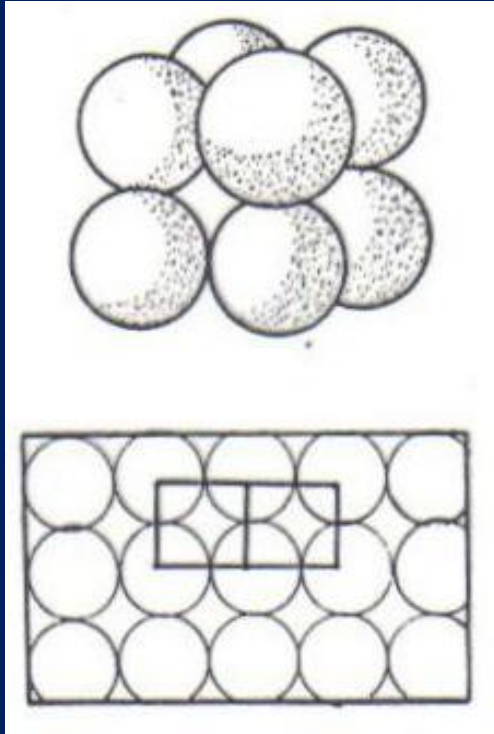
B4-İki katlı boşluk gözeneklilik

C-Büyük boşluk gözenekliliği- sedimanter veya volkanik kayac

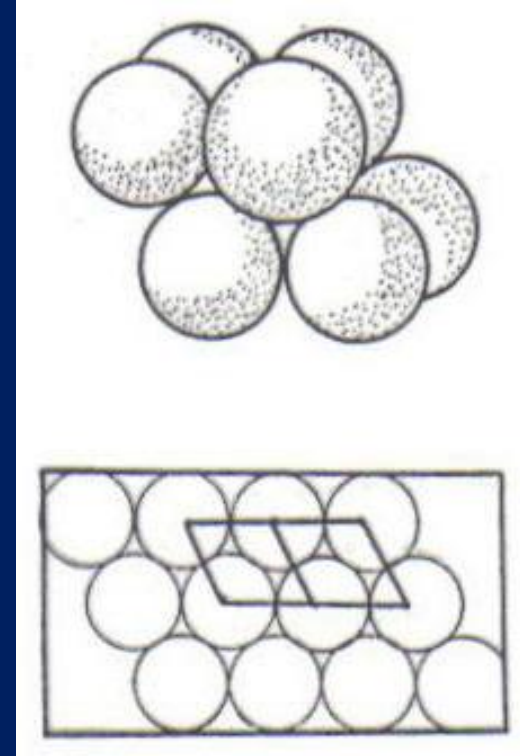
D-Yarık ve çatlak gözenekliliği

E-Kanal gözenekliliği

SIKI YAPIDA-BASİT GÖZENEKLİLİK



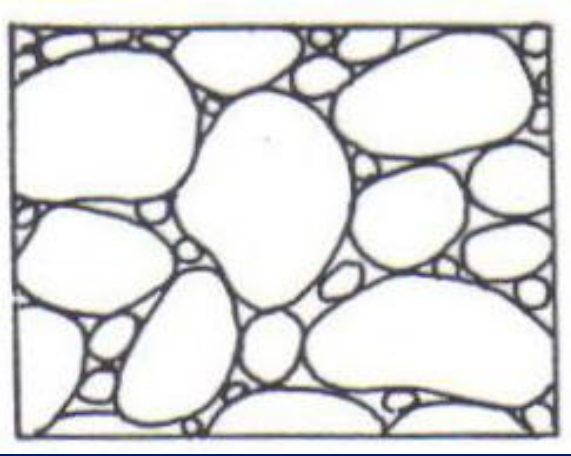
Kare düzeni (en gevşek durum)



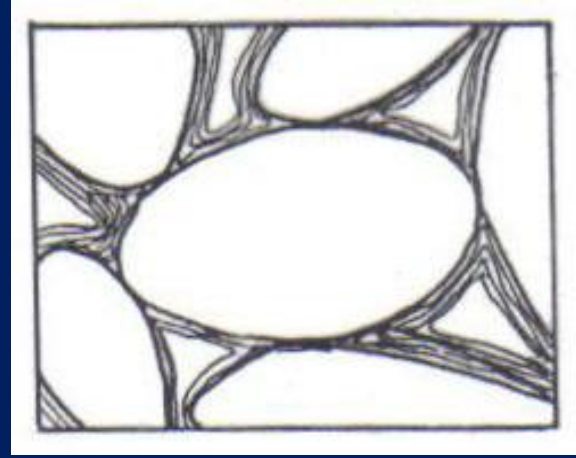
Eşkenar düzeni (en sıkı düzen)

GÖZENEKLİLİK TANE BOYUNA BAĞLI DEĞİL, TANELERİN SIKILANMA VE DÜZENİNE BAĞLI

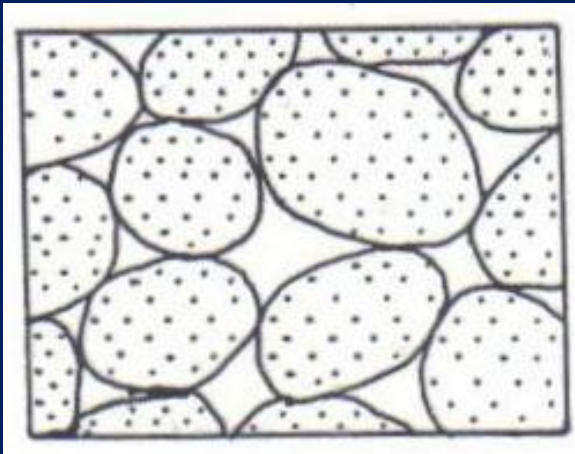
SIKI YAPIDA GÖZENEKLİLİK TÜRLERİ



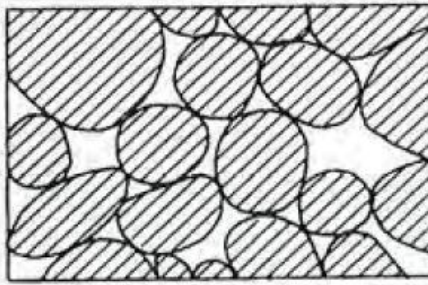
Yarılanmış Gözeneklilik
(çok iri taneler arasına ufaklar girmiş
ise- Gözeneklilik azalır.)



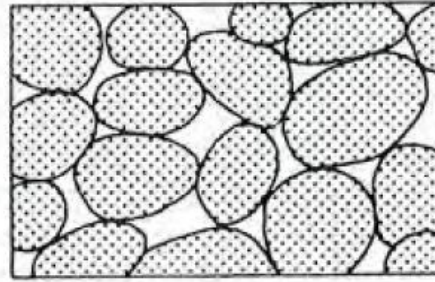
Sıvalı gözeneklilik (CaCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$,
 SiO_2 gibi sularda erimiş halde bulunan
maddeler tanelerin üzerine çökerse



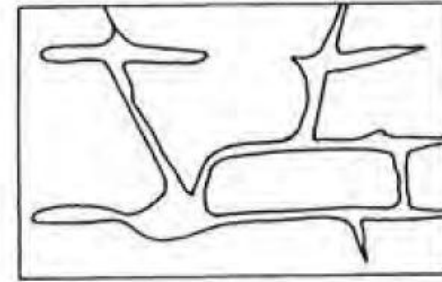
İki katlı boşluk
Gözenekliliği (tanelerin kendisi boşluklu- gözeneklilik çok yüksek.)



(a)

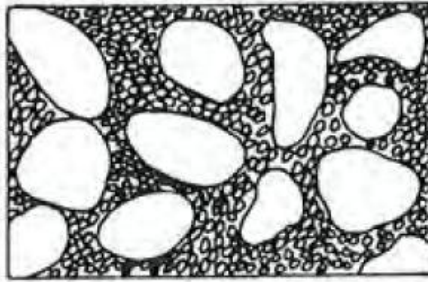


(c)

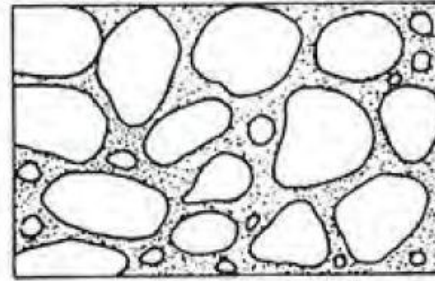


(e)

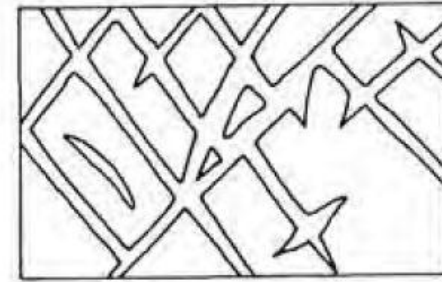
ikincil gözeneklilik



(b)



(d)

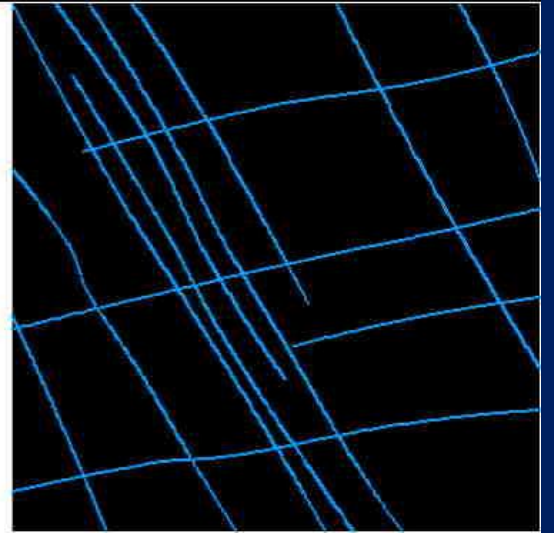
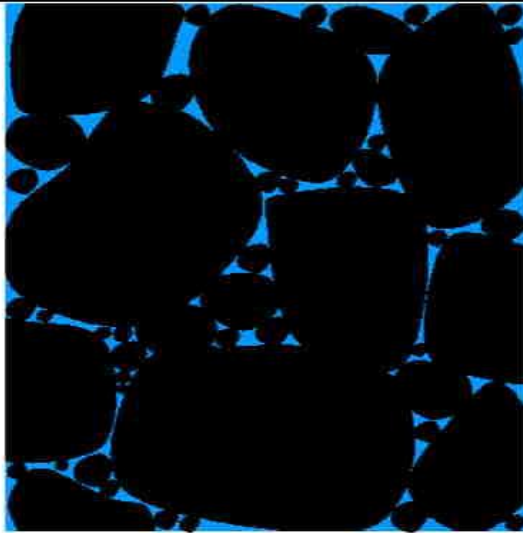
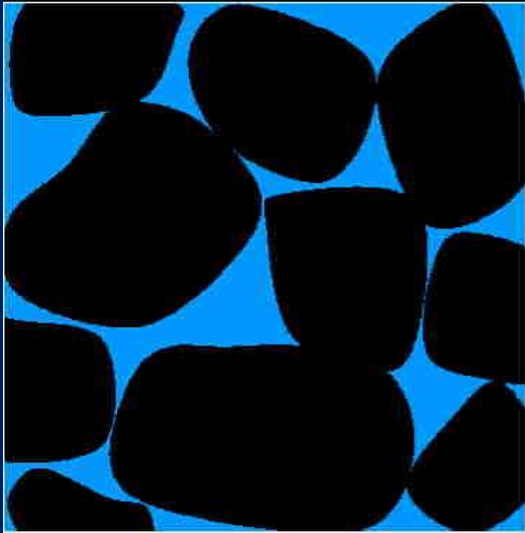


(f)

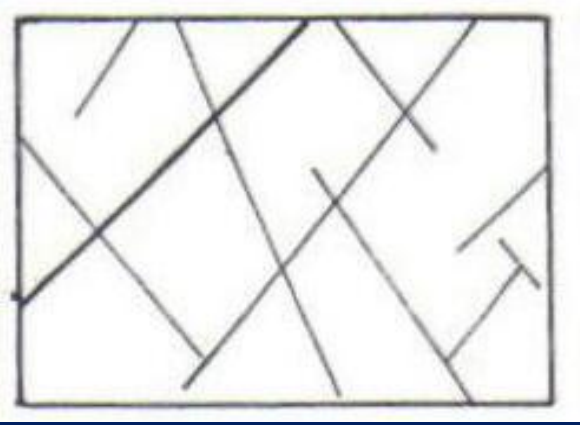
Figure 2.11 Relation between texture and porosity. (a) Well-sorted sedimentary deposit having high porosity; (b) poorly sorted sedimentary deposit having low porosity; (c) well-sorted sedimentary deposit consisting of pebbles that are themselves porous, so that the deposit as a whole has a very high porosity; (d) well-sorted sedimentary deposit whose porosity has been diminished by the deposition of mineral matter in the interstices; (e) rock rendered porous by solution; (f) rock rendered porous by fracturing (after Meinzer, 1923).

Freeze and Cherry
1979

Gözenekliliği sıralasak? A,b,c,d için



YARIK VE ÇATLAK-İKİNCİL GÖZENEKLİLİK



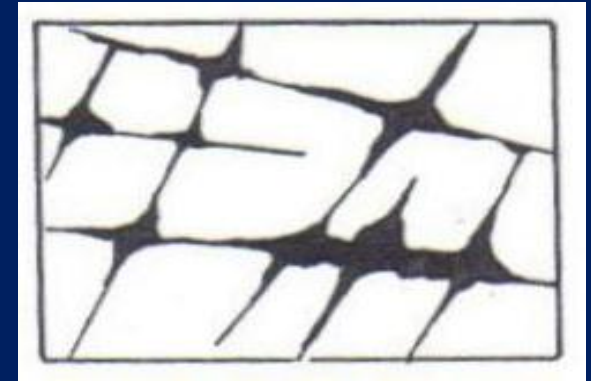
Çatlak, yarık vb boşlukları

Sedimanter kayaçlardaki yarık, çatlak, fay
Metamorfik kayaçlarda şistozite çatlakları
Erüptif kayaçların soğumaları sırasında

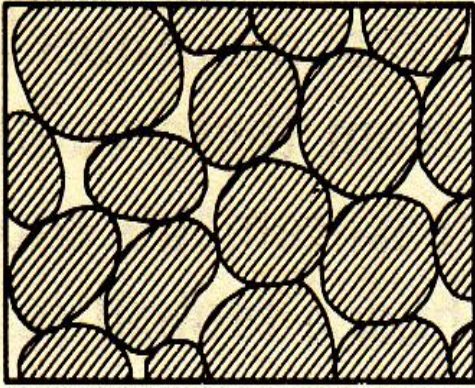
KANAL GÖZENEKLİLİĞİ

Kireçtaşı, dolomit vb. eriyebilen
kayaçlar

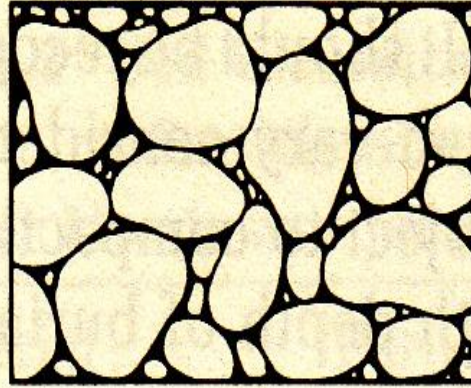
Oyuk, obruk, polye, mağara vb gibi
karsik yapılar oluşabilir.



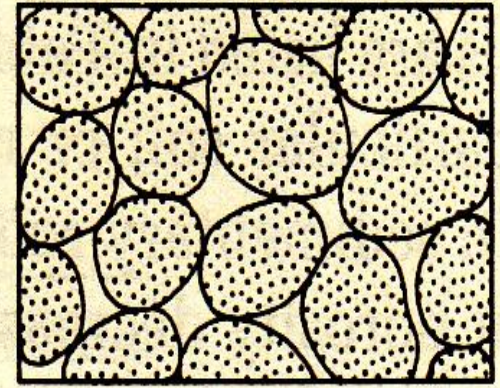
Erime boşlukları



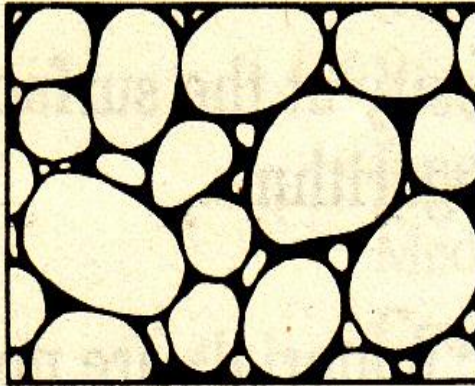
(a)



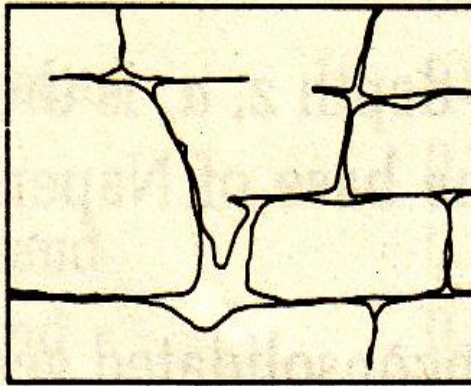
(b)



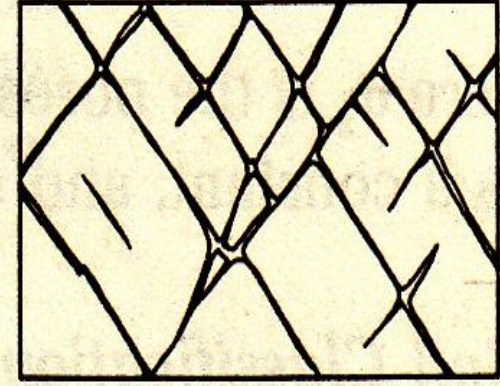
(c)



(d)



(e)



(f)

Gözeneklilik Tipleri (Todd ve Mays 2005'den alınmıştır)

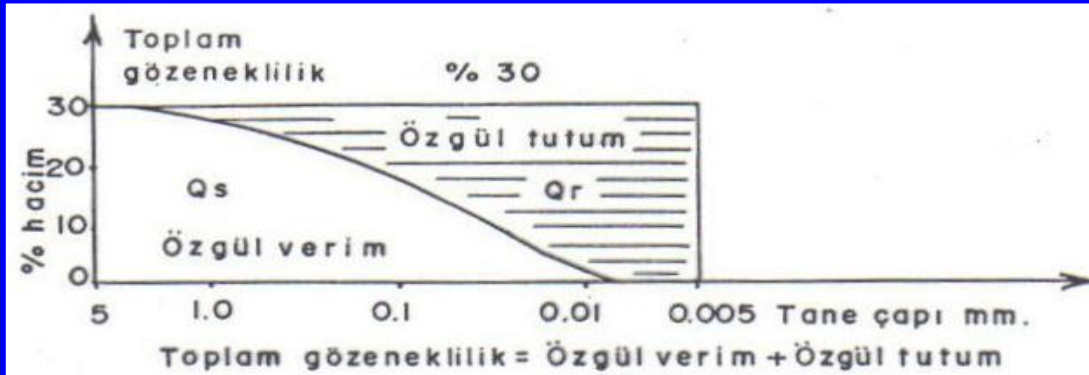
Gözeneklilik akiferde ne kadar su depolanabileceğini gösterir fakat bu suyun hepsi pompaj veya yerçekimi etkisiyle alınamaz.

Birim hacimdeki doygun bir akiferden yerçekimi etkisi ile ve kuyulardan pompaj yaparak alınabilen su **ÖZGÜL VERİM (ETKİLİ GÖZENEKLİLİK, EFEKTİF GÖZENEKLİLİK, DEPOLAMA KATSAYISI)**, alınamayan su **ÖZGÜL TUTUM** (yerçekimine karşı moleküler çekim, adhezyon kuvveti ve kapilarite ile akiferde tutulur).

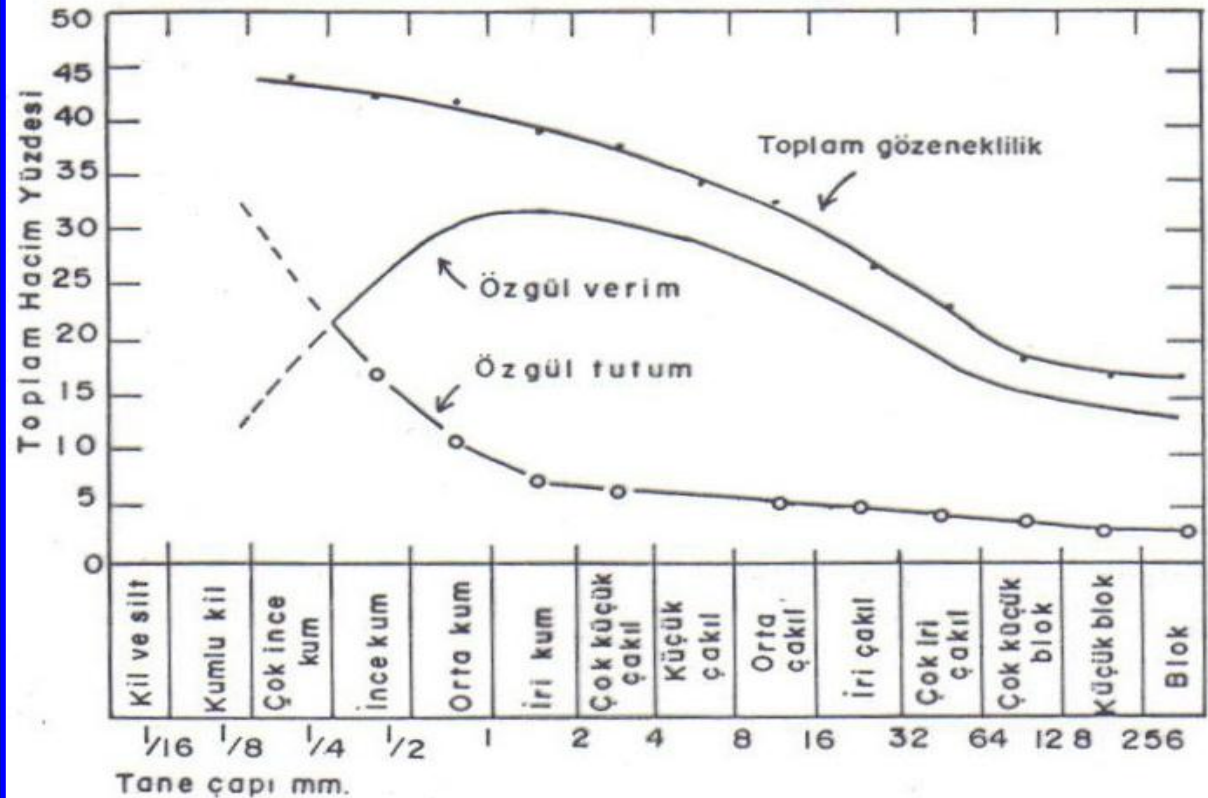
$$n=Q_s+Q_r$$

$$n= n_e+Q_r$$

Özgül Verim ve Özgül Tutum



Tane çapına
bağlı
gözeneklilik
değişimi



KAYAÇLARIN HİDROJEOLOJİ ÖZELLİKLERİ

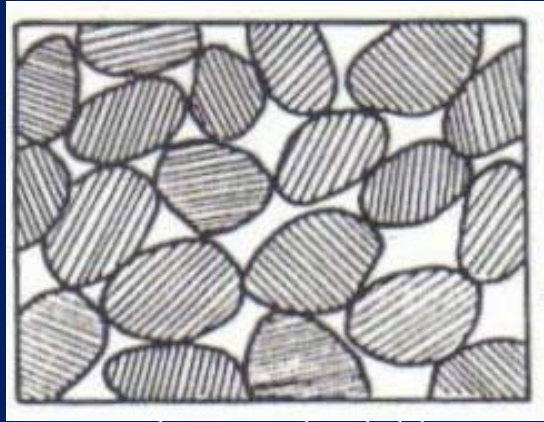
Hidrojeoloji özellikleri nelerdir? **Akifer tabakayı meydana getiren kayacın gözenekliliği, geçirimsilik, transmissivite, özgül verim, depolama katsayısı**

Gözeneklilik nedir ? Kayaçların içindeki boşlukların toplam hacminin tüm hacime oranı

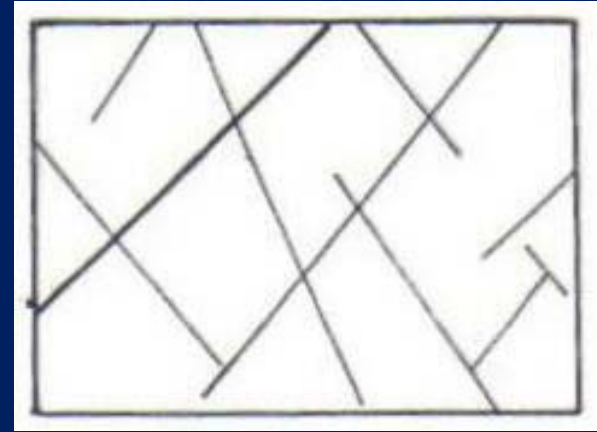
Boşluk tipleri

I-Bağlantılı boşluklar- açık gözeneklilik

İki tip:



Taneler arası boşluklar
(kum, kmts, çakıl vs.)



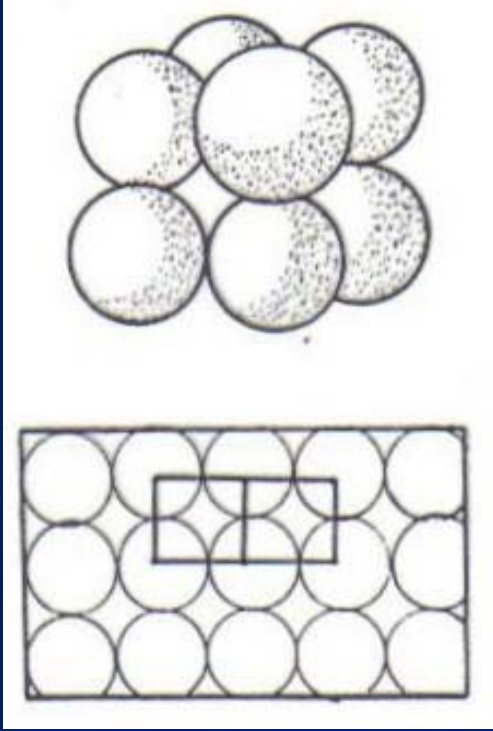
Erime, Çatlak, yarık vb boşlukları
Kçt, granit, bazalt

II-Bağlantısız boşluklar- kapalı gözeneklilik

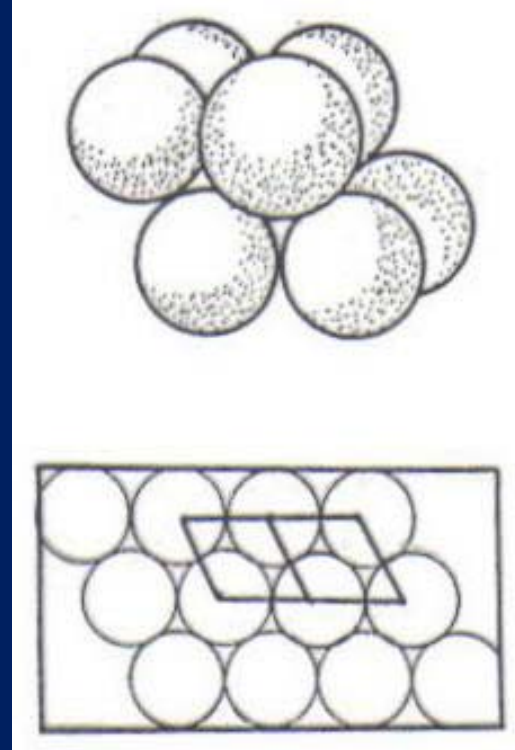
Lavlardaki soğuma ve gazlardan oluşan kendi başına kabarcık şeklindeki boşluklar

HİDROJEOLOJİK OLARAK HANGİ BOŞLUK TİPİ ÖNEMLİDİR? NEDEN?

SIKI YAPIDA-BASİT GÖZENEKLİLİK



Kare düzeni (en gevşek durum)



Eşkenar düzeni (en sıkı düzen)

GÖZENEKLİLİK TANE BOYUNA BAĞLI DEĞİL, TANELERİN SIKILANMA VE DÜZENİNE BAĞLI

Gözeneklilik akiferde ne kadar su depolanabileceğini gösterir fakat bu suyun hepsi pompaj veya yerçekimi etkisiyle alınamaz.

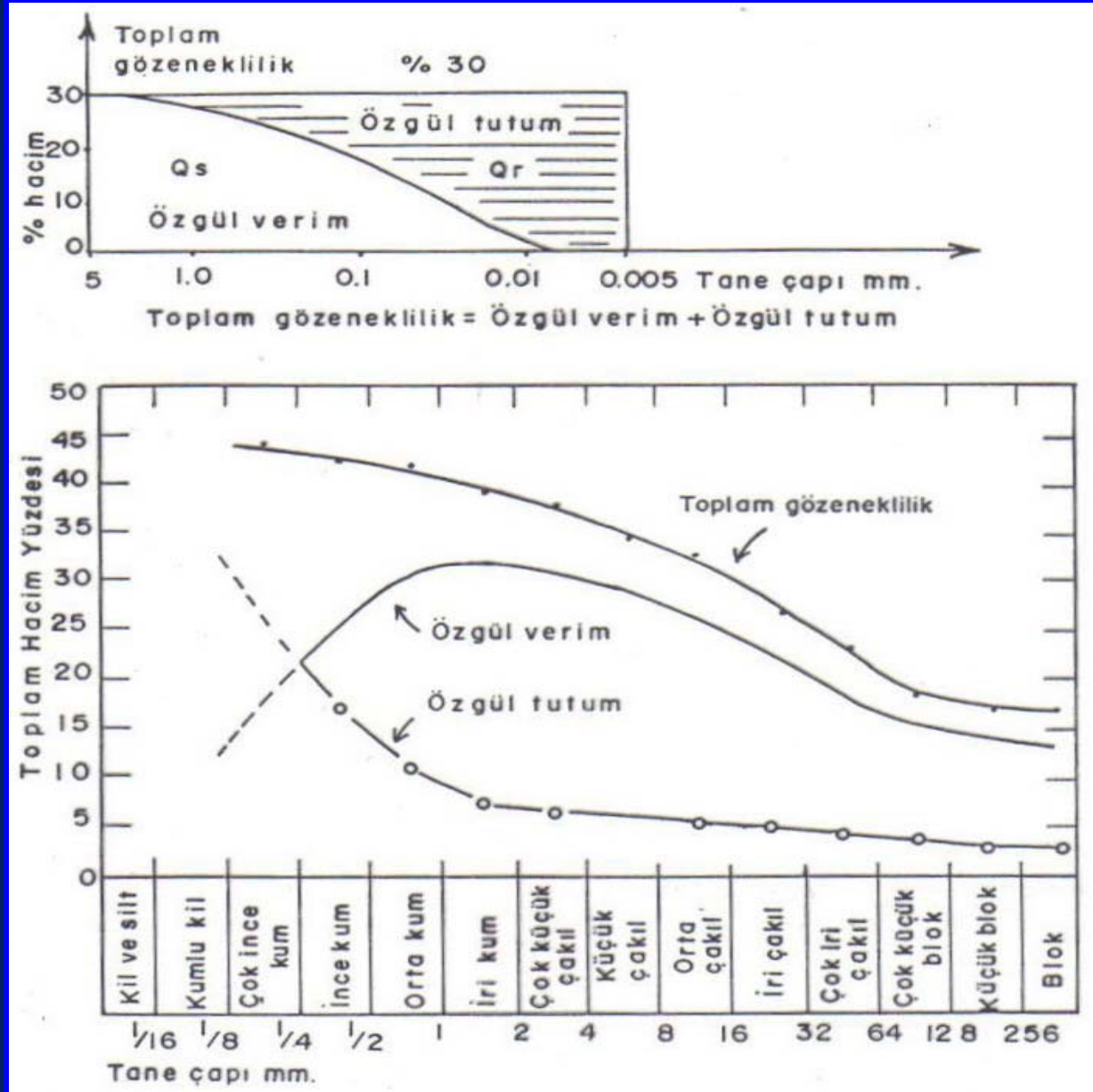
Birim hacimdeki doygun bir akiferden yerçekimi etkisi ile ve kuyulardan pompaj yaparak alınabilen su **ÖZGÜL VERİM (ETKİLİ GÖZENEKLİLİK, EFEKTİF GÖZENEKLİLİK, DEPOLAMA KATSAYISI)**, alınamayan su **ÖZGÜL TUTUM** (yerçekimine karşı moleküler çekim, adhezyon kuvveti ve kapilarite ile akiferde tutulur).

$$n = Q_s + Q_r$$

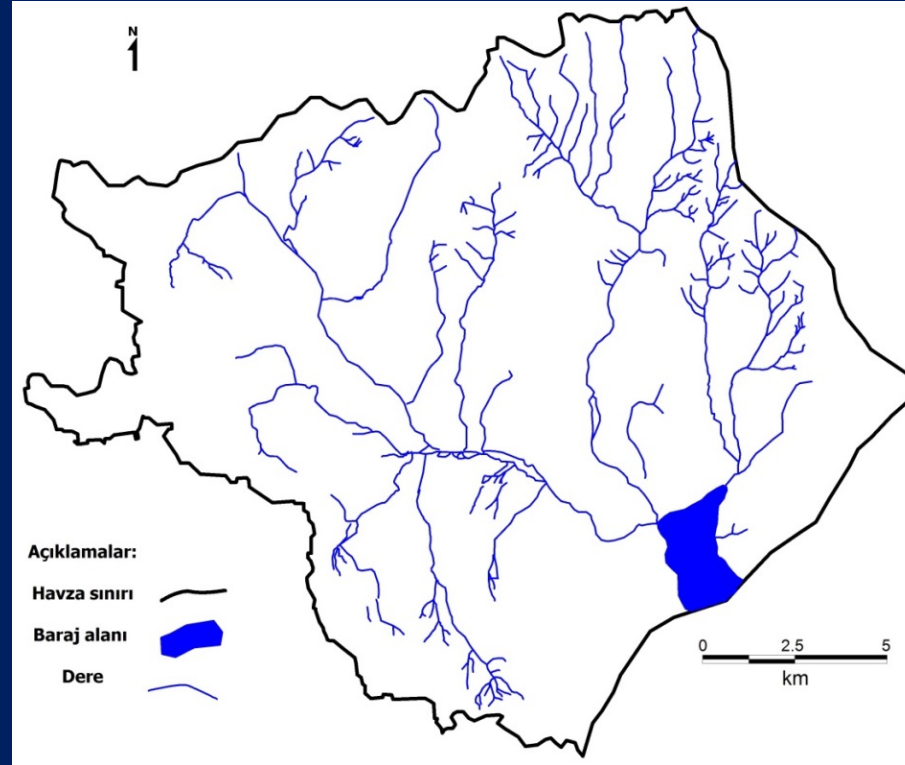
$$n = n_e + Q_r$$

Özgül Verim ve Özgül Tutum

Tane çapına bağlı gözeneklilik değişimi



•Şekil 1’de Köprüören Havzası’na ait drenaj alanı haritası verilmiştir. Havza alanı 275 km², baraj göl alanı ise 4.35 km²’dir. Havzaya 1 yılda düşen yağış miktarı Kütahya Meteoroloji İstasyonundan alınmış verilere göre 525 mm’dir. Yağışın yaklaşık %68’inin buharlaşma-terleme nedeniyle baraj alanına ulaşmadan kaybolduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, bir yılda havza dışına boşalan su miktarı 40x10⁶ m³ olarak hesaplanmıştır. Verilere göre baraj göl alanı içinde su seviyesinin 30 m yükselmesi için geçecek süreyi bulunuz. (10 puan)



Şekil 1. Köprüören Havzası (Kütahya) drenaj alanı

Su nedir? Neden özel bir maddedir?

Kimyasal yapısı: Kutupsal- Evrensel çözücü

Fiziksel Hali: Sıvı

Yoğunluk: $\rho_{\text{Sıvı}} > \rho_{\text{katı}}$

Kayaçlar içinde suyu dengede tutan kuvvetler

Kohezyon- su moleküllerinin karşılıklı olarak birbirlerini çekmesi

Adhezyon- su molekülleri ile sudan başka yabancı maddelerin molekülleri arasındaki çekim kuvveti- su moleküllerinin çevre yüzeylere tutunmasını sağlar.

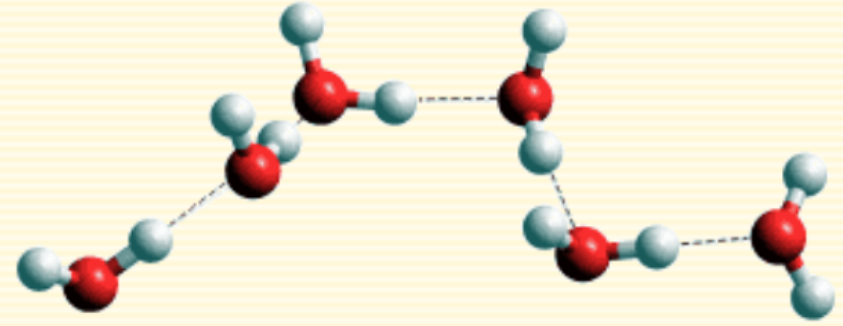
Yerçekimi- adhezyona zıt, su moleküllerinin kendi ağırlığından doğar

Atmosferin buhar basıncı- boşluklarda bulunan su buharı yeraltısuyu hareketine neden olabilir. Yoğuşma ile su tablası yükselir, buharlaşma ile azalır.

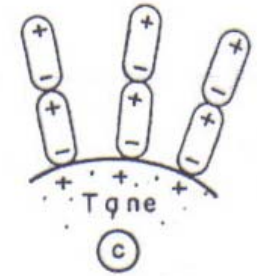
Yüzey gerilim kuvveti- bu kuvvet yerçekimi kuvvetine karşı koyarak su moleküllerinin çatlak ve kapiler boşluklarda yükselmesini sağlar.

Su molekülü zinciri

A chain of water molecules; a water wire



Su molekülleri



Adhezyon kuvveti

Yüzey gerilim kuvveti

Yerçekimine ters yönde suyun doygun kuşağın üst noktasından yukarıya doğru kılcal saçaklarda yükselmesi olayıdır.

Kılcal saçaklardaki yükselme, bir borudaki suyun yükselmesi gibidir. Bu nedenle boruda suyu aşağıya ve yukarıya doğru zorlayan kuvvetler eşitlenerek suyun yükselebileceği kritik yükseklik hesaplanabilir.

48 Chapter 2 Occurrence of Groundwater

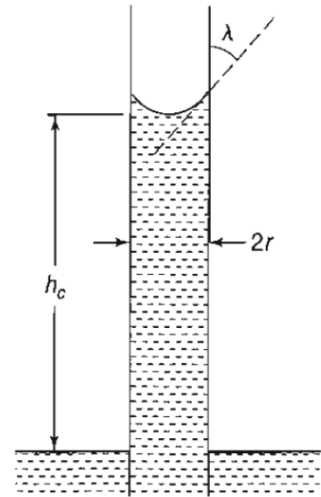


Figure 2.4.2. Rise of water in a capillary tube.

Suyun yüzey gerilimi ile yükselen suyun ağırlığı arasında denge durumunda:

$$h_c = \frac{2\tau}{r\gamma} \cos\lambda$$

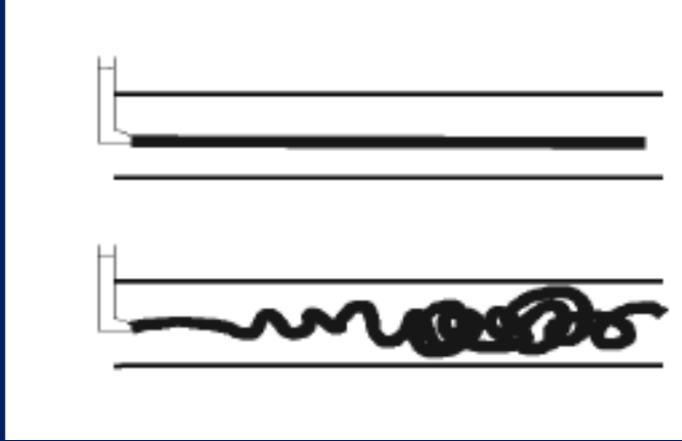
τ yüzey gerilimi, γ birim hacim ağırlığı
 r test tüpünün yarıçapı, λ menisküs ile tüp duvarı arasındaki açı

Basit bir örnek: Temiz bardakta duran saf su için $\lambda=0$, 20°C $\tau= 0.074 \text{ g/cm}$ $\gamma=1 \text{ g/cm}^3$
 r cinsinden h_c

Kapiler zon yüksekliği: Toprak veya kayaç gözenekliliği ile ilgili

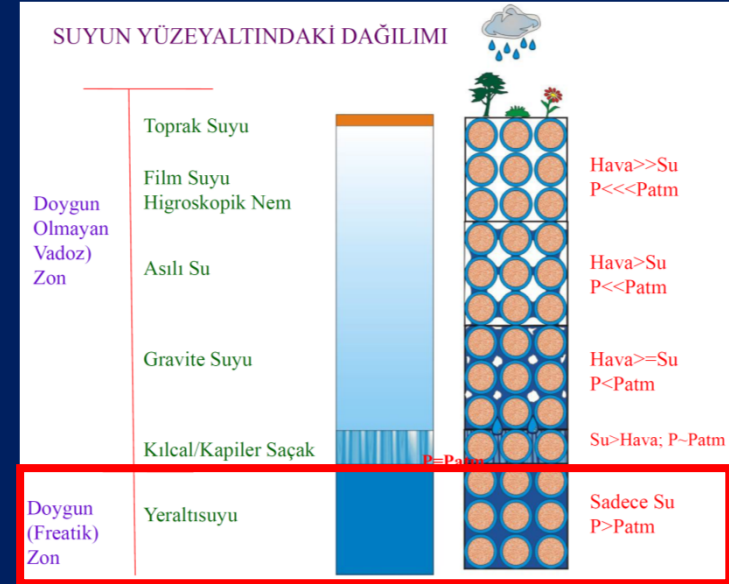
Doygun ortamda suyun hareketi

İki tip su akımı- AKIM HIZINA BAĞLI!!
Laminar ve türbülanslı akımlar ?

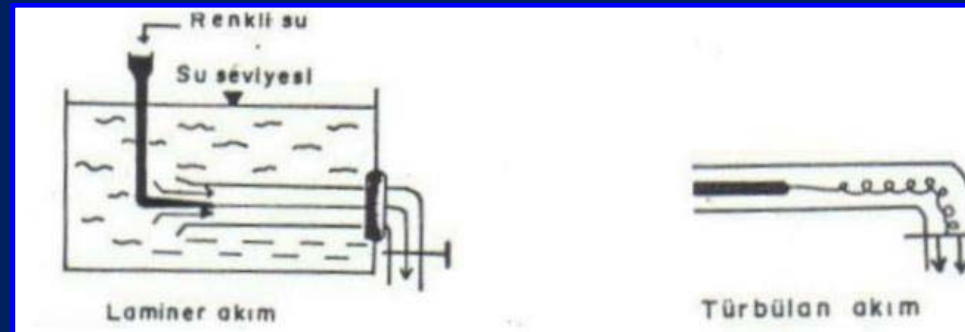


Laminar akım- akım
iplikçikleri paralel,
akım çok yavaş

Türbülans akım- kaotik
bir yapıda akım,
laminara göre hız fazla



Reynolds deneyi ?



Laminar rejim üst kritik hızdan itibaren türbülanslı rejime geçer

Gözenekli ortamda ve açık kanallarda Laminar ve Türbülân akımlar

Gözenekli ortam
(Porous Medium)

$$R_{pm} = (\rho \cdot V \cdot d) / \mu = (V \cdot d) / \nu,$$

Burada, V: Darcy hızı, d: ortamı oluşturan tanelerin ortalama çapı (=2r).

Bu akımlar eğer,

$R_{pm} < 1$ ise akım laminar,

$R_{pm} > 10$ ise türbülân,

$1 < R_{pm} < 10$ ise laminar ve türbülân arasında geçiştir.

Açık kanal
(Open Channel)

$$R_{oc} = (\rho \cdot U \cdot Y) / \mu = (U \cdot Y) / \nu,$$

Burada, U: ortalama akım hızı, Y: ortalama akım derinliği.

Bu akımlar eğer,

$R_{oc} < 500$ ise akım laminar,

$R_{oc} > 2000$ ise türbülân,

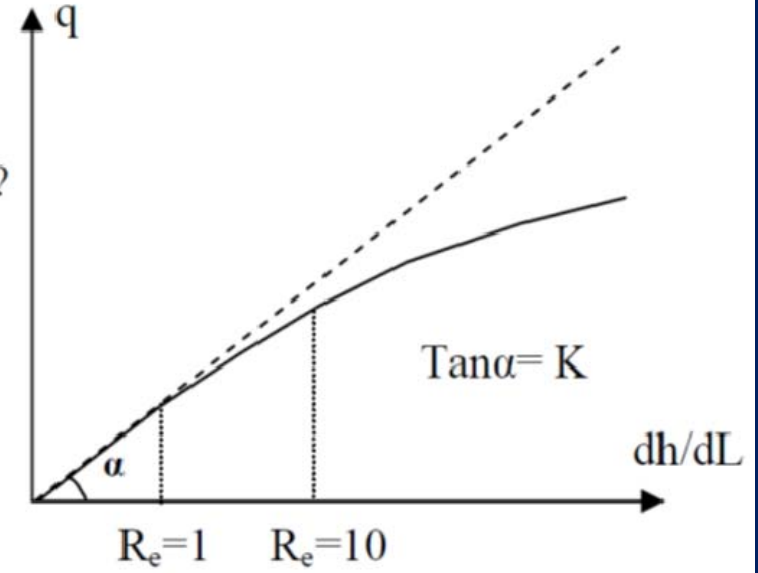
$500 < R_{oc} < 2000$ ise laminar ve türbülân arasında geçiştir.

Yeraltısuyu akım sistemleri için,

$Re \leq 1$ Laminar akım \longrightarrow Darcy kanunu geçerli

$1 < Re \leq 10$ Geçiş zone \longrightarrow Darcy kanununun geçerliliği ?

$Re > 10$ Türbülanslı akım \longrightarrow Darcy kanunu geçersiz.



Debi nedir?

Birim kesit alanından birim zamanda geçen su miktarı

Öncelikle akarsularda debi $Q=V \cdot A$

gözenekli bir ortamdaki yeraltısuyu için

Darcy Yasası...

GEÇİRİMLİLİK

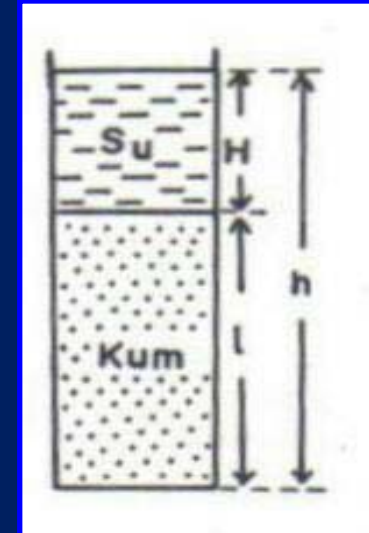
(Hidrolik iletkenlik= Permeabilite)

(Hydraulic conductivity=Permeability)

Darcy Yasası

(1856)

$$Q = K * A * \frac{h}{l}$$



Hidrolik iletkenlik?

Darcy katsayısı?

Hidrolik yük?

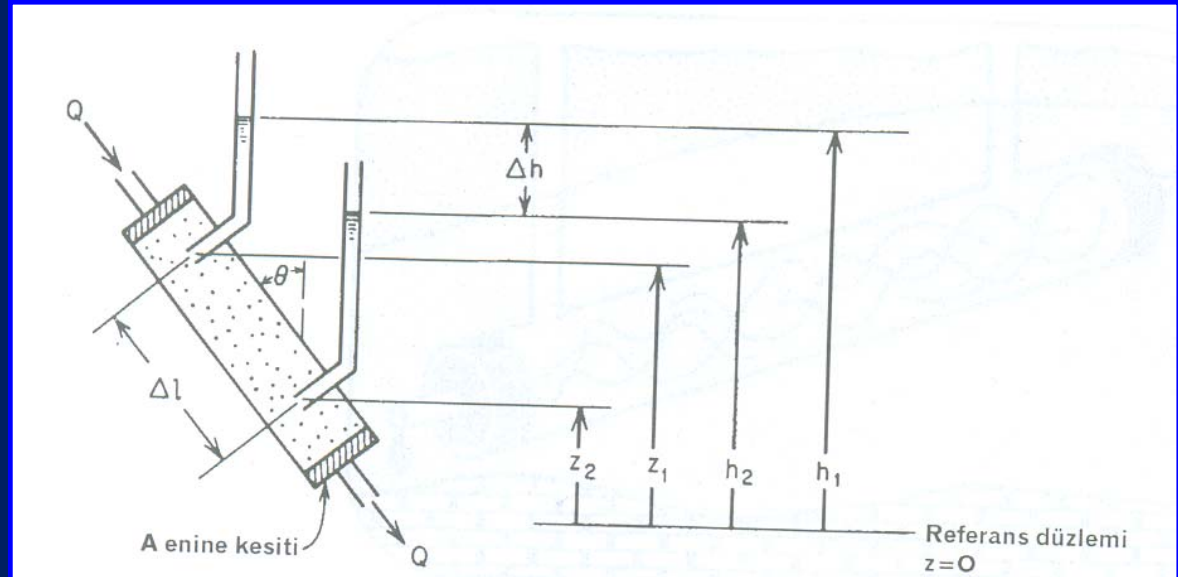
Hidrolik yük farkı?

Hidrolik gradyan(=hidrolik eğim)?

Yeraltısuyu akım yolu uzunluğu?

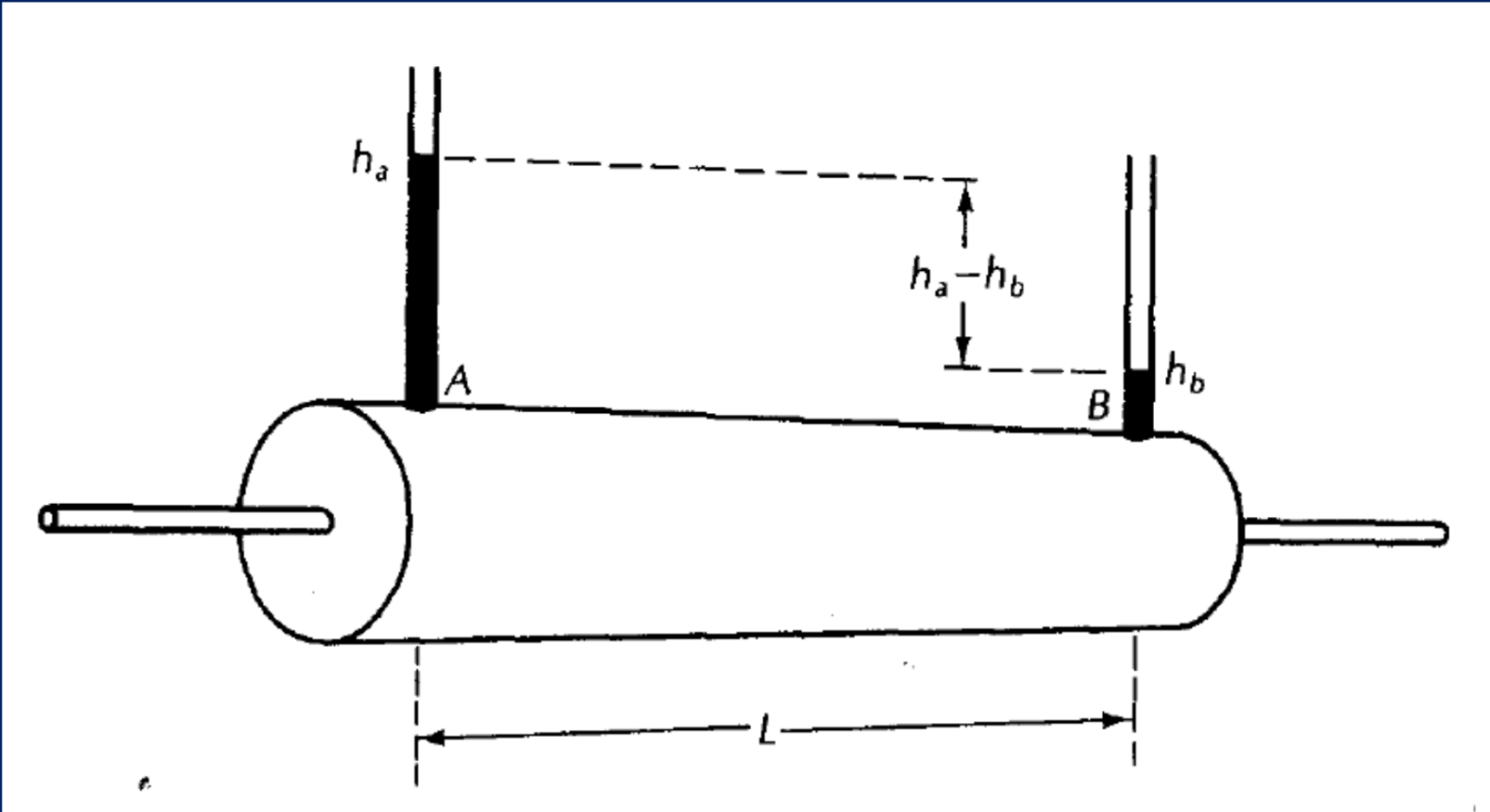
Laminar akım?

Kesit alanı?



Darcy düzeneği

Darcy, gözenekli ortamda su akımının **yükteki azalma** ile doğru orantılı ve katedilen akım **uzunluğu** ile ters orantılı olduğunu ispatlamıştır.



$$Q = K * A * \frac{h}{l}$$

Akım yolu üzerinde birim mesafedeki yük kaybı
Bernoulli Denklemi!!

$$K = \frac{\gamma}{\mu} * k$$

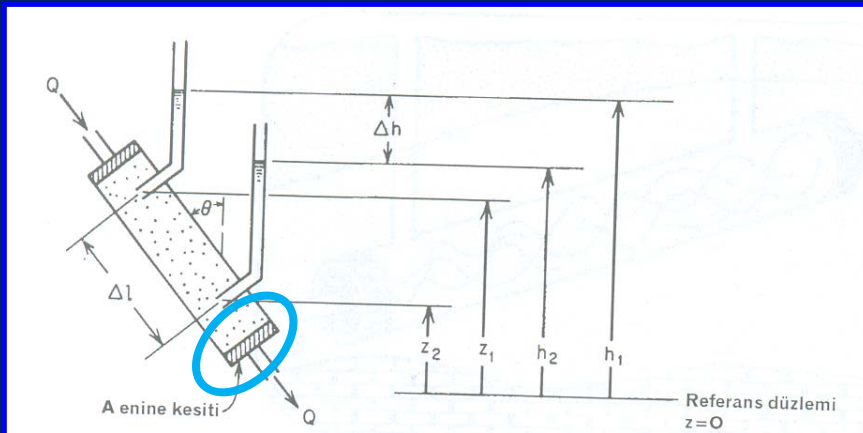
20.3 °C'da 1'e eşit
20 °C'da 0.993'e eşit
21 °C'da 1.018'e eşit

K= Darcy katsayısı m/s

k= geçirgenlik katsayısı m/s

γ = Suyun birim hacim ağırlığı N/m³

μ = Suyun viskozitesi N.s/m²



Hidrolik eğim-Hidrolik gradyan

(Birim mesafedeki hidrolik yük kaybı)

Bernoulli denklemi

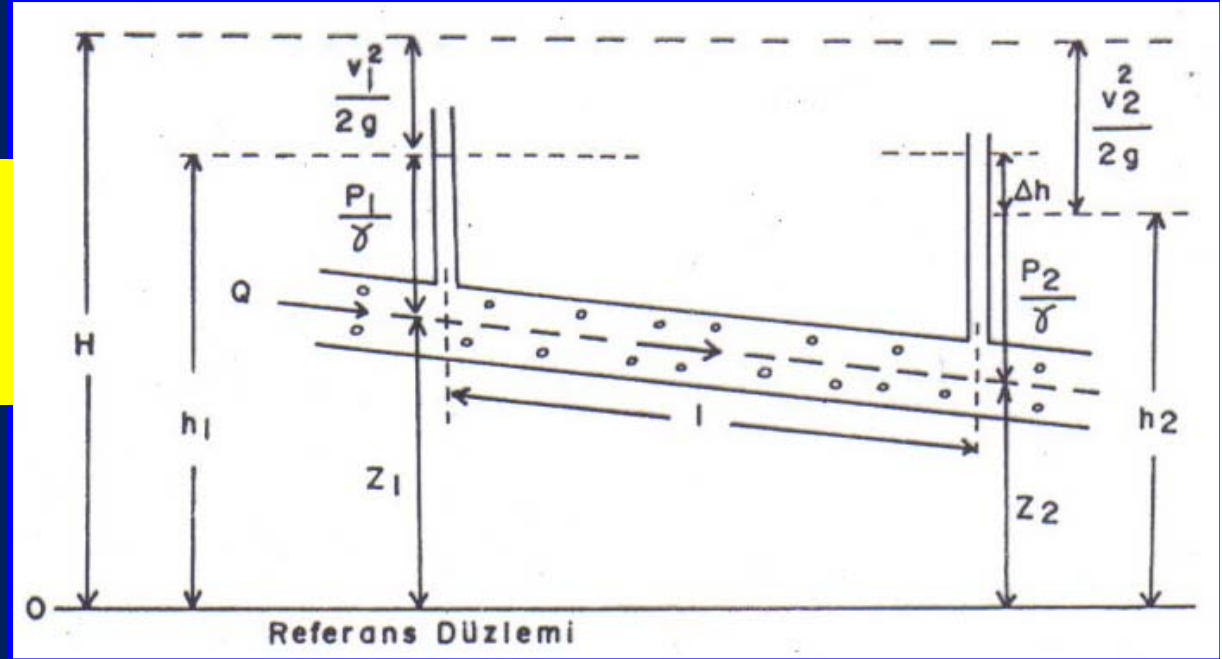
Potansiyel
Yükseklik

Basınç
Yüksekliği

Hız
Yüksekliği

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

Enerji çizgisi H sabit



H: Hidrodinamik basınç veya enerji çizgisi yüksekliği- m

Z: Potansiyel yükseklik (Noktaların referans düzlemine göre yüksekliği)

P: Hidrostatik basınç- N/m²

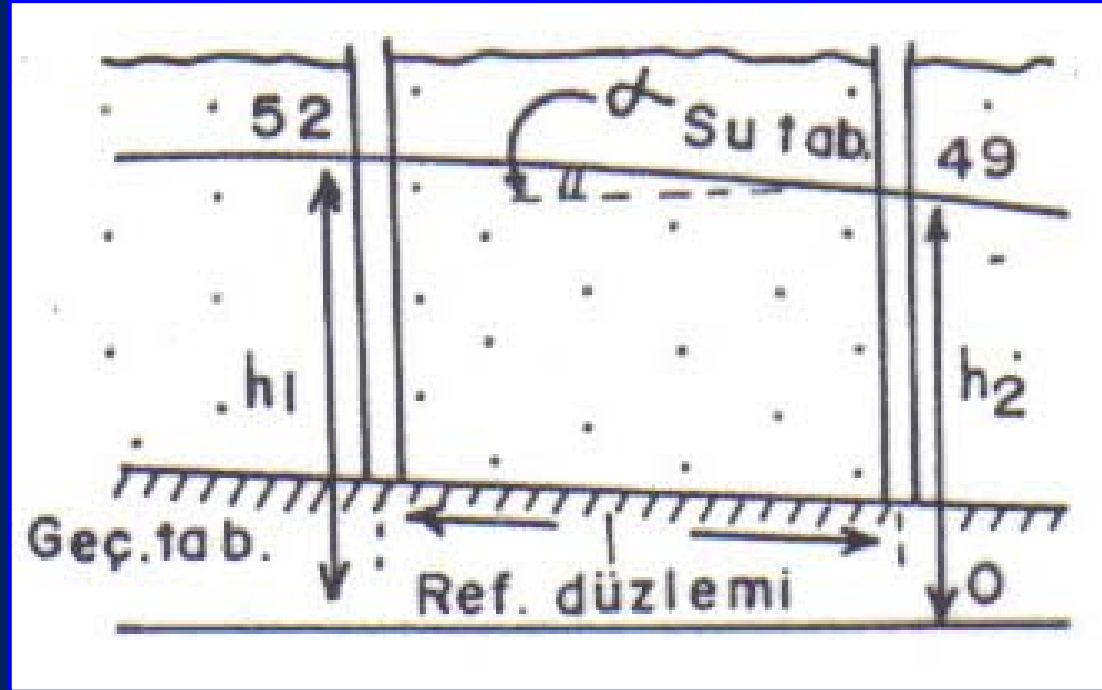
γ : Suyun birim hacim ağırlığı – N/m³

V: suyun akış hızı- m/s

g: yerçekimi ivmesi- m/s²

HİDROLİK YÜK: BİRİM AĞIRLIK BAŞINA ENERJİ

Hidrolik eğim hesabı



Hidrojeoloji kesiti

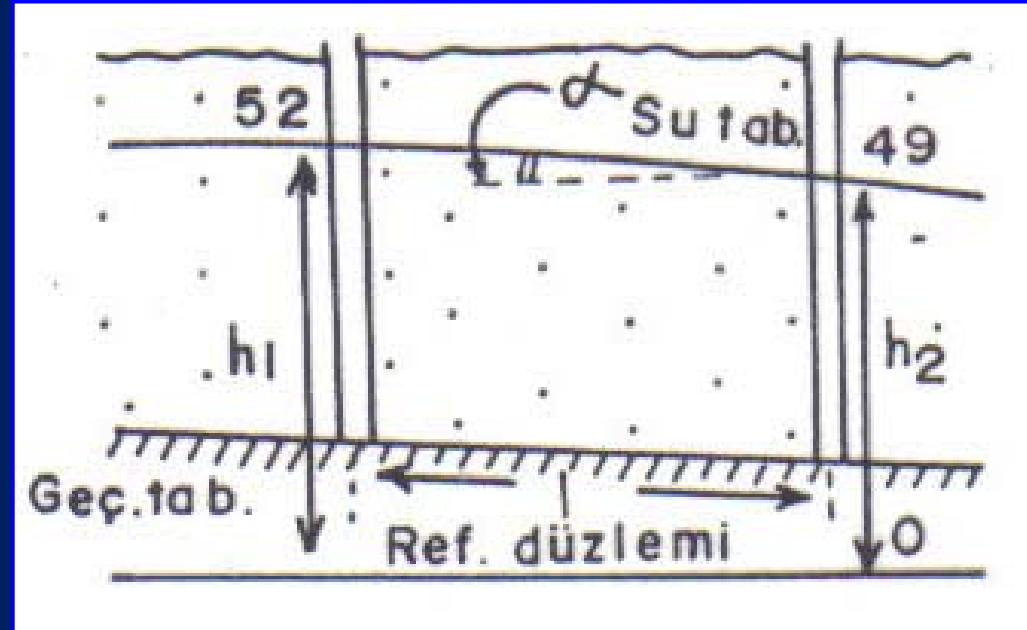
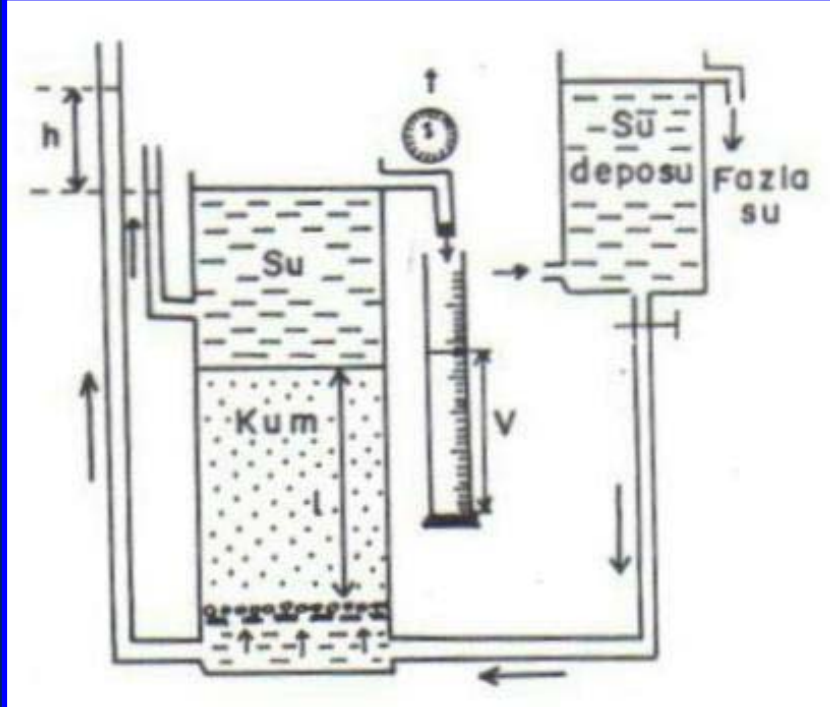
$$\tan \alpha = i = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

$$Q = K * A * \frac{h}{l}$$

$$Q = K * A * i$$

Laboratuvarda
Darcy Yasası'nın uygulaması

Arazide
Darcy Yasası'nın uygulaması



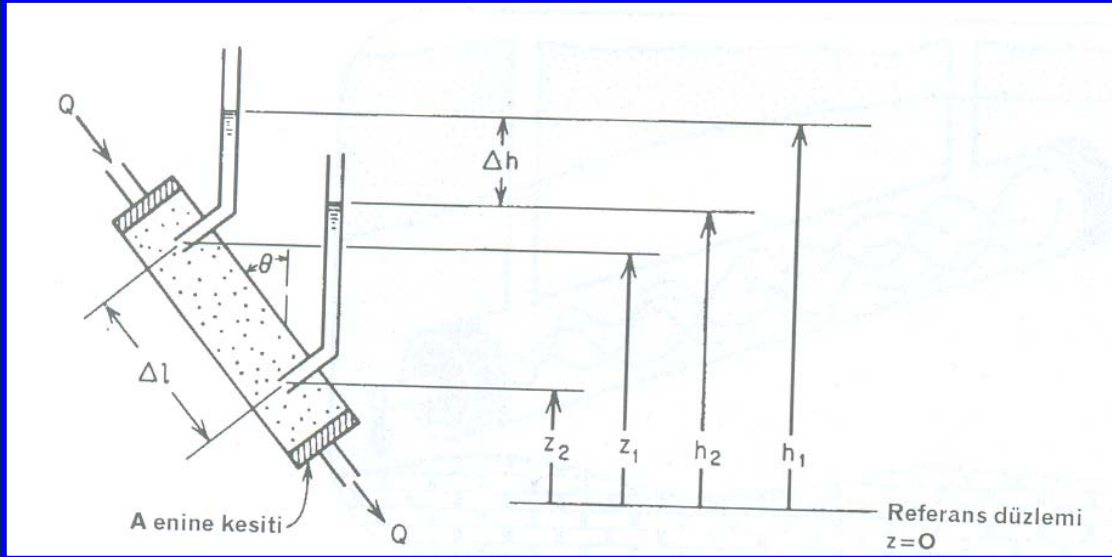
Sabit basınçlı permametre- farklı basınçlarda ölçüm yapmak için su deposunun seviyesi deneye başlamadan değiştirilebilir. Deney sırasında sabit kalacaktır.

$$K = \frac{Q \cdot l}{A \cdot h}$$

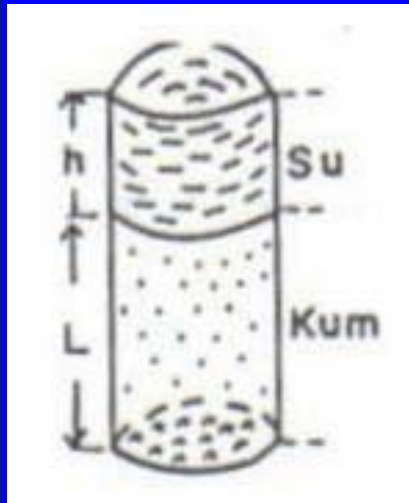
$$Q = \frac{V}{t}$$

Permametreler

Laboratuvarda



Darcy düzeneği



Tabanı delikli kutu üzerine malzeme konur.

Kutu içi su dolu bir kaba çok yavaş sokulur.

Su numunenin içinden geçerek belli bir seviyeye yükselir.

Kutu sudan çıkarılır, kum üzerindeki suyun kum yüzeyinden kaybolana kadar geçen süre saptanır.

$$K = \frac{L}{t} * \log_e \left(1 + \frac{h}{L} \right)$$

Geçirimsizliğin ARAZİDE Ölçülmesi

•Darcy yasasından yararlanarak,

•Kuyulardan pompajla su çekimi;

Dengeli rejim-serbest akifer (DUPUIT Yöntemi)

Dengeli rejim-basınçlı akifer (DUPUIT Yöntemi)

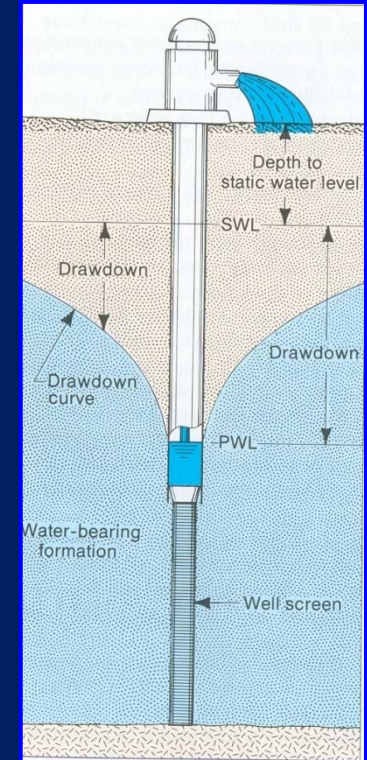
Dengeli rejim-gözlem kuyulu (THIEM Yöntemi)

Dengesiz rejim-THEIS Yöntemi

Dengesiz rejim-JACOB Yöntemi

•Su enjeksiyonu ile,

Lugeon Yöntemi



Arazide



Darcy Yasası ile Geçirimlilik Hesabı

$$Q = K * A * dh/dl$$

$$Q = K * A * i$$

$$Q/A = (K * A * i) / A$$

$$Q/A = K * i = V = q \text{ (darcy hızı)}$$

$$V_r = (K * i) / n \quad \text{ise} \quad K = (V_r * n) / i$$

K: Geçirgenlik katsayısı, m/s

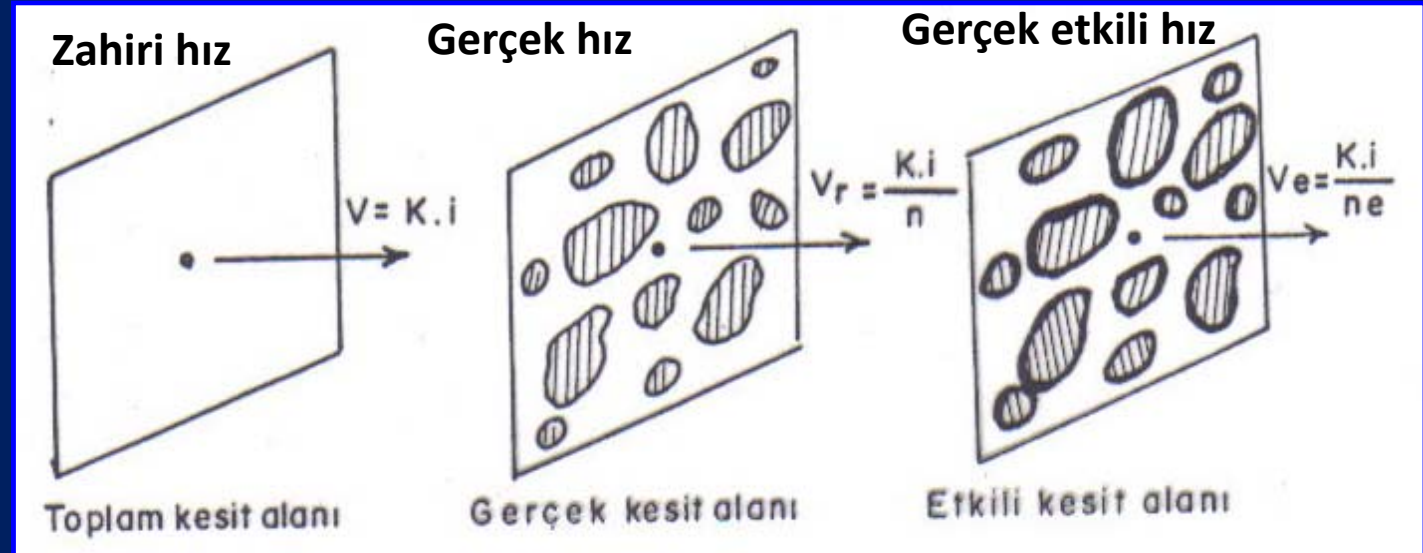
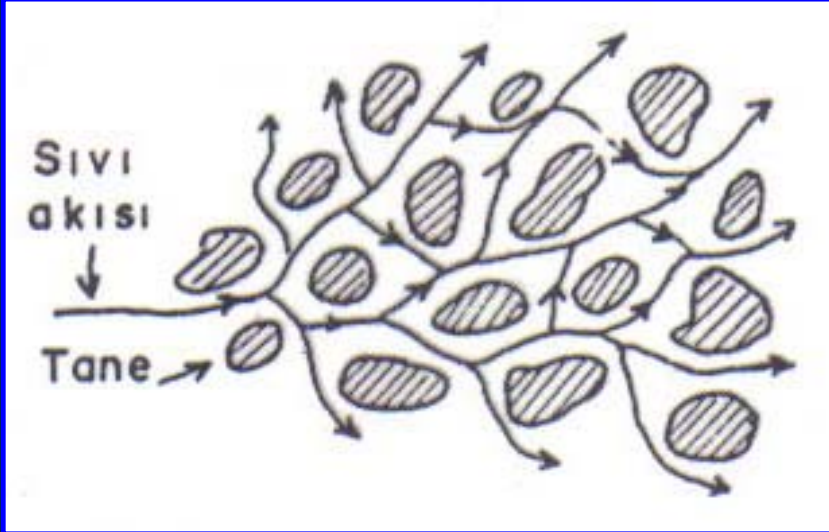
V_r : Yeraltı suyu gerçek hızı, m/s (Yeraltısuyunun kesit alanında boşluklardan hareket ettiğini göz önüne alır)

n: Toplam gözeneklilik, %

i: Hidrolik eğim, %

Zahiri hız: $V = K * i$

Yeraltı suyu akım hızı



Hidrojeolojik Birimler

Akifer: Su taşır ve iletir. Örnekler: çakıl, kum, kumtaşı, çakıltaşı, karstik kireçtaşı, kırıklı çatkaklı granit

Akitard: Su taşır ve suyu az iletir. Örnekler: Killi siltli kum, silt

Akiklöd: Su taşır ve suyu iletmez. Örnekler: Kil, siltli kil

Akifüj: Suyu taşımaz ve iletmez. Örnek: Şist, granit

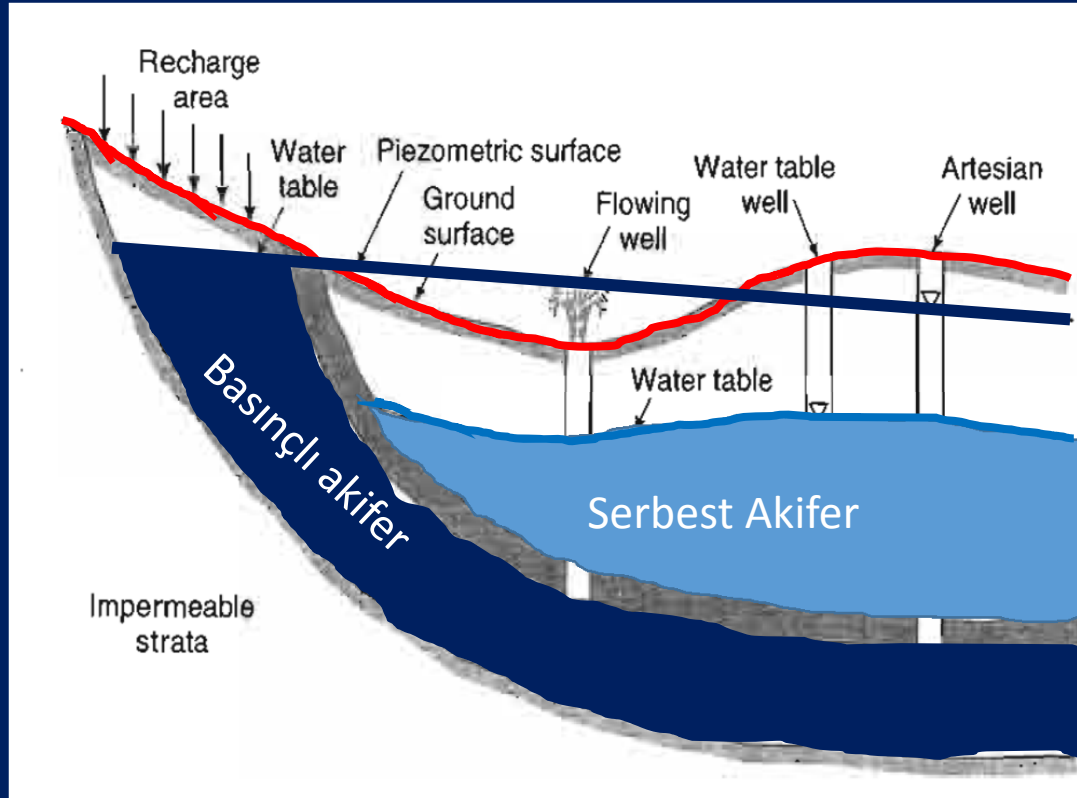
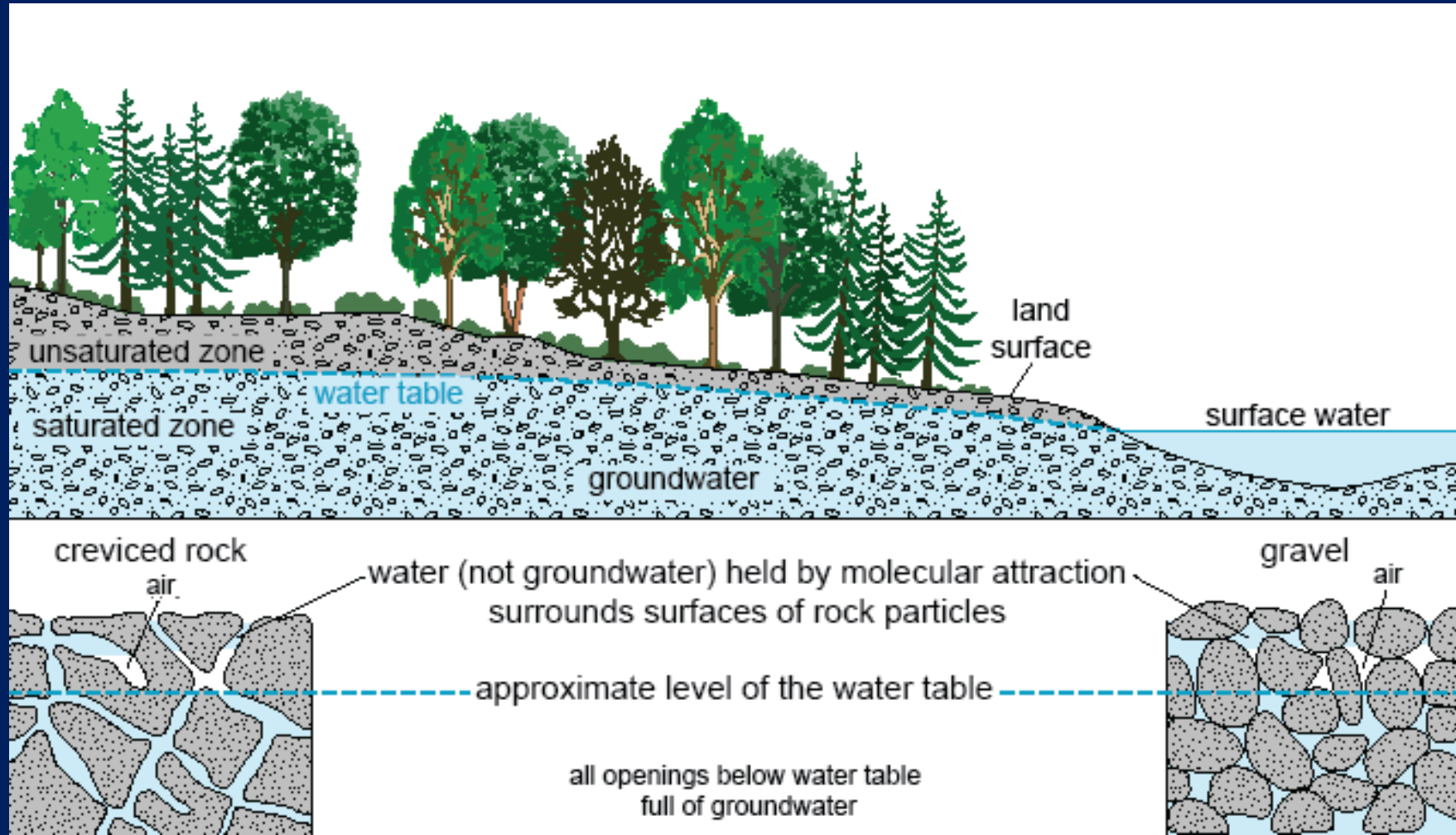


Figure 2.7.1. Schematic cross section illustrating unconfined and confined aquifers.



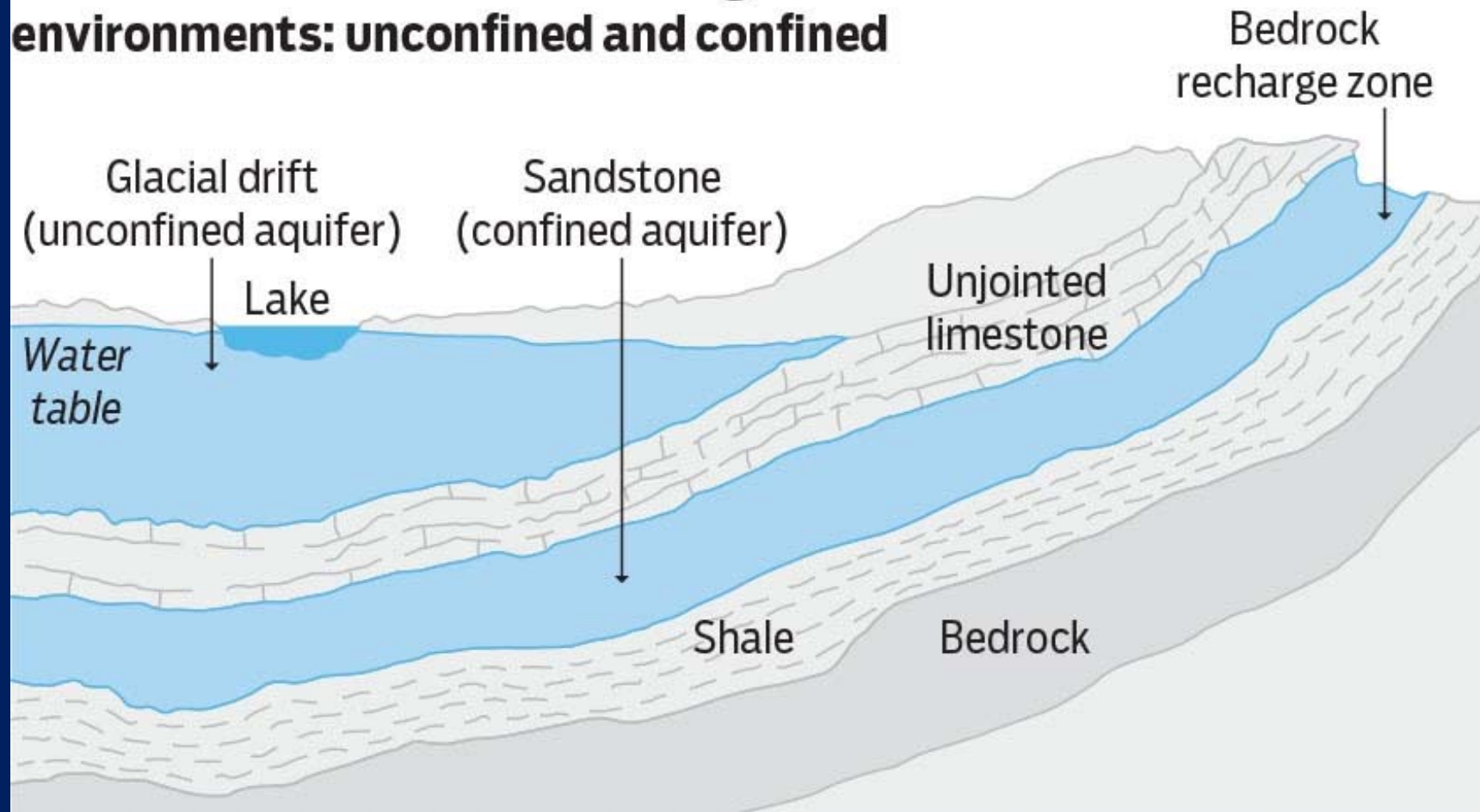
Kırıklı/Çatlaklı kayaç

Çakıl

Kaynak: USGS website

What aquifers look like through a cross section

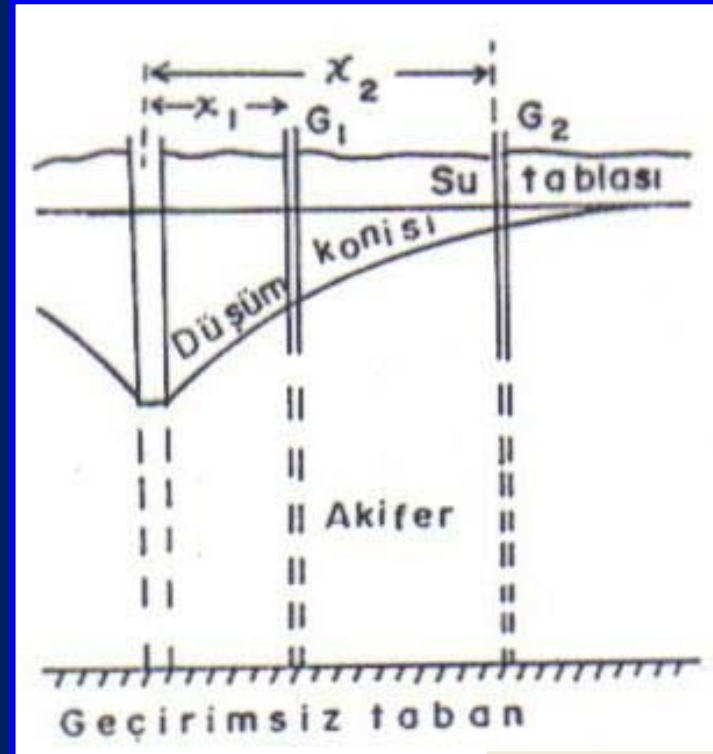
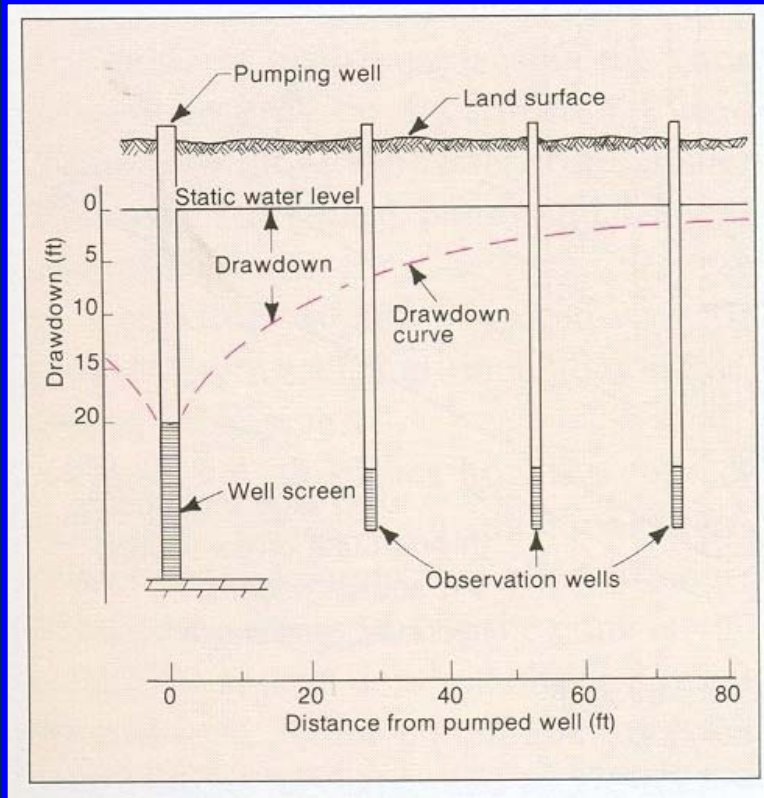
Groundwater exists in the underground in two environments: unconfined and confined



Source: Driscoll (1986)

Graphics24

Dengeli rejim-serbest akifer (DUPUIT Yöntemi)



Serbest akifer

$$K = \frac{Q * \log_e R/r}{\pi(H^2 - h^2)}$$

Arazide

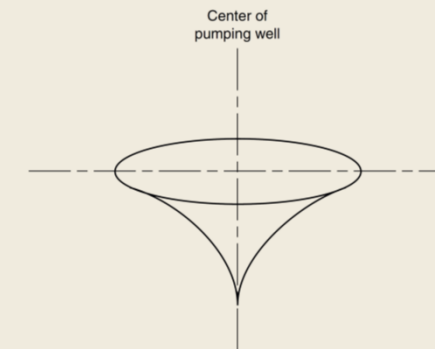
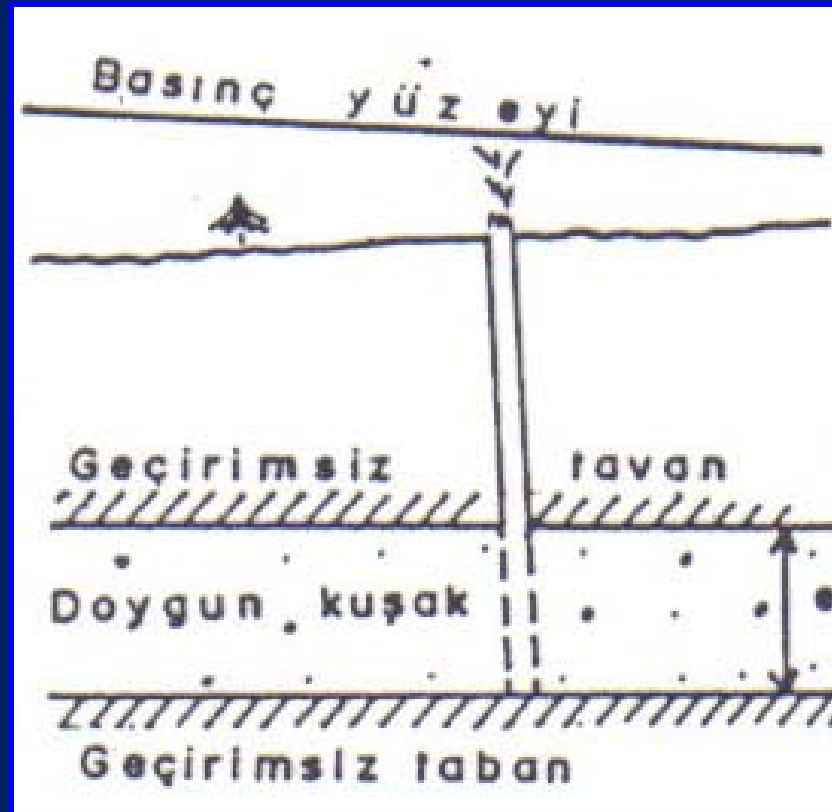


Figure A-4. The cone of depression associated with a pumping well in a homogeneous aquifer.

Dengeli rejim-basınçlı akifer (DUPUIT Yöntemi)



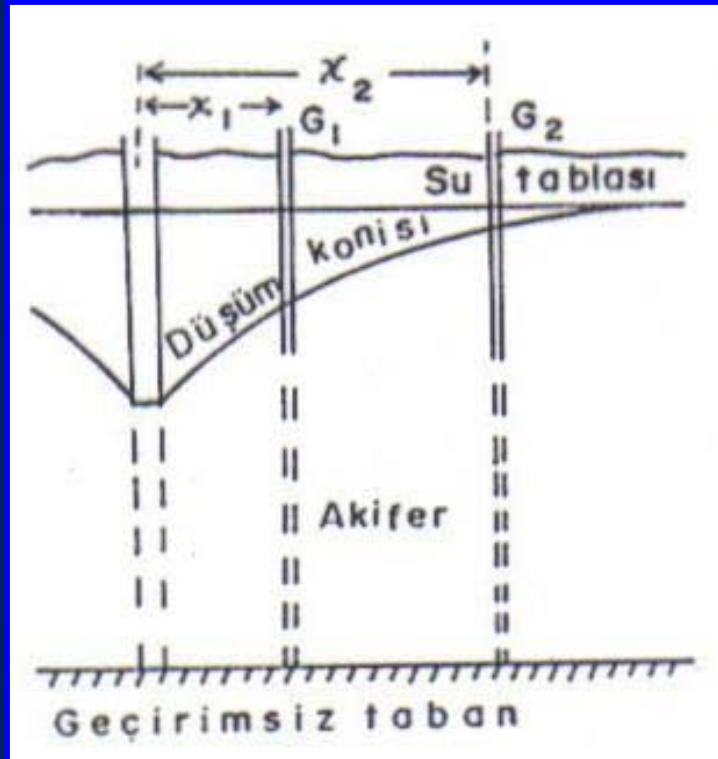
Basınçlı akifer

$$K = \frac{Q * \log_e R/r}{2 * \pi * e * \Delta}$$

Δ = kuyuda bir t
anında ölçülen düşüm

Arazide

Dengeli rejim-gözlem kuyulu (THIEM Yöntemi)



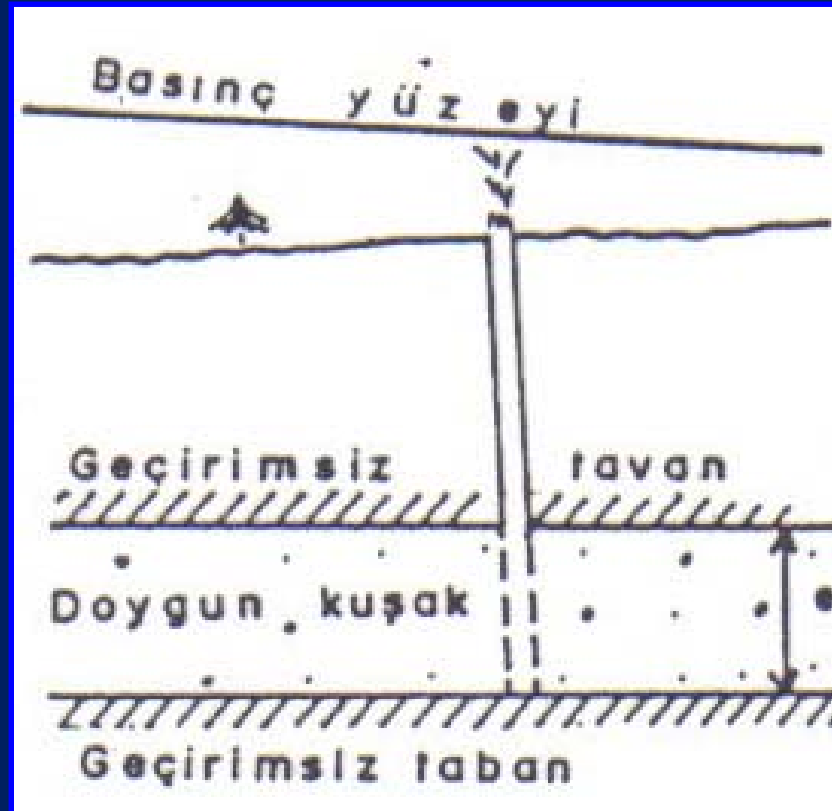
$$K = \frac{Q * \log_e x_2/x_1}{\pi(Z_2^2 - Z_1^2)}$$

$$K = \frac{Q * \log_e x/r}{\pi(Z^2 - h^2)}$$

Serbest akifer, tek ve çift gözlem kuyulu çözüm

Arazide

Dengeli rejim-basınçlı akifer (DUPUIT Yöntemi)



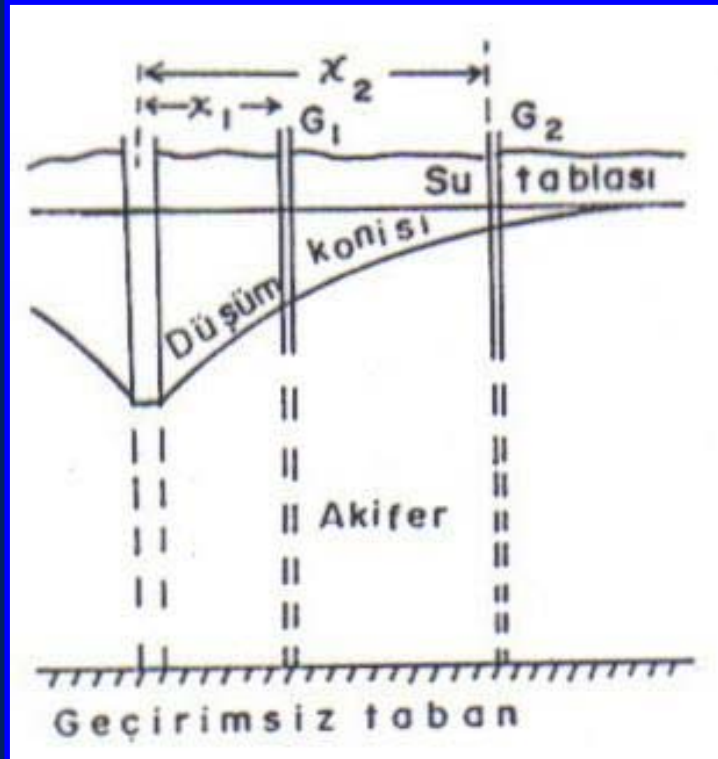
Basınçlı akifer

$$K = \frac{Q * \log_e R/r}{2 * \pi * e * \Delta}$$

Δ = kuyuda bir t
anında ölçülen düşüm

Arazide

Dengeli rejim-gözlem kuyulu (THIEM Yöntemi)



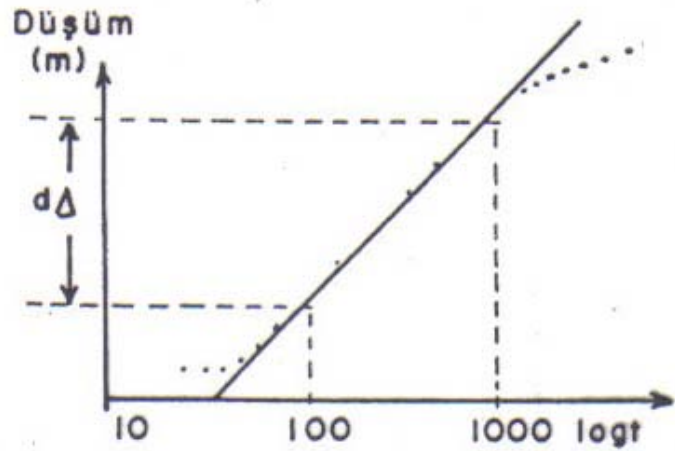
$$K = \frac{Q * \log_e x_2 / x_1}{\pi(Z_2^2 - Z_1^2)}$$

$$K = \frac{Q * \log_e x / r}{\pi(Z^2 - h^2)}$$

Serbest akifer, tek ve çift gözlem kuyulu çözüm

Arazide

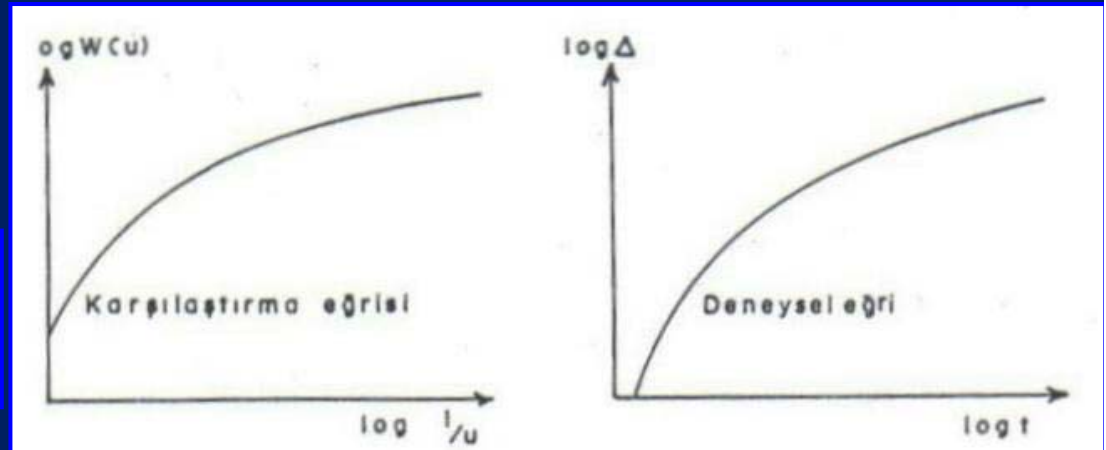
Dengesiz (Tranzituar) rejim



Jacob
yöntemi

$$T = \frac{0.183Q}{d\Delta}$$

Theis
yöntemi



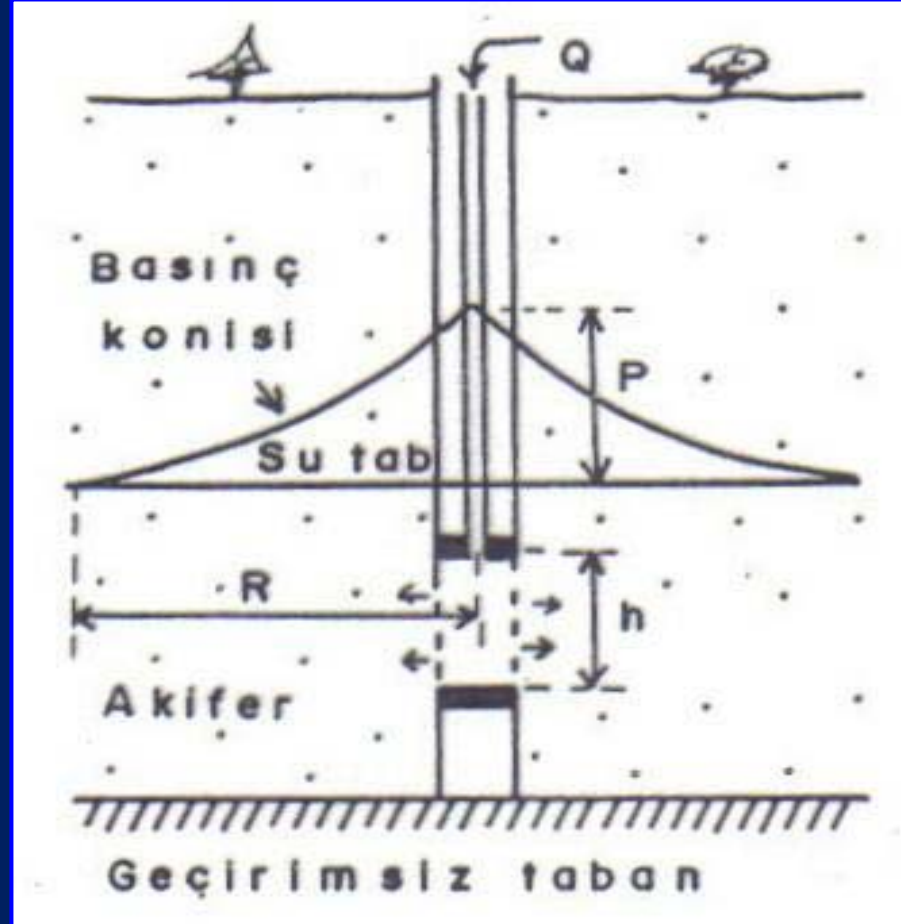
$$T = \frac{Q * W(u)}{4\pi\Delta}$$

Arazide

Kuyulara basınçlı su verilirse..

Lugeon
deneyi

$$K = 0.366 * Q * \frac{\log R/r}{h.P}$$



Bilinen basınç altındaki su kaybı ölçülür (su kaybı geçirimsizlik ile doğru orantılı)
1 lugeon= 10^{-7} m/s= 1 mlık test yüksekliğinden 1 dakikada giden su 1 litre ise 1 lugeon.

Arazide

İLETİMLİLİK-TRANSMİSİVİTE

İletimlilik: Bir akiferin bütün kalınlığı boyunca düşey ve **birim genişlikteki** kesitten, **birim miktardaki yük kaybı** altında (%100lük bir hidrolik eğim altında) **birim zamanda geçen su miktarıdır.**

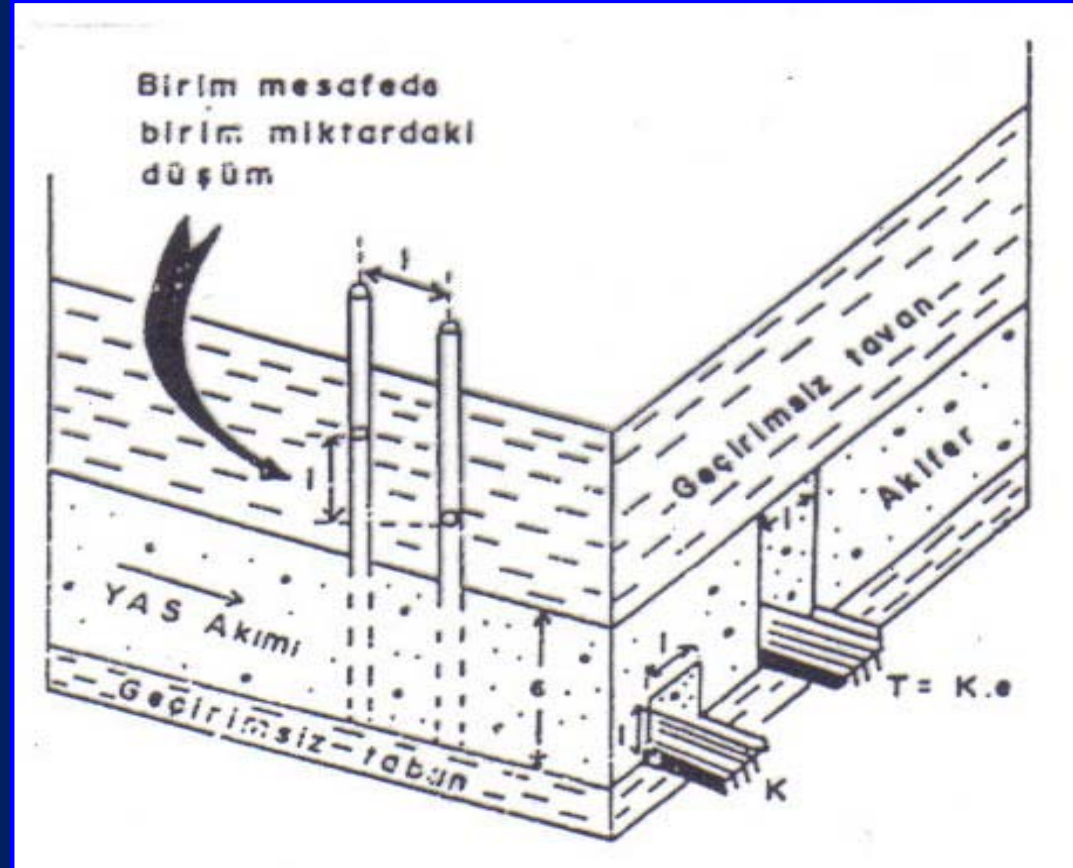
$$T = K * H$$

$$T = K * e$$

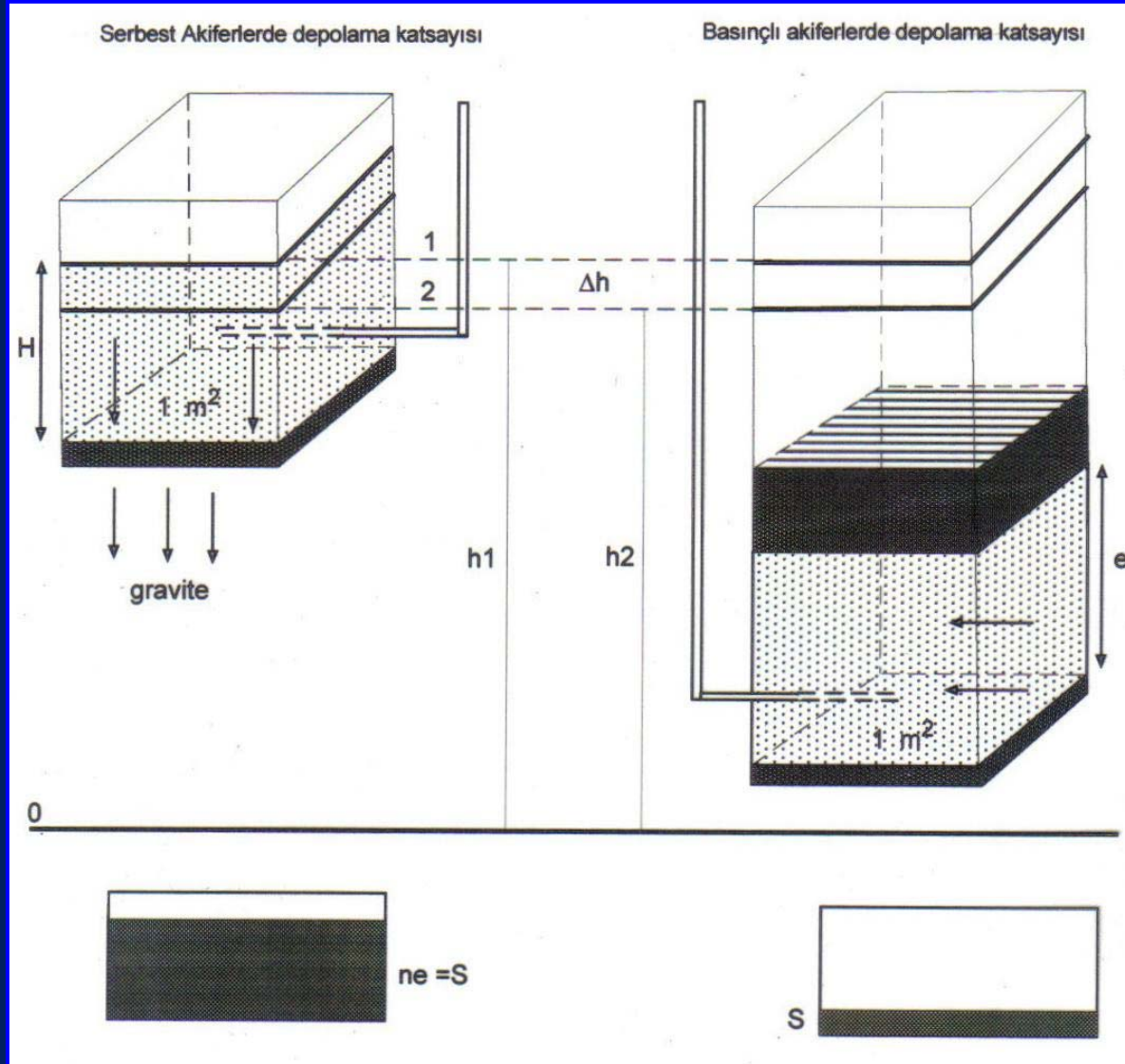
$$Q = K * A * i$$

$$Q = T * L * i$$

L= Kesit alanı genişliği Q= Kesit alanından geçen su debisi- m^{3/s}



DEPOLAMA KATSAYISI



Serbest ve basınçlı akiferlerdeki tanımı ?

Serbest akiferde Depolama katsayısı

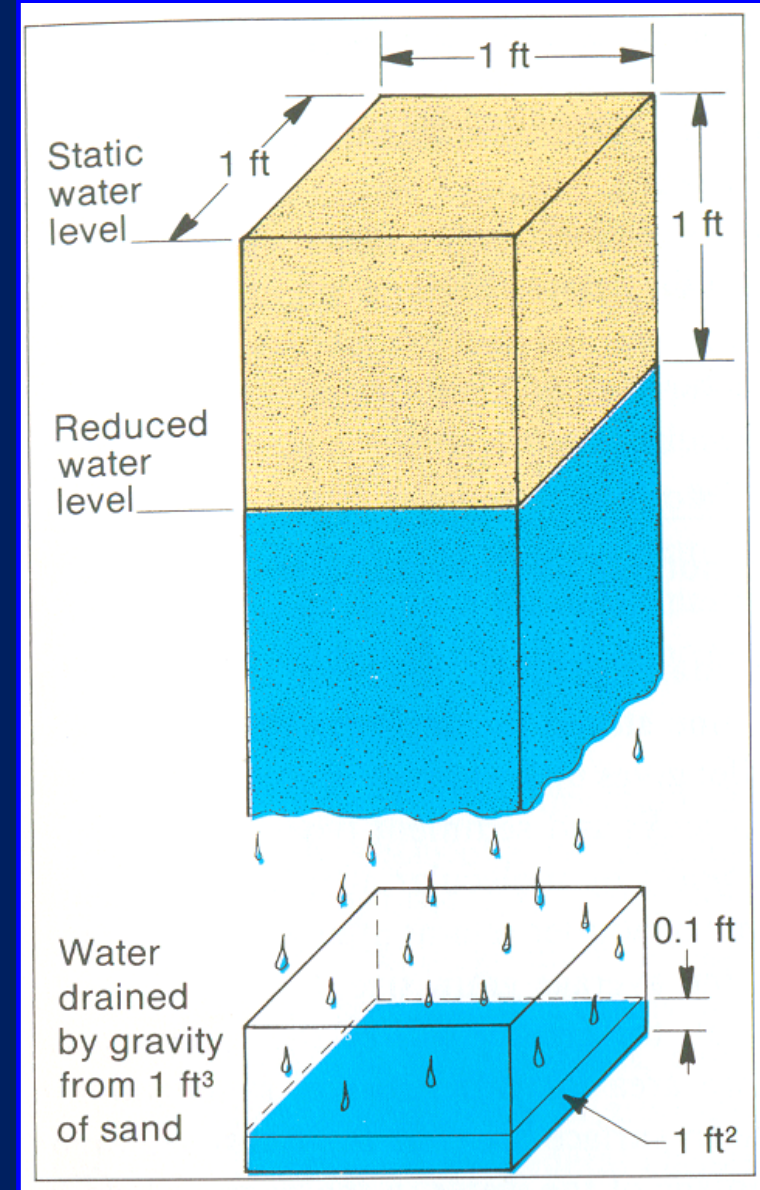
Serbest akifer: Yer çekimine bağlı olarak birim miktardaki bir basınç düşmesi altında alçalma konisini terk eden su miktarıdır.

Birimi: **Birim hacimdeki akiferden alınabilen su hacmi yüzdesidir.**

Pompajla alınabilen su hacmi yüzdesi.

$$S = n_e = Q_s$$

$$n = Q_s + Q_r$$



Basıncı akiferde Depolama katsayısı

Birim hacimdeki akiferden birim basınç değişimi altında alınabilecek su miktarı.

Basıncı akiferde akiferin sıkışması ve içindeki suyun genişlemesi sonucu su akiferi terk eder. Pompaj sonucunda akiferdeki basınç dūřünce üstteki tabakalar akifere daha fazla basınç yapar ve bu basınç su tarafından iletilir. Pompaj ile basınç dūřünce su hacmi genişler.

Jacob (1950) basıncı akiferlerde depolama katsayısını formüle etmiştir.

$$S = \gamma\alpha\beta b + \gamma b\eta$$


Suyun genişlemesi
Akifer iskeletinin sıkışması

γ = Suyun birim hacim ağırlığı = 10 kN/m³

α = gözeneklilik (bizim bildiğimiz hali ile n)

β = Suyun sıkışabilme katsayısı (esneklik kitle katsayısının bulk modulus of elasticity tersi = 4.58*10⁻¹⁰ m²/N)

η = akiferin sıkışabilme katsayısı

Hidrojeolojik Birimler

Akifer: Su taşır ve iletir. Örnekler: çakıl, kum, kumtaşı, çakıltaşı, karstik kireçtaşı, kırıklı çatkaklı granit

Akitard: Su taşır ve suyu az iletir. Örnekler: Killi siltli kum, silt

Akiklöd: Su taşır ve suyu iletmez. Örnekler: Kil, siltli kil

Akifüj: Suyu taşımaz ve iletmez. Örnek: Şist, granit

Geçirimsiz taban veya tavan

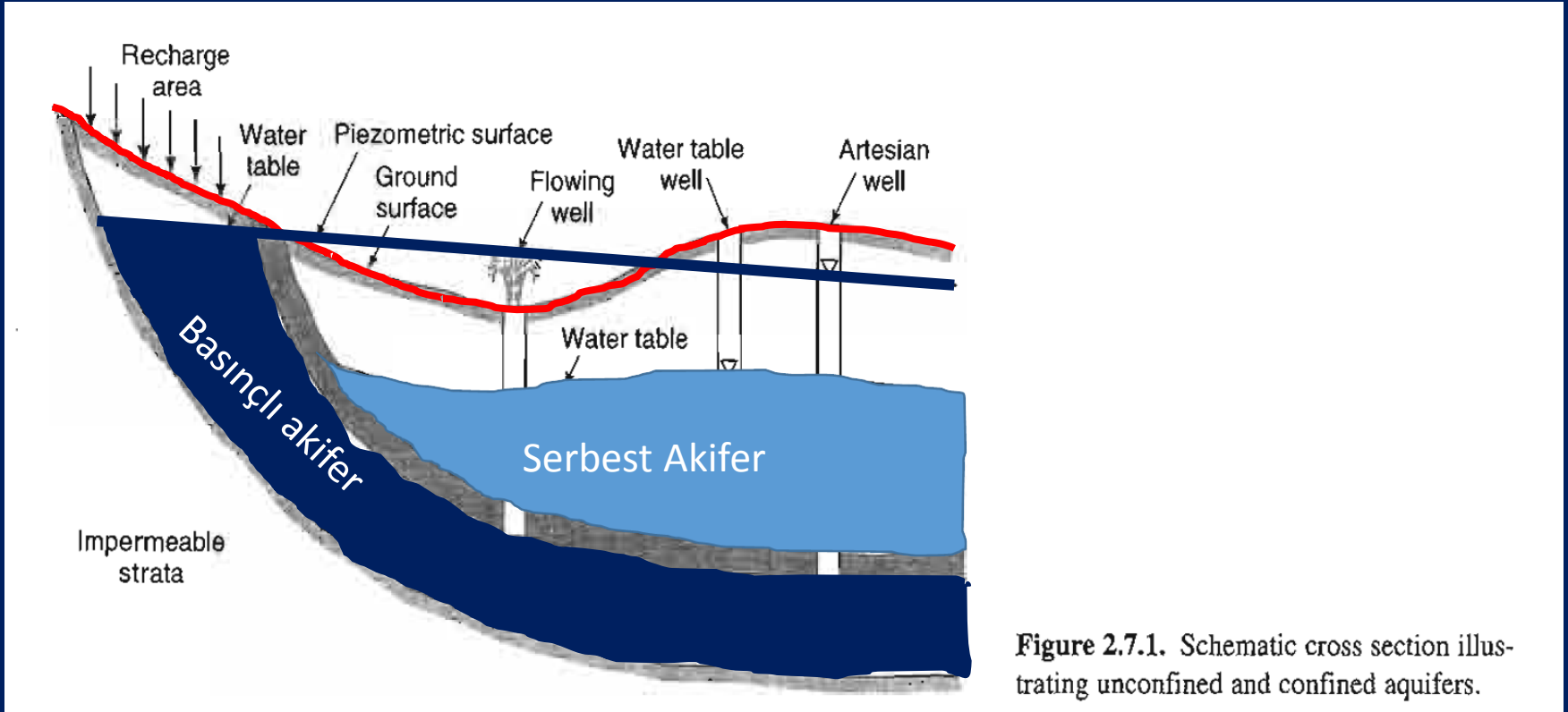
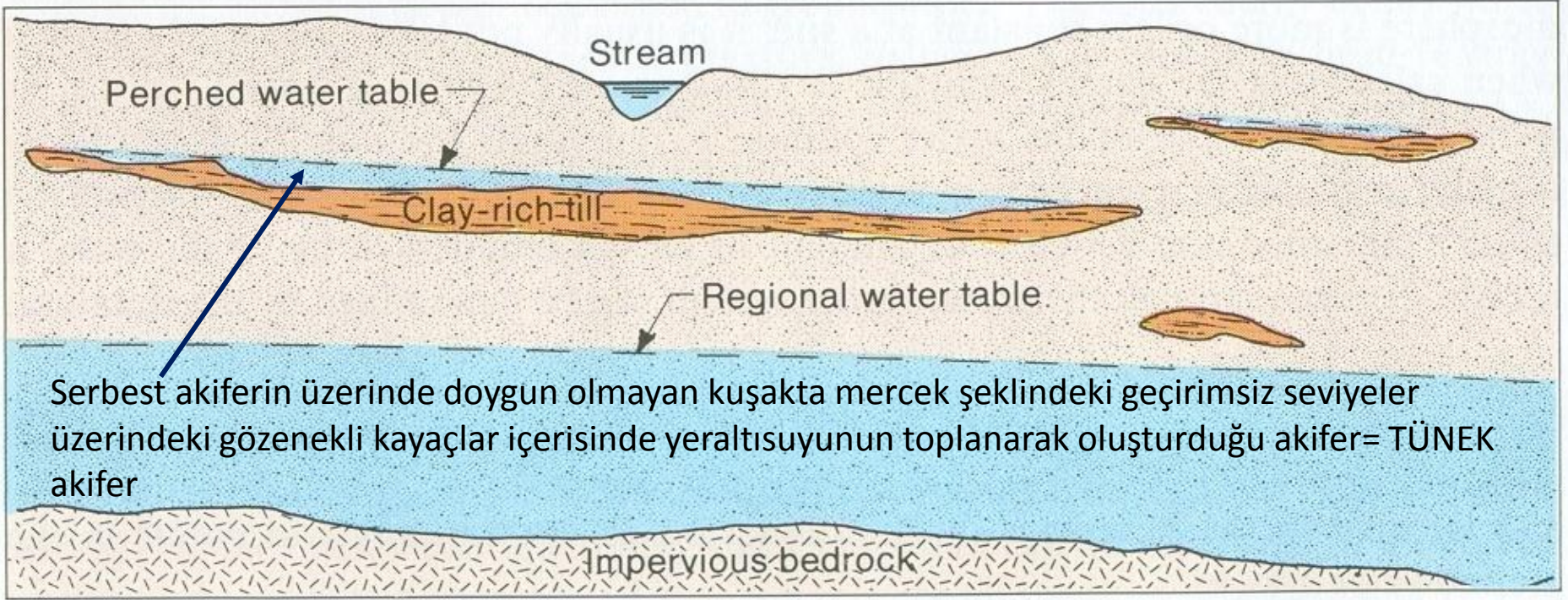
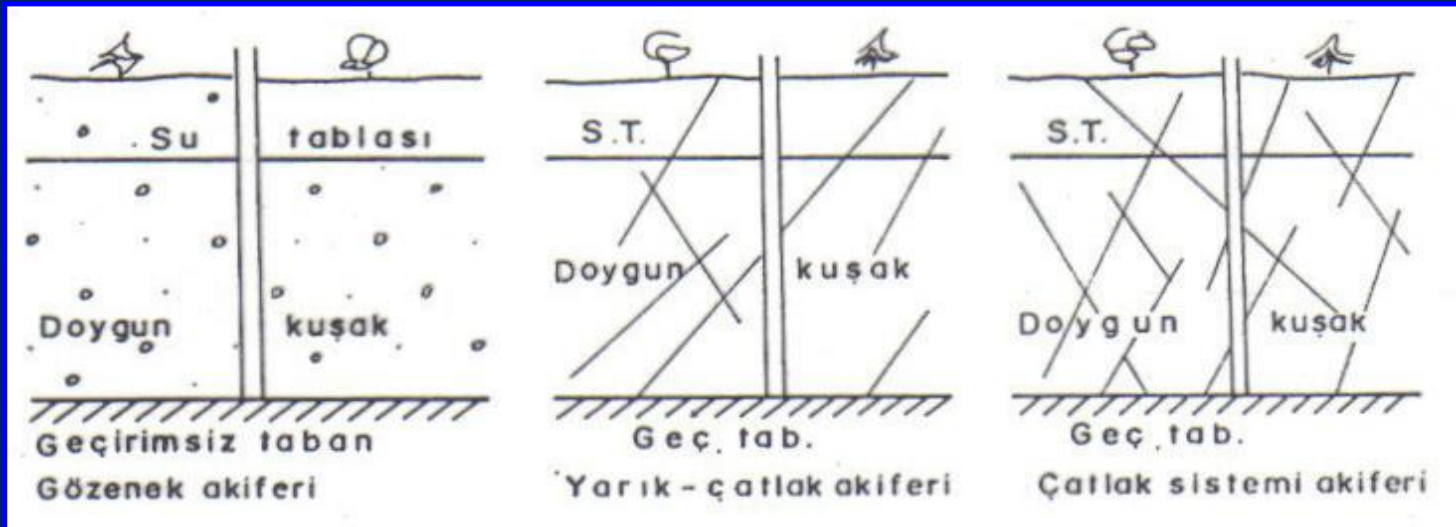


Figure 2.7.1. Schematic cross section illustrating unconfined and confined aquifers.



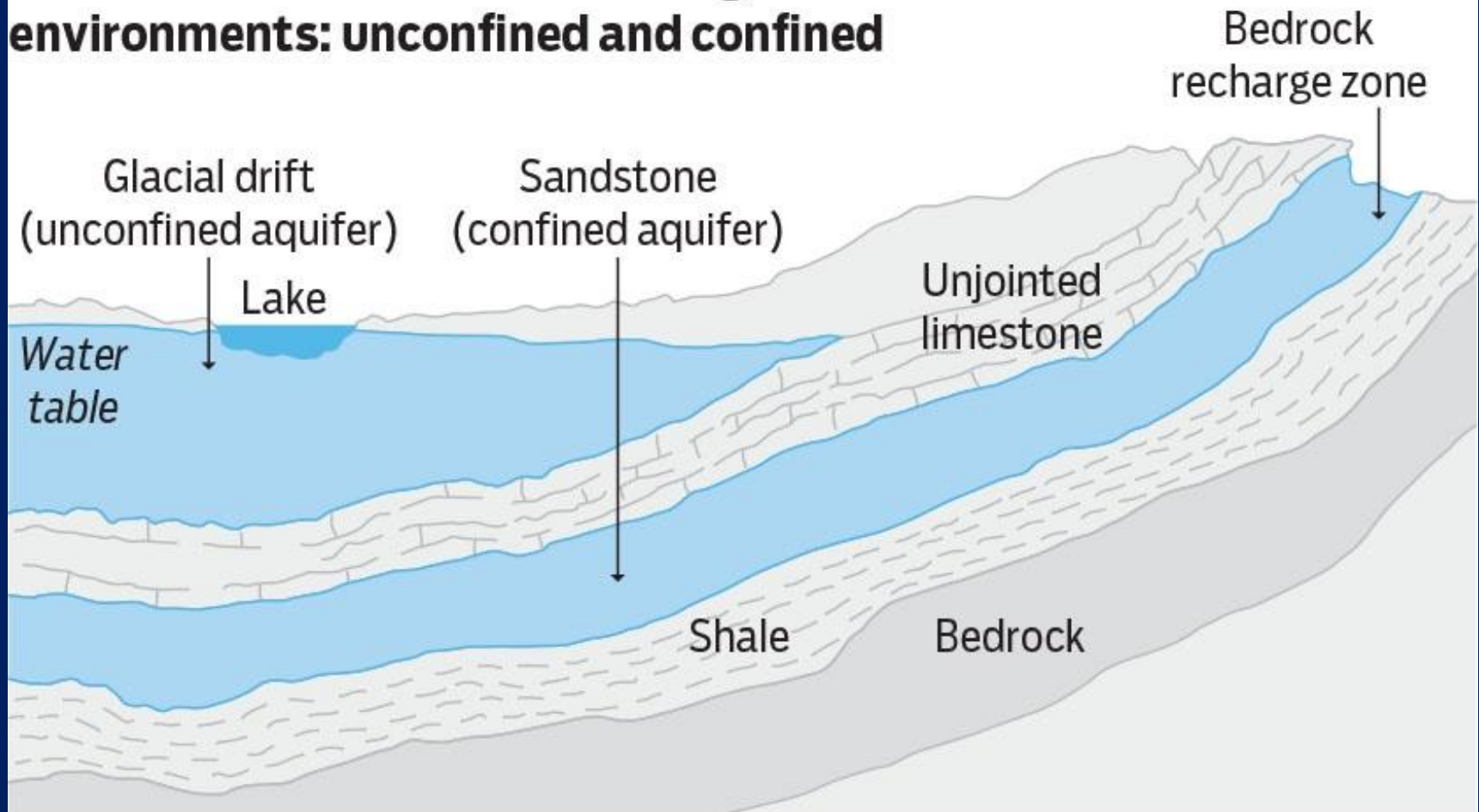
Serbest akiferin üzerinde doymun olmayan kuşakta mercek şeklindeki geçirimsiz seviyeler üzerindeki gözenekli kayaçlar içerisinde yeraltısuyunun toplanarak oluşturduğu akifer= TÜNEK akifer

Hidrojeoloji kesiti (Tünek ve serbest akiferler)



What aquifers look like through a cross section

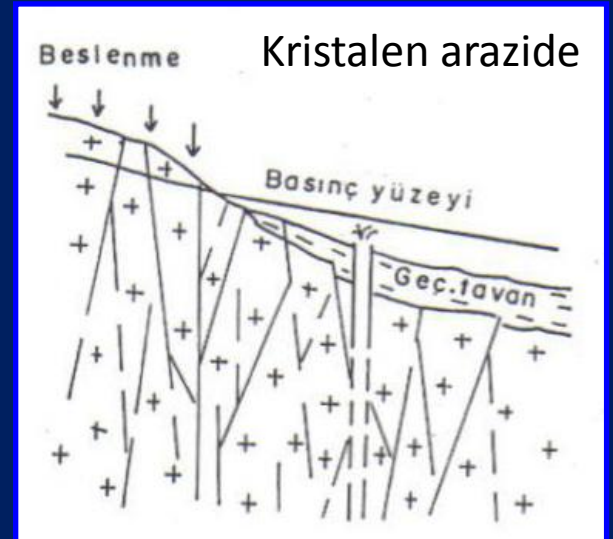
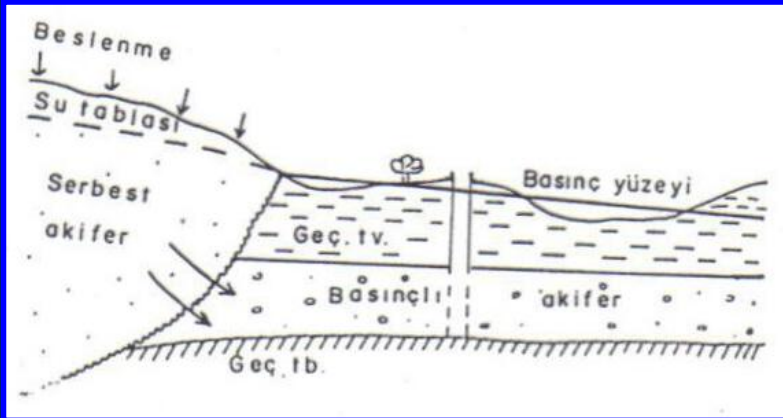
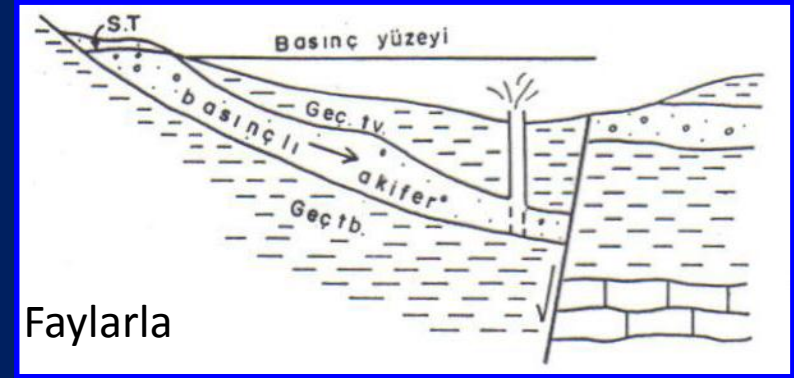
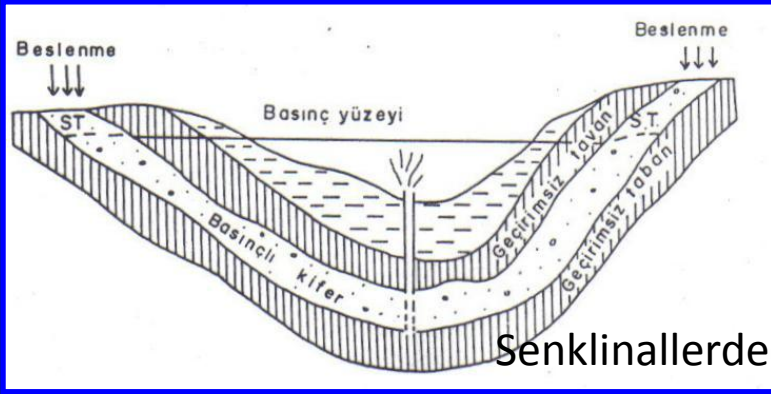
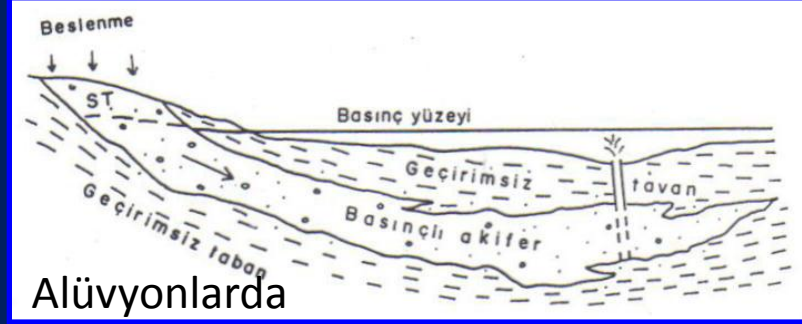
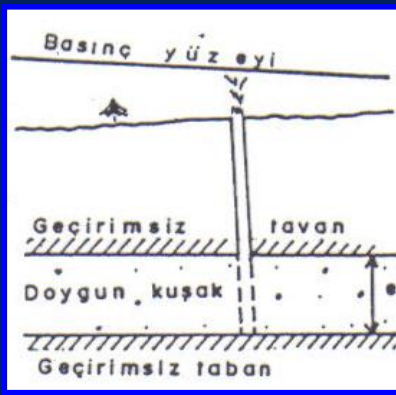
Groundwater exists in the underground in two environments: unconfined and confined



Source: Driscoll (1986)

Graphics24

Farklı Ortamlarda Basıncı Akifer Oluşumları



YERALTISUYU AKIM SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

- Yerel, sığ dolaşımli akım sistemi

Bu tür akım sistemlerinden boşalan kaynakların yeraltı suyu içeriği düşük mineral içeriğine sahiptir. Beslenme ve boşalım bölgesi arasındaki mesafe kısa, dolaşım derinliği sığdır. Olgun olmayan sulardır. Beslenme bölgesindeki suların kimyasal özelliğine yakın özellikteki sulardır. Kar ve/veya yağmur suyunun bileşimine yakın özellikteki sulardır. Sığ sondajlarla elde edilebilirler. Hidrokimyasal ve izotop içerikleriyle diğer sulardan ayrılırlar. Tritiyum içerikleri yağışın içeriğine yakındır. Kirlenme potansiyeli yüksek olan sulardır.

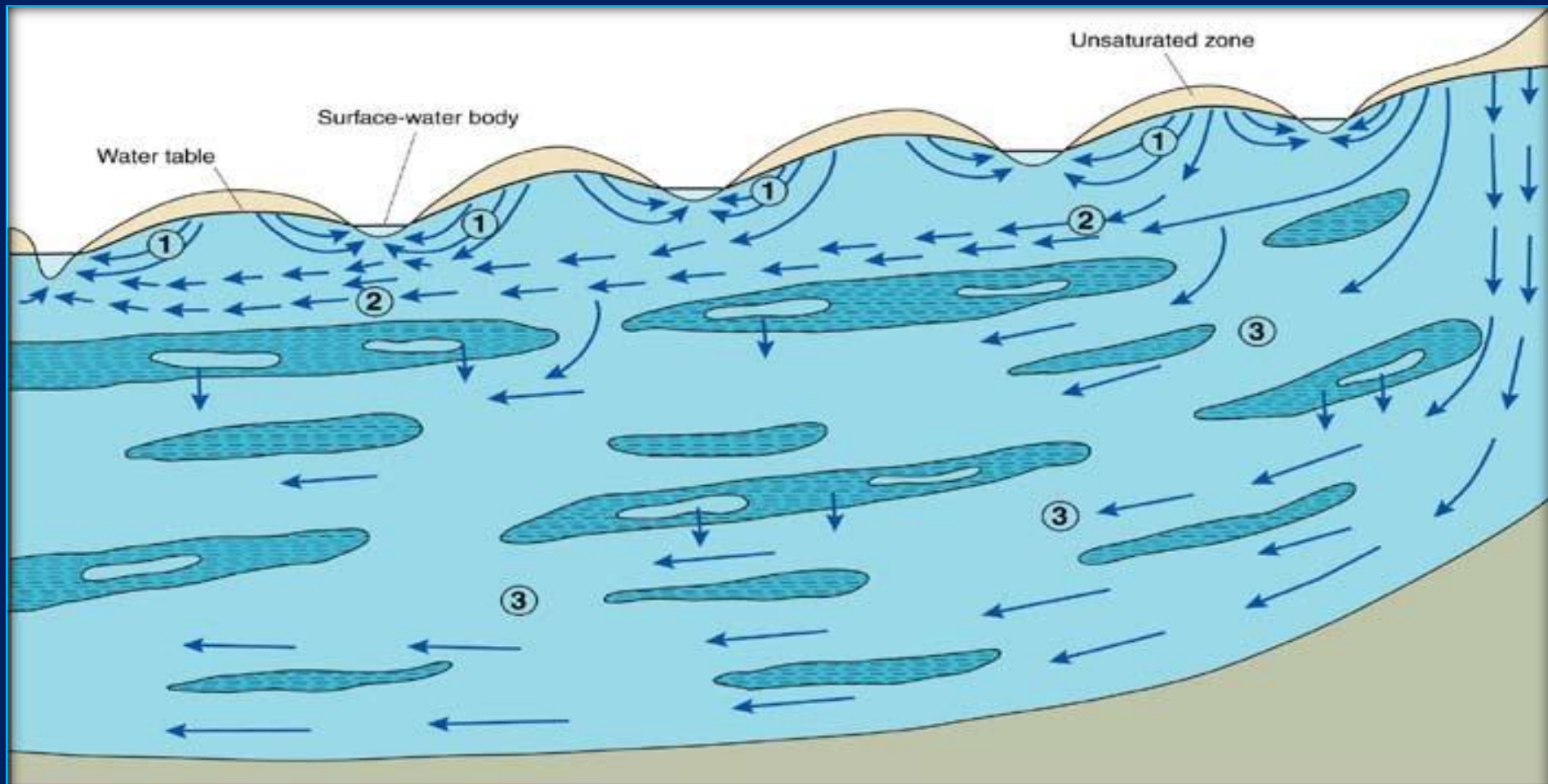
- Orta derinlikteki akım sistemi

Dolaşım derinliği ve uzunluğu orta düzeydedir. Kısmen olgun sular olup, mineral içerikleri bakımından doygunluğa yakın olan sulardır. Kirlenme potansiyeli kısmen düşük olan sulardır. Orta derinlikteki sondajlarla elde edilebilirler.




- Bölgesel, derin dolaşımli akım sistemi




Dolaşım derinliği ve uzunluğu fazla olan sistemlerdir. Beslenme bölgesindeki suların özelliklerini yansıtmazlar. Derin sondajlarla elde edilebilen mineral içeriği yüksek ve minerallere doygun olan sulardır. Bu sular maden suyu ve/veya sıcak ve mineralli su olarak da tanımlanabilenleri bulunmaktadır. İzotoplardan Tritiyum içerikleri genellikle sıfırdır. Çoğu zaman, geçtikleri litolojiye bağlı olarak klorür içerikleri çok yüksektir. İnsan kaynaklı kirlenme potansiyeli düşük olan sulardır.

Yerel, Orta ve Bölgesel Akımlar (Sığ, Orta ve Derin dolaşım)



EXPLANATION

-  High hydraulic-conductivity aquifer
-  Low hydraulic-conductivity confining unit
-  Very low hydraulic-conductivity bedrock

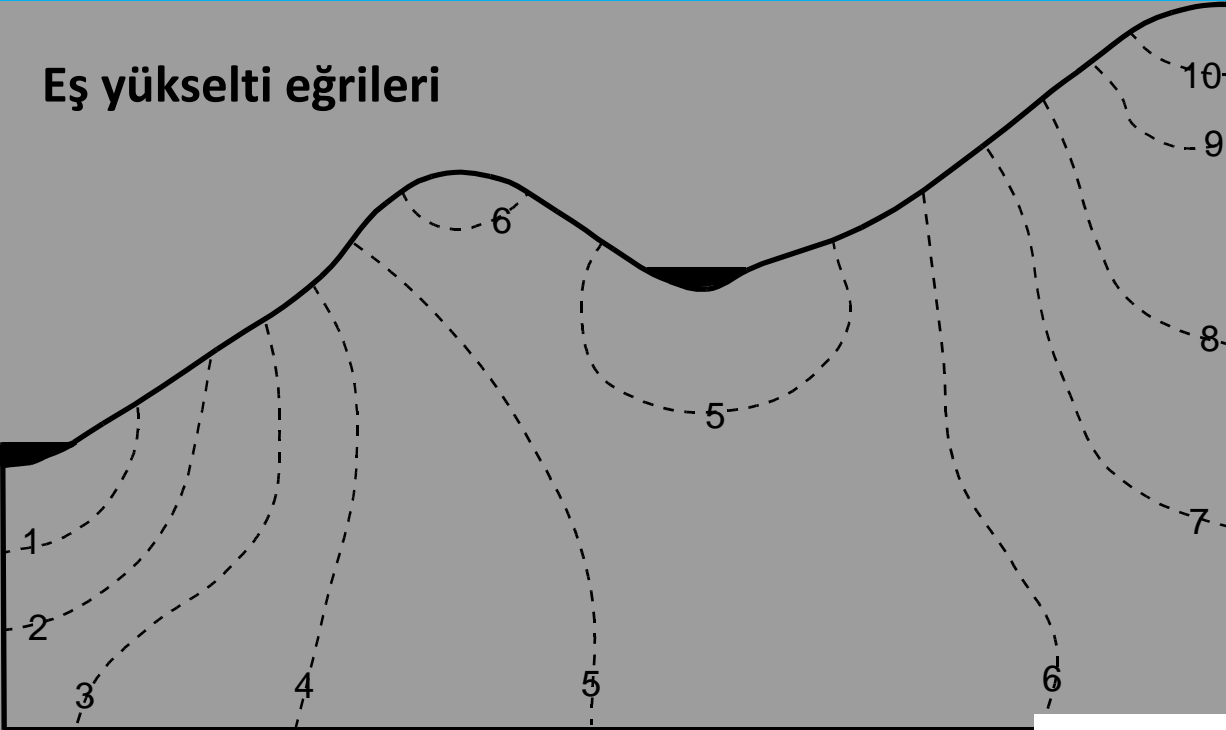
-  Local ground-water subsystem
-  Subregional ground-water subsystem
-  Regional ground-water subsystem

 Direction of ground-water flow

Todd ve Mays 2005

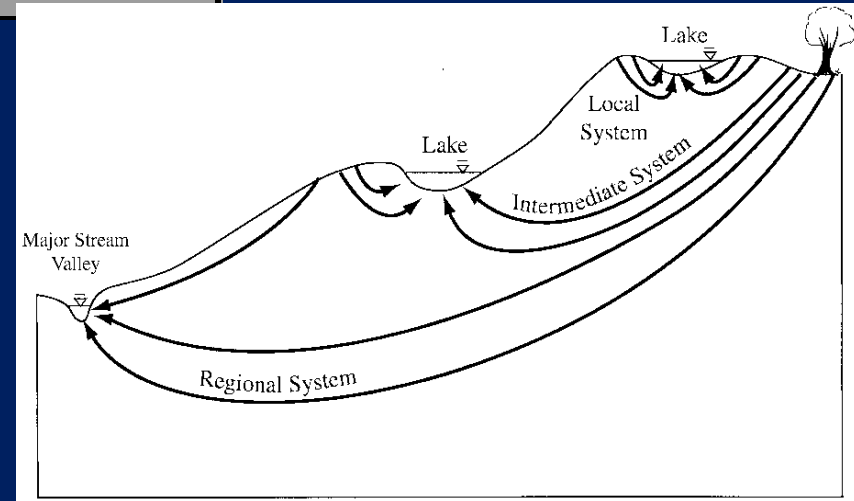
Yerel, Orta ve Bölgesel Akımlar

Eş yükselti eğrileri

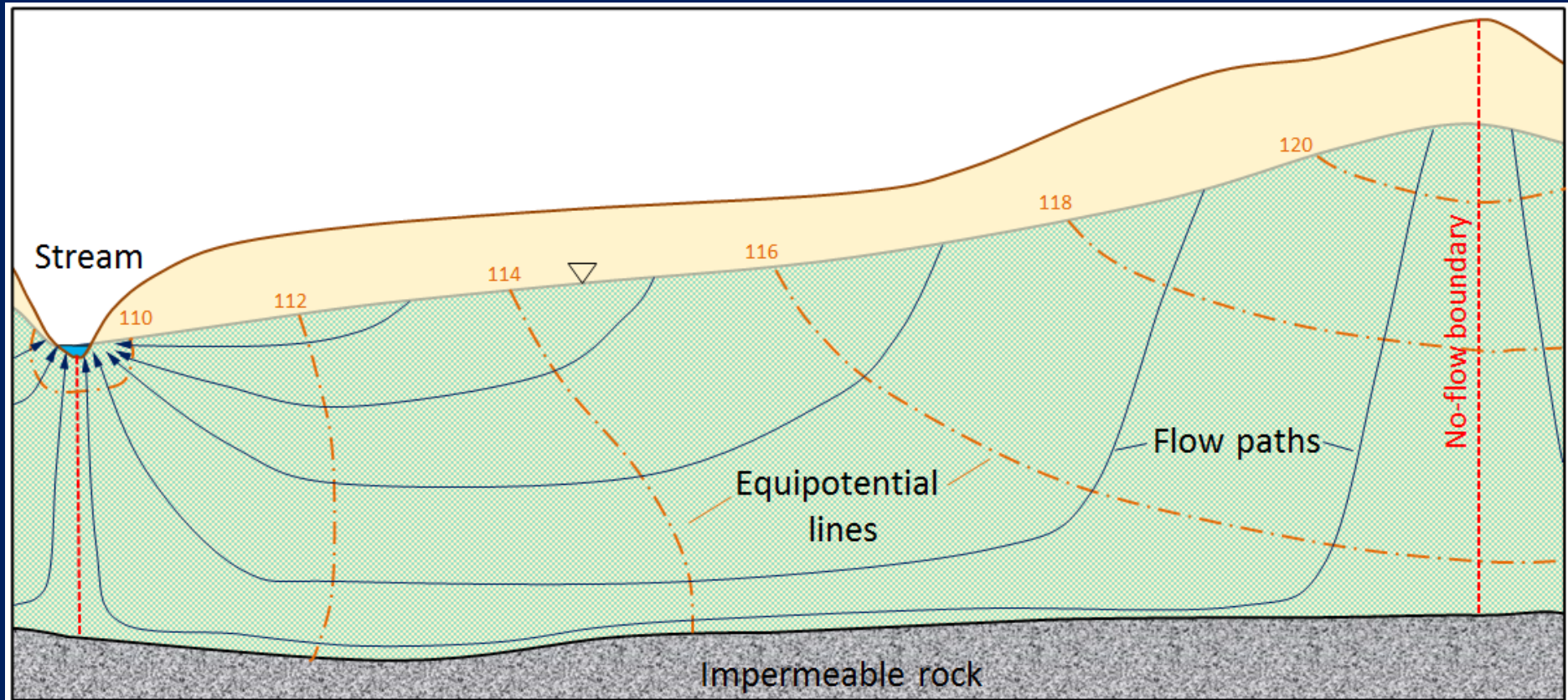


Jeolojik kesit üzerindeki eğriler yeraltısuyu eş-potansiyellerini (eşit basınç çizgileri) göstermektedir.

Yeraltısuyu akım doğrultu ve Yönlerinin gösterildiği bir sistem



Bir serbest akiferde eşpotansiyel çizgileri (turuncu) ve yeraltısuyu akım doğrultu ve yönleri (mavi). Turuncu sayılar su tablası yüksekliğini göstermekte yani eşpotansiyel çizgilerin üzerindeki basıncı temsil ediyor.

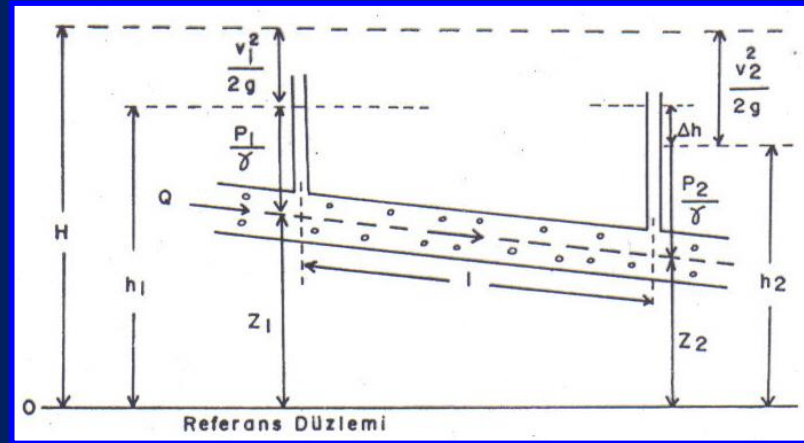


$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

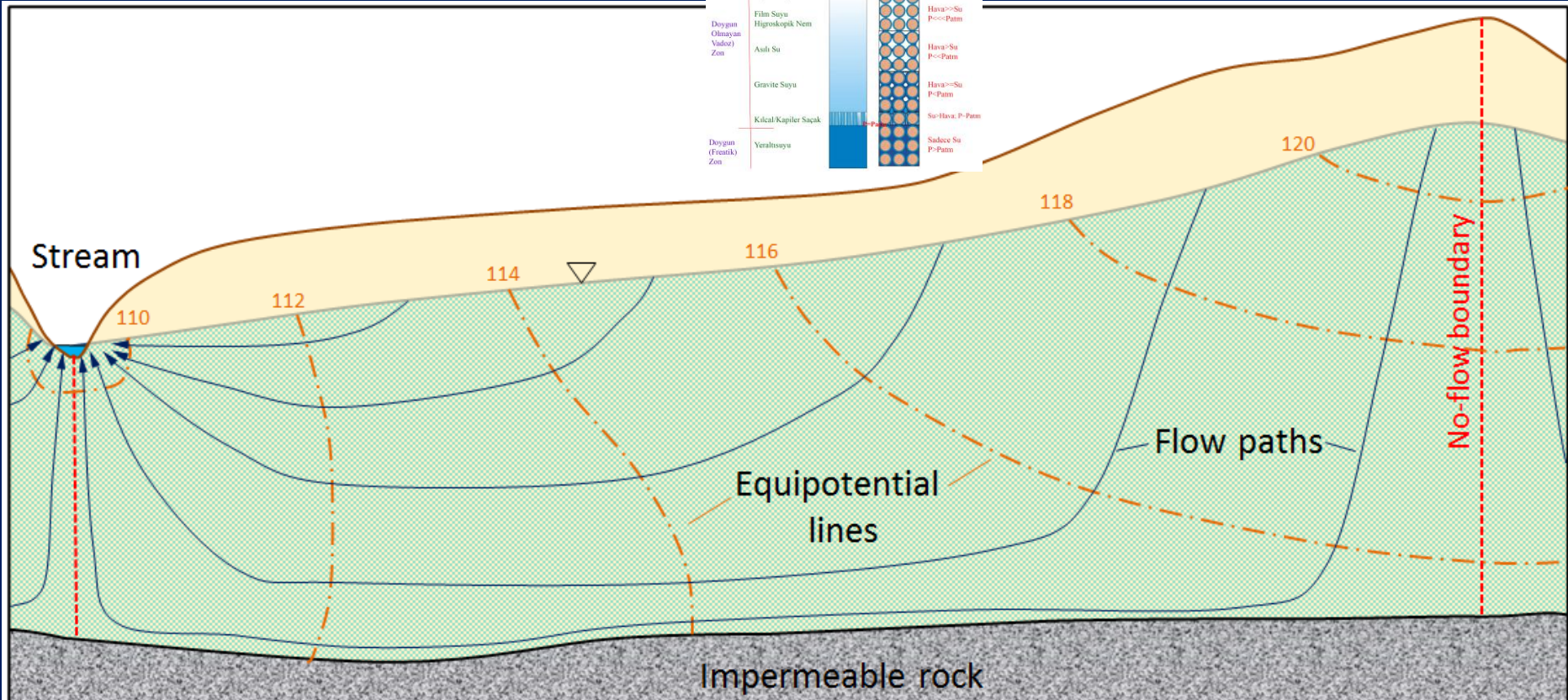
Potansiyel Yükseklik Basınç Yüksekliği Hız Yüksekliği

Enerji çizgisi H
Hız ihmal edilebilir.

$$H = Z + \frac{P}{\gamma}$$



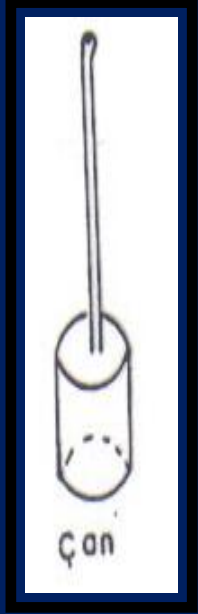
Kararlı akım koşullarında su tablası üzerinde herhangi bir noktada atmosferik basınç referansının 0 olduğunu kabul edersek $H=Z$, yani su tablası üzerinde herhangi bir yükseklik enerji yüküne eşit denebilir.



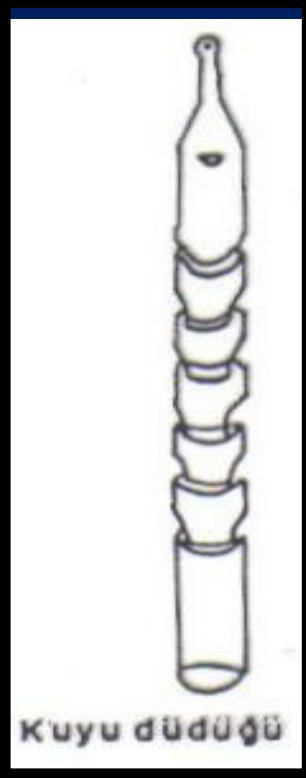
Harita : Ölçek :
Cinsi : X :
Yapım tarihi : Y :
Sahibi : Z :
Donanım : Kuyu çapı
Derinlik /yer : Kuyu bileziği:

Tarih	Su sev.	PH	Cl	HCO ₃	ρ	C°

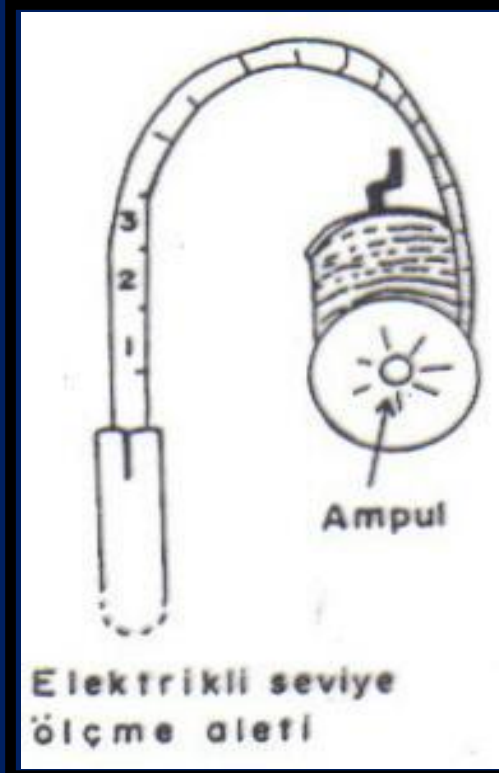
Kuyu fişi



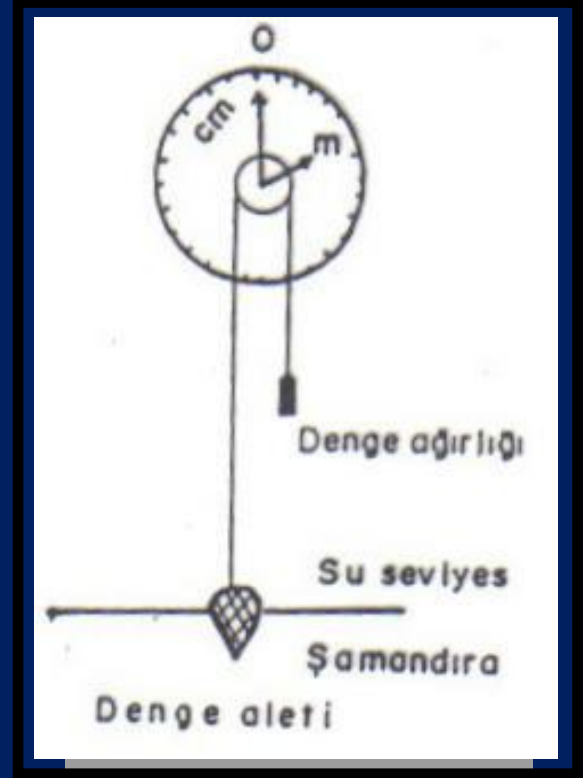
Kuyu çanı



Kuyu düdüğü



Elektrikli seviye ölçü aleti



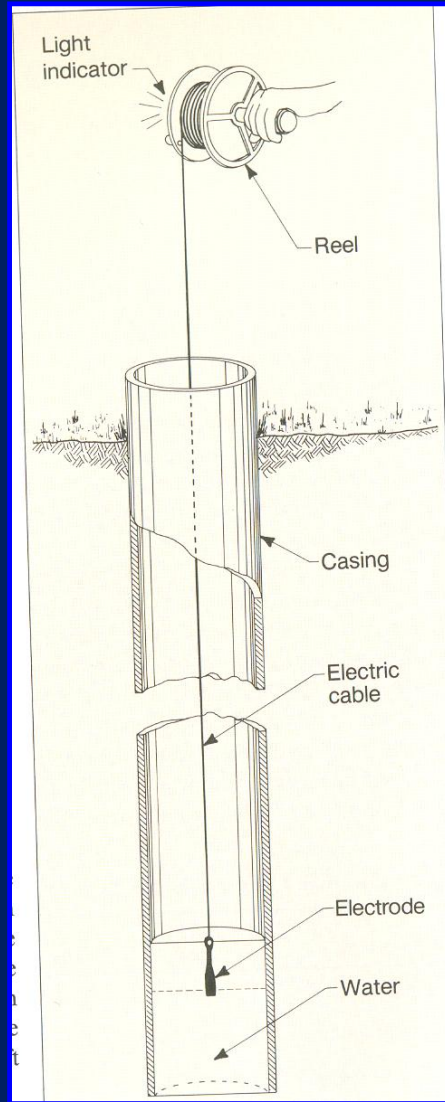
Mekanik denge aleti

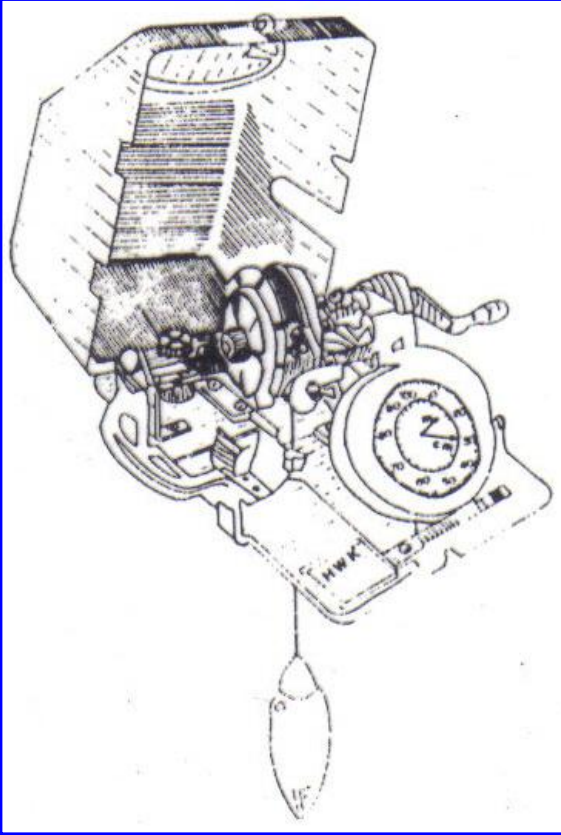
Kuyu çanı:Şerit metre ucuna 30 cmlık bir çan ilave edilir. Çan suya ulaşınca tok bir ses çıkarır.

Kuyu düdüğü: Düdük suya değince öter. Düdük cepleri su ile dolar.

Elektrikli seviye ölçü aleti: Düdük öter veya ampül yanar. Seviye okunur.

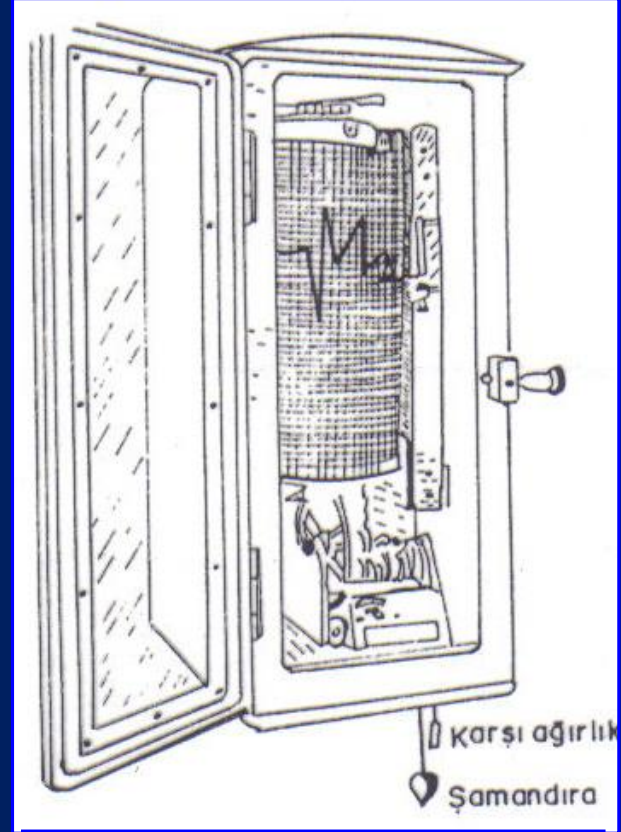
Mekanik denge alet: Genelde pompaj süresinde gözlem kuyularında düşüm ölçülmesi için kullanılır. Pompaj öncesi alet şamandırası kuyudaki suyun üzerinde olmalı.





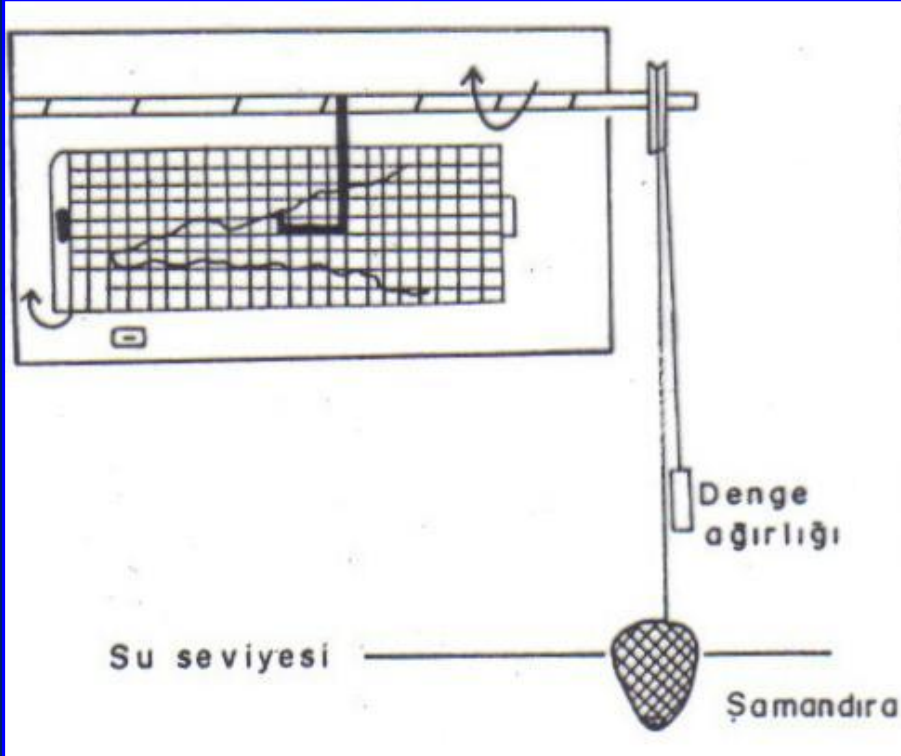
H.W.K. sondaj aleti

Şamandıra kuyudaki suya nince durur, iç göstergede m, dış göstergede cm olarak su seviyesi okunur.

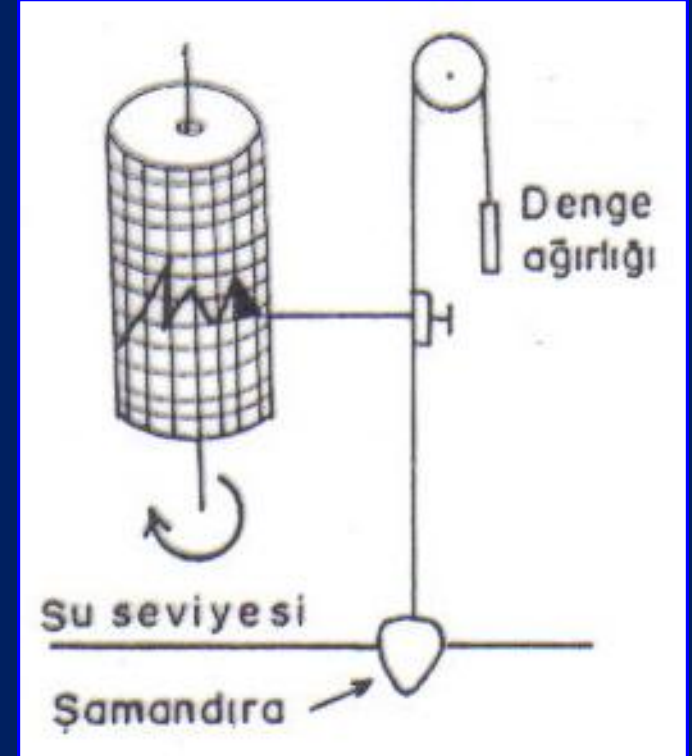


Şamandıralı limnigraf

Kuyu veya akarsu seviyesinin zaman içindeki değişimini kaydeder (eskiden kağıda, şimdilerde hafızaya)



OTT tipi limnigraf



Richard tipi limnigraf

- Yeraltı Suları
- Debi Ölçüm Sistemleri
- Meteoroloji
- Erken Uyarı Sistemleri
- Numune Alma Cihazları
- Veri Kaydediciler ve Modemler

- Üyelik Merkezi
- İndirme Merkezi
- Temsilcilikler

YüzeY Suları



Radar Sensörlü Limnigraf(WLR-01)

WLR-01 su seviyesi ölçümlerinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir.Sahib olduğu radar sensörü sayesinde suya herhangi bir temas olmaksızın suyun seviyesini hassas bir şekilde ölçer ve istenilen zaman aralığında kayıt eder.

[Daha fazla bilgi alın >](#)

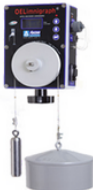
Basınç Sensörlü Limnigraf (PLT-02)

PLT-02 üzerinde yer alan basınç sensörü ile suyun hem seviyesini hem de sıcaklığını ölçebilmekte ve istenilen aralıklarda kayıt etmektedir.

[Daha fazla bilgi alın >](#)

Manyetik Enkoderli Limnigraf (MEL)

Su seviyesini şamandıra sistemi sayesinde mekanik olarak ölçer. Bilinen en eski ve en hassas ölçüm metodudur.Su seviyesini istenilen zaman aralığında kayıt eder.

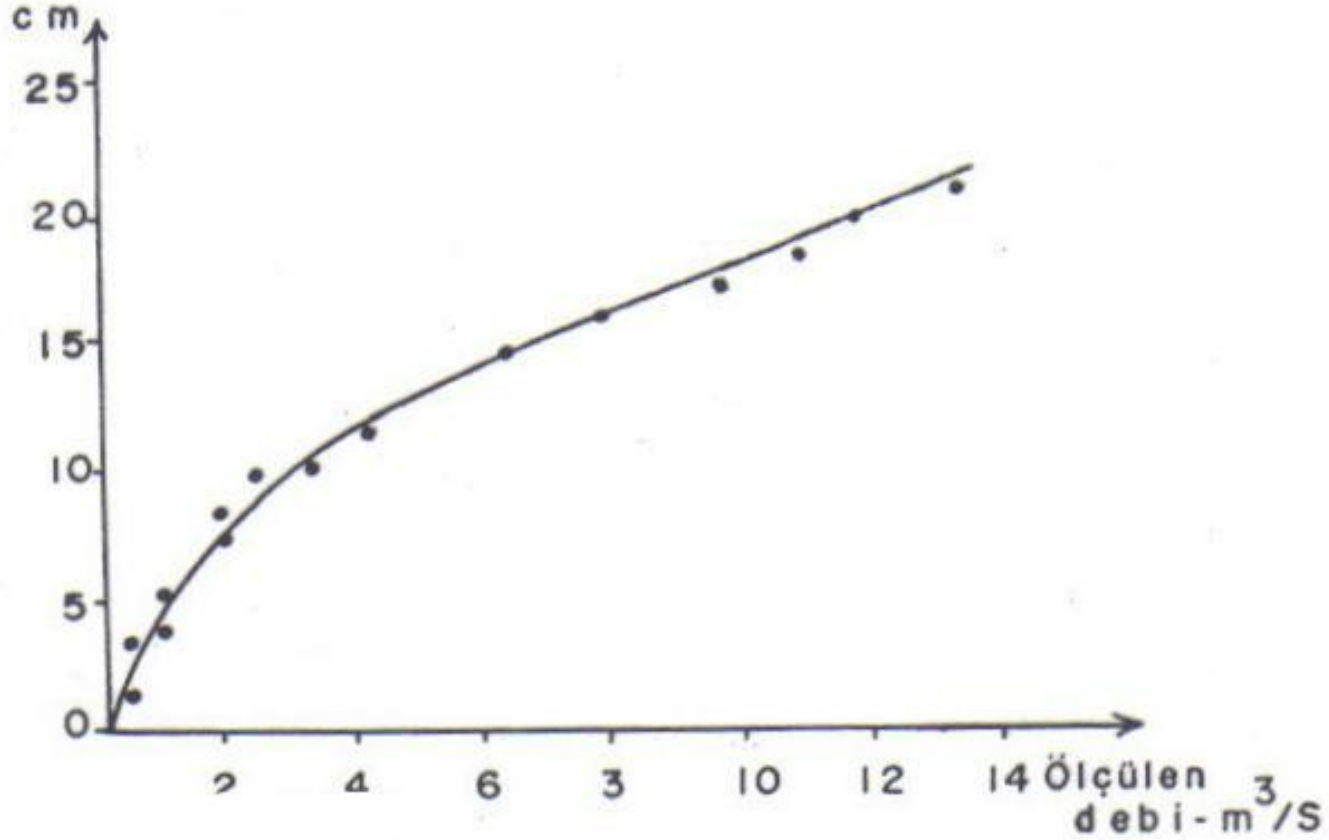
[Daha fazla bilgi alın >](#)

Optik Enkoderli Limnigraf (OEL)

Su seviyesini şamandıra sistemi sayesinde mekanik olarak ölçer. Bilinen en eski ve en hassas ölçüm metodudur.Su seviyesini istenilen zaman aralığında kayıt eder.

[Daha fazla bilgi alın >](#)

Limnigraf kağıdında
okunan



Anahtar eğri
(Kaynak boşalım noktasında su seviyesi-debi ilişkisi)

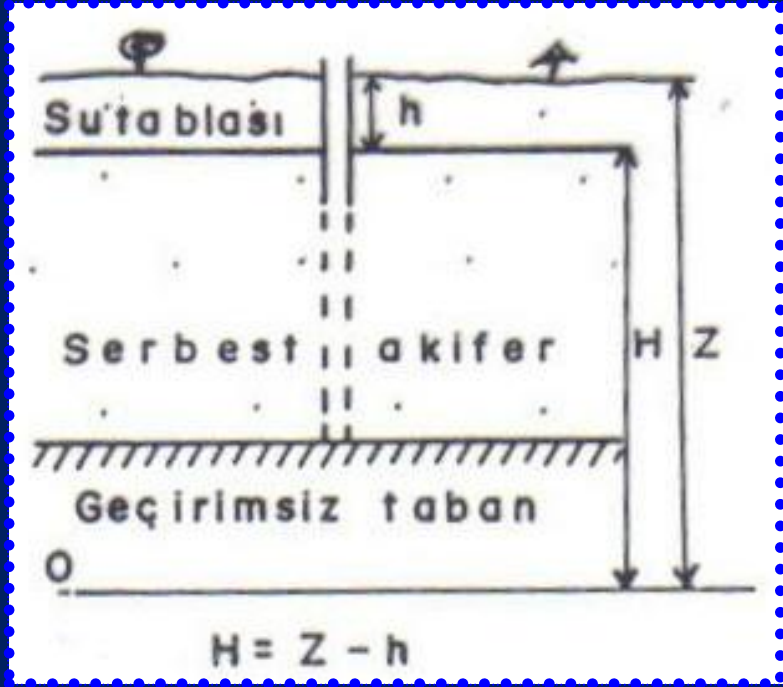
SU TABLASI- serbest akiferin üst kısmını sınırlayan suyun yüzeyi (vadoz bölge ile doygun bölgeyi ayırır). Atmosferik basıncın akiferdeki su basıncına eşit olduğu yüzey.

ve

BASINÇ YÜZEYİ- (piyezometrik yüzey) atmosferik basıncın suyun basıncına eşit olduğu yüzey.

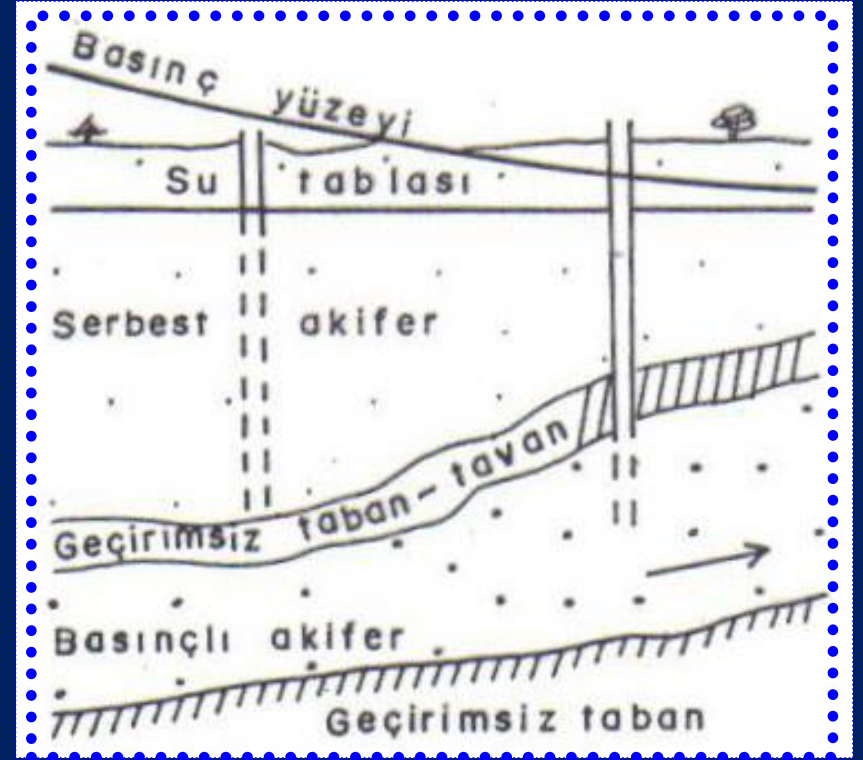
HARİTALARININ

ÇİZİMİ



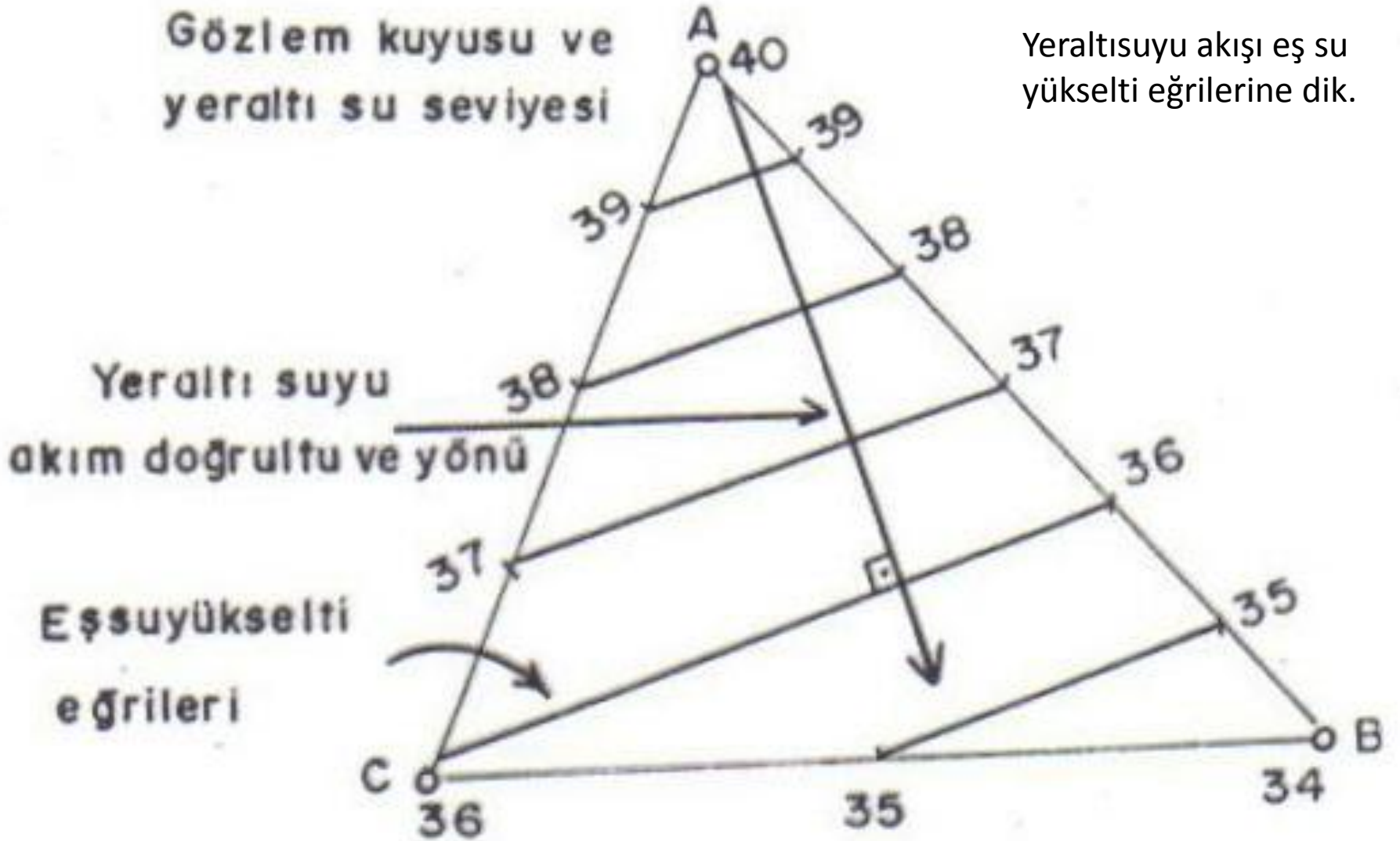
Serbest akifer

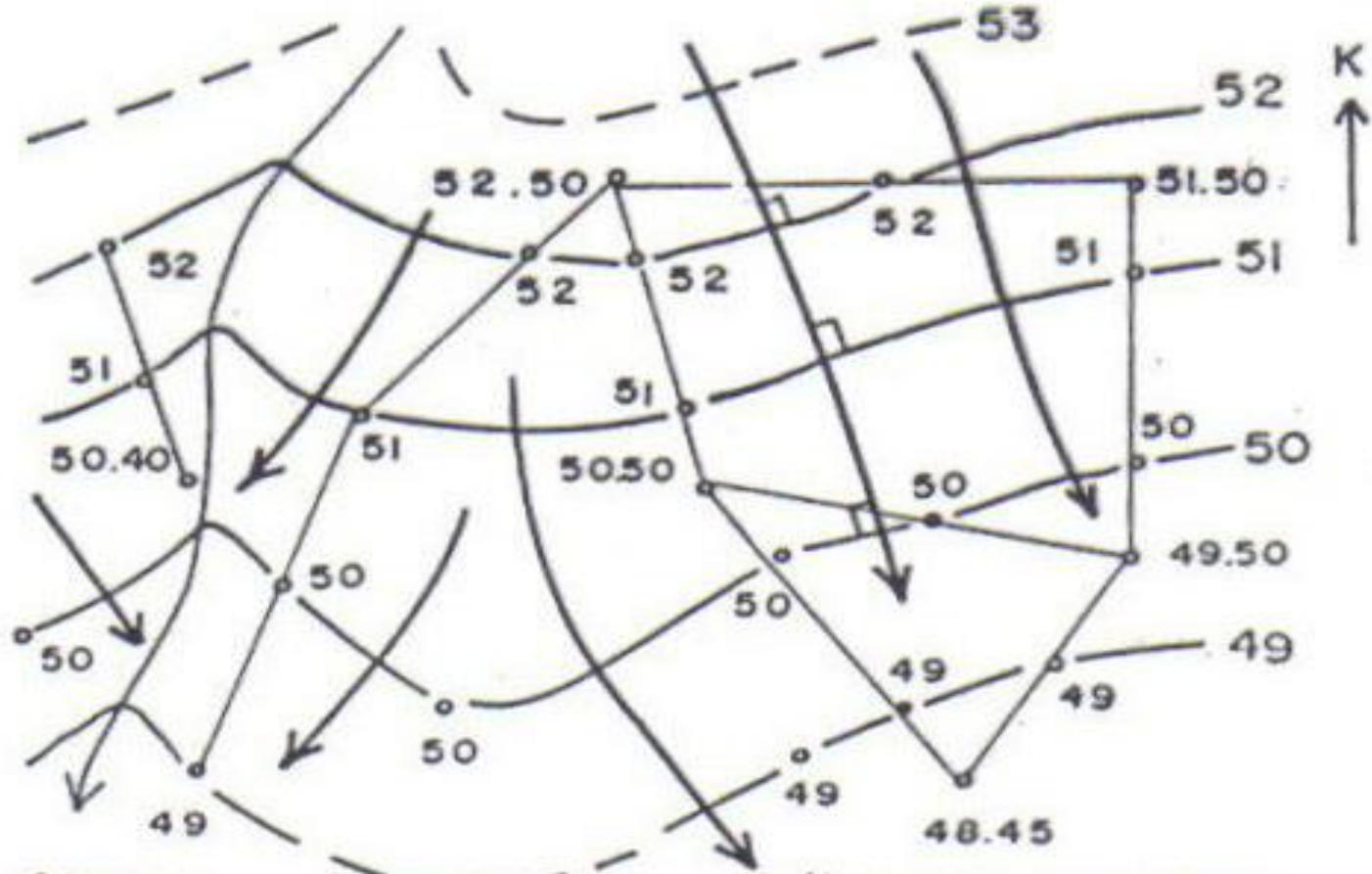
$$H = Z - h$$



Serbest ve basınçlı akifer

Üçgen yöntemiyle eş su seviye eğrilerinin belirlenmesi





Akarsu

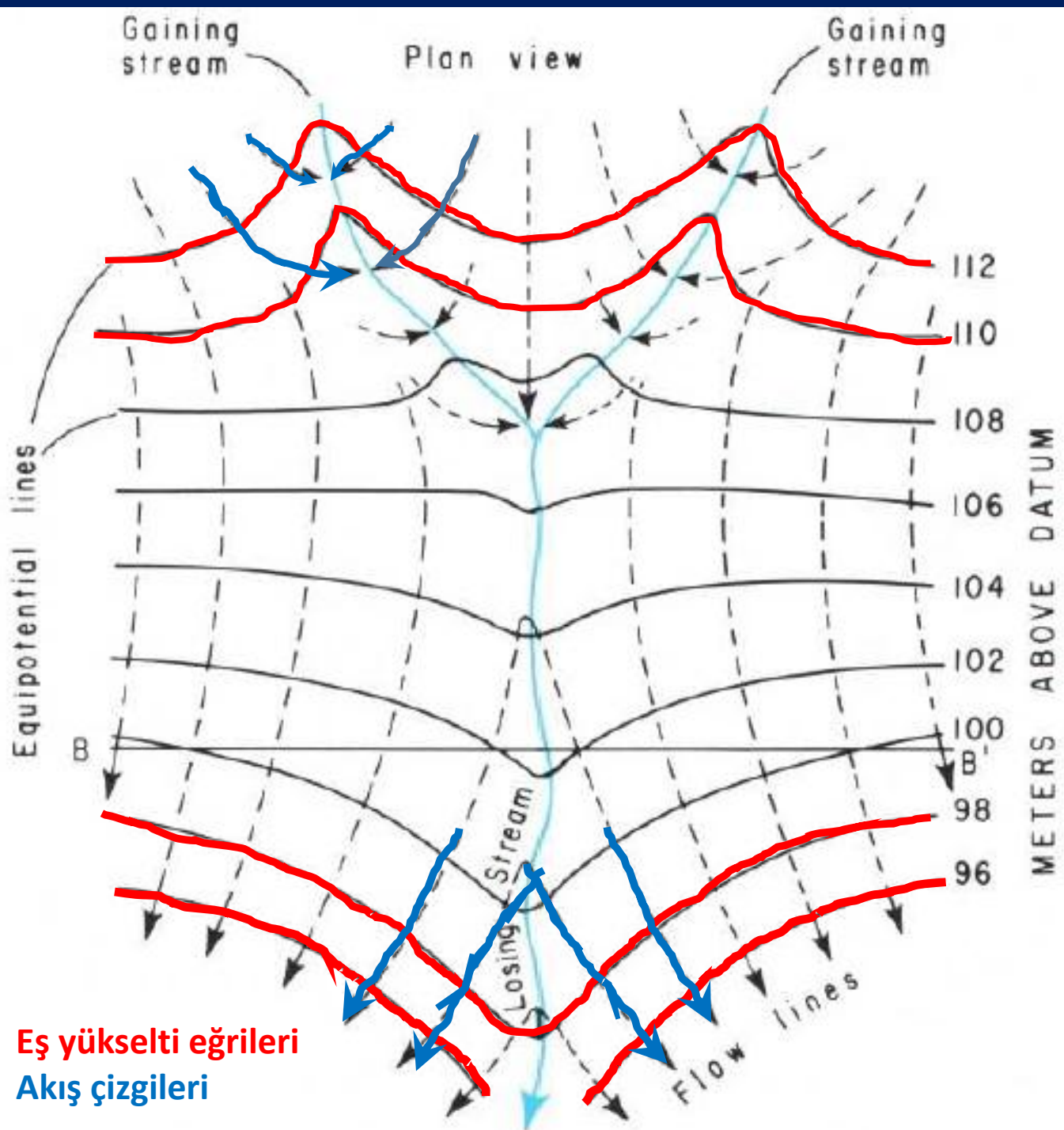
ÖLÇEK: 1/10000

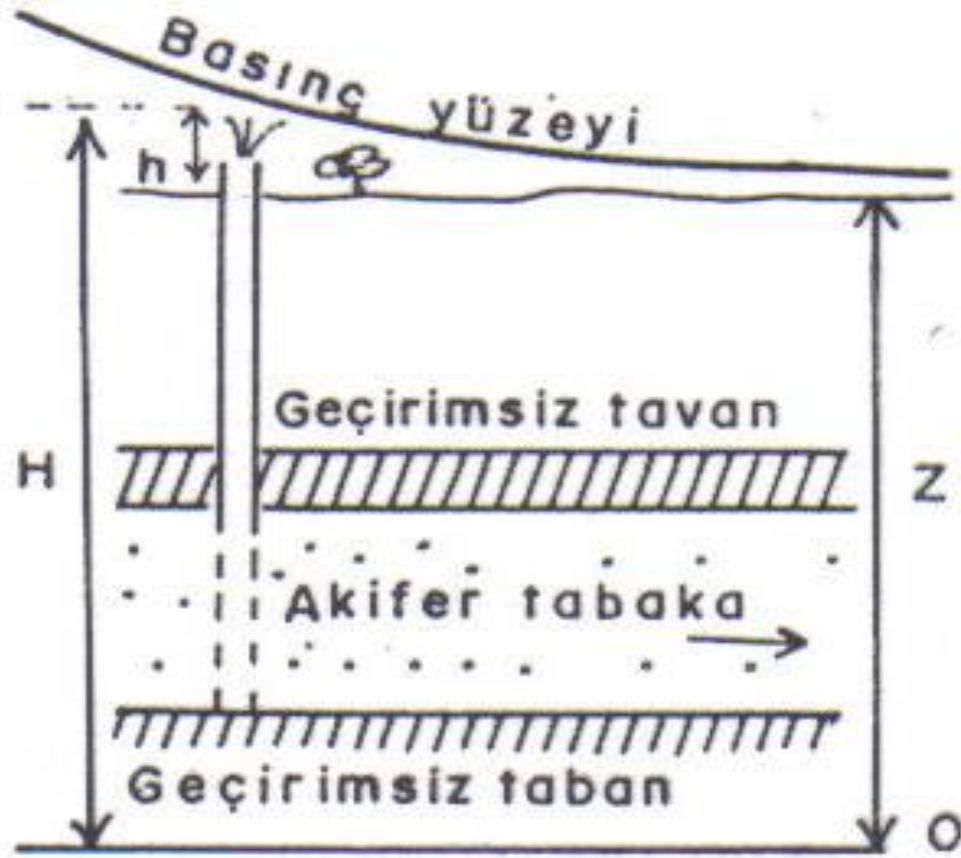
- 50
o Gözlem kuyusu ve yeraltı suyu yükseltisi
- 50 Eşsuyükselti eğrileri
- Yeraltı suyu akım doğrultu ve yönü

Su tablası haritası çizimi

Akarsu
Yatağında
«V» kuralı

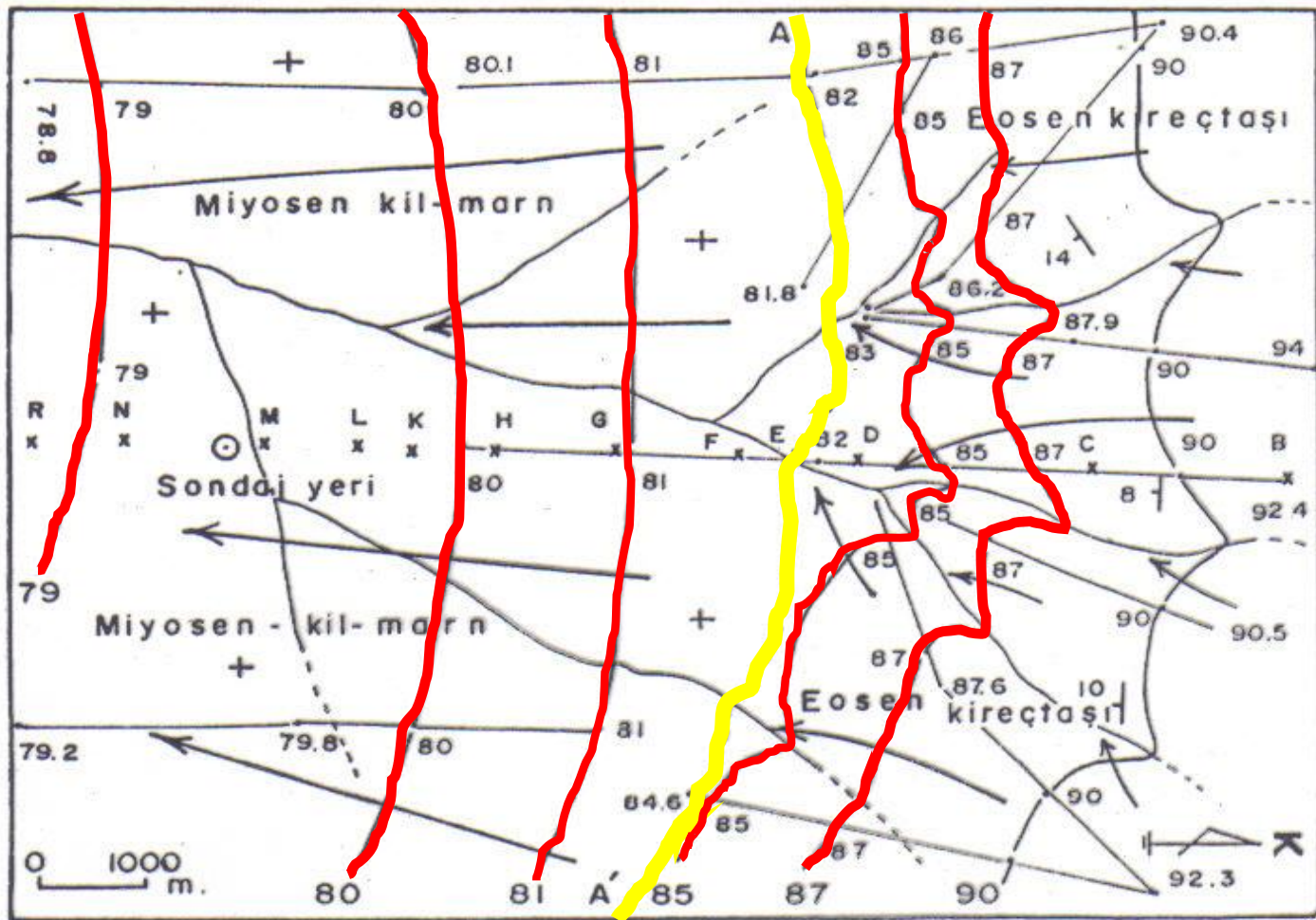
Akarsu yataklarında akifer akarsuyu besliyorsa eşyüksekti eğrileri akarsu yatağında sivri ucu menba tarafına doğru olan bir V oluşturur.





$$H=Z+h \text{ Basıncılı akifer.}$$

Basınç yüzeyinin konumu



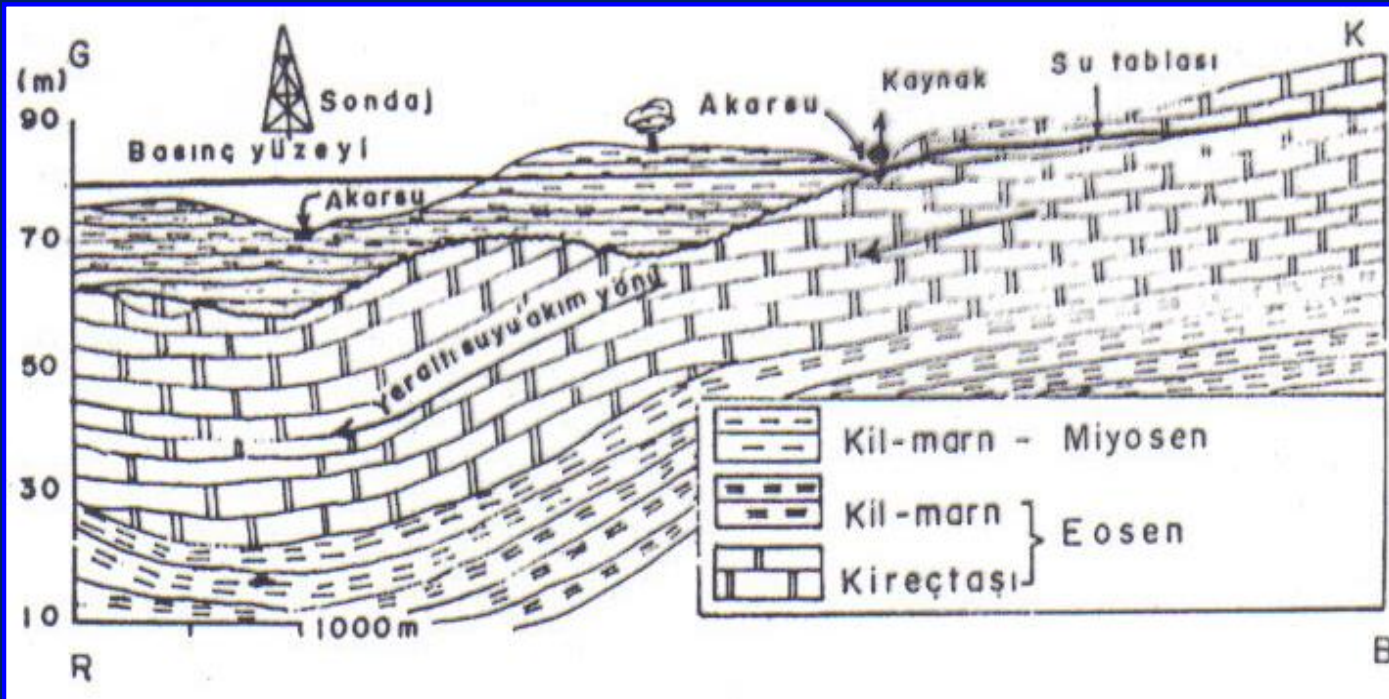
Serbest akifer?
Basıncılı akifer?

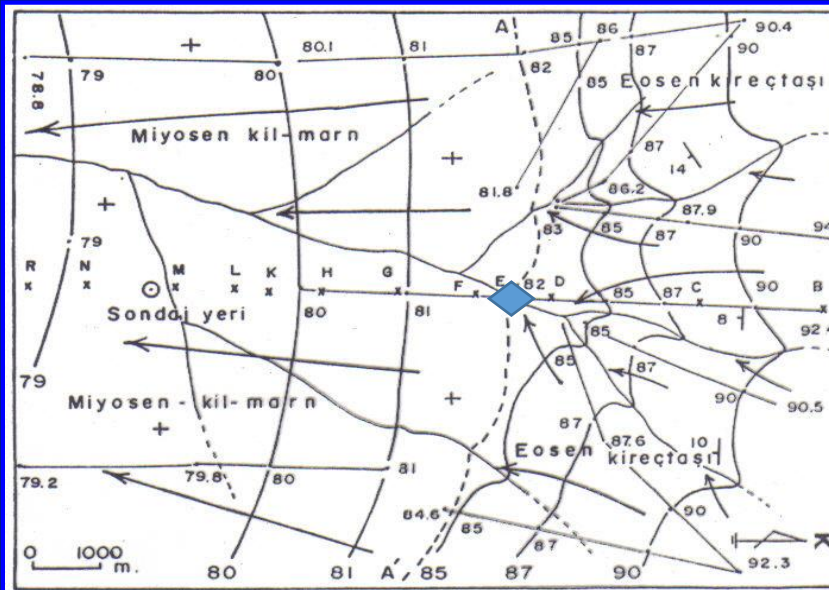
- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| + Yatay tabaka | A - A' Miyosen Eosen dokanağı |
| λ_{10} Tab, doğrultu eğimi | Bu hattın K' i su tablası |
| R B: Kesit doğrultusu | G' i basınç yüzeyi haritasıdır |
| x x | — 85 Eş su yükselti eğrisi |
| • 86 Gözlem kuyusu ve sukotu | → Yeraltı suyu akım yönü |

Su tablası ve basınç yüzeyi haritası

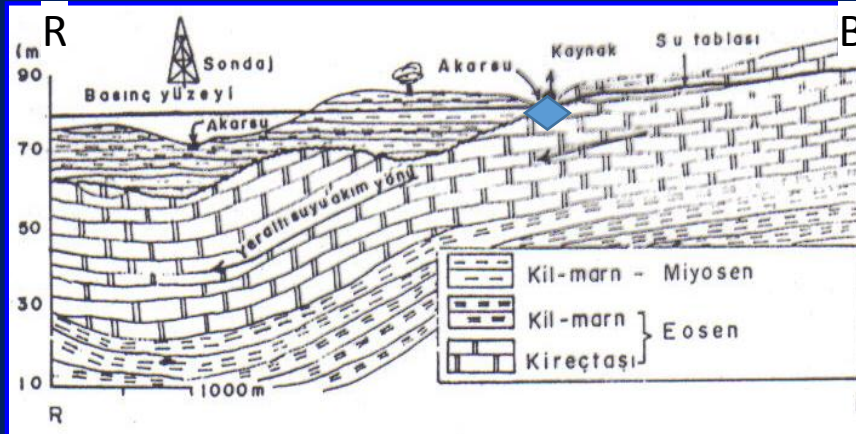
HİDROJEOLOJİ KESİTİ

Hidrojeoloji kesitinde, jeoloji kesiti üzerine hidrolojik ve hidrodinamik yapılar (kaynak noktası, su tablası ve/veya basınç yüzeyi, litolojilerin geçirimsizlik tipleri, yeraltı suyu akım yönü, kaptaj durumları eklenmektedir).





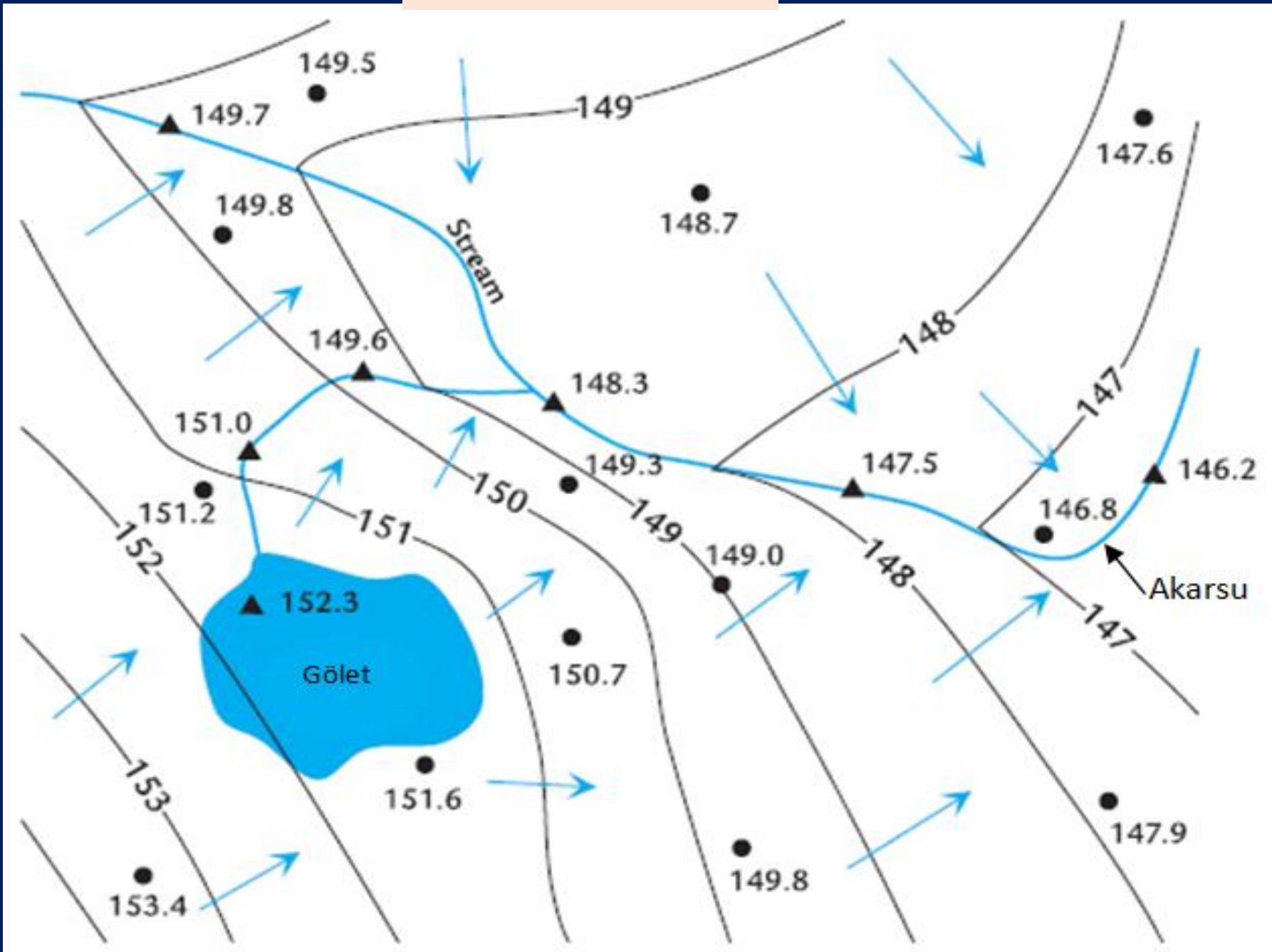
- + Yatay tabaka A - A' Miyosen Eosen dokanağı
 /₁₀ Tab, doğrultu eğimi Bu hattın K' i su tablası
 R B: Kesit doğrultusu G' i basınç yüzeyi haritasıdır
 x x — Eş su yükselti eğrisi
 •86 Gözlem kuyusu ve su kuru → Yeraltı suyu akım yönü



Su Tablası Haritası

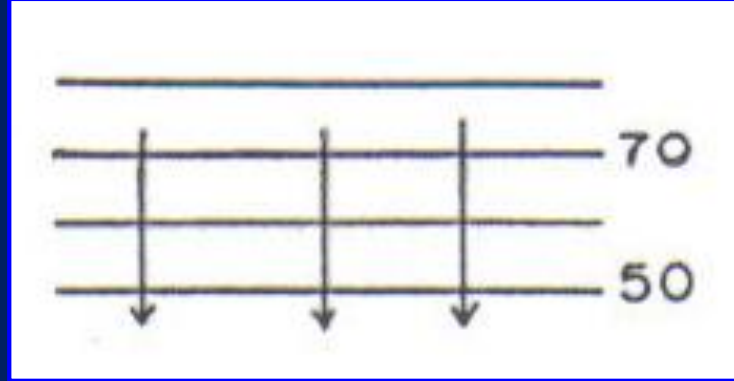


Su Tablası Haritası



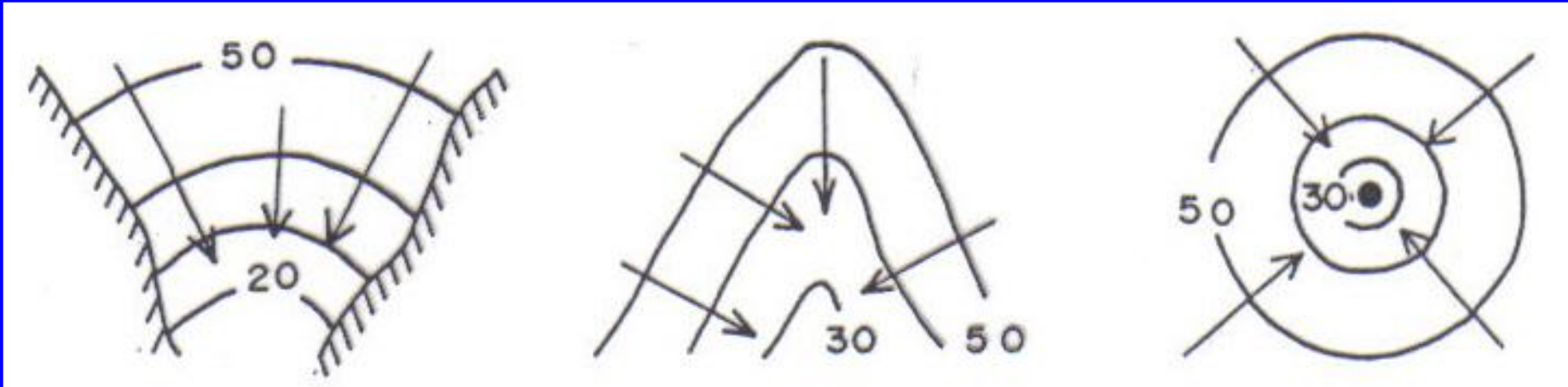
NAPLARIN ÇEŞİTLERİ

Silindirik naplar



Konverjan naplar

Su tablası yüzeyi konkav

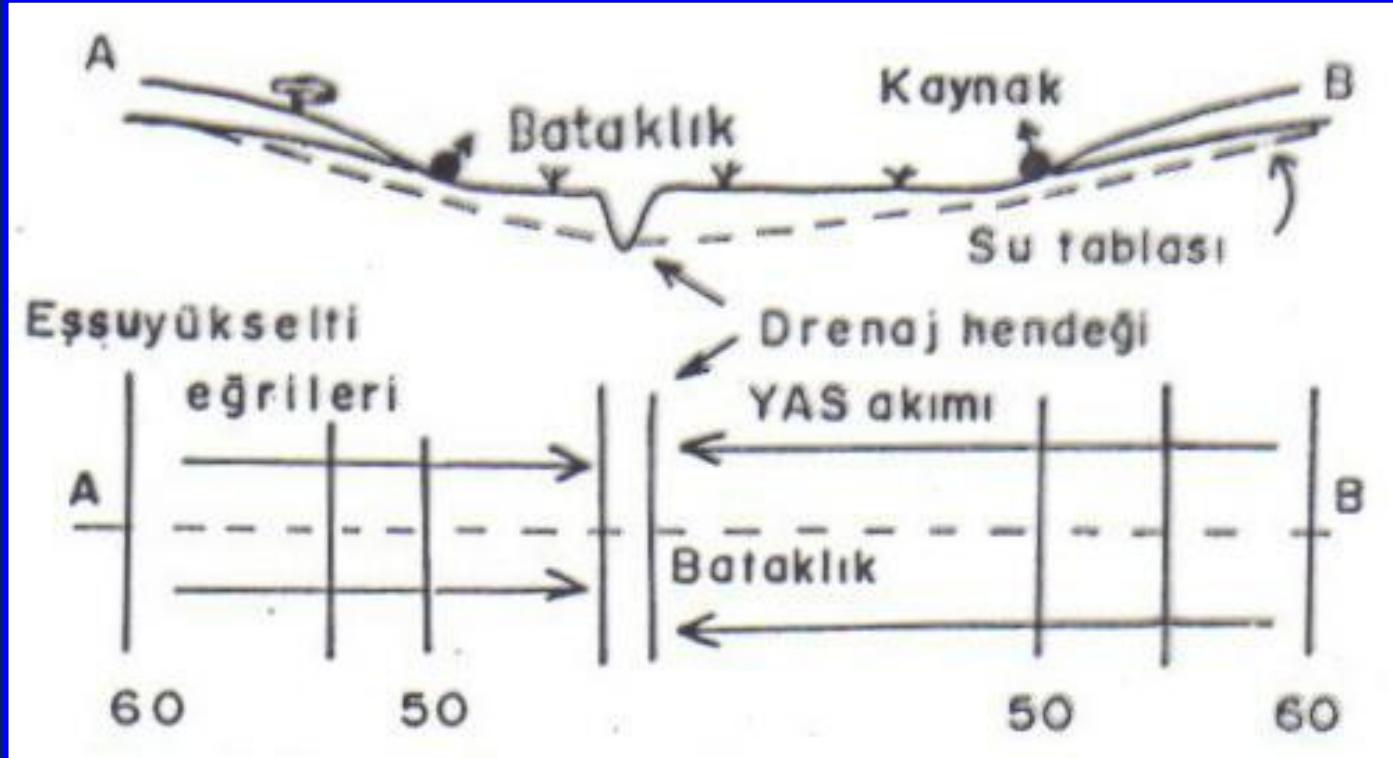


İki taraftan geçirimsiz formasyonla sınırlı bir vadiye daralarak giren bir alüvyon akiferde

Akarsu-yeraltısuyu ilişkisi sonucunda

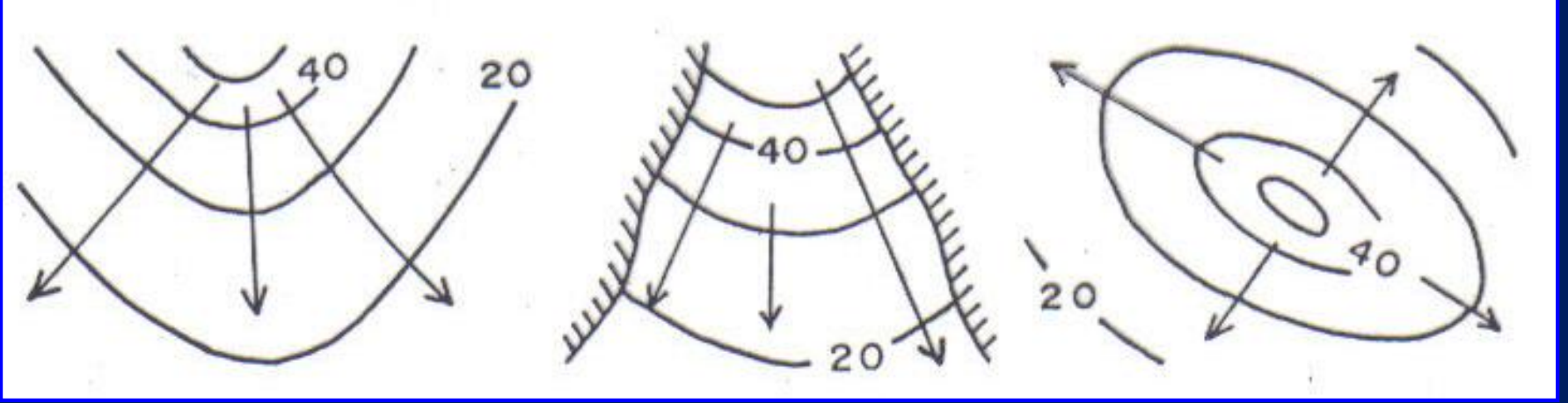
Bir pompaj kuyusu ile çekim yapıldığında

Bataklığı kurutmak için yapılan drenaj hendeğinde



Drenaj hendeğine yönelen sıvı akıları-Konverjan nap

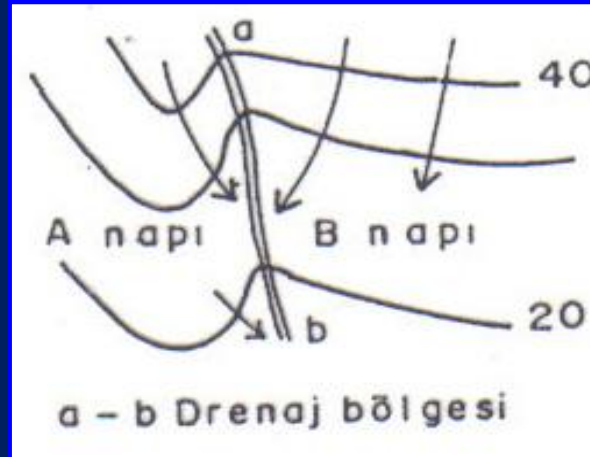
Diverjan naplar



Yamaçları geçirimsiz bir vadiden çıkıp giderek genişleyen bir alüvyon akiferde, sırtlarda veya tepelerdeki yeraltısuyu akımında sıvı akıları birbirinden uzaklaşır şekilde hareket eder.

Birleşen naplar

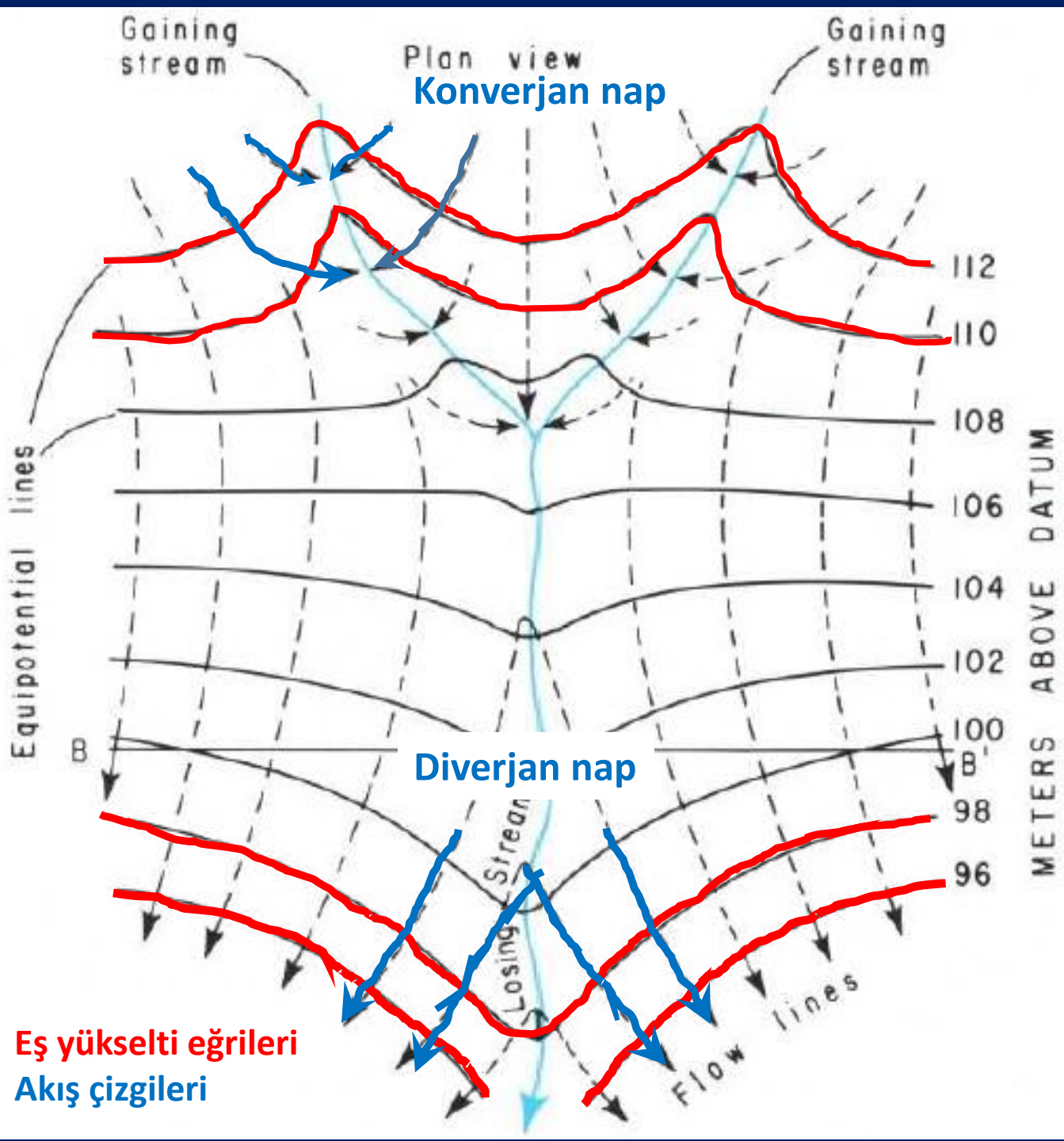
Sıvı akılarının yöneldiği ortak bir drenaj bölgesi ile ayrılırlar. Derinlerde rastlanır. Birleşme hattında açılacak kuyulardan bol su elde edilir.



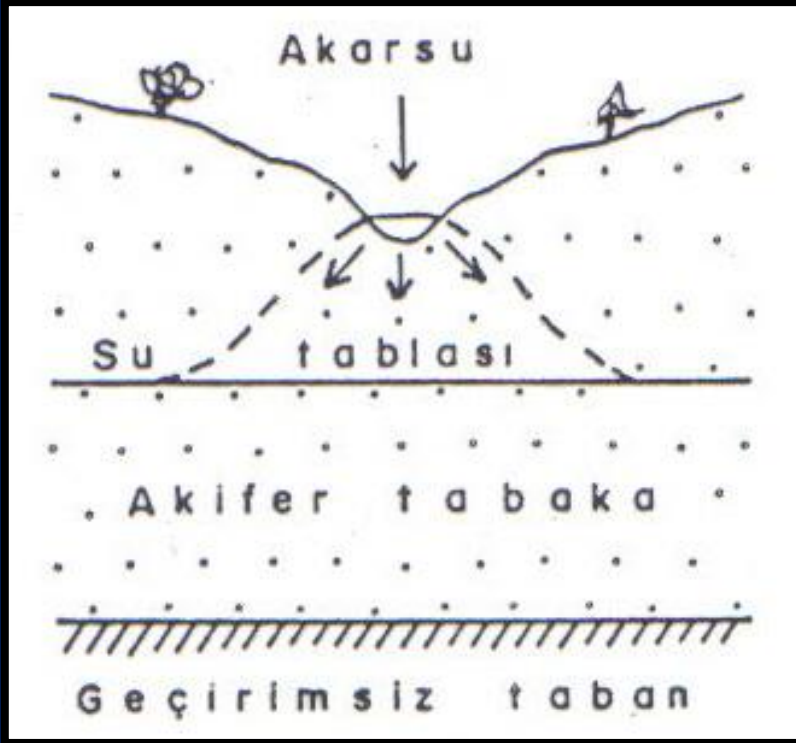
Akarsu
Yatağında
«V» kuralı

Akarsu yataklarında akifer akarsuyu besliyorsa eşyükselti eğrileri akarsu yatağında sivri ucu menba tarafına doğru olan bir V oluşturur. (Akifer verici, akarsu alıcı)

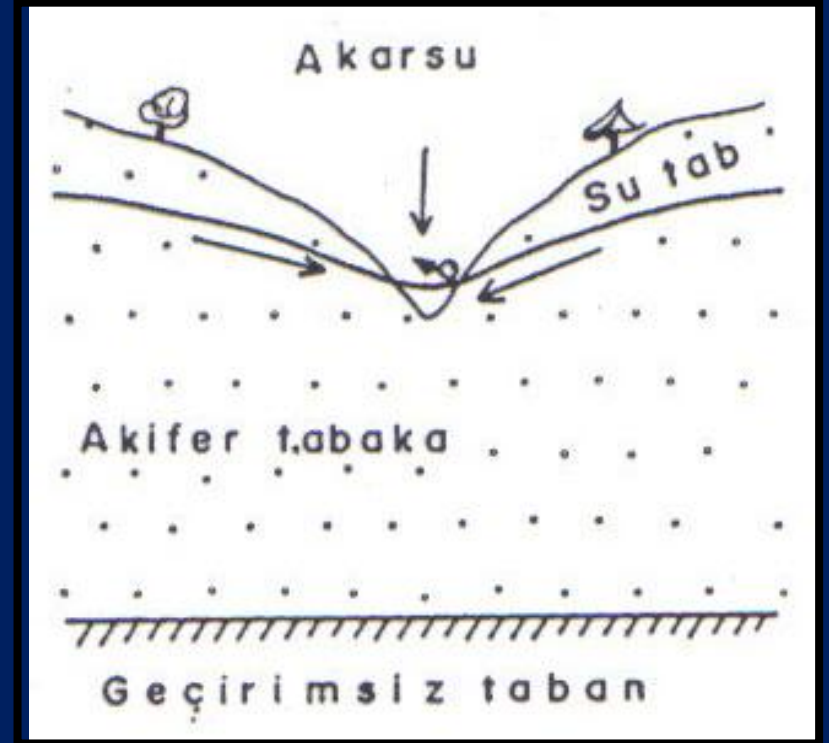
Akarsu akiferi besliyorsa
Akifer alıcı
Akarsu verici



YERALTI SUYU - YÜZEYSUYU İLİŞKİSİ

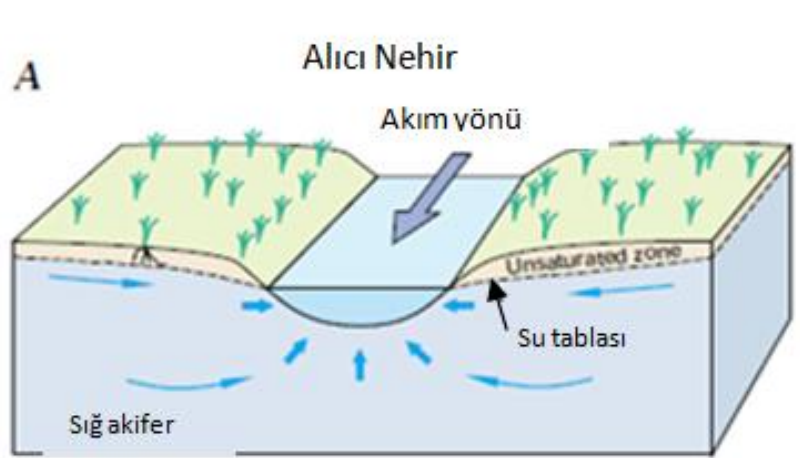


Akifer alıcı, akarsu verici

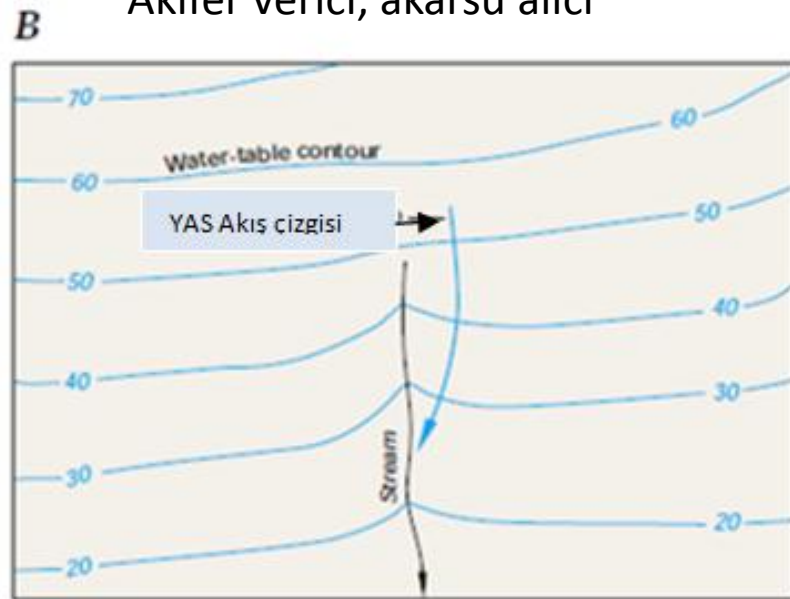


Akifer verici, akarsu alıcı

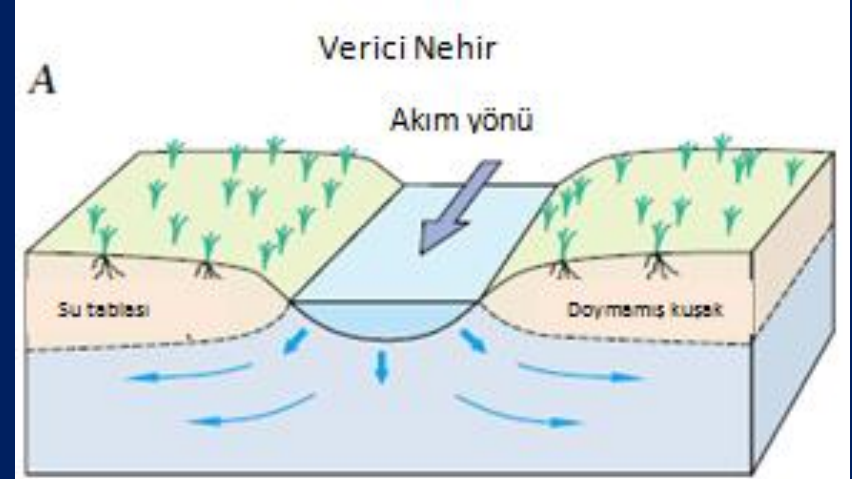
Akiferin akarsuyu beslediği durum. Hidrohipsler akarsu yatağında “ters V” yapmaktadır.



Akifer verici, akarsu alıcı



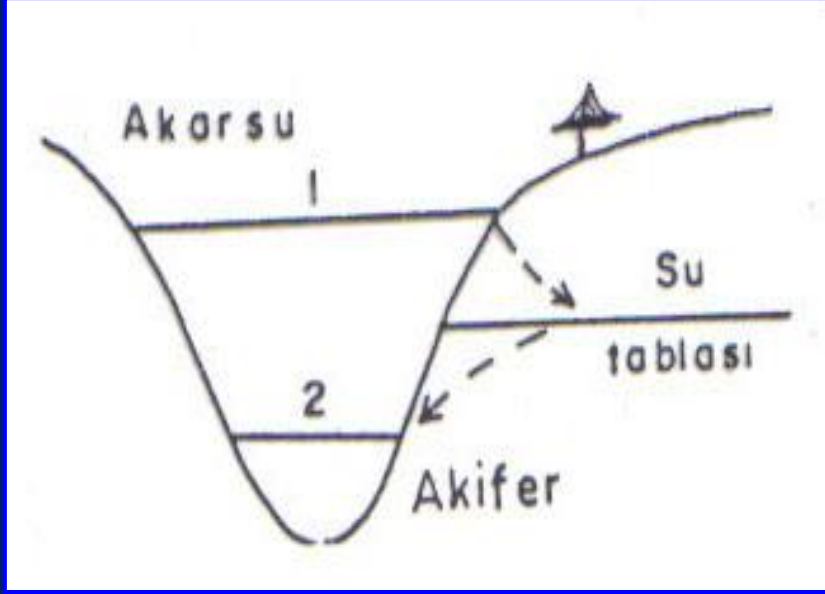
Akarsuyun akiferi beslediği durum. Hidrohipsler akarsu yatağında “V” kuralına uymaktadır.



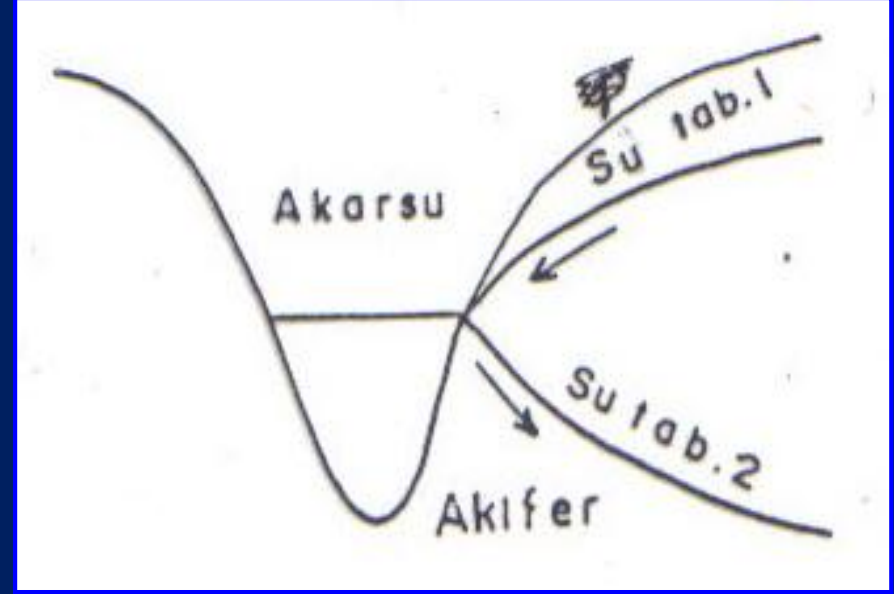
Akifer alıcı, akarsu verici



Akiferin verici veya alıcı durumu akarsu seviyesinin su tablası seviyesine göre veya su tablasının dere seviyesine göre alçalıp yükselmesine bağlıdır.

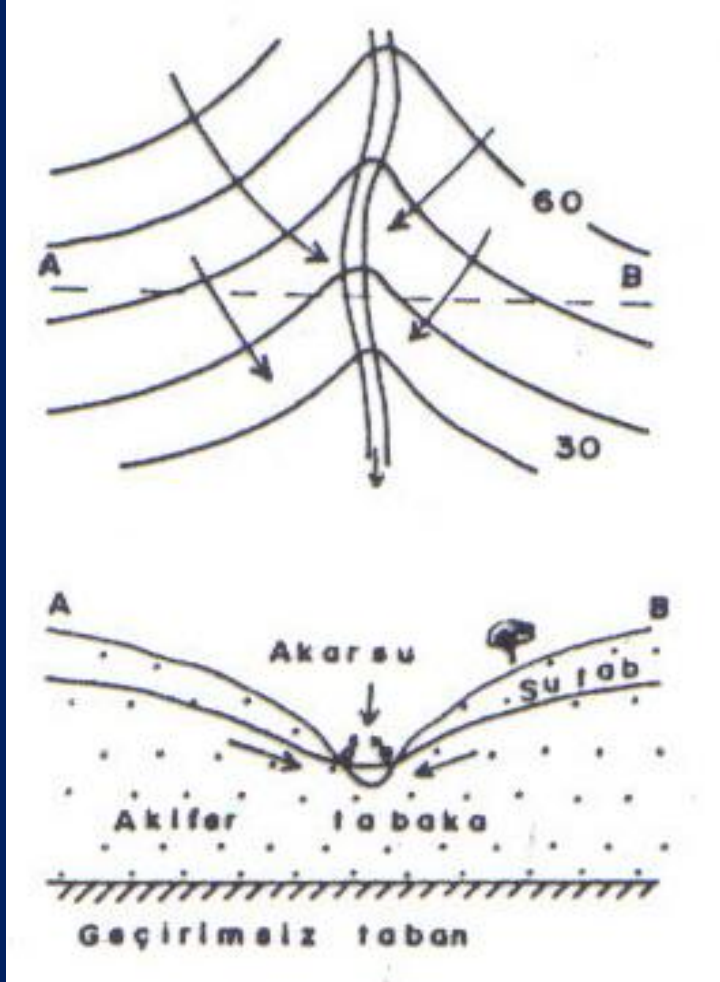


Su tablası sabit, akarsu seviyesi değişken

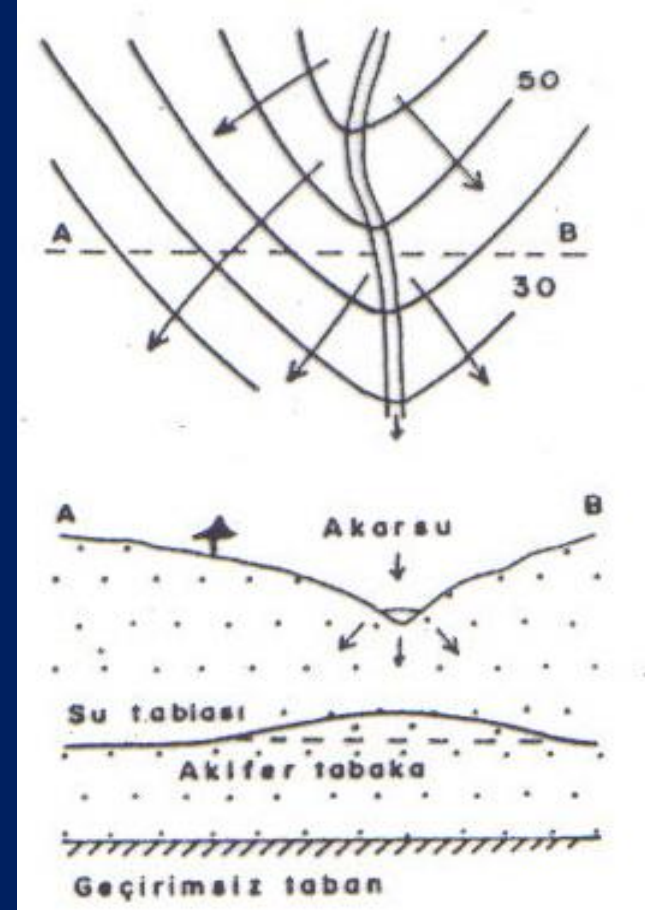


Su tablası değişken, akarsu seviyesi sabit

Eş Su Seviye Eğrilerinin Akarsu Yatağındaki Durumları

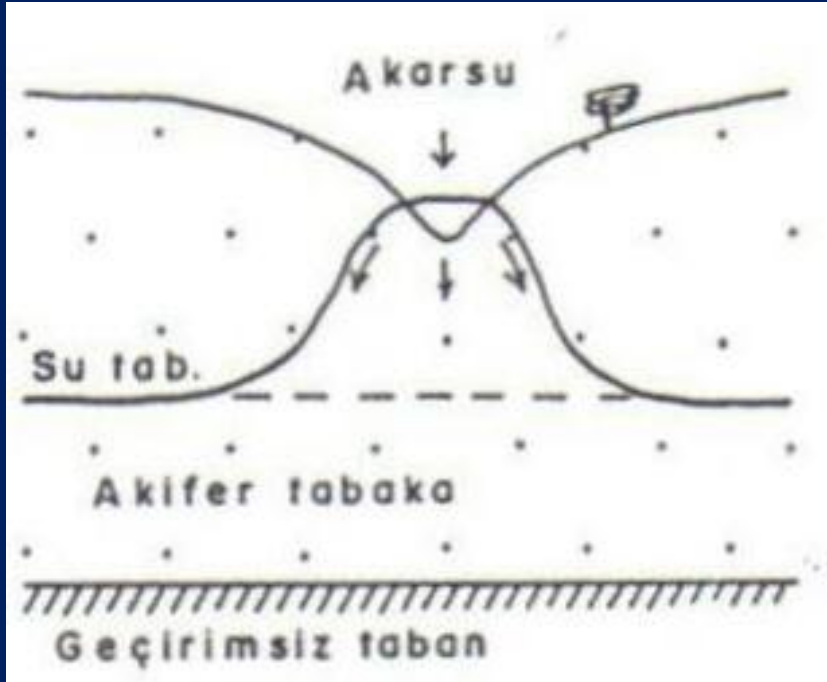


Yeraltı suyunun
akarsuyu beslemesi
durumu



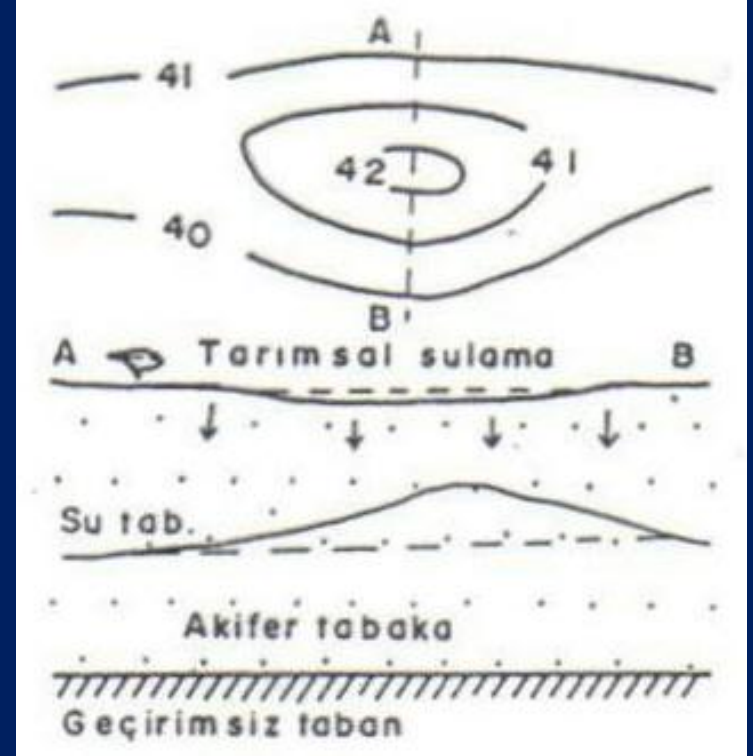
Akarsuyun yeraltı suyunu beslemesi durumu:
Su tablasında bir tümsek oluşmuş. Tümsek
şekli ve büyüklüğü akarsu tabanı ile su
tablası arasındaki formasyonun cinsine,
boylanmasına ve jeolojik yapısına bağlı.

Akarsu yatağı altındaki formasyon geçirgen ve homojense dik yanlı tümsek oluşur ve bu tümsek akarsuya ulaşabilir.

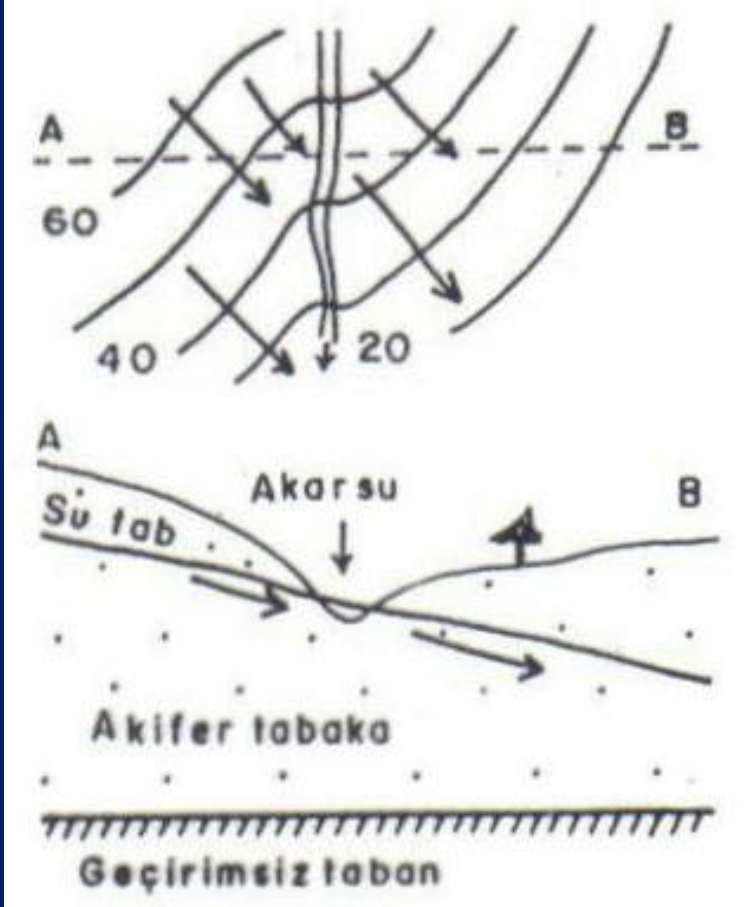


Dik yanlı yeraltı suyu tümseği

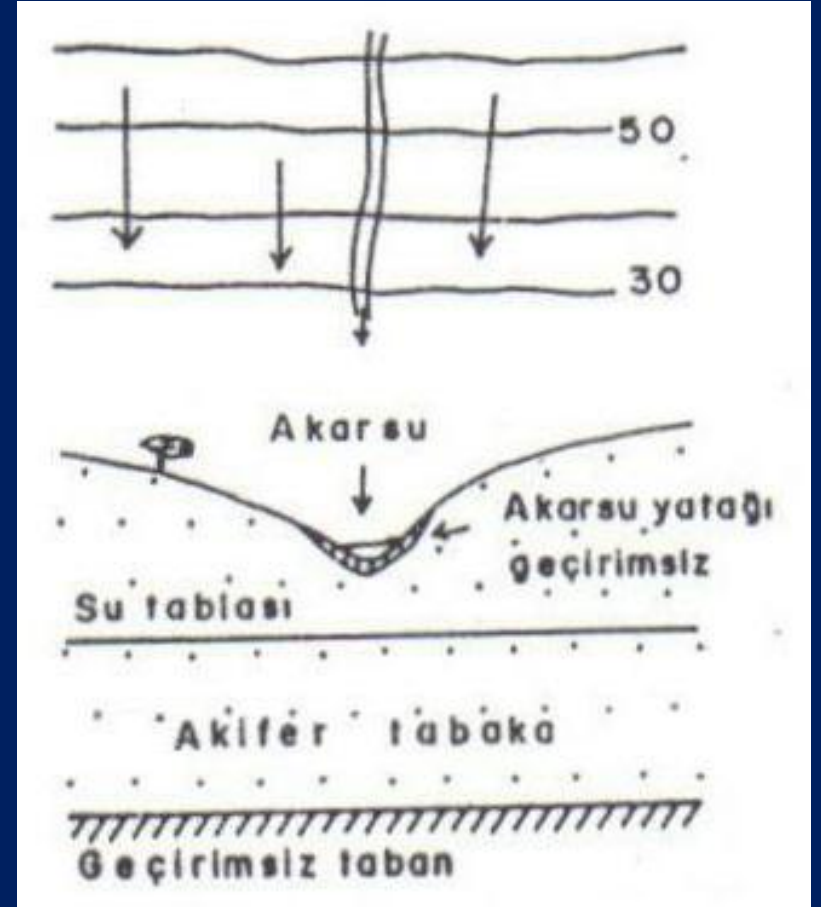
Sulama öncesi su tablası topoğrafyaya paralel



Tarımsal sulama sonucu yeraltı suyu tümseği oluşması

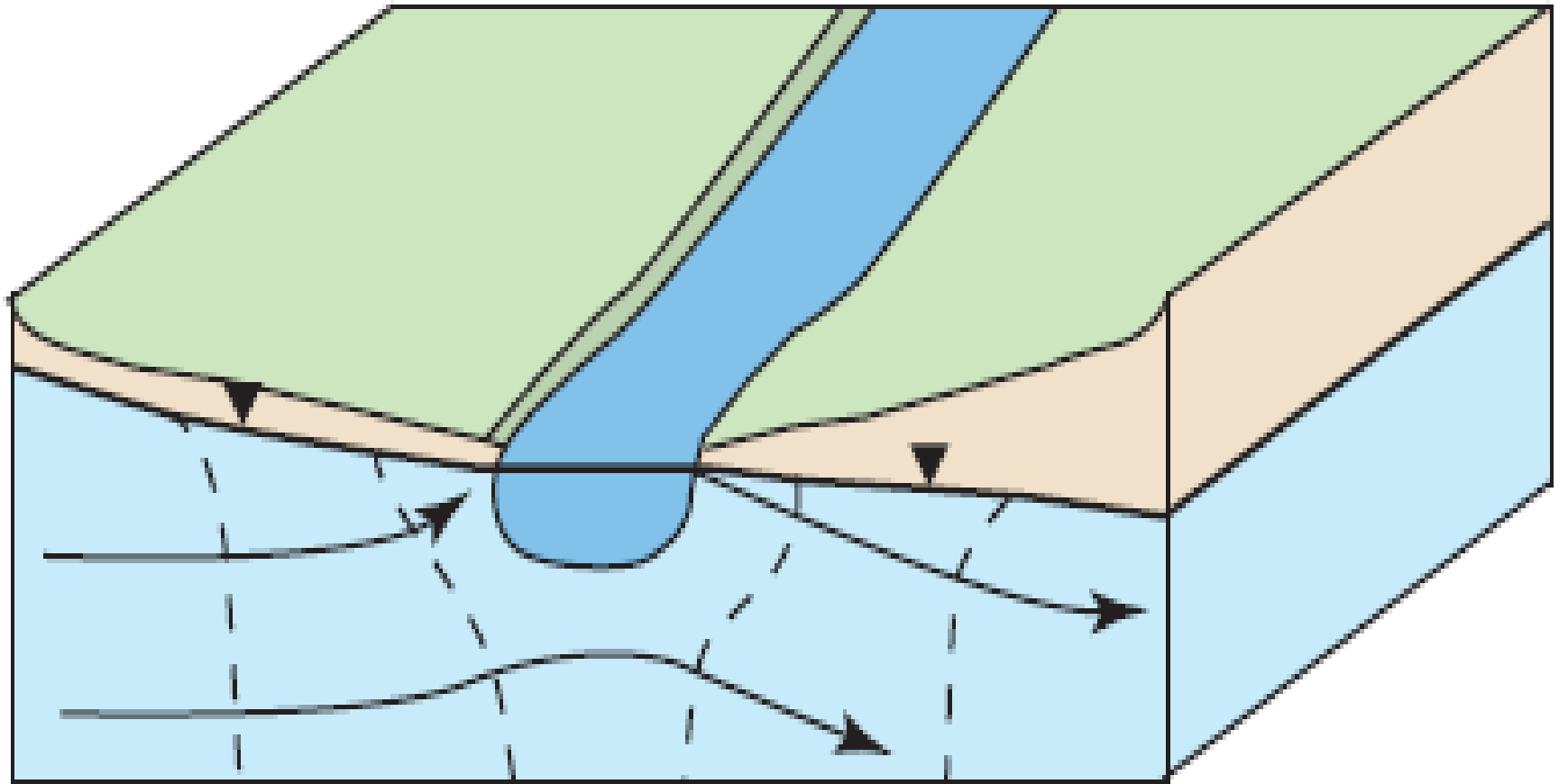


Akarsuyun bir kıyıda verici bir kıyıda alıcı olması

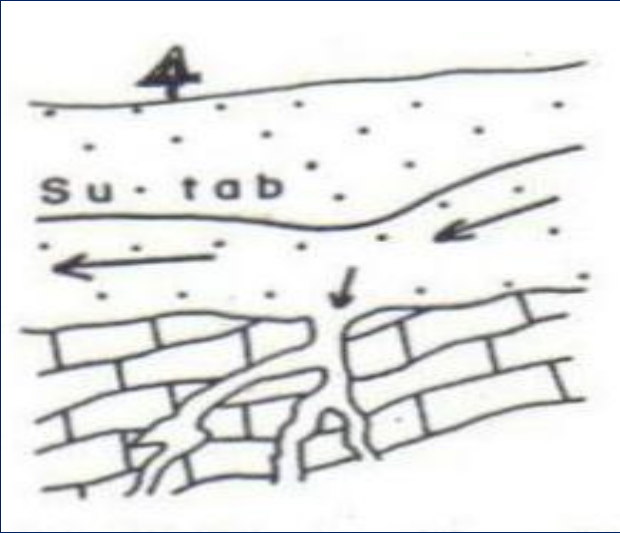


Yeraltı ve yerüstü sularının ilgili olmadığı durum

Akarsu, bir kıyıda akiferden beslenirken diğerk kıyıda akiferi beslemektedir.

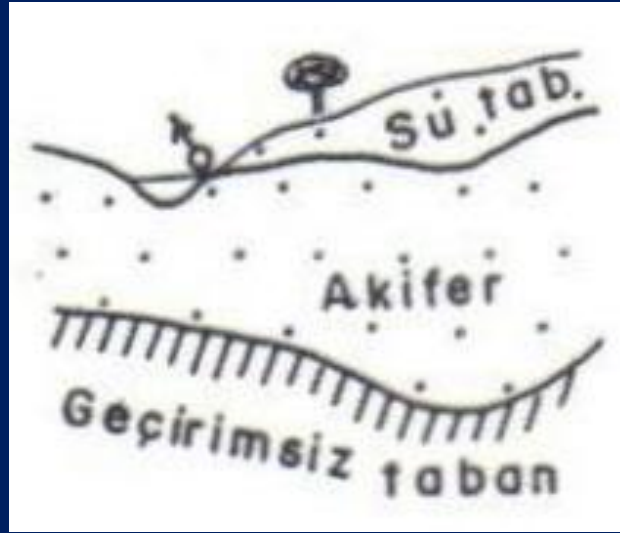


Yeraltı suyu hendekleri/çöküntüleri

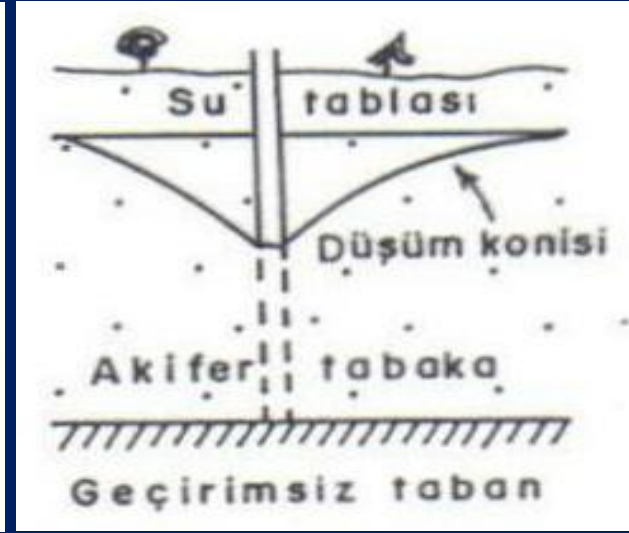


Dip kaçakları

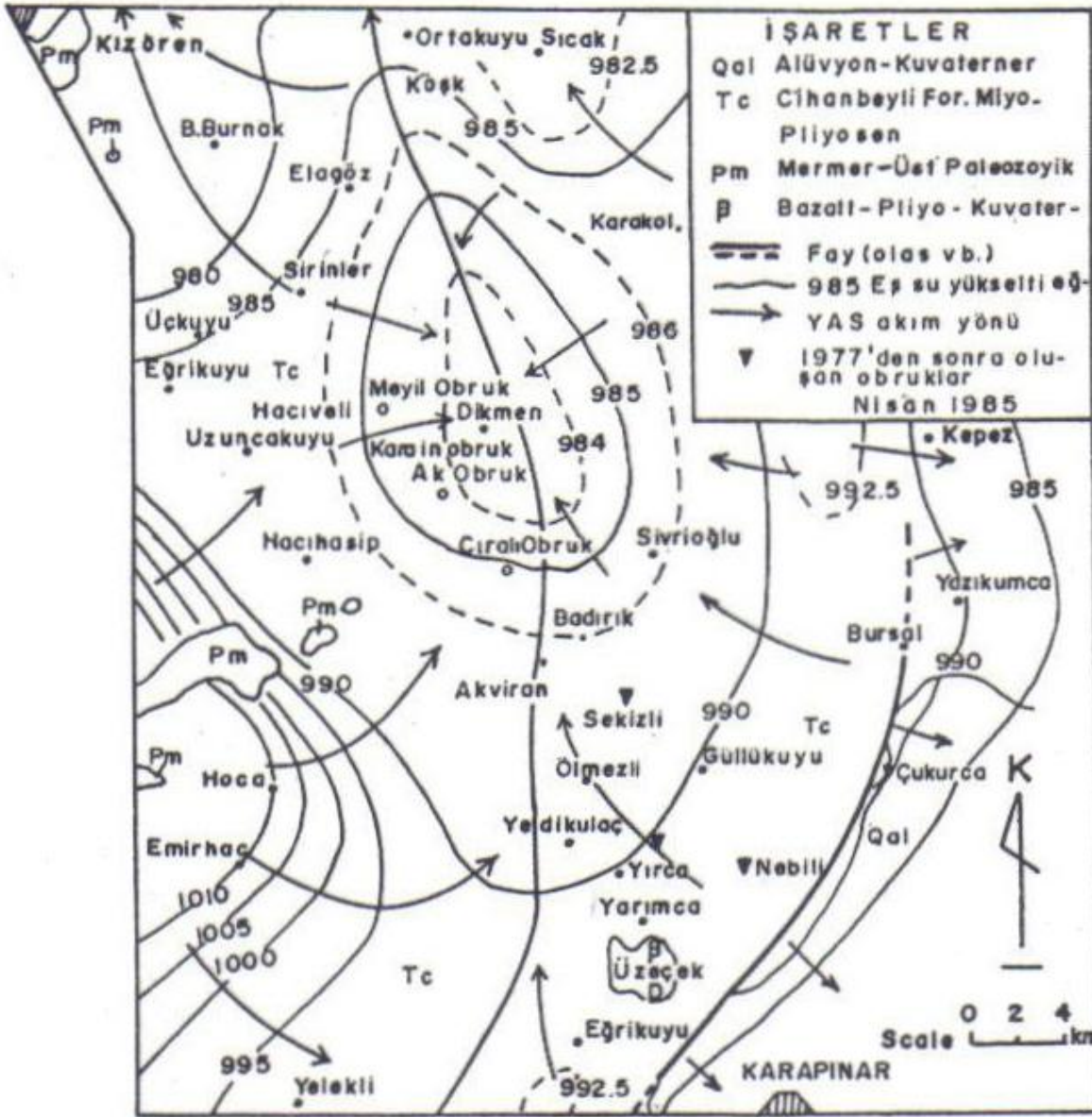
Karstik alanlarda görülebilen önemli miktardaki dip kaçakları



Geçirimsiz temelin çukurlaşması



Pompajla oluşan düşüm konisi



Çıralı obruğu, Konya

Dip kaçağı nedeniyle oluşan asimetrik elips

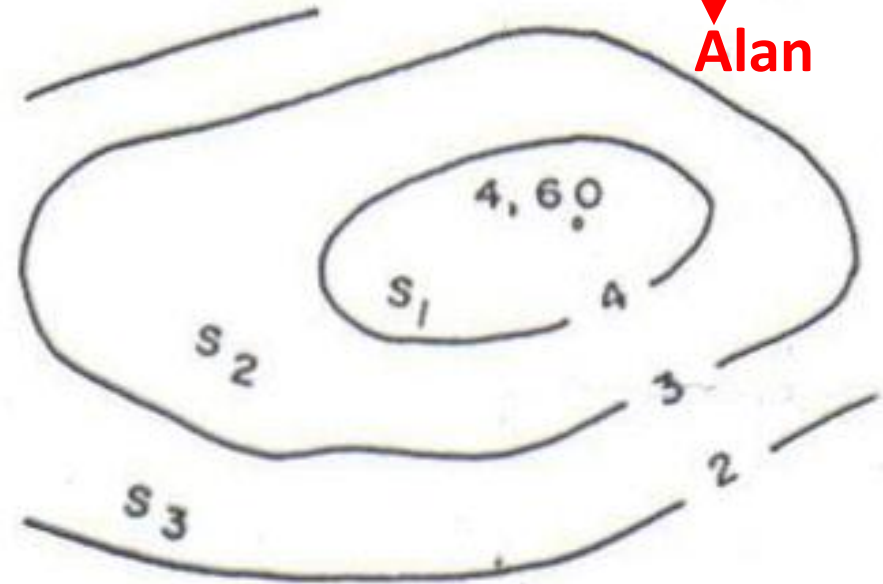
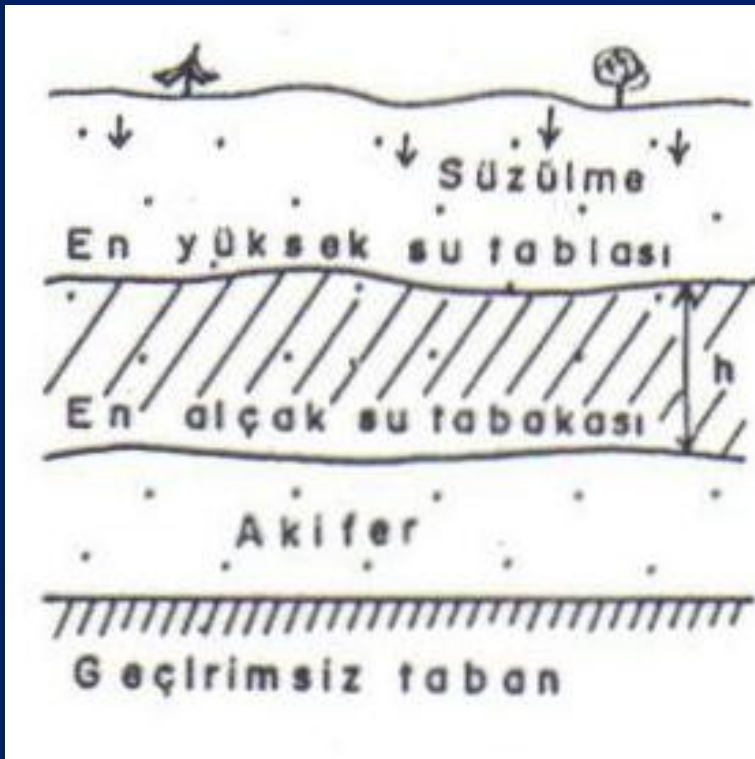
SU TABLASI HARİTALARININ YORUMU

Bir bölge için kurak (en alçak) ve yağışlı (en yüksek) dönemi temsilen iki farklı su tablası haritası oluşturulması gerekebilir.

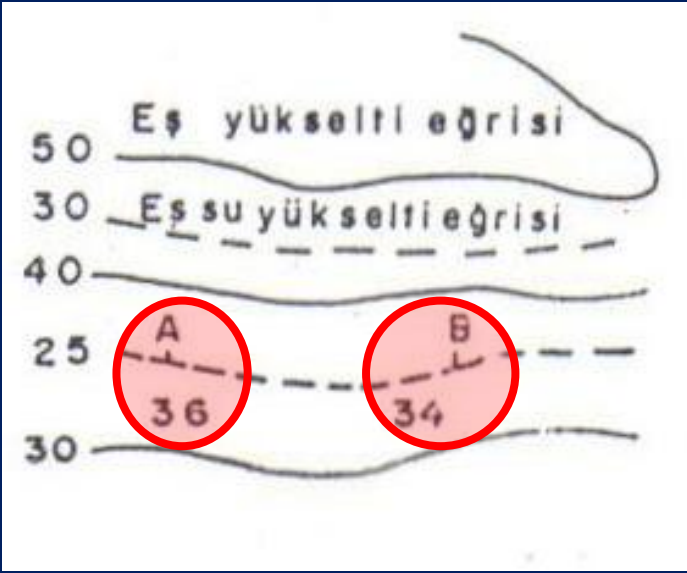
Eş değişim miktarı

$$Q_1 = S_1 \times 4.30 \times ne$$
$$Q_2 = S_2 \times 3.50 \times ne$$

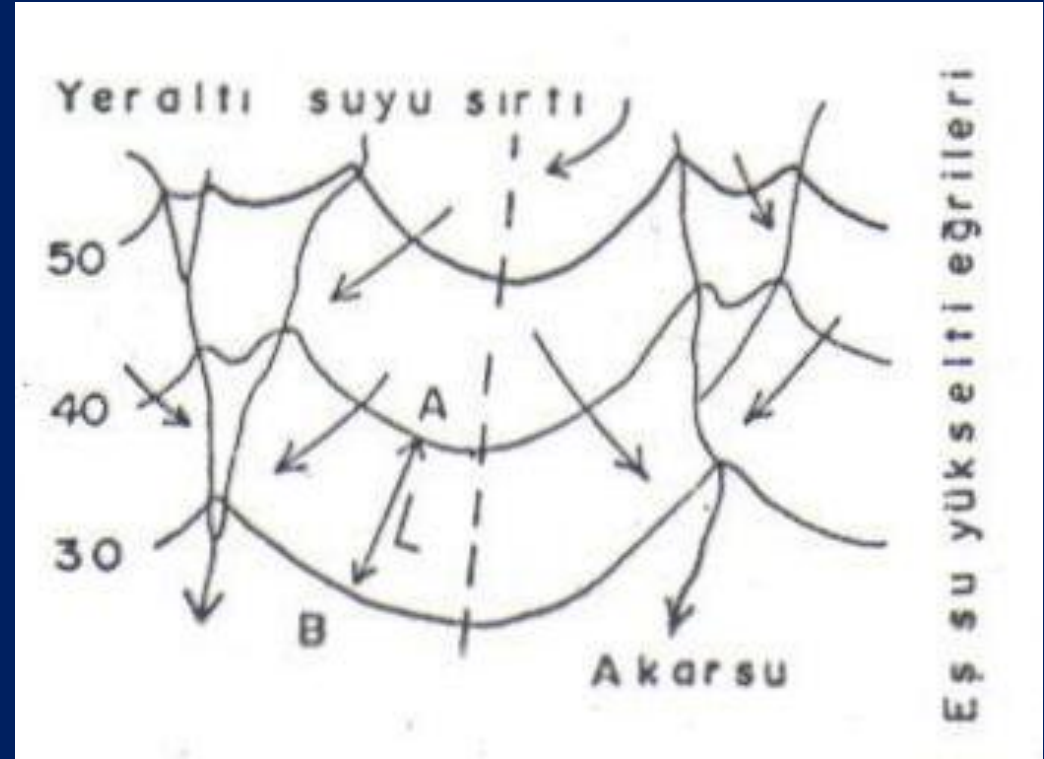
Alan



Su tablasının değişimi ve eş değişim bölge haritası



Su tablasının derinliğinin bulunması



Yeraltı suyu sırtı

Hidrojeolojik havza sınırının saptanmasında: iki akarsu arasında bir yeraltısuyu sırtı gelişir. Bu sırt yüzey sularının su bölümü hattına karşılık gelir ve iki ayrı akarsu havzasına yönelen yeraltısuyu sınırını belirtir.

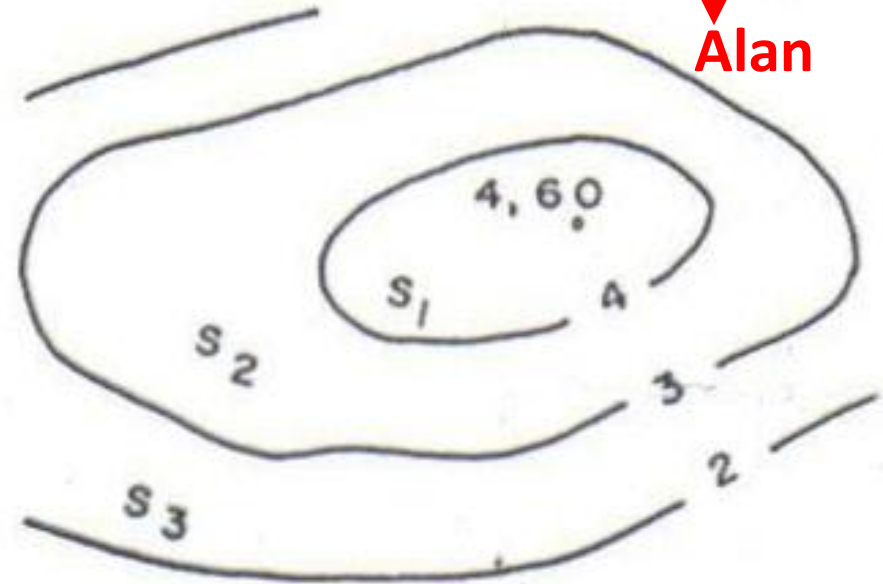
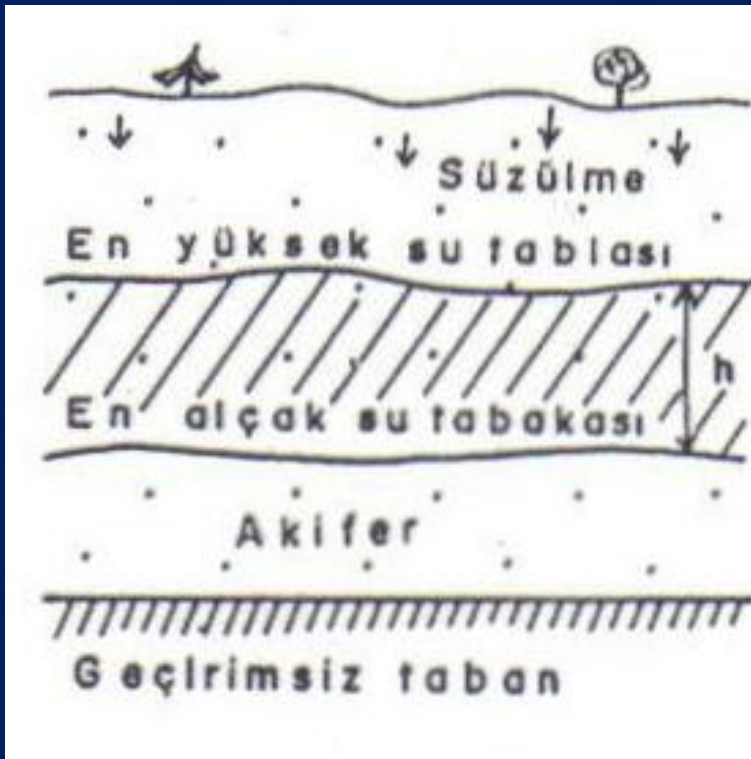
SU TABLASI HARİTALARININ YORUMU

Bir bölge için kurak (en alçak) ve yağışlı (en yüksek) dönemi temsilen iki farklı su tablası haritası oluşturulması gerekebilir.

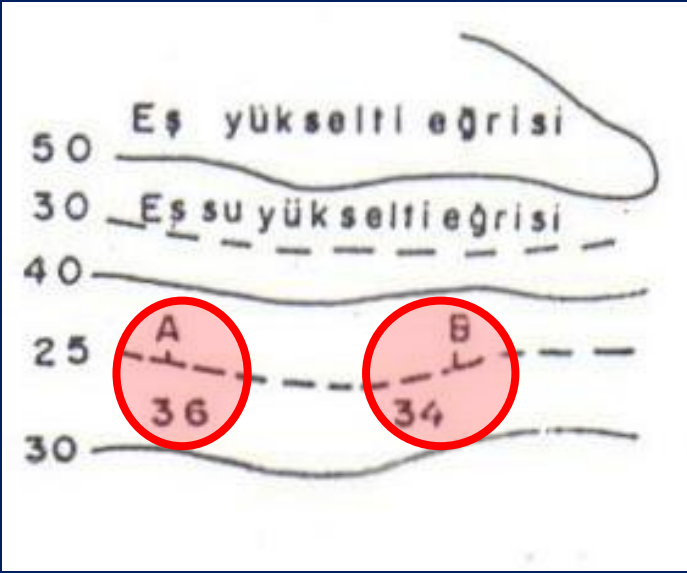
Eş değişim miktarı

$$Q_1 = S_1 \times 4.30 \times ne$$
$$Q_2 = S_2 \times 3.50 \times ne$$

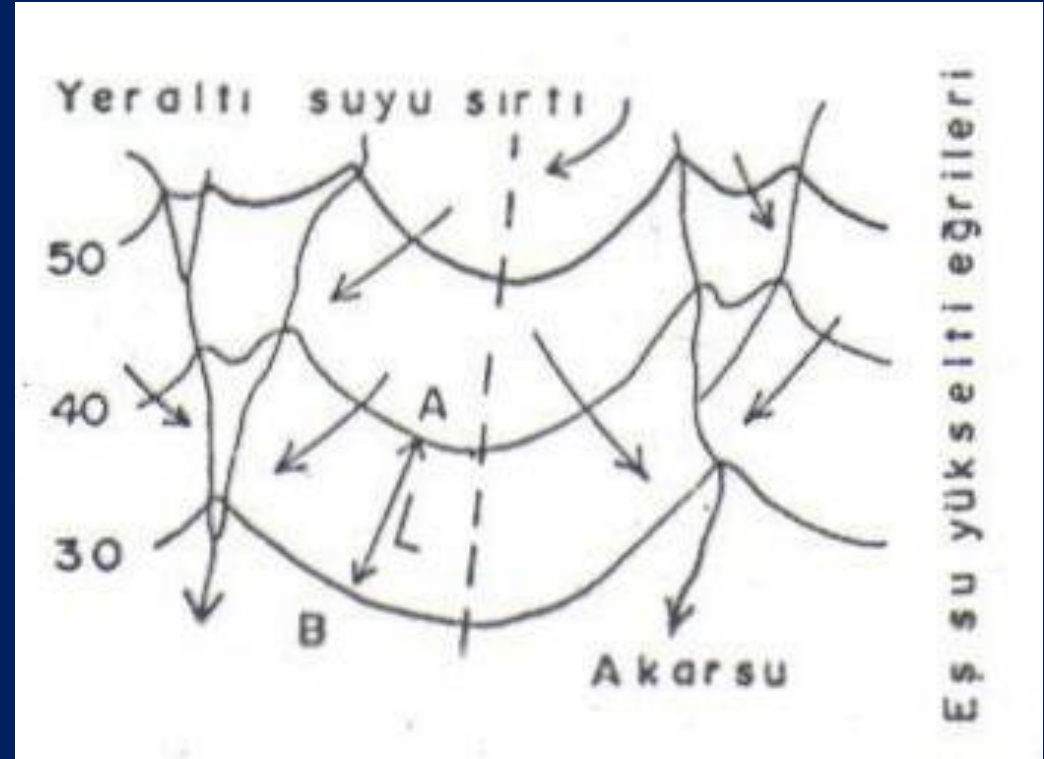
Alan



Su tablasının değişimi ve eş değişim bölge haritası



Su tablasının derinliğinin bulunması

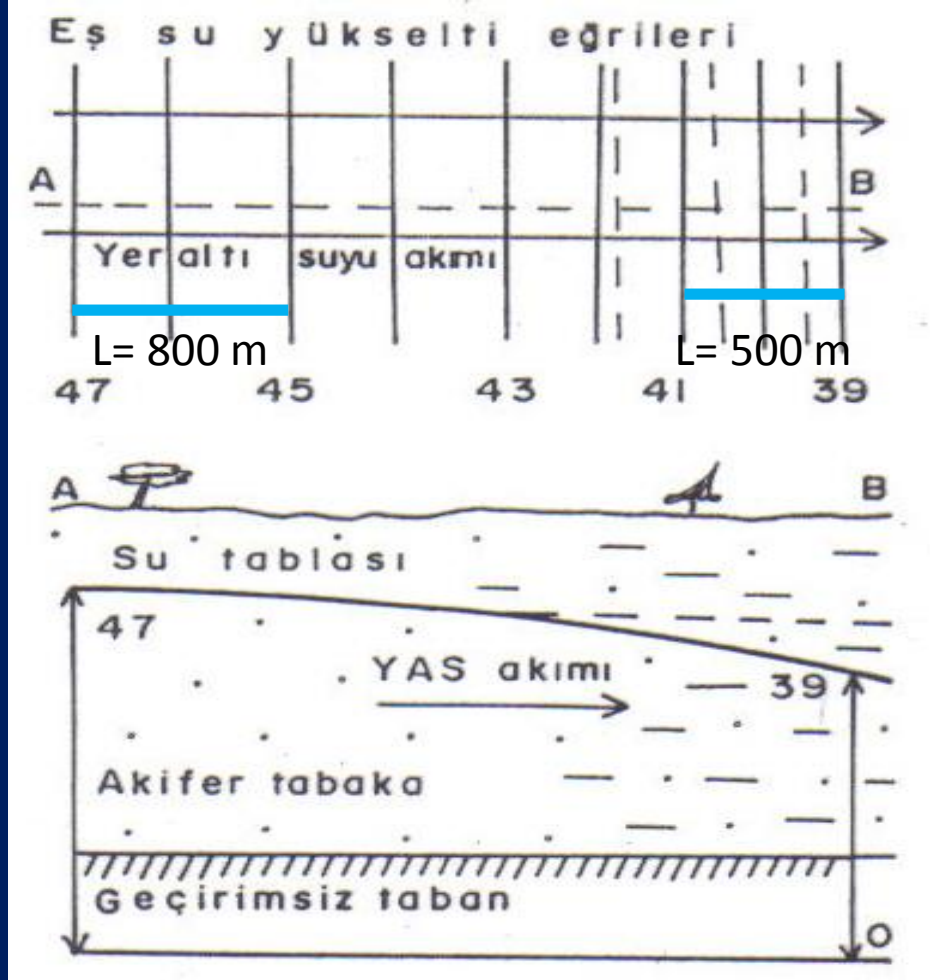


Yeraltı suyu sırtı

Hidrojeolojik havza sınırının saptanmasında: iki akarsu arasında bir yeraltısuyu sırtı gelişir. Bu sırt yüzey sularının su bölümü hattına karşılık gelir ve iki ayrı akarsu havzasına yönelen yeraltısuyu sınırını belirtir.

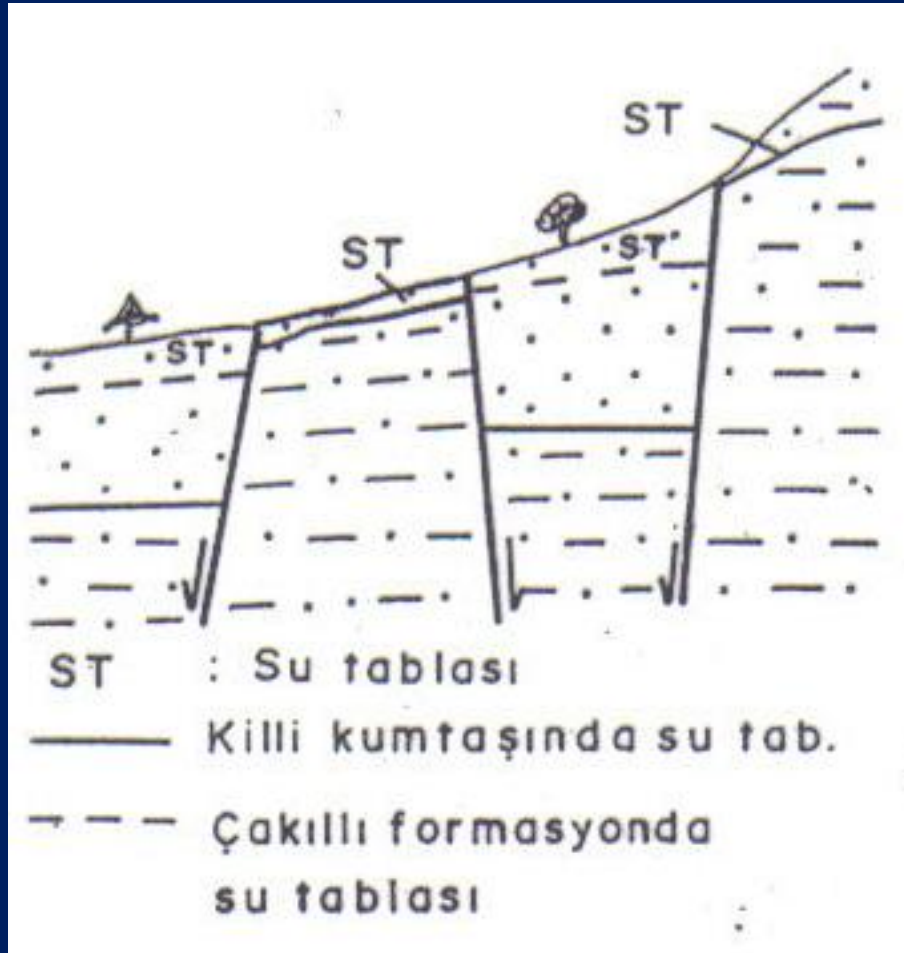
K homojen olsaydı aralıklar eşit olurdu.

A--- geçirgenlik (K) görece yüksek
Hidrolik eğim az
Hidrohipsler arasındaki mesafe fazla

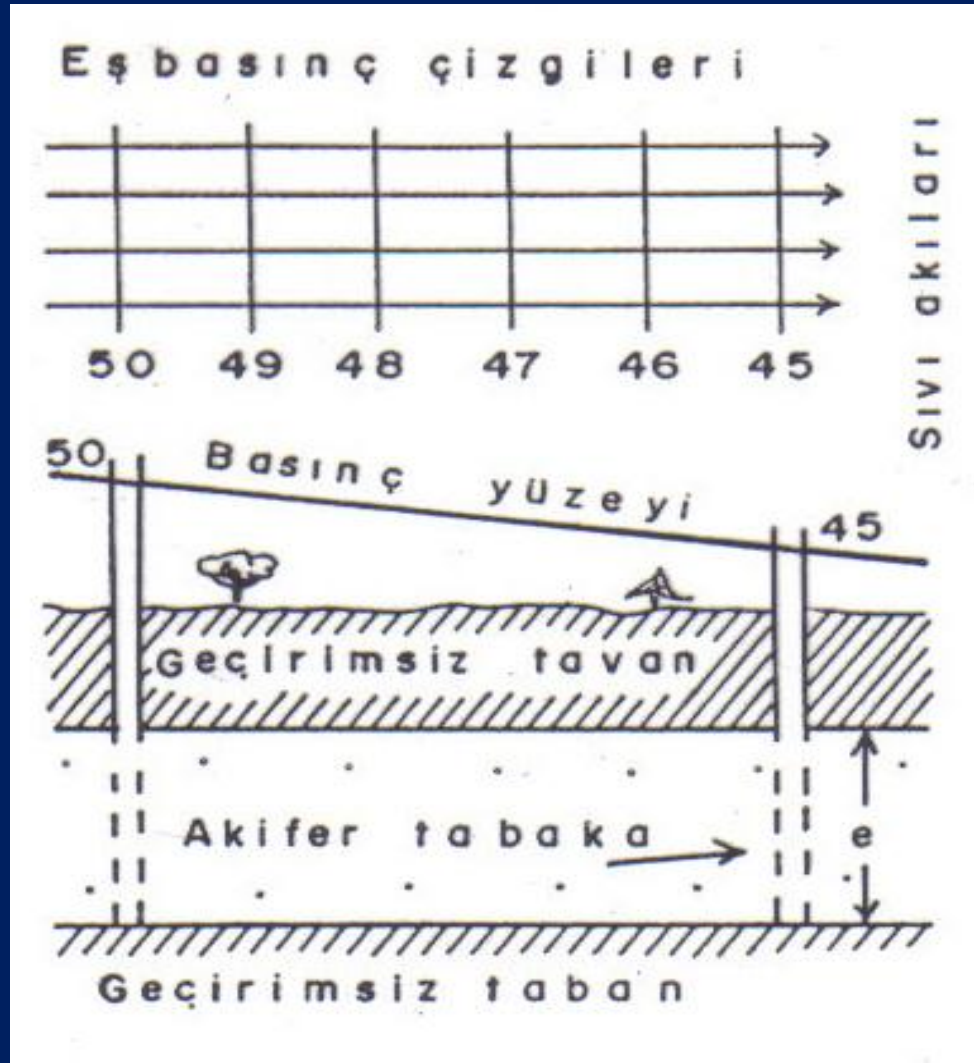


B--- geçirgenlik (K) görece düşük
Hidrolik eğim fazla
Hidrohipsler arasındaki mesafe az

Geçirimliliğin yeraltı suyu akım yolu boyunca değişmesi



Faylı bölgelerde yeraltısuyu seviyelerinin basamaklı şekilde gelişmesi



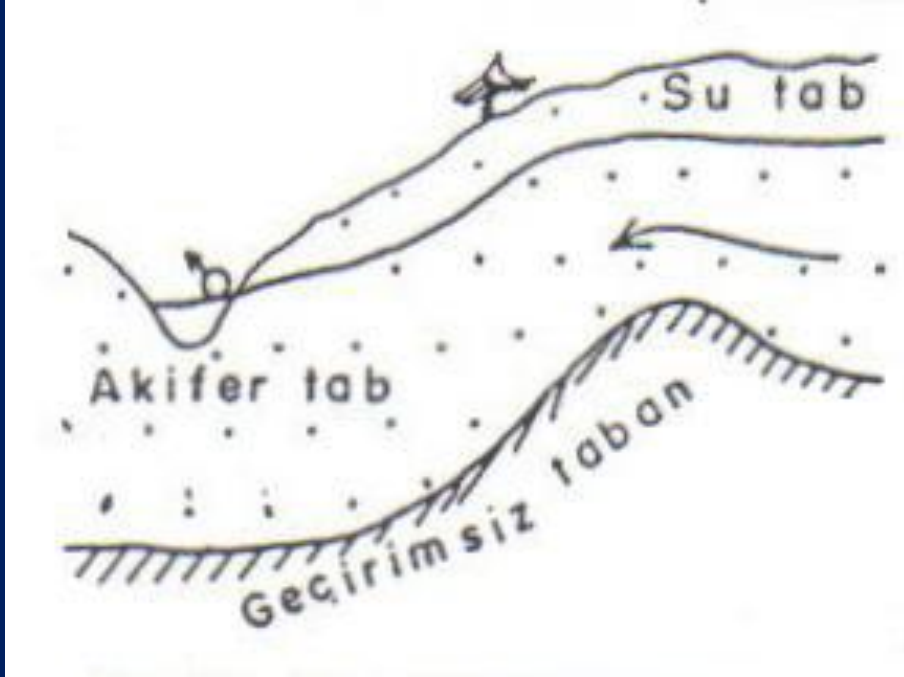
Homojen basınçlı akiferde iniş profili



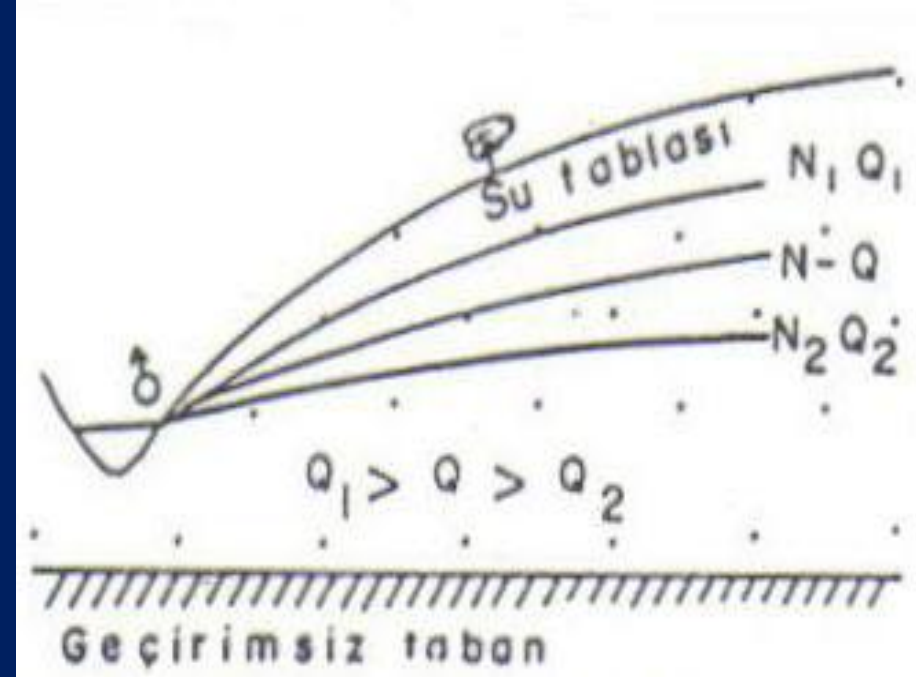
Geçirimsizlik azalıyor
Basınç yüzeyi iniş profili parabolik



Geçirimsizlik artıyor
Basınç yüzeyi iniş profili hiperbolik



Temel formasyonun etkisi
 Temel formasyondaki yükselti su tablasının yükselmesine ve hidrolik eğimin artmasına neden olur.



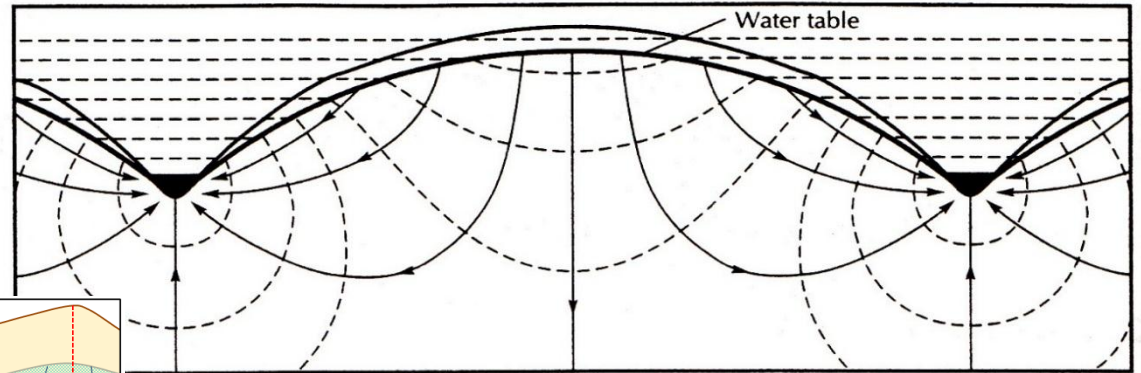
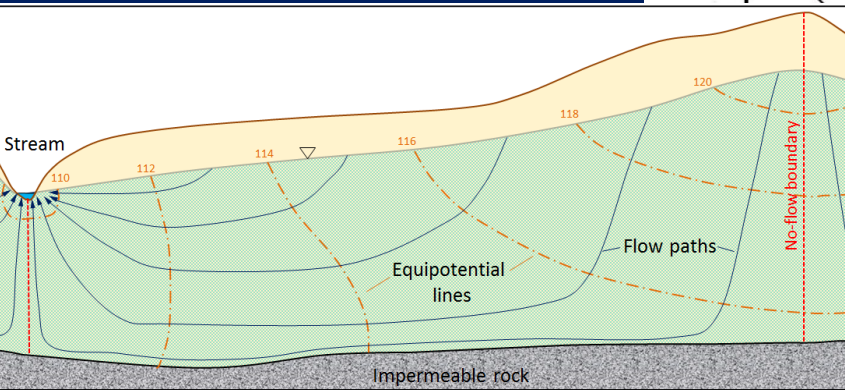
Su tablası iniş profilinin akiferin debisi ile ilgisi
 Q debisi değişirse;
 Q1 (artma durumunda) i artar
 Q2 (azalma durumunda) i azalır.

Karakteristikler	Değişim	Hidrolik eğim (i)	Hidrohipsler arasındaki mesafe
Geçirgenlik (K)	Büyüyor	Azalıyor	Artıyor
	Küçülüyor	Artıyor	Azalıyor
Debi (Q)	Artıyor	Artıyor	Azalıyor
	Azalıyor	Azalıyor	Artıyor
Kesit alanı (S)	Genişliyor	Azalıyor	Artıyor
	Daralıyor	Artıyor	Azalıyor

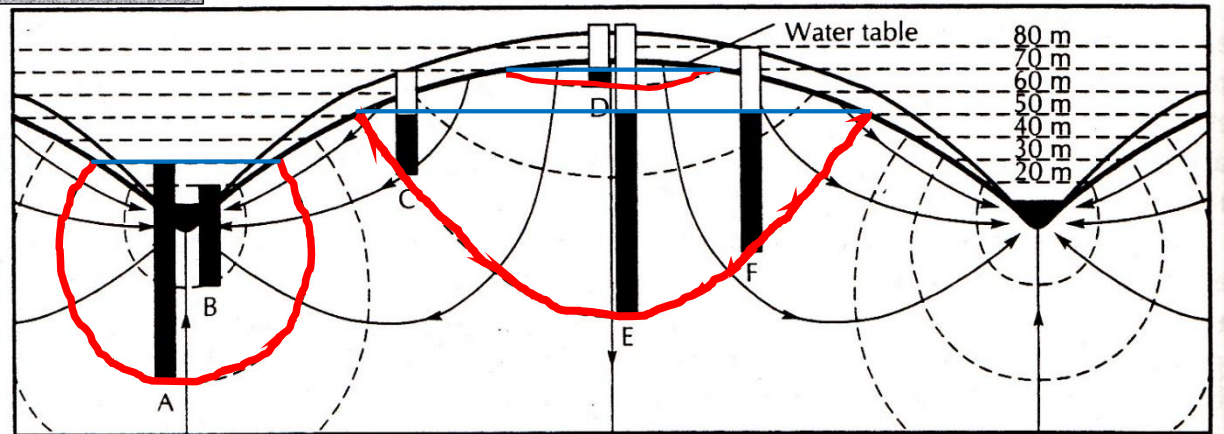
$$Q = KSi$$

Diğer faktörler değişmezse, K hidrolik eğim ile ters orantılı.

Akım Sistemleri, eş-potansiyel yükseklikler



→ Flow line
- - - Equipotential line
— Water table



Hidrojeolojik Birimler

Akifer: Su taşır ve iletir. Örnekler: çakıl, kum, kumtaşı, çakıltaşı, karstik kireçtaşı, kırıklı çatkaklı granit

Akitard: Su taşır ve suyu az iletir. Örnekler: Killi siltli kum, silt

Akiklöd: Su taşır ve suyu iletmez. Örnekler: Kil, siltli kil

Akifüj: Suyu taşımaz ve iletmez. Örnek: Şist, granit

Geçirimsiz taban veya tavan

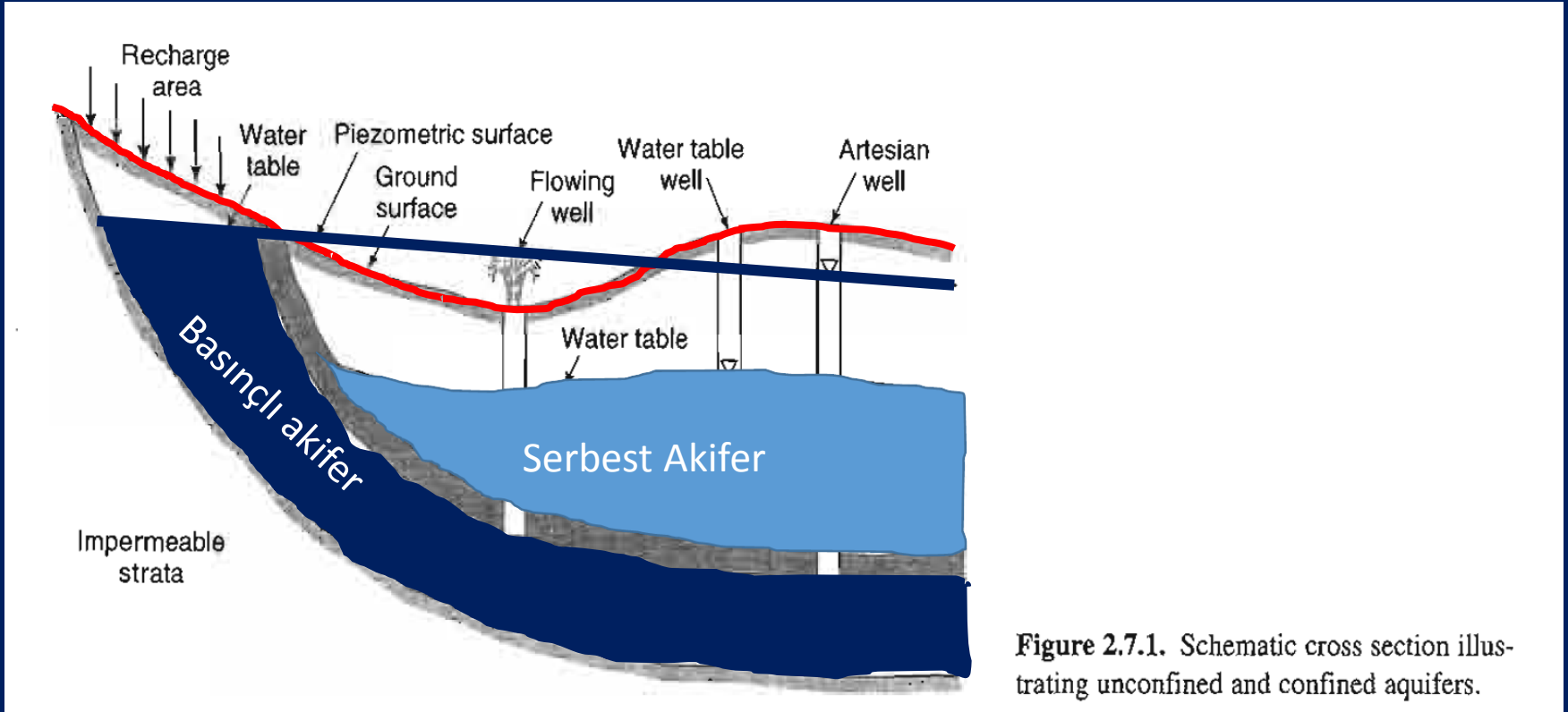
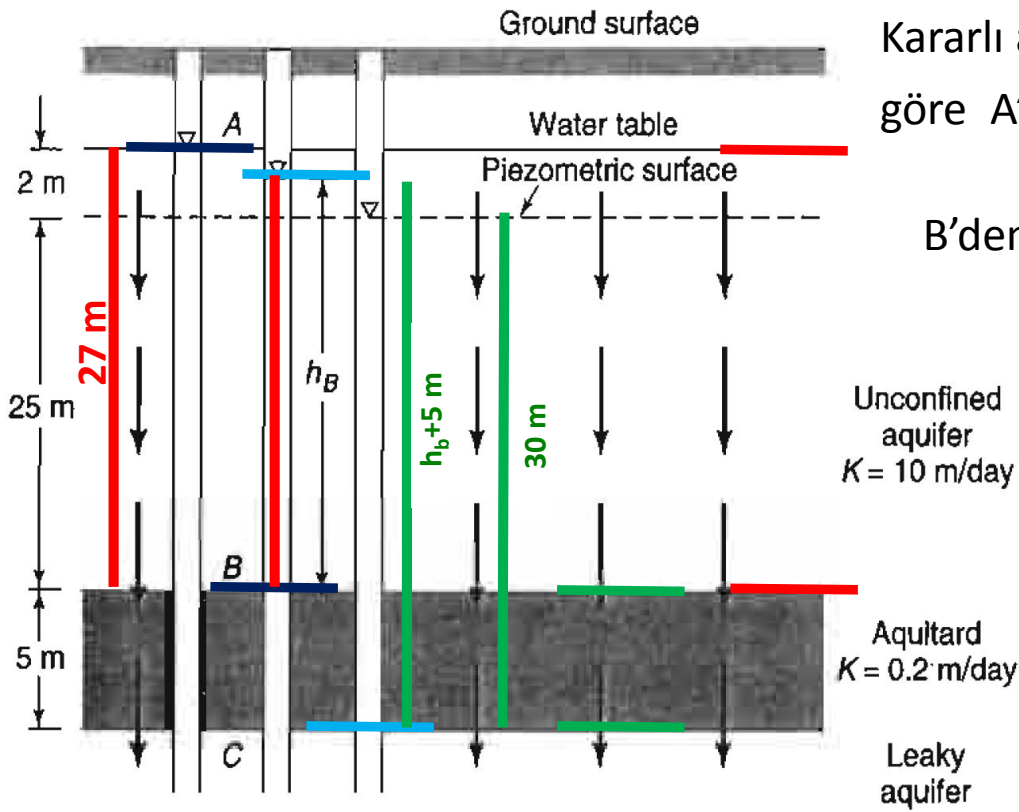


Figure 2.7.1. Schematic cross section illustrating unconfined and confined aquifers.



Kararlı akım koşullarında Darcy yasasına göre A'dan B'ye $v = K \frac{dh}{dl} = 10 * \frac{27 - h_B}{27}$

B'den C'ye $v = K \frac{dh}{dl} = 0.2 * \frac{h_B + 5 - 30}{5}$

$$h_B = 26.803 \text{ m}$$

$$v = 0.0729 \text{ m/gün}$$

Figure 3.5.2. Diagram illustrating application of Darcy's law for vertically downward flow.

h_B ve düşey hız nedir?

$$h_b = 26.8 \text{ m}, v = 0.072 \text{ m/gün}$$

Düşey akışa bağlı oluşan yük kaybı nedeniyle B kuyusunda ölçülen su seviyesi su tablasının biraz altında.

SU TABLASI VE BASINÇ YÜZEYİNİN UZUN ve KISA SÜRELİ DEĞİŞİMİ

Uzun süreli seviye değişimleri:

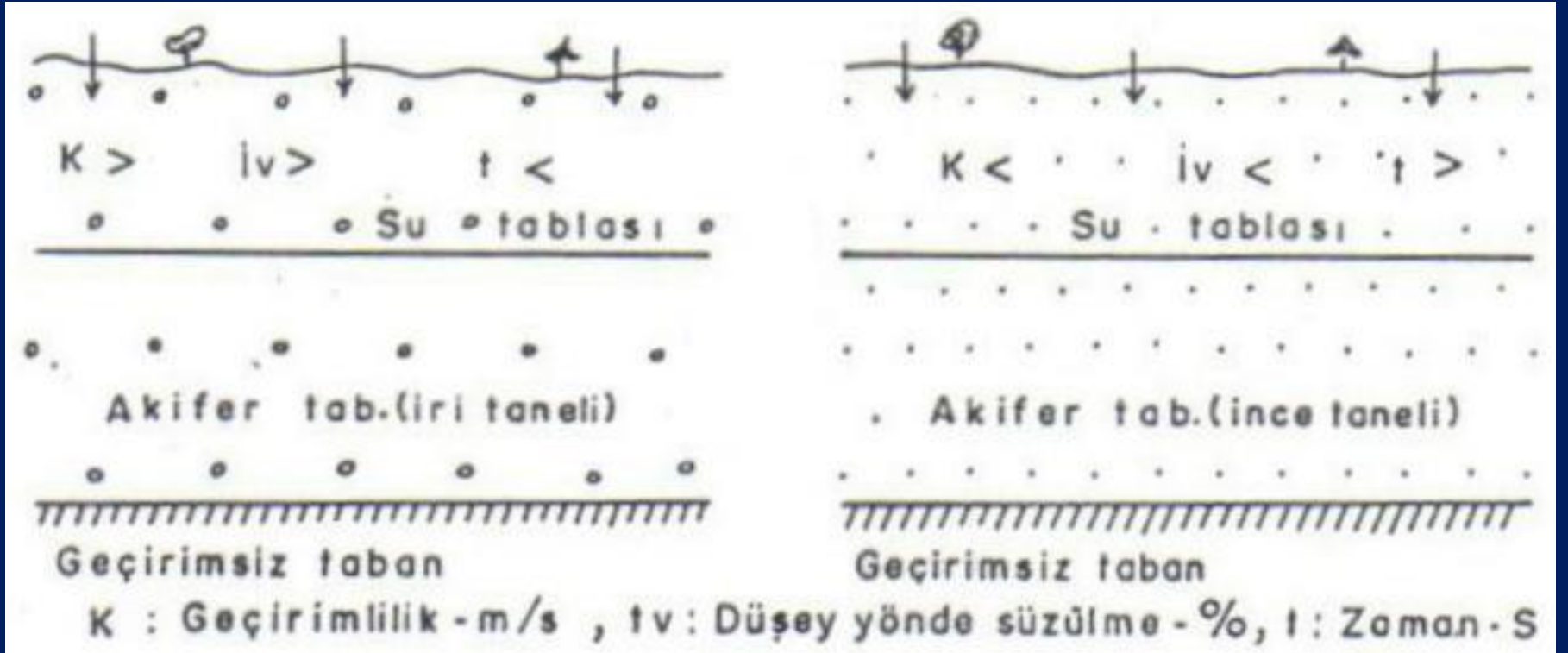
Bitki su ihtiyacının fazla olmadığı aylarda yağışın bir kısmı yeraltısuyu tablasına kadar süzülür ve seviyenin yükselmesine neden olur.

Serbest akiferlerde yağışın doygun kuşağa ulaşması:

a) su tablasının derinliğine

b) Yeryüzü ile su tablası arasındaki formasyonun düşey doğrultudaki geçirimsizliğine bağlı.

Geçirgenlik katsayısı ne kadar küçükse süzülen suyun su tablasına ulaşması için gerekli zaman o oranda uzun.



Geçirimsizliğe bağlı olarak düşey yönde süzülmenin değişimi

Yaz aylarında buharlaşma ve terleme fazla, yağış az
Yeraltısu seviyelerinde alçalma.

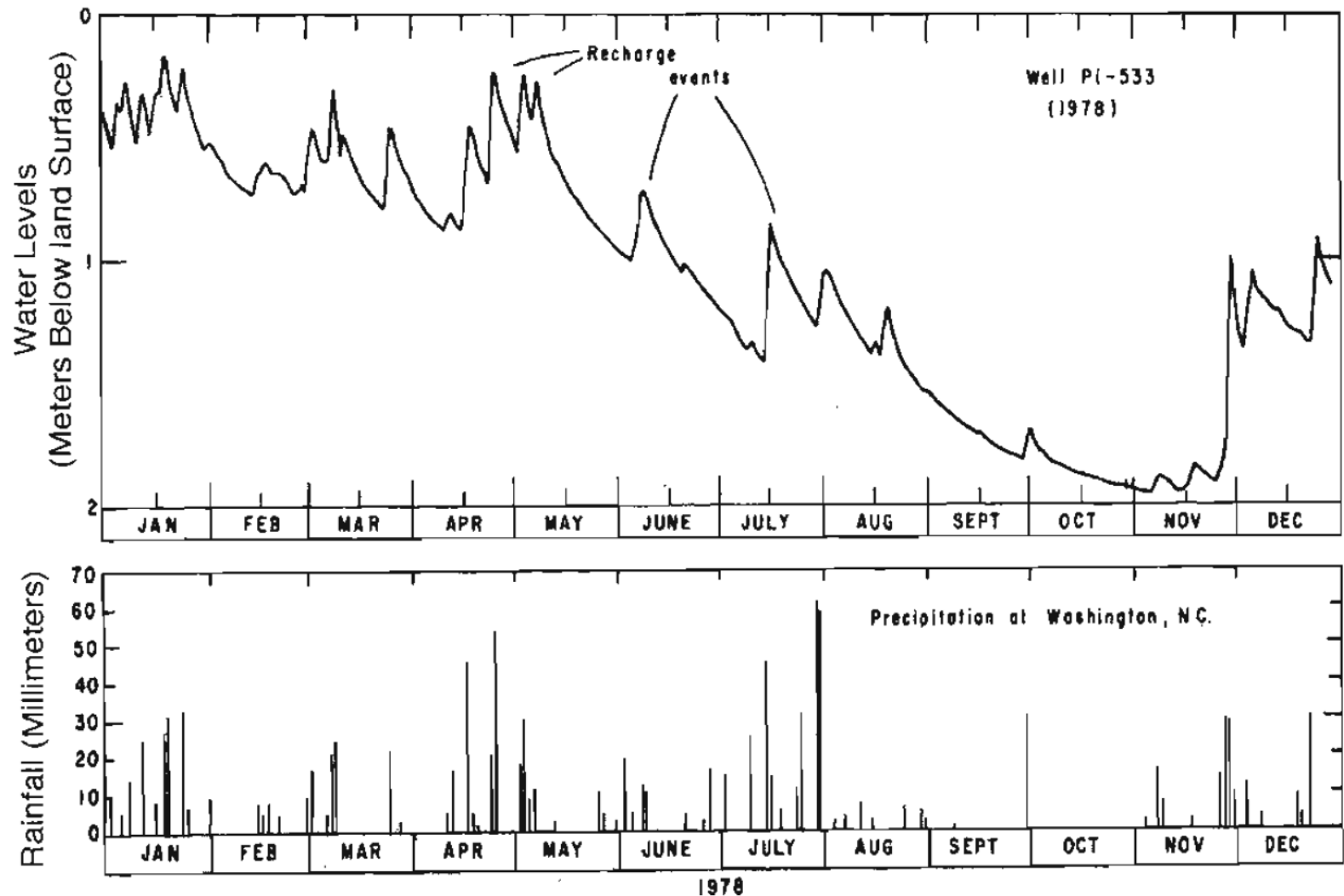
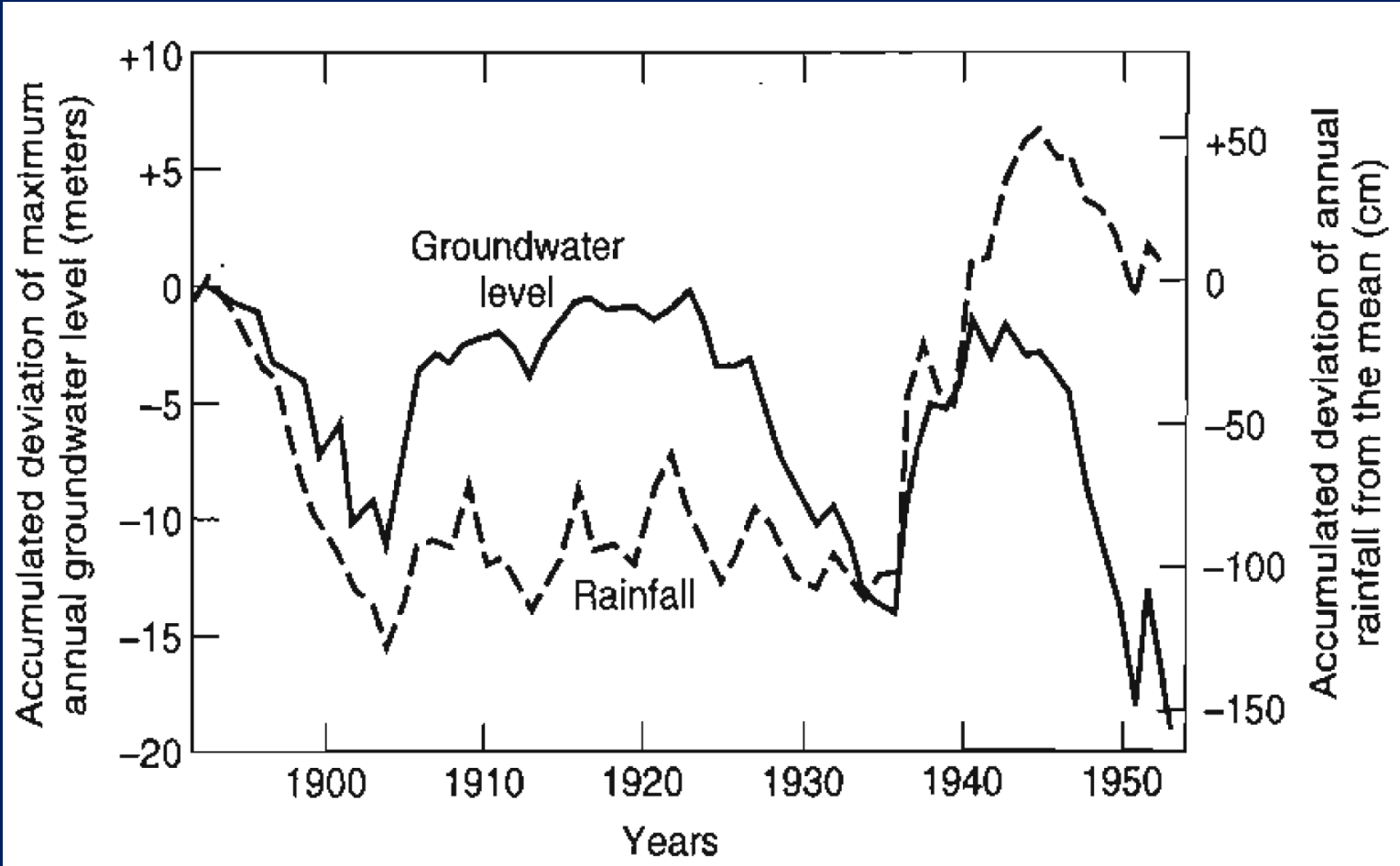


Figure 6.1.2. Fluctuation of the water table in the coastal plain of North Carolina (Heath³⁴).

Yağışın ortalamasının altında kaldığı (kurak) ve yağışın ortalamasının üzerine çıktığı (yağışlı) dönemler sonucunda yeraltısuyu seviyelerinde uzun süreli değişimler olabilir. Eğer bir bölgede yeraltısuyu yoğun bir şekilde kullanılıyorsa, seviyelerin sürekli düştüğü bir trend gözlenir.



10 ft = 3 m

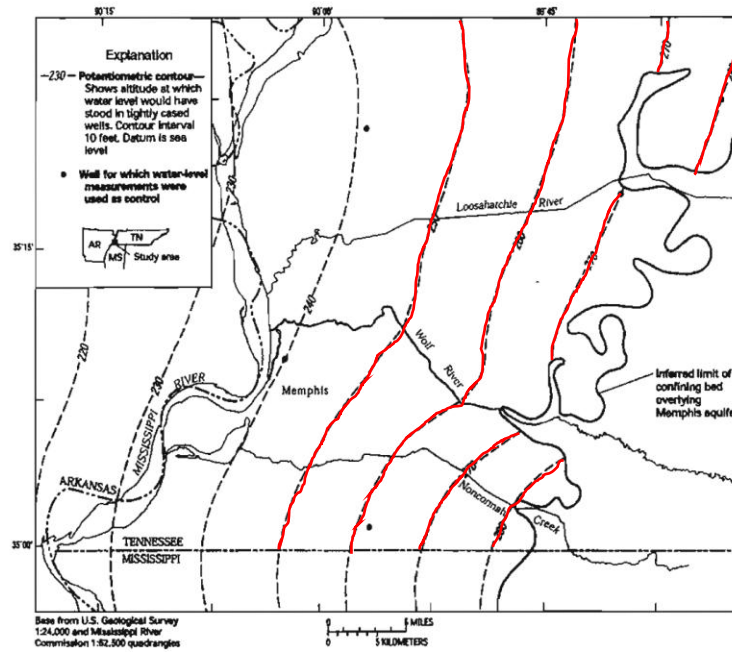


Figure 6.1.4. Inferred potentiometric surface of the Memphis aquifer prior to groundwater development. The observation wells shown were selected for their early records away from initial pumping centers (modified from Criner and Parks, 1976, as presented in Taylor and Alley⁸⁰).

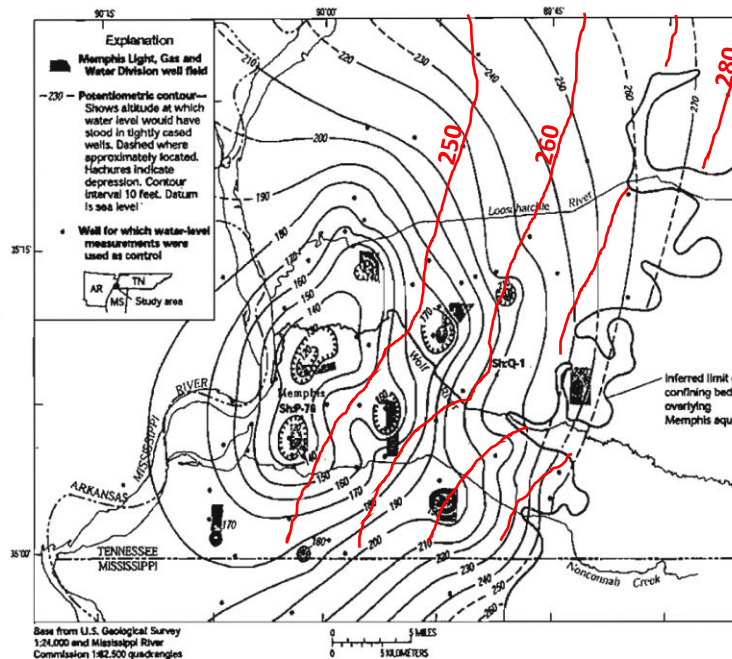


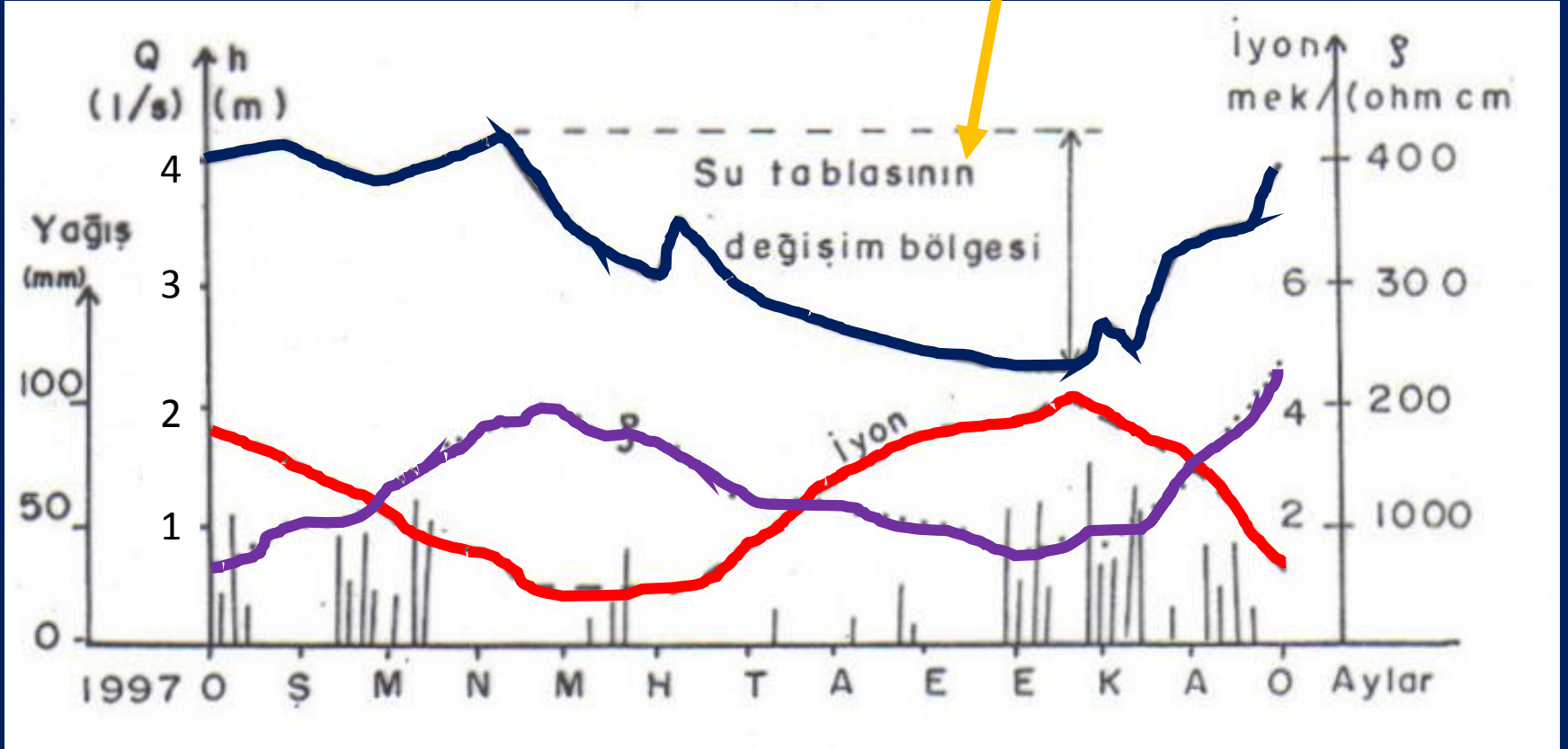
Figure 6.1.5. Potentiometric surface of the Memphis aquifer in 1995 showing cones of depression and location of observation wells Sh:P-76 and Sh:Q-1 (modified from Kingsbury, 1996, as presented in Taylor and Alley⁸⁰).

Groundwater Hydrology
Todd ve Mays
2005

250 ft-170 ft
Fark 80 ft yani 24 m

ρ elektriksel direnç – elektriksel iletkenliğin tersi (su numunesinin elektrik akımını iletme yeteneğinin bir ölçüsüdür.)

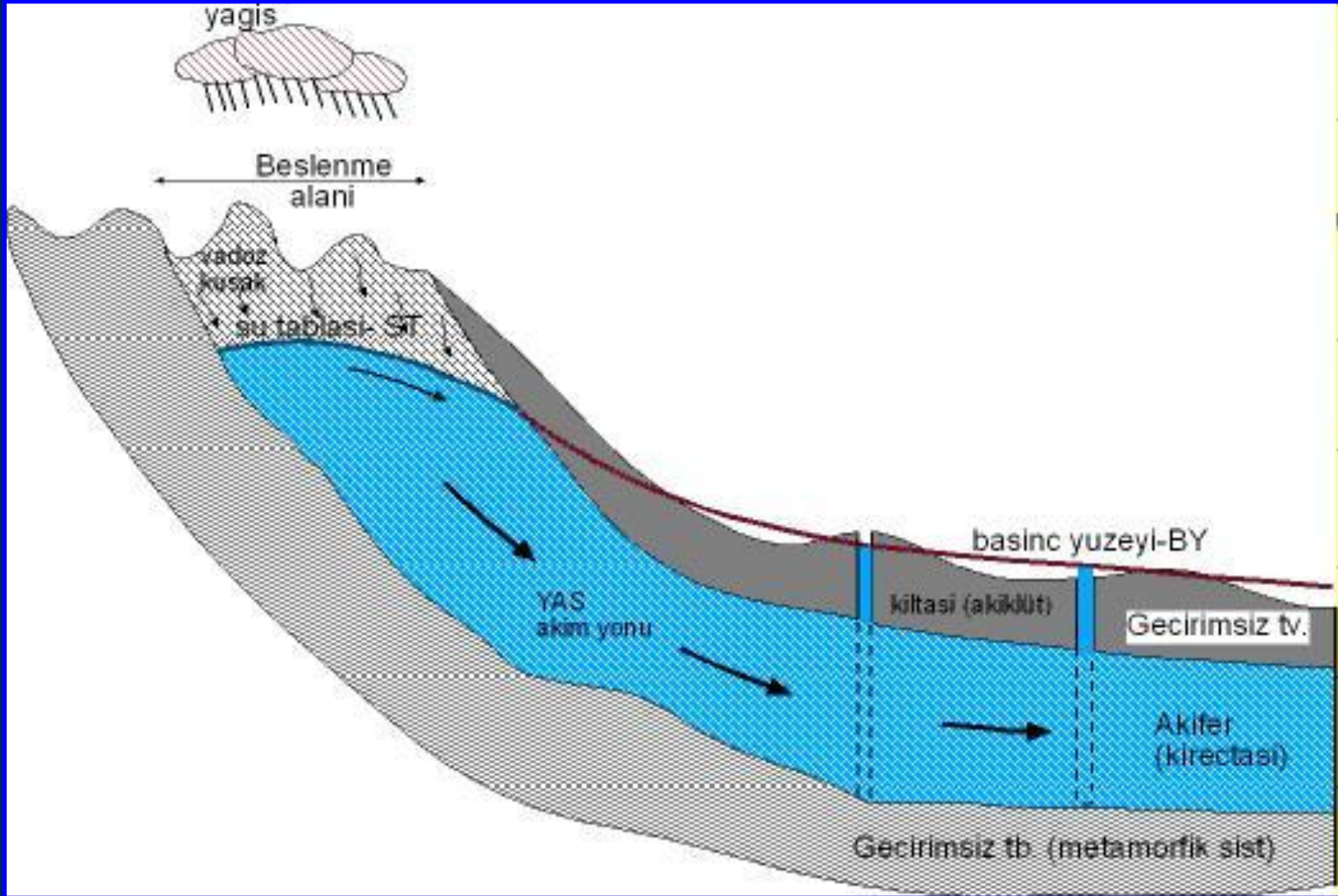
Yıllık maksimum ve minimum seviyeler arasında kalan bölge



Su tablası veya debinin uzun süreli değişimi

Kaynaklarda uzun süreli zamana bağlı debi ölçümleri ile akiferin su tablası veya basınç yüzeyi değişimi denetlenebilir.

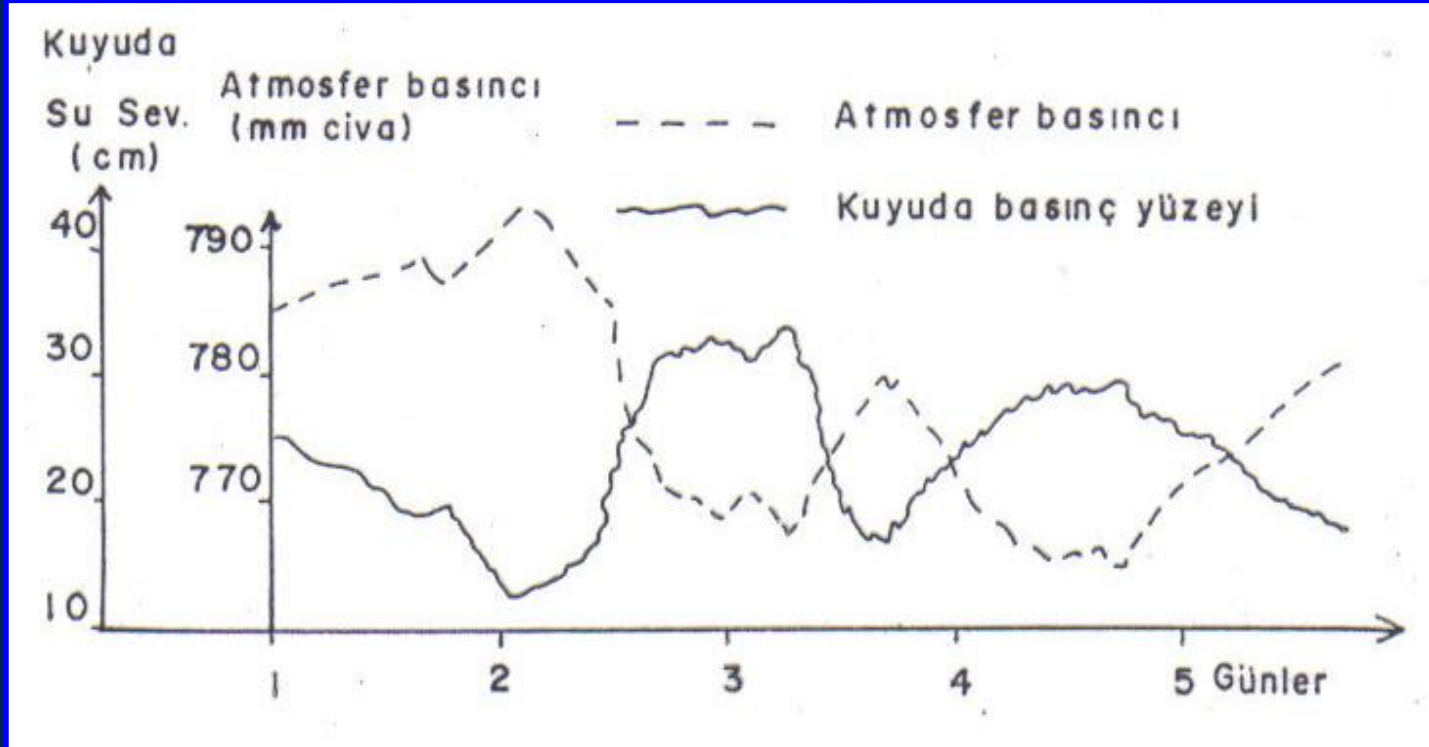
Basıncı bir akiferde basınç yüzeyindeki yükselme akifere beslenme bölgesinden giren suların neden olduğu hidrostatik basınç ile ilgilidir.



Basıncı akiferin uzun süreli beslenmesini gösteren şematik hidrojeoloji kesiti

Su seviyelerinde kısa süreli değişimler:

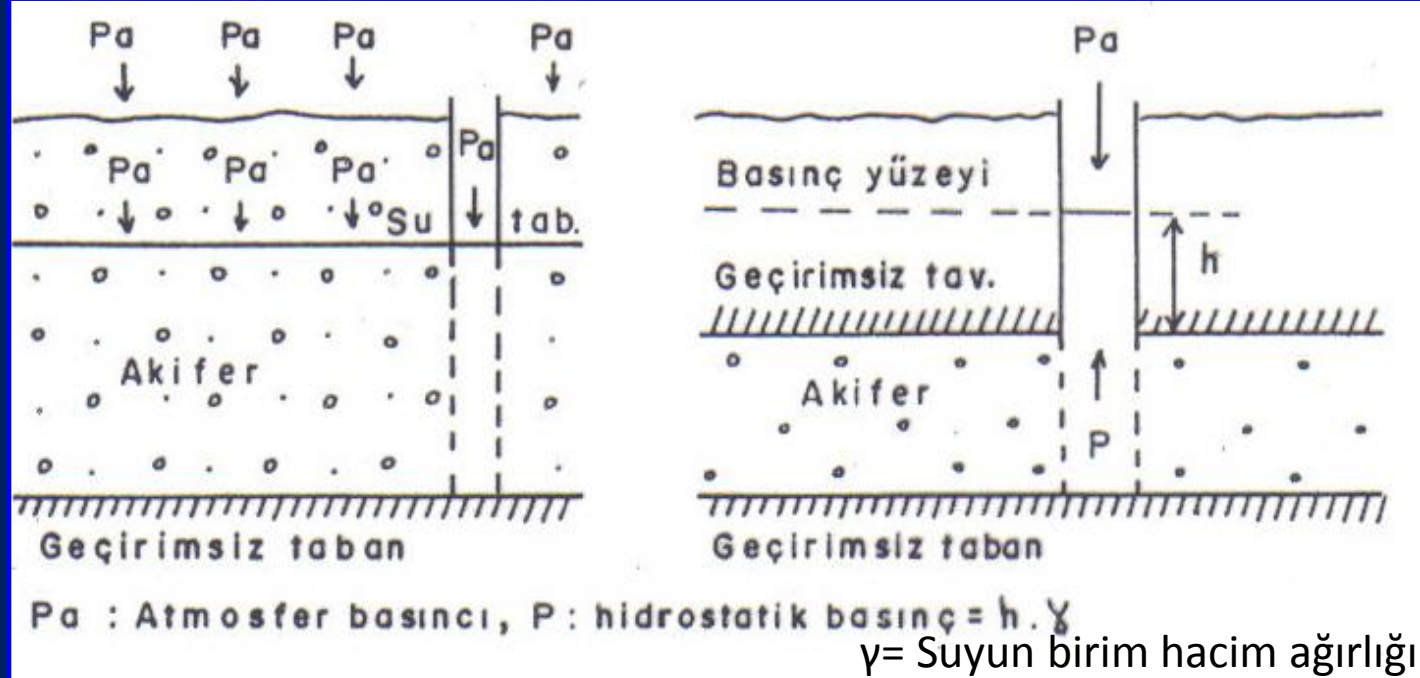
1. Atmosfer basıncı (Basıncılı akiferlerde atmosferik basınç arttıkça su seviyesi azalır. Basınç azalırsa, su seviyesi yükselir. Basınç yüzeyindeki bu dalgalanma olayı serbest akiferlerde su tablasında izlenemez.)



Basınç yüzeyinin atmosfer basıncı ile değişimi

2. Denizlerdeki gel-git olayının akifere etkisi

Hidrostatik basınca bağı olarak suyun basınçlı bir akiferin geçirimsiz tavanından yukarıya yükseleceği seviye h , $h = P / \gamma$



Serbest ve basınçlı akifer üzerinde atmosfer basıncının etkisi

Atmosfer basıncındaki değişimin etkisi gözlem kuyusunda ve akifer üstündeki doygun olmayan boşluklar nedeniyle su tablası üzerinde de görülür. Ancak toprak donmuş ise serbest akiferin su seviyesi atmosferik basınçla değişebilir.

SERBEST BİR AKİFERDE ATMOSFERİK BASINÇ DEĞİŞİMLERİ SU TABLASINA DİREK YANSITILIR, BİR BASINÇ FARKI OLUŞMAZ.

Atmosferik basınç değişimleri bir sıvı sütunu için ifade edilecek olursa:

Su seviyesindeki değişimin basınçtaki değişime oranı akiferin barometrik etkenliğini (Be) verir.

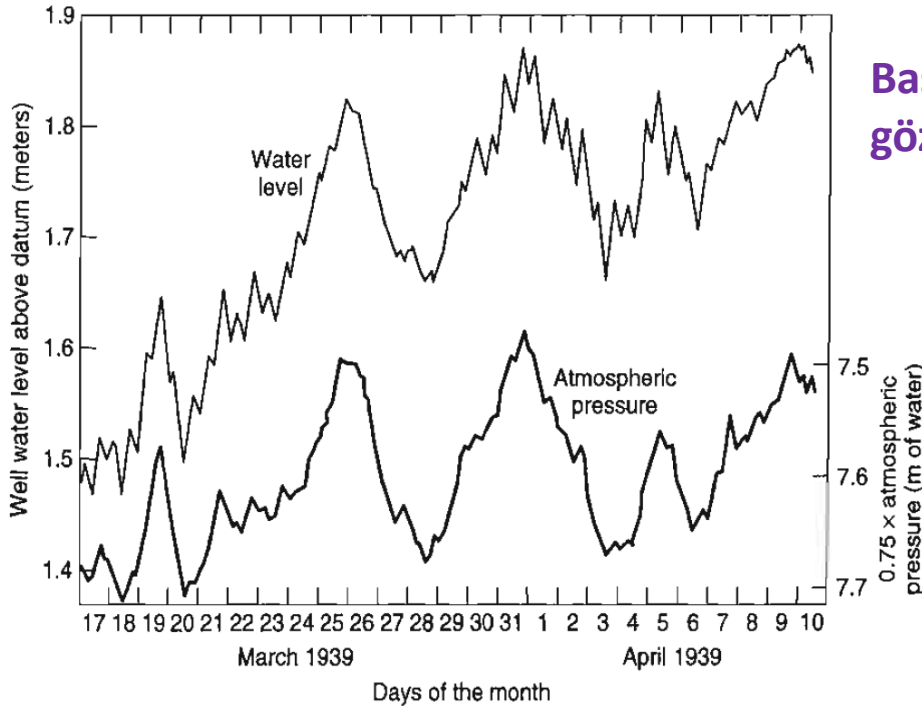
$$Be = \frac{\gamma \Delta h}{\Delta p_a}$$

γ = Suyun birim hacim ağırlığı

Δh = piyezometrik seviyedeki değişim

Δp_a = atmosferik basınçtaki değişim.

1 kPa = 1 kN/m²



Basınçlı akiferde açılmış bir kuyuda gözlemlenen su seviyeleri

Atmosferik basınç, su yüksekliği cinsinden gösterilmiş ve 0.75 ile çarpılmış.

Figure 6.4.1. Response of water level in a well penetrating a confined aquifer to atmospheric pressure changes, showing a barometric efficiency of 75 percent (after Robinson⁷¹).

1 atmosferik basınç, su altında 10.33 m yüksekliğe eşit.

$P = \text{su yoğunluğu} \cdot g \cdot h$

Yoğunluk 1000 kg/m³, $g = 9.81$ m/s²

$P = 1000 \cdot 9.81 \cdot 10.33$

$P = 101325$ Pa, $P = 1.01325$ bar = 1 atm

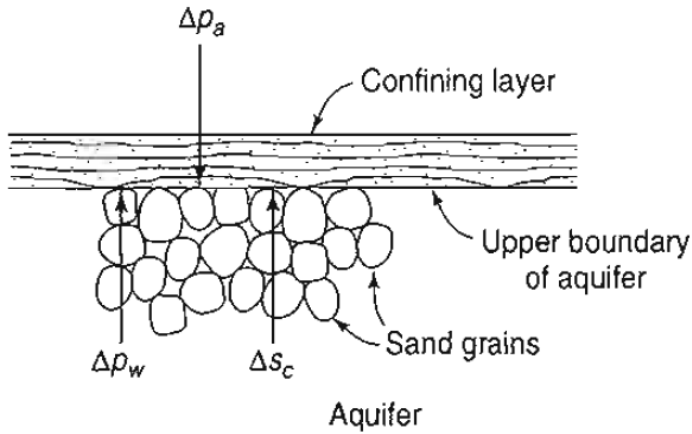


Figure 6.4.2. Idealized distribution of forces at the upper boundary of a confined aquifer resulting from a change in atmospheric pressure.

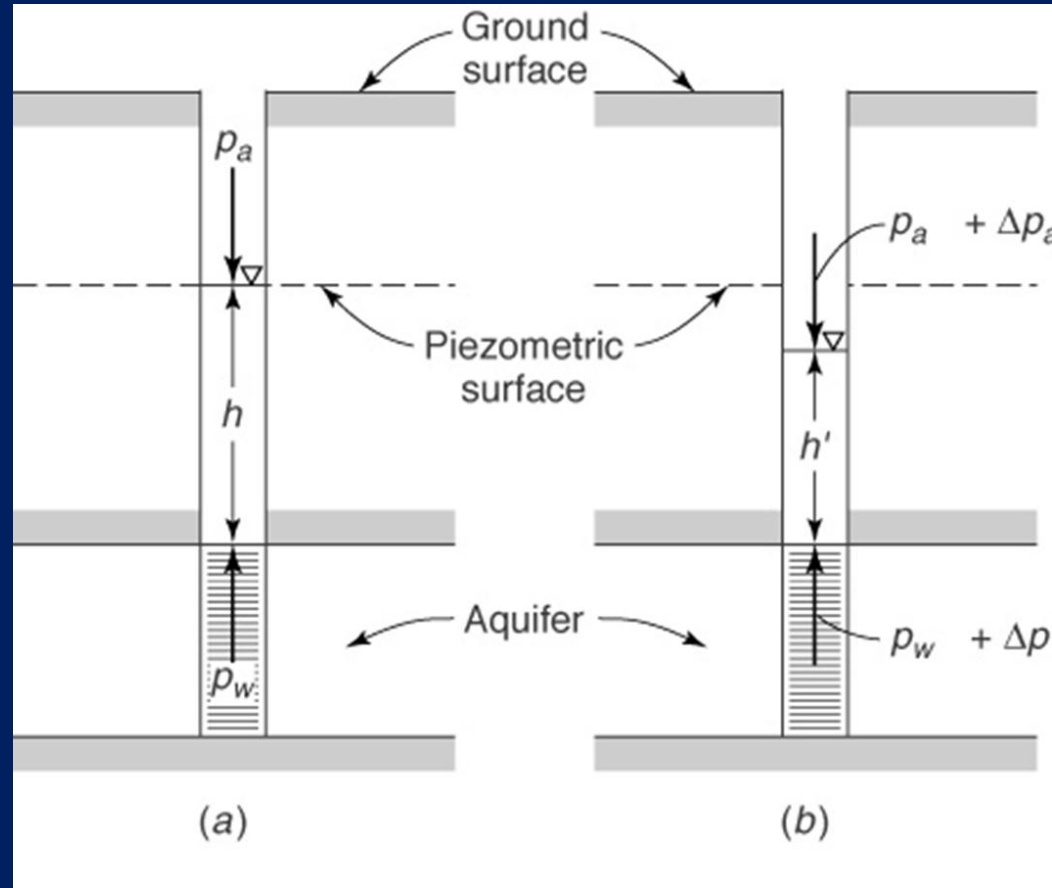
Δp_w = basınçlı akiferin üstünde hidrostatik basınçtaki değişim

Δp_a = atmosferik basınçtaki değişim

ΔS_c = akifer üzerindeki artan basınç gerilimi

$$p_w = p_a + \gamma h$$

$$p_w + \Delta p_w = p_a + \Delta p_a + \gamma h'$$



$$\Delta p_w = \Delta p_a + \gamma(h' - h)$$

$$\Delta p_w < \Delta p_a$$

$$h' < h$$

bir kuyuda su seviyesi, atmosferik basınçtaki artış ile düşüyor.

Jacob (1950) basınçlı akiferlerde depolama katsayısını veren formül:

$$S = \gamma * ne * e * \beta * \left(1 + \frac{\alpha}{ne * \beta}\right)$$

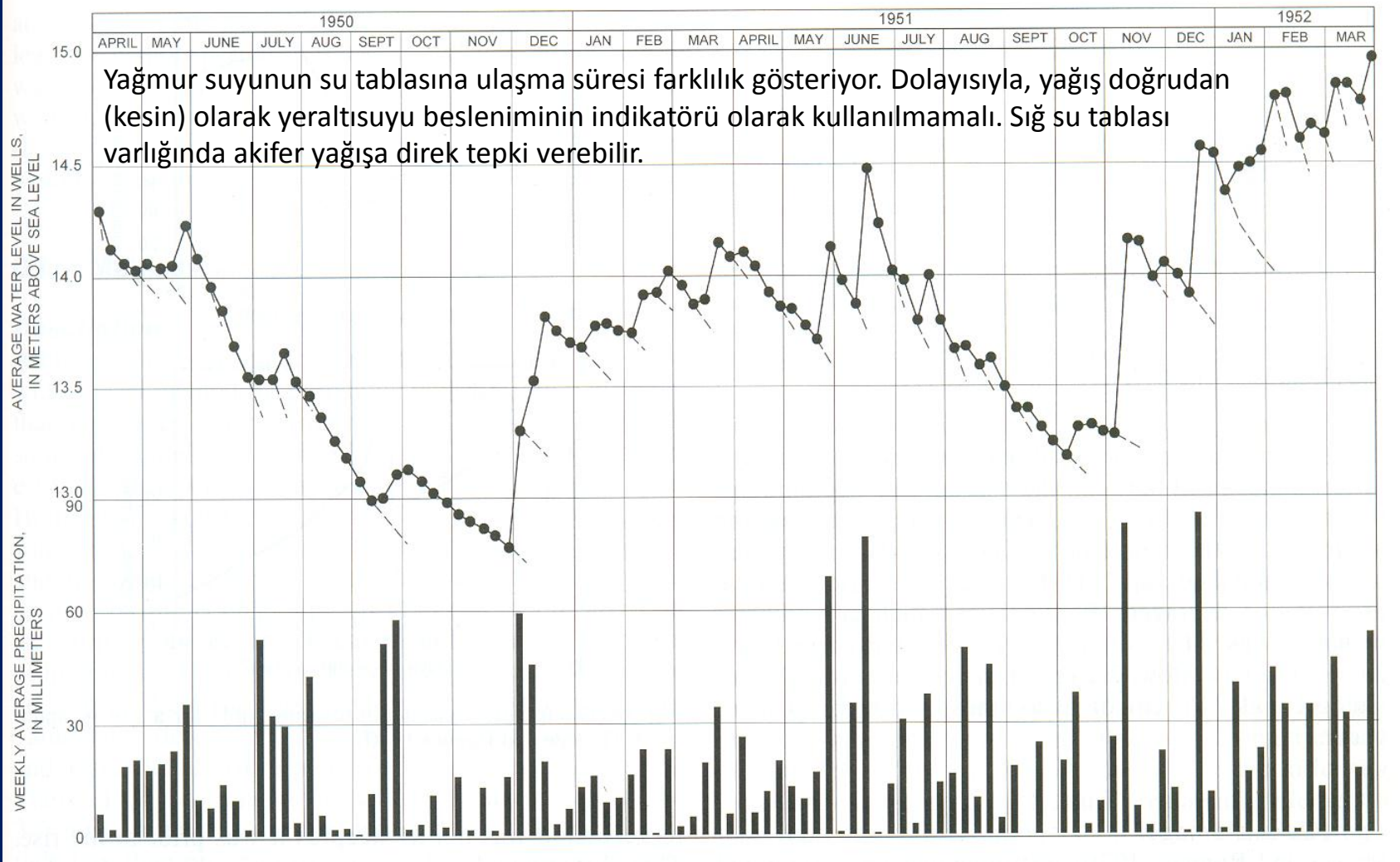
$$Be = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{ne * \beta}}$$

γ = suyun birim hacim ağırlığı – 10 kN/m³

α = akiferin sıkışabilme katsayısı- 10⁻⁷ m²/N kum, 10⁻¹⁰ m²/N kum

β = suyun sıkışabilme katsayısı- 4.58 10⁻¹⁰ m²/N

ne = etkili gözeneklilik



Ortalama su tablası seviyesi ve haftalık ortalama yağışdaki değişimler (Beaverdam Creek Havzası, Maryland) (Todd, 1980)

Eğer vadoz kuşakta nem miktarı özgül tutumdan az ise yeraltısuyu tablası bu eksiklik tamamlanmadan yağıştan gelen beslenmeye tepki vermez.

Ardından su seviyesindeki yükselim: $\Delta h = P/Q_s$ P= yağışın su tablasına süzülen kısmı

İlginç bir olay—

Sığ su tablasının yağışa anında tepki vermesi:

Yüzeydeki boşlukların yağmur suyu ile dolması ve süzölen suyun aşğı kısımlardaki havayı sıkıştırması ile vadoz kuşakta basınç yükselimi ile havanın sıkışması. Eğer ki bileşik hava dolu boşlukların olduğı bölge H ise ve bu bölge H-m kalınlığında bir bölgeye sıkışmışsa, su tablası üzerindeki basınç bir atmosferin $m/H-m$ 'i kadar yükselir.

KIYI AKİFERLERİNE GEL-GİT ETKİSİ VE AKİFER KARAKTERİSTİKLERİNİN HESAPLANMASI

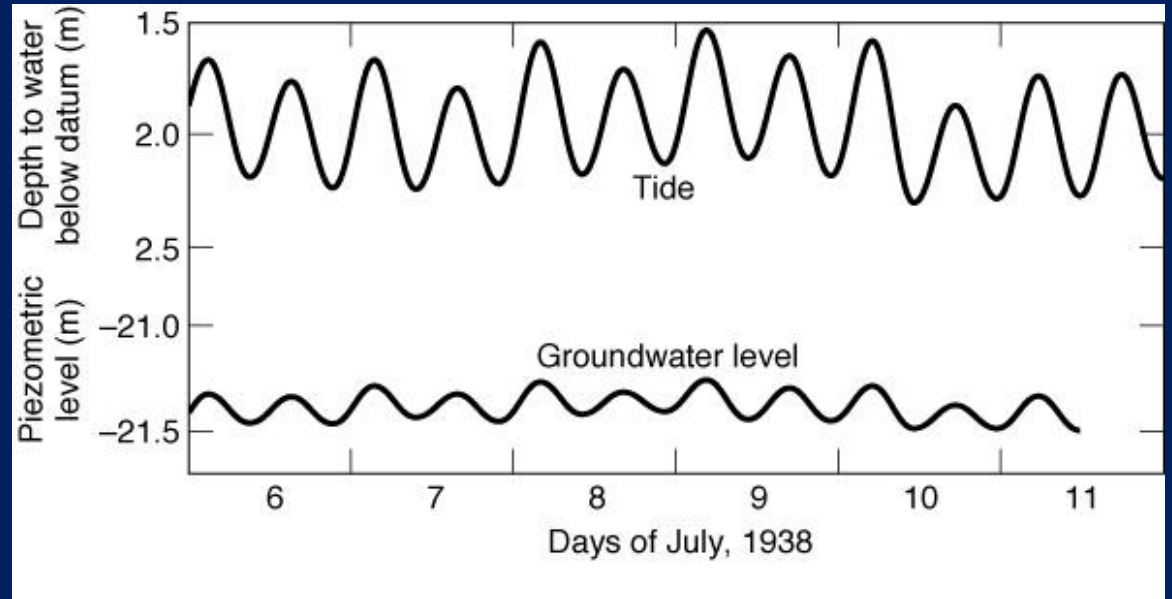
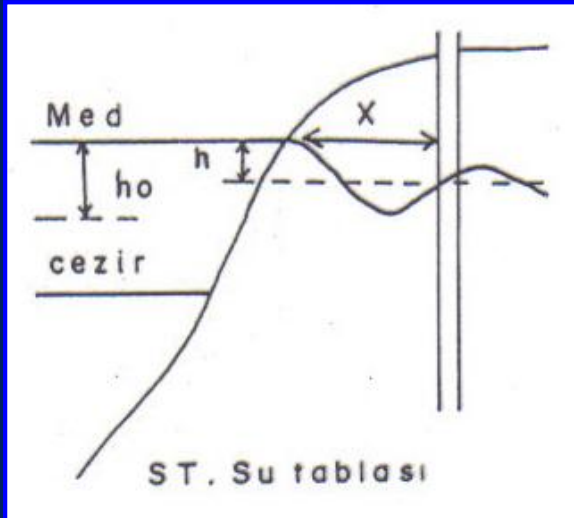
Gel-git olayının neden olduğu devirli alçalma-yükselme:
Sinüsoydal bir hareket

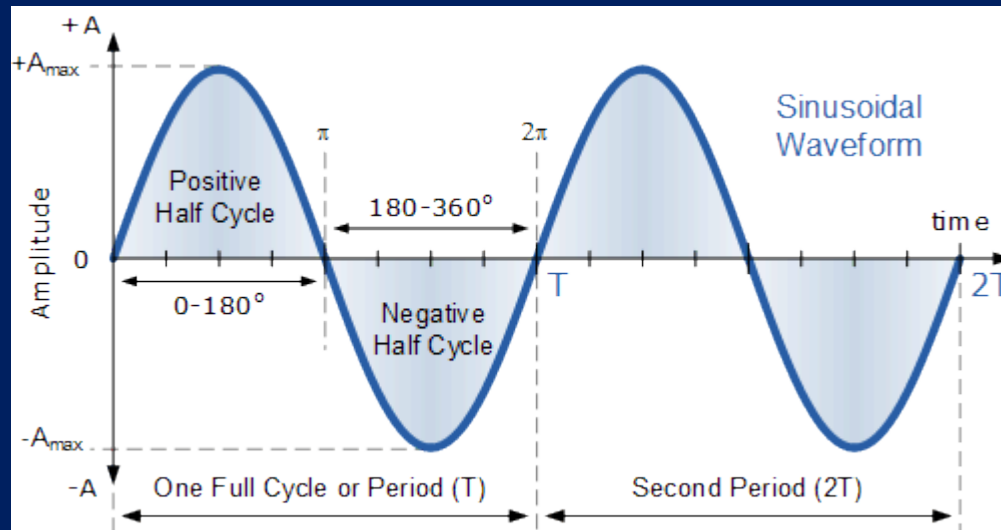
$$h = h_0 * e^{-x\sqrt{\pi ne/Tt_0}}$$

h = gözlem kuyusundaki seviye değişiminin yarısı - m

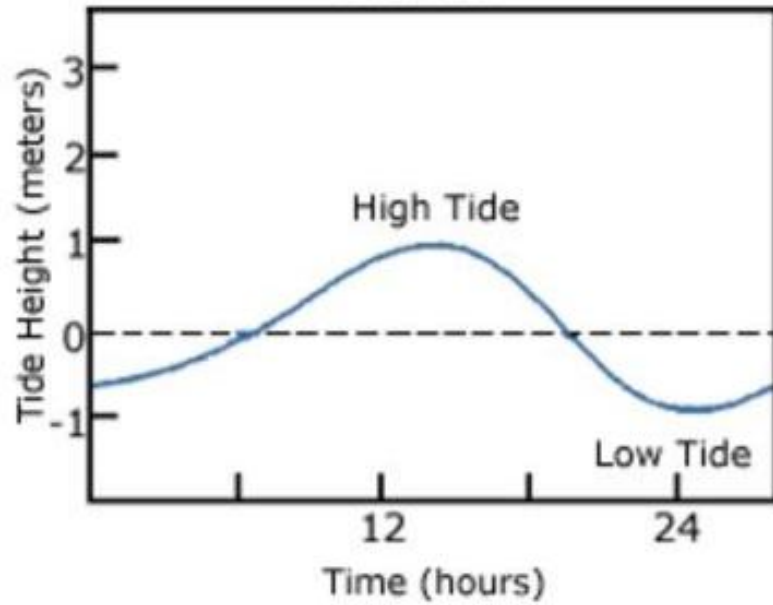
h_0 = Denizde gel-git olayının neden olduğu seviye değişiminin yarısı

t_0 = Sinüsoydal hareketin periyodu - 43200 saniye (yani yarım gün)

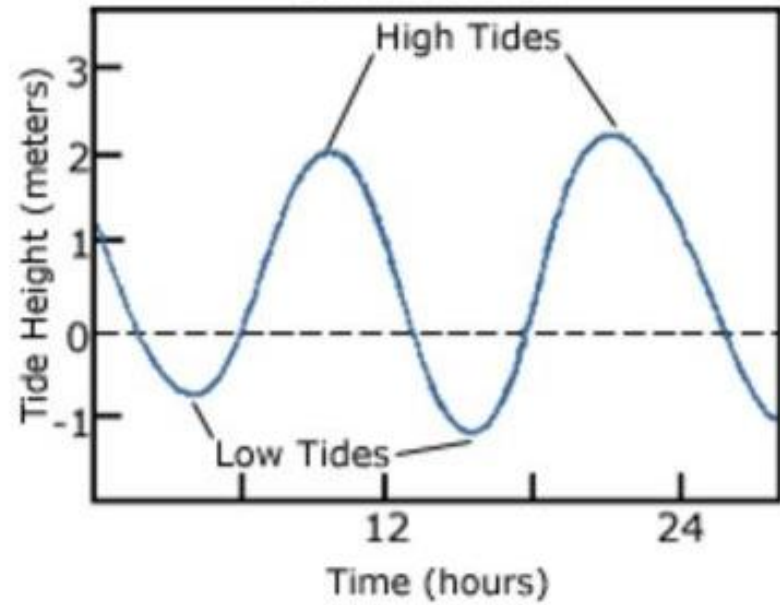


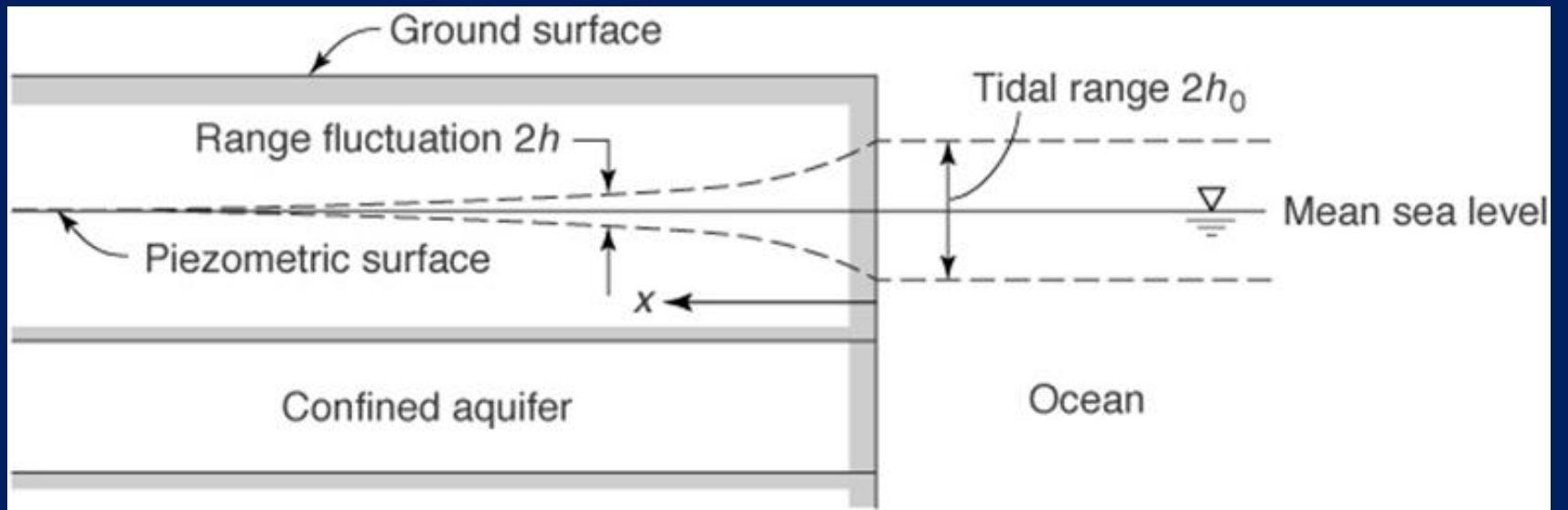


Diurnal

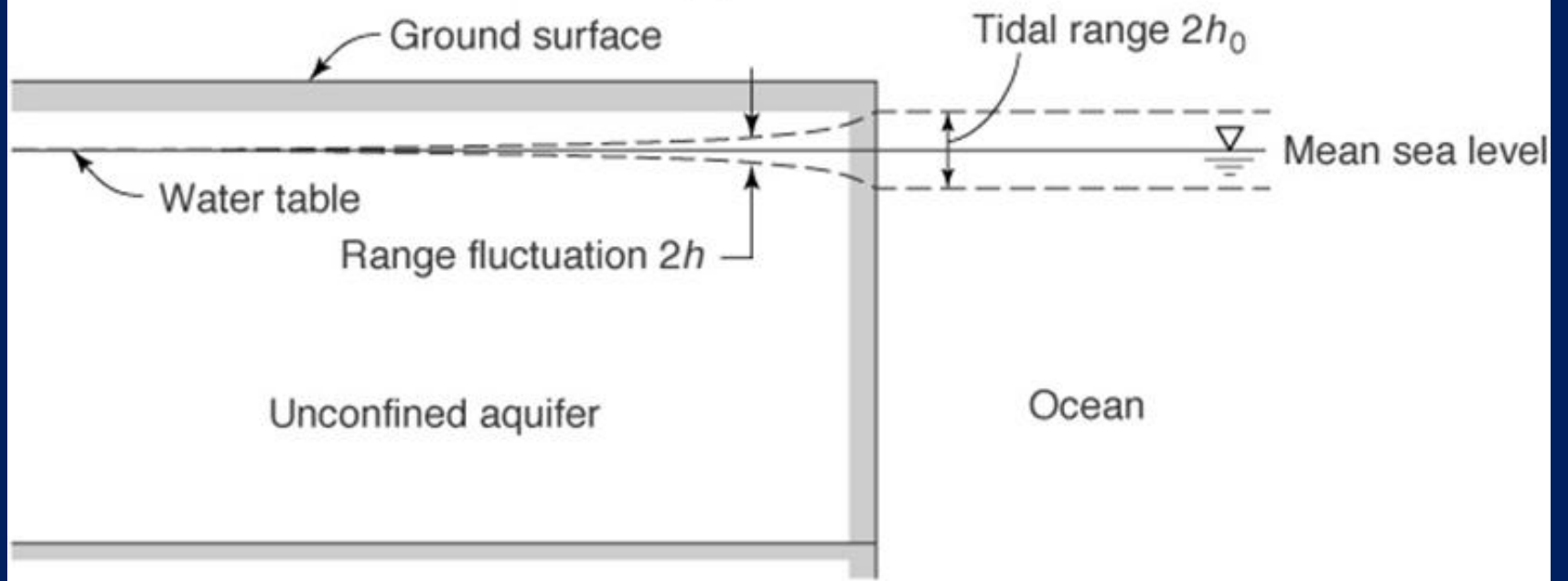


Semidiurnal

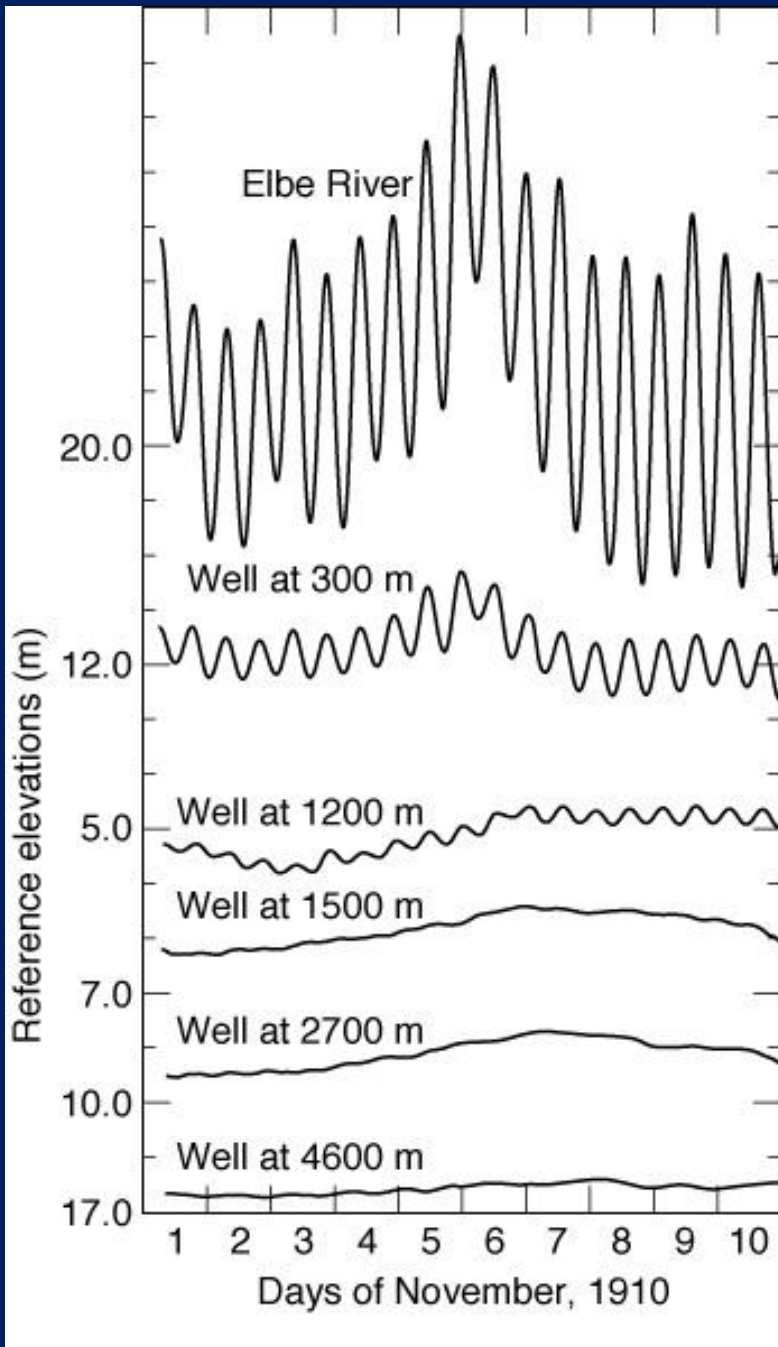




(a)



(b)



Nehirden uzaklaştıkça kuyularda görülen gel-git etkisi azalıyor.

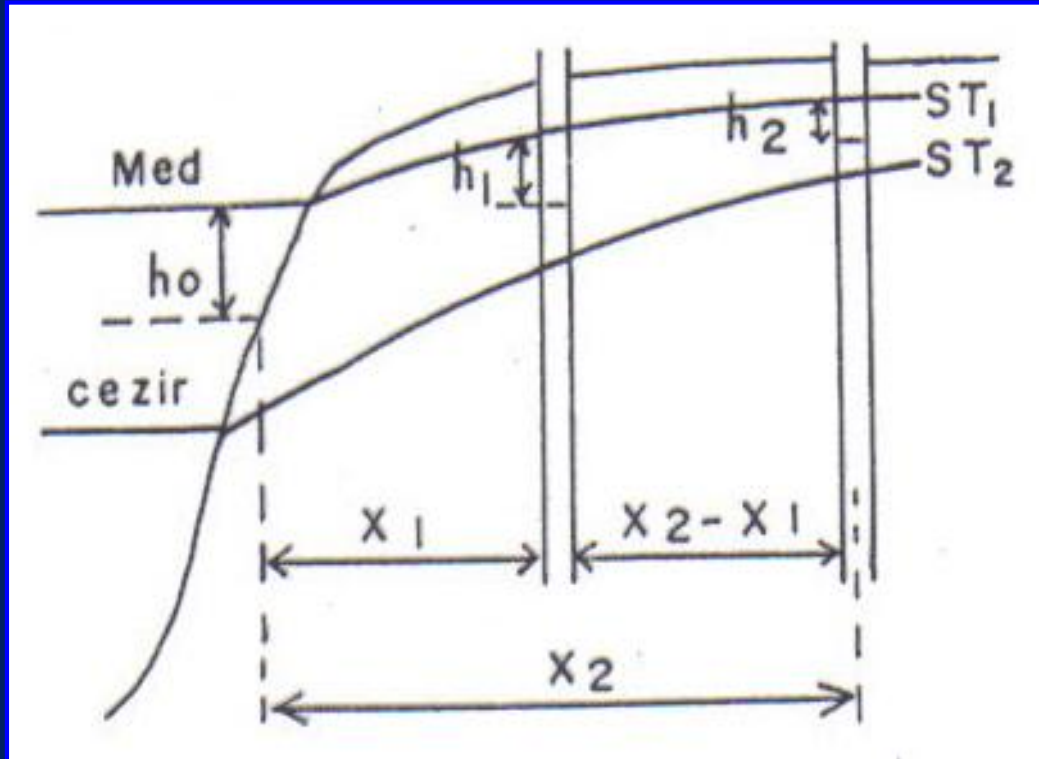
$$h_2 = h_1 * e^{-(x_2-x_1) \sqrt{\pi n e / T t o}}$$

$h_1 = 1$ nolu gözlem kuyusunda meydana gelen seviye değişimi-m

$h_2 = 2$ nolu gözlem kuyusunda meydana gelen seviye değişimi-m

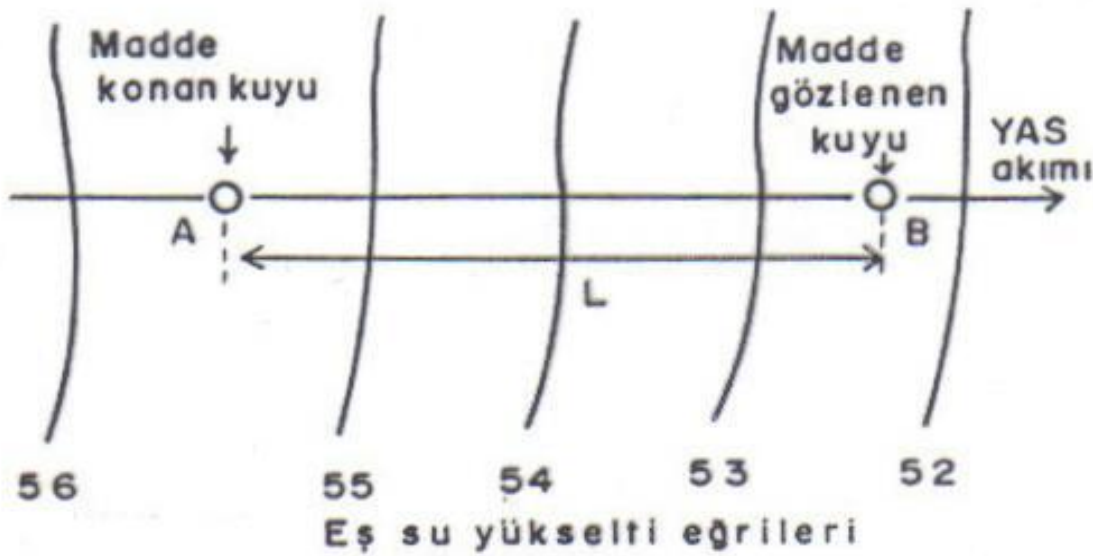
$A = \sqrt{\pi n e / T t o}$ sinüsoydal hareketin küçülmesi 1/m

Sinüsoydal hareketin dalga yayılma hızı m/s $V = 3.55 \sqrt{\frac{T}{t o * n e}}$



Gel-git olayının akifere etkisi

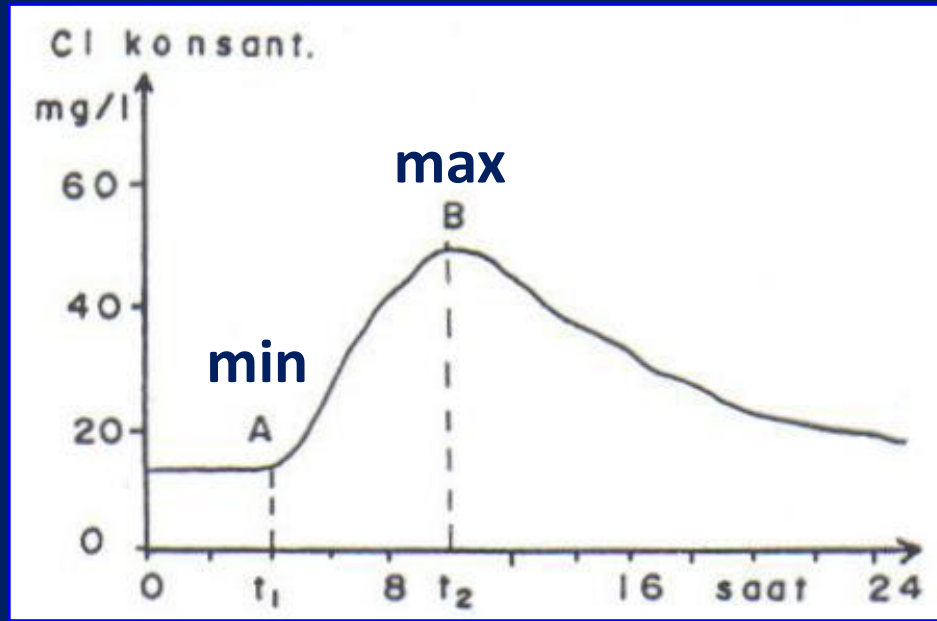
**YERALTI SUYU
AKIM YÖNÜ ve HIZININ
İZLEYİCİ
KULLANILARAK TAYİNİ**



İzleyici kullanılmadan önce, izleyici konacak enjeksiyon noktası ile izleyicinin takip edileceği su noktaları önceden araştırılır. Bölgenin su tablası-hidrojeoloji haritası var ise harita üzerinde bu noktalar seçilir. Daha sonra madde miktarı hesaplanır ve deneye başlanır.

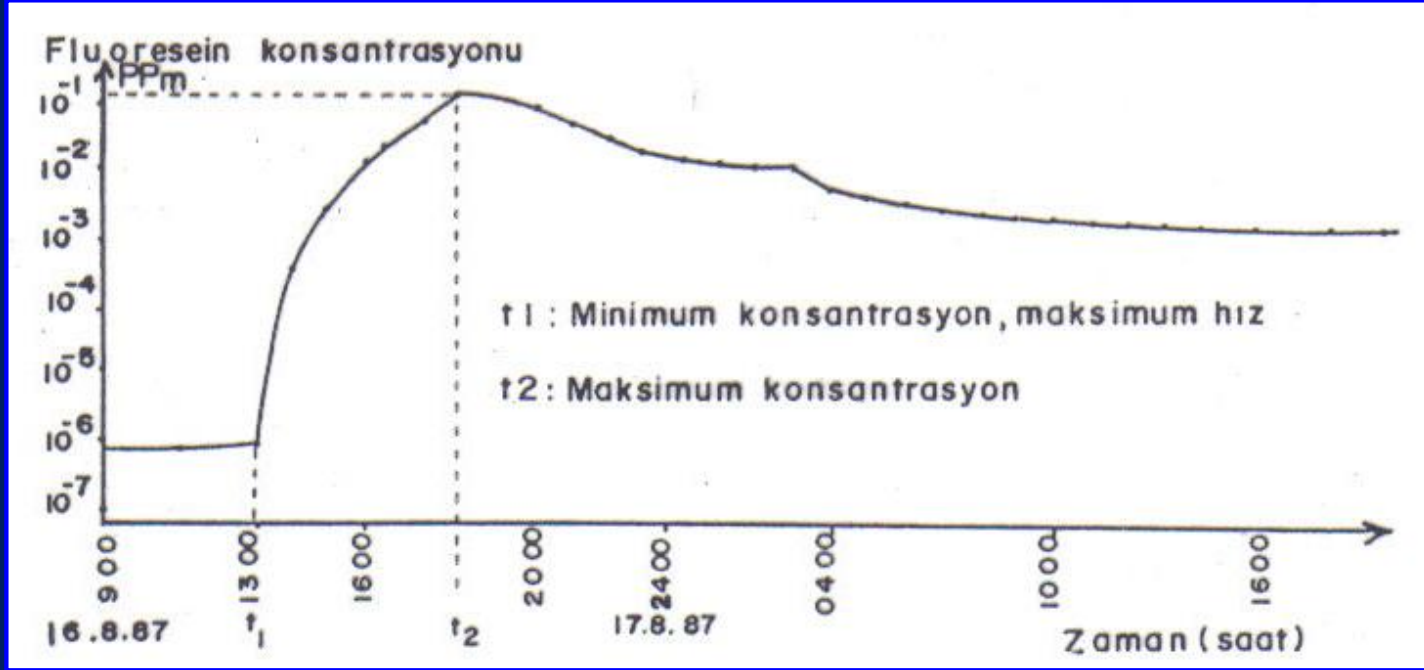
$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$V_r = L/t_m$$



Sofra tuzu deneyinde zaman-konsantrasyon grafiği

Sofra tuzu konacak akifer sisteminde klorür içeriği düşük olmalıdır. Grafikte A noktası klorürün kaynağa ilk geldiği andır. B noktası ise kaynakta konsantasyonun maksimum olduğu andır. B noktasından sonra eğri, rezervin büyüklüğüne bağlı olarak giderek alçalır. Rezerv küçük ise hızlı alçalır, büyük ise yavaş ve geç alçalır (eğri altındaki alan daha fazla olur).



Orhangazi-Nadir kaynağı zaman-boya konsantrasyon grafiği

Orhangazi-Nadir kaynağında yapılan deneyde konsantrasyon Grafiğinin alçalması uzun zaman almıştır. Yapılan örneklemede alınan numuneler 100 ml'lik siyah plastik kaplara konulmuş, Bunlar da siyah torba içerisine konarak laboratuvara getirilmiştir.

İzleme deneyi çalışmaları

Yeraltı suyu akım yönü ve akım hızının bulunması, noktalar arasında ilişki olup olumadığının, beslenme alanının yerinin tespit edilmesi



Merck KGaA K47511292 611 kodlu Na-Floresan izleyici kullanılmıştır. Benischke vd. (2007) tarafından türetilmiş olan aşağıdaki eşitlik kullanılarak enjekte edilecek boya miktarı belirlenmiştir.

$$M = 1,9 \cdot 10^{-5} (L \cdot Q \cdot C)^{0,95}$$

Eşitlikte L (enjeksiyon düdeni ile ölçüm yapılacak kaynak noktası arasındaki mesafe) 5000 m, Q (kaynak boşalım debisi) 1 m³/s, C (kaynakta ölçülmesi planlanan izleyici konsantrasyonu) 8 ppb olarak belirlenmiş ve M (enjekte edilecek izleyici miktarı) 0,78 kg olarak hesaplanmıştır.



Renkli organik madde olan fluoresein neden ideal bir izleyicidir?

A) Milyonda bir konsantrasyonu dahi deney için yeterlidir.

B) yeraltısuyunda bulunmaz.

C) Su ile kolayca taşınır.

D) Tehlikesizdir.

E) Gözenekli ortamda tutulmaz.

F) Suda erimiş tuzlarla kimyasal reaksiyona girmez.

DEBİ ÖLÇME YÖNTEMLERİ

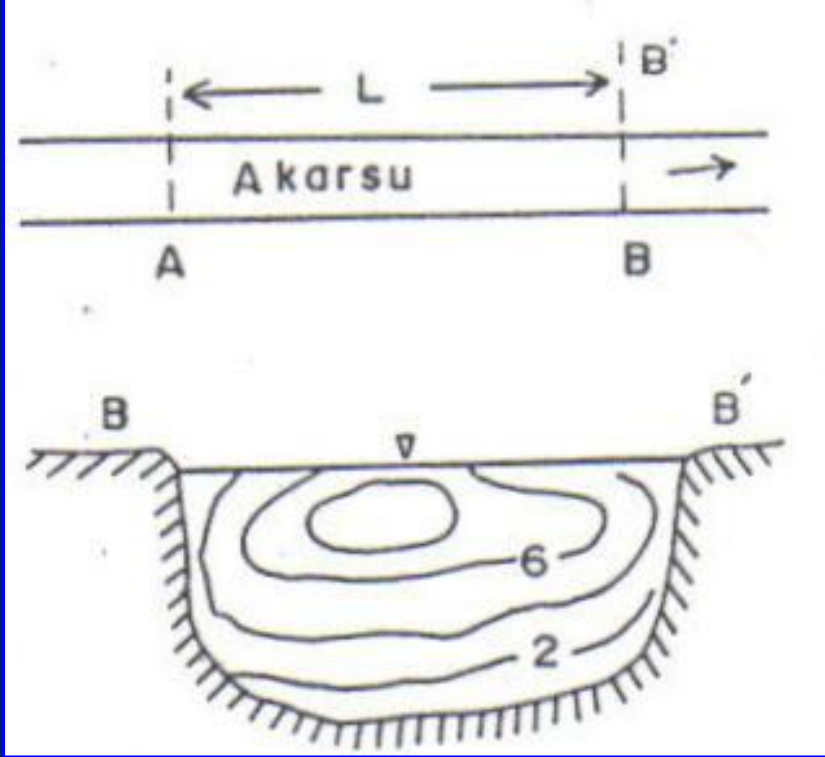
- 1- Belirli hacim yöntemi
- 2- Safralı yüzücü yöntemi
- 3- Muline yöntemi
- 4- Savak yöntemi
 - a) Dikdörtgen savak
 - b) Yanlardan daraltılmış dikdörtgen savak
 - c) Üçgen savak
- 5- Orifismetre yöntemi
- 6- Boya yöntemi



Belirli hacim yönteminin uygulanması
Kova veya dekalitre (10 lt) gibi bilinen hacimler
yardımıyla debi ölçülmesi
 $Q=V/t$
Hatanın azaltılması için V hacminin 20 saniyeden
daha fazla zamanda dolması gerekli.



Safralı yüzücülerle debi ölçümü



Su kesit alanı ve hızı tahmin edilmeli.

Bunun için;

- Akarsu yatağı düzgün olmalı.
- Su muntazam akmalı, akıntı yavaş olmalı.
- Akarsu genişliği hızın ölçüldüğü mesafede muntazam olmalı.

Hızı belirlemek için akarsu yolu üzerinde seçilecek iki nokta arasında suya, şişe ile türlü ağırlıkta hazırlanan safralı yüzücü maddeler atılır. A ve B noktası arasındaki L yolunun kaç saniyede alındığı saptanır. Ölçüm tekrarlanır, tüm ölçümlerin ortalaması alınır.

$$V = L/t$$

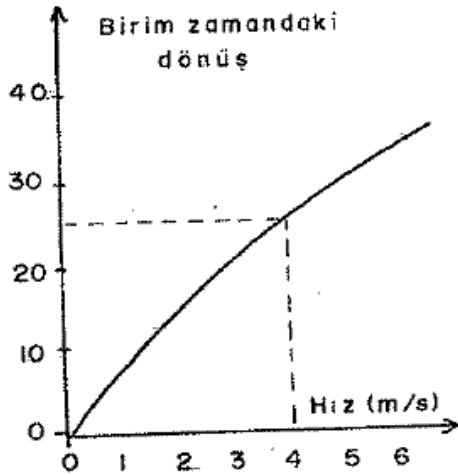
Suyun kesit alanı veya ıslak alan, L mesafesi boyunca su derinliği ölçümleri ile bulunur. S (kesit alanı) elde et. **Debi: $Q = S.V.k$**

k: akarsu yatağı cinsine göre değişen katsayı.

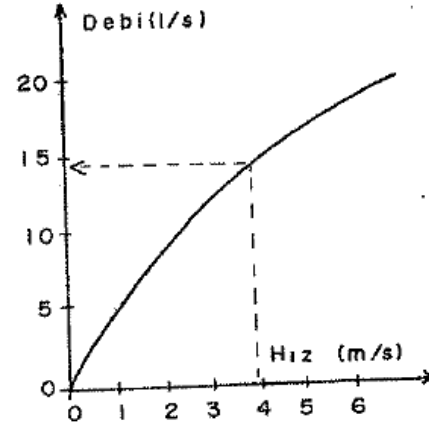
İnce çakılda 0.4-0.6, kum için 0.7, akarsu tamanı muntazam ise 0.75, taban sıkı, hatta çimentolu ise 0.8-0.9 alınır.

Muline yardımı ile debi ölçümü: Genellikle çay veya nehir gibi büyük akarsuların debileri bu yöntemle ölçülür. Mulineler suyun akım hızını tayin eder. Akım hızından akarsuyun debisi hesaplanır. Pervaneli ve kepçeli tipleri vardır.

Pervane akış yönüne karşı tutulur.
Gövde bir demir çubuk üzerinde hareketli.
Muline istenilen derinliğe indirilir, pervanenin o derinlikte birim zamanda dönüş hızı belirlenir.
Abak ile yeraltısuyu hızı bulunur.



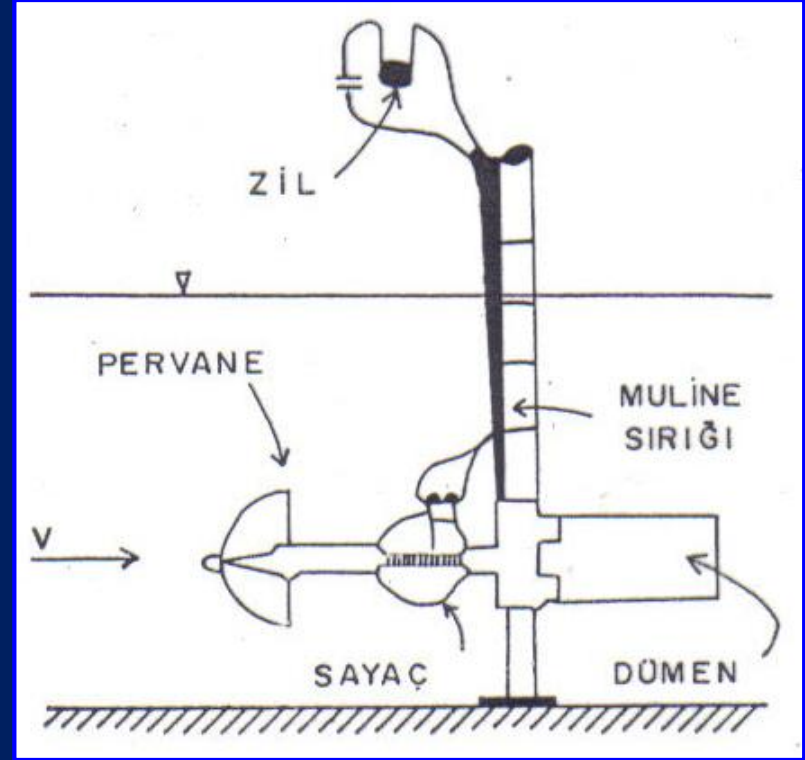
Şek.104- Dönüşe bağlı hız abağı



Şek.105- Hıza bağlı debi abağı

$$Q = V_{ort} * S \text{ veya}$$

Muline için önceden hazırlanan abaktan Q



Pervaneli muline

Savaklar yardımıyla debi ölçümü:

Dikdörtgen savak
(Bazin savağı)

Tabanı yatay olan bir kanal veya su yolunda, suyun önüne konulan bir metal plakadan ibarettir. Plaka üst kenarı suyun savaktan boşaldığı yönde yontulmuş olmalı. Savak kenarları sızdırmaz hale getirilmelidir.

$$Q = \mu \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$$

L : Kanalın (veya savağın) genişliği - m

h : Suyun savak üzerindeki yüksekliği - m

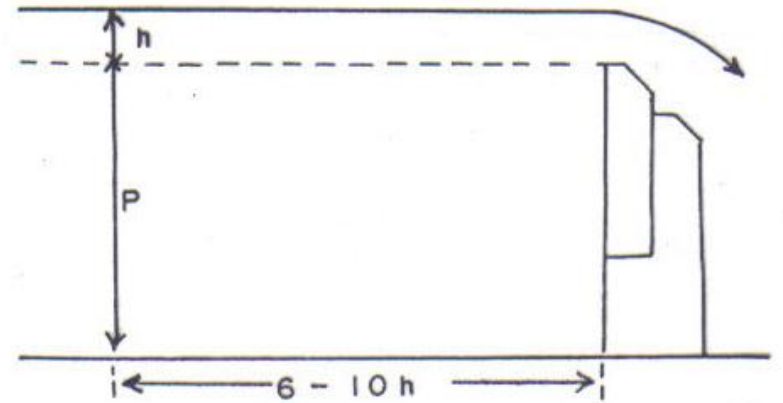
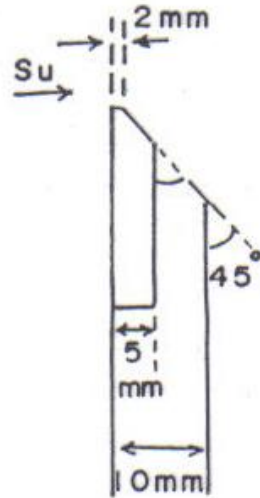
g : Yerçekimi etkisi (9,81 m/s²)

μ : Katsayı (metrik sistemde 0,40-0,45 alınır)

$$\mu = \frac{2}{3} \left[0,6075 + \frac{0,0045}{h} \right] \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right]$$

h: Suyun savak üzerindeki yüksekliği - m

P: Savağın kanal tabanından yüksekliği - m



Yanlardan daraltılmış dikdörtgen savak

Savaktan suyun aktığı açıklığın genişliği değişik olabilir. Savaktan suyun aktığı bölümün yanlarındaki yüksek kısmın yatay uzunluğuna a ise $a \geq 3h$ olmalı.

Beton payı: 5-6 cm civarında.

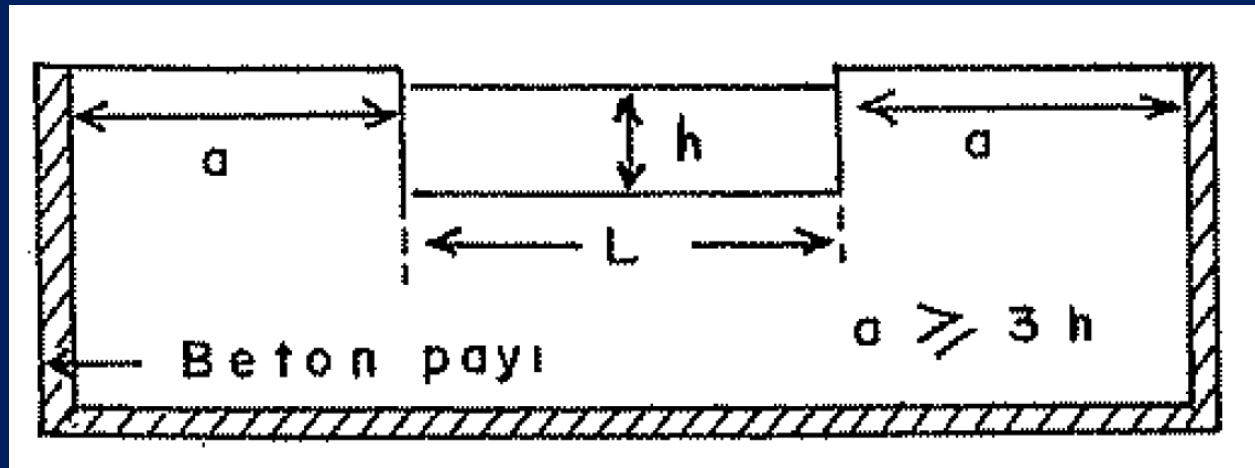
$$Q = 1,83 (L - 0,2 h) h^{3/2}$$

Q : Savaktan geçen suyun debisi - m^3/s

L : Suyun aktığı açıklığın genişliği - m

h : Suyun savak üzerindeki yüksekliği - m

H ve L 'ye bağlı debi değerleri hazır tablolardan okunabilir.



Su yüksekliği h_{max} 'ı geçmemeli...

Üçgen Savak

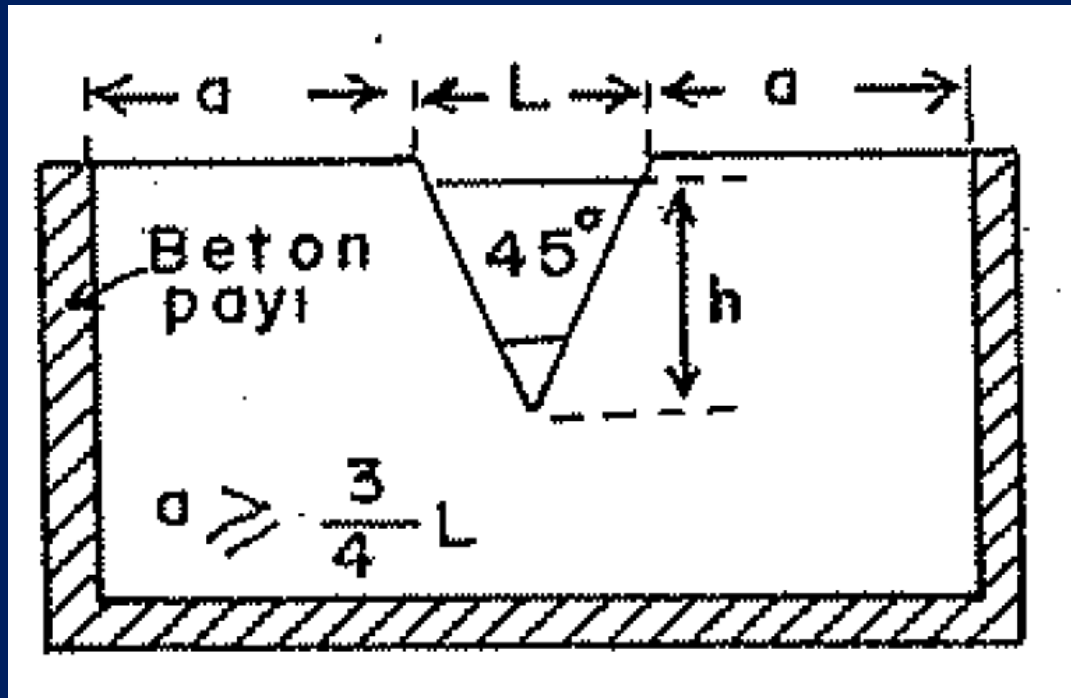
Ölçülecek debi ne kadar az ise o oranda taban açısı küçük olan bir savak tercih edilmeli.

$$Q = 1,32 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h^{2,47}$$

Q: Savaktan geçen suyun debisi - m³/s

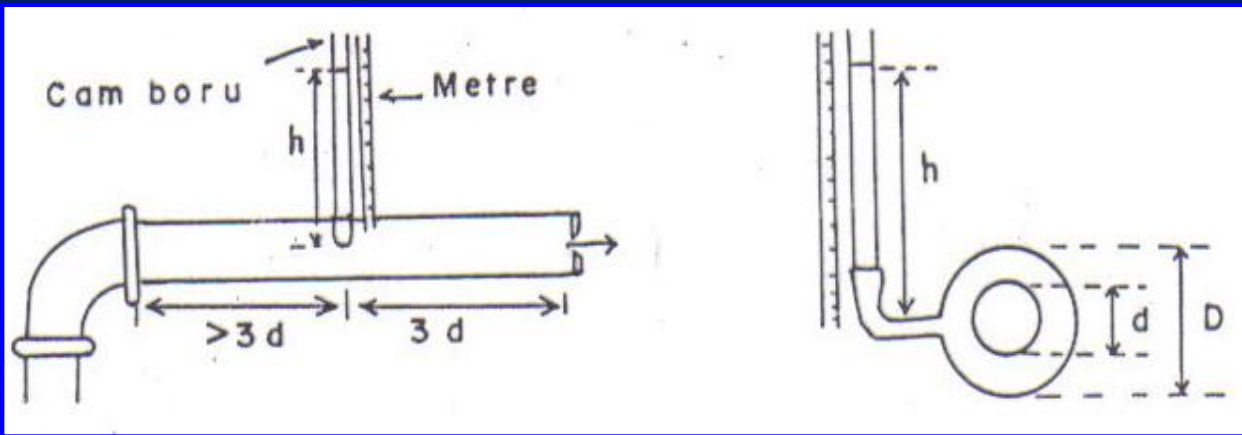
h: Suyun savak üzerindeki yüksekliği - m

α : Savağın taban açısı - Derece



ORİFİSMETRE YÖNTEMİ (Pitot tüpü) ile debi

ölçülmesi: Kuyularda pompaj esnasında çıkan suyun debisi genelde bu yöntemle ölçülür. Kuyudan çekilen su çapı D olan bir borudan geçer, bu borunun çıkışında çapı d olan bir diyafram bulunur. Boru tesisatı üzerine şeffaf bir boru yerleştirilir. Diyaframın neden olduğu basınçtan dolayı manometre görevi yapan şeffaf boruda su herhangi bir h değerine kadar yükselir. h değerleri yanına koyulan metreden okunur.



Diyafram taşıyan boru yatay olmalıdır.

Yatay boru tamamen su ile dolu olmalı ve manometrik boruda hava kabarcıkları bulunmamalı.

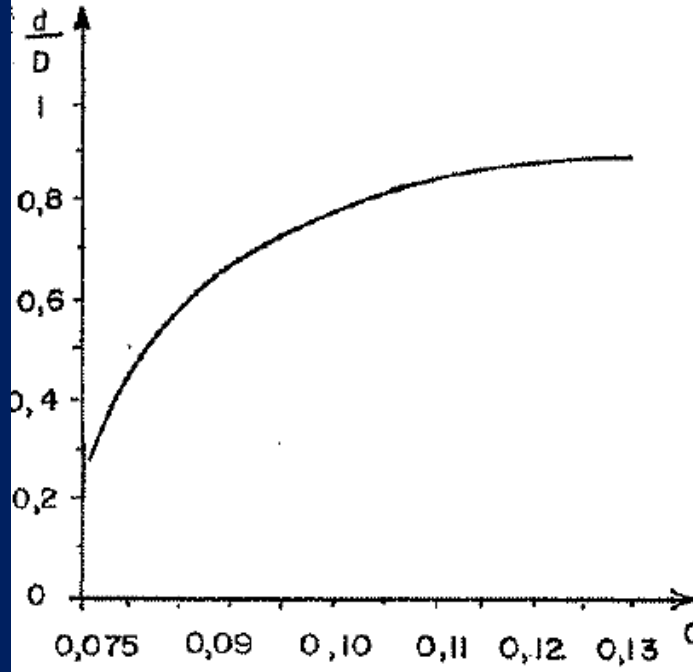
$$Q = C \cdot d^2 \cdot \sqrt{h}$$

C: D ve d'ye bağlı bir katsayı

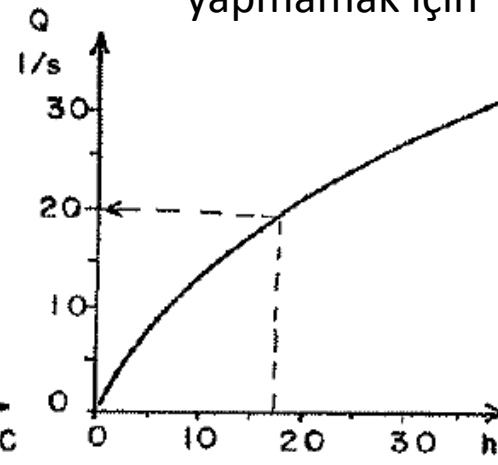
Q: Debi - m³/saat

d: Diyafram çapı - cm

h: Manometrik borudaki su yüksekliği - cm

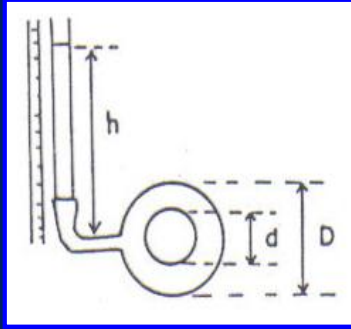


Şek.112- d/D ye bağlı
C abağı



Aynı d/D oranları
için sürekli hesap
yapmamak için

Şek.113- Orifismetrede su yüksekliğine
bağlı debi abağı



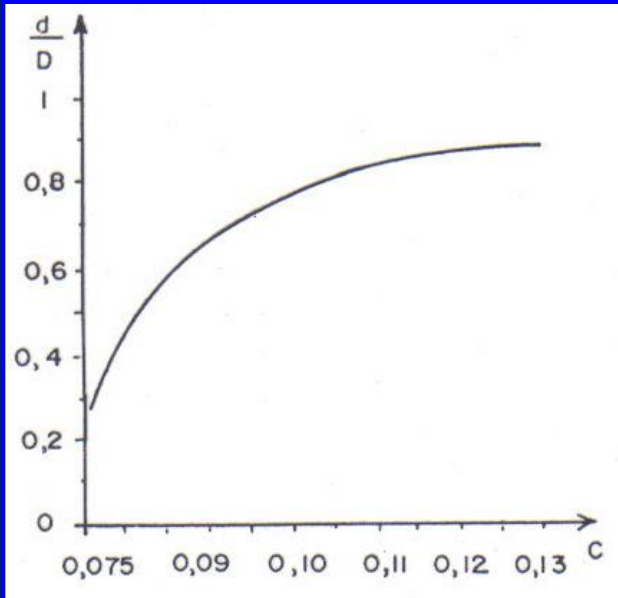
$$Q = C \cdot d^2 \cdot \sqrt{h}$$

C: D ve d'ye bağı bir katsayı

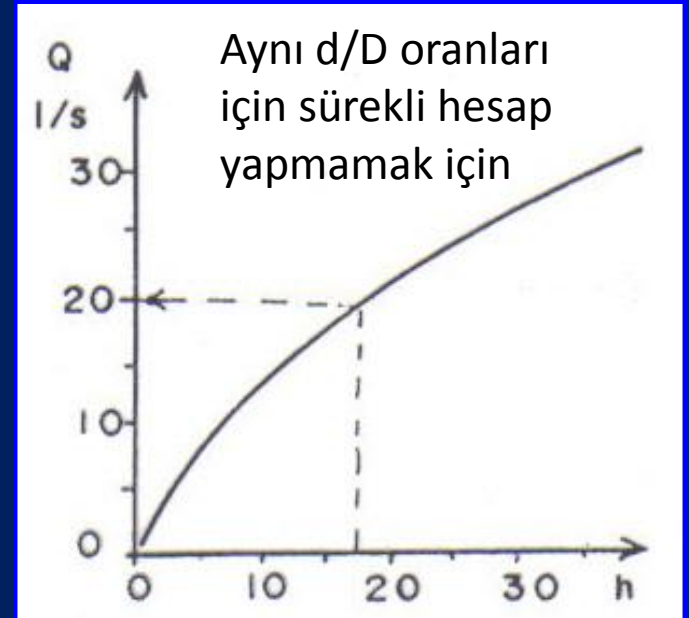
Q: Debi - m³/saat

d: Diyafram çapı - cm

h: Manometrik borudaki su yüksekliği - cm



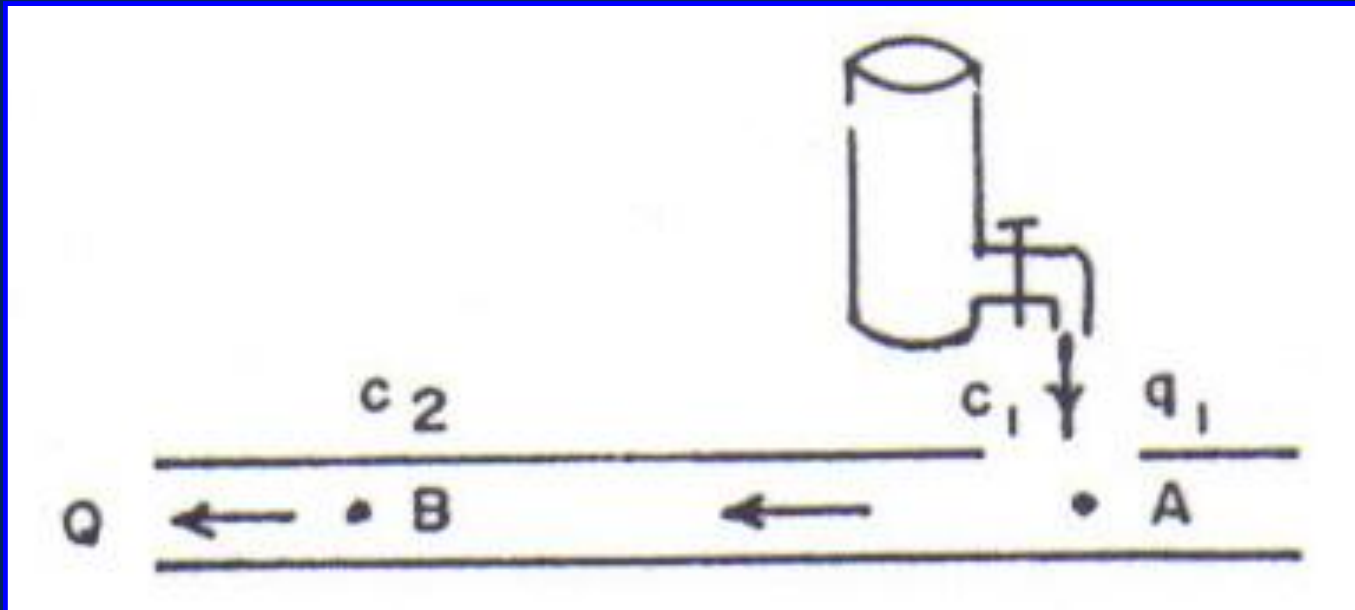
d/D ye bağı C abağı



Orifismetrede su yüksekliğine bağı debi abağı

Boya Yöntemi

c_1 konsantrasyonundaki boya çözeltisi, sabit q_1 debisi ile A noktasından bırakılır. c_2 konsantrasyonu c_1 'e oranla çok küçük.



$$c_1 \cdot q_1 = (Q + q_1) \cdot c_2$$

$$Q = \frac{c_1}{c_2} \cdot q_1$$

KIYI AKİFERLERİNE DENİZ SUYU GİRİŞİMİ

Kıyı akiferleri normalde suyunu denize boşaltırlar. Kuyulardan aşırı su çekimi ile denize doğru olan su tablası eğimi azalır veya su seviyesi deniz seviyesinden aşağı düşer.

Tuzlu suyun kıyılardaki tatlı su akiferlerine doğru ilerlemesi olayı: Deniz suyu girişimi

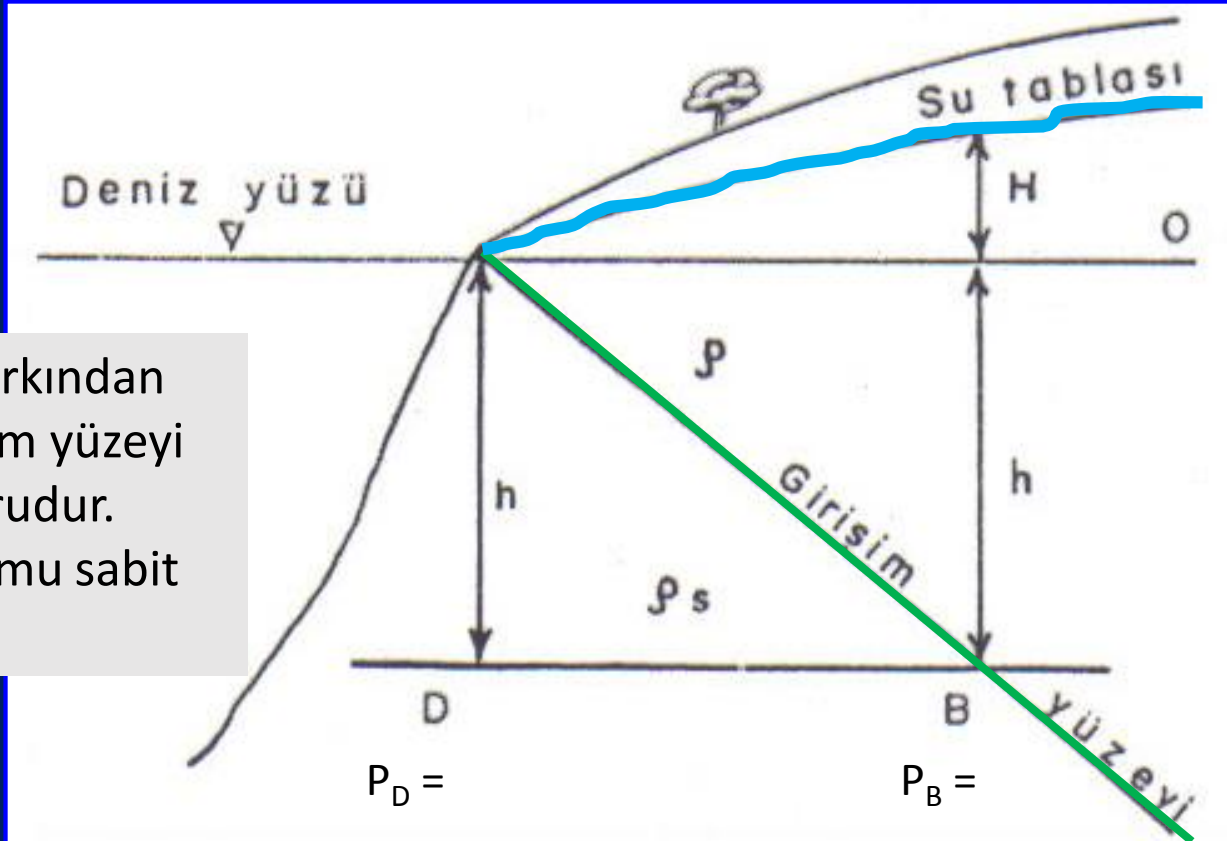
Deniz suyu girişimine gel-git ve rüzgar hareketi gibi kısa süreli doğal olaylar da yol açabilir.

Deniz suyu girişimi ilk olarak 1855'te Londra ve Liverpool'da açılan kuyularda gözlenmiş.

Üç tarafı denizlerle çevrili ve geniş alan kaplayan tuzlu göllerin bulunduğu ülkemiz için deniz suyu girişimi önemlidir.

1889'da Badon Ghyben Hollanda sahillerinde, 1901'de Herzberg Baltık denizindeki adalarda açılan kuyularda deniz suyu girişiminin incelemişlerdir (birbirlerinden habersiz çalışmışlar).

Ghyben ve Herzberg farklı bölgelerdeki kuyularda tuzlu suyun deniz seviyesinden başlamadığını, üstteki tatlı su ile alttaki tuzlu suyun bir girişim yüzeyi ile birbirinden ayrıldıklarını keşfetmişlerdir.



Yoğunluk farkından dolayı girişim yüzeyi karaya doğrudur. Yüzey konumu sabit değildir.

Girişim yüzeyi boyunca yoğunluk farkından oluşan statik bir denge vardır. Bu yüzey onlarca metre kalınlıkta olabilir.

Ghyben-Herzberg modeli

D noktasındaki hidrostatik basınç: $P_D = \rho_s * g * h$

B noktasındaki hidrostatik basınç: $P_B = \rho * g * h + \rho * g * H$

Tatlı ve tuzlu su arasında akım olmadığı farz edildiği için BD düzlemi üzerindeki basınçlar eşit olacaktır:

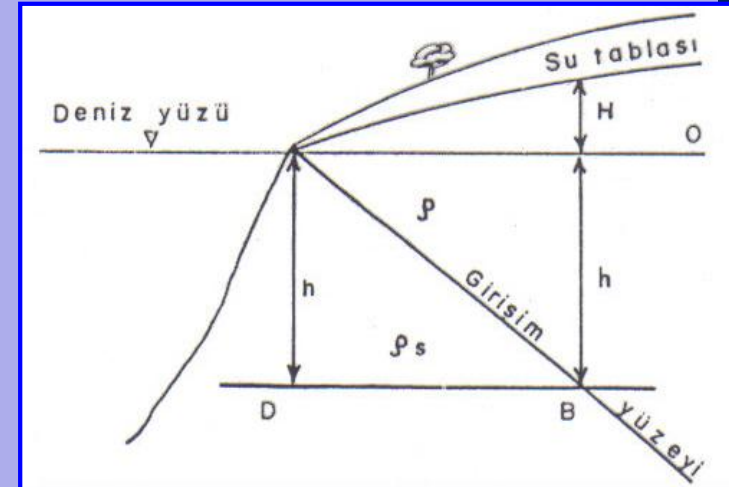
$$\rho_s * g * h = \rho * g * h + \rho * g * H$$

$$\rho_s * h = \rho * h + \rho * H$$

$$h(\rho_s - \rho) = \rho * H$$

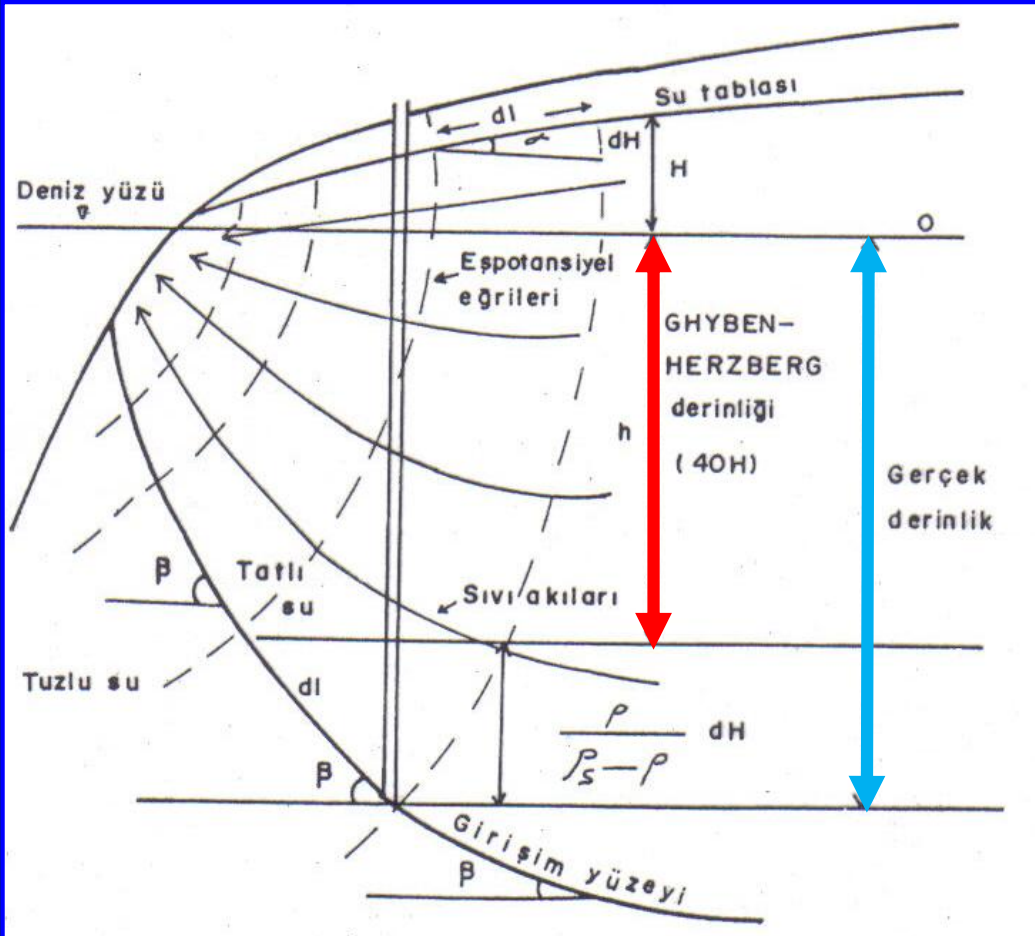
$$h = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} * H$$

Deniz suyu yoğunluğu 1.025 ise $h = 40 H$



Hubbert (1940) – H. Cooper (1964) Modeli

Ghyben-Herzberg bağıntısının uygulanabilmesi için su tablası veya basınç yüzeyi deniz seviyesi üzerinde bulunmalı ve denize doğru eğimli olmalı. Bu koşullar yoksa– deniz suyu kıyı akiferlerinin içine doğru ilerleyebilir.



Hubbert (1940), tatlı su- tuzlu su arasında bir akım bulunduğunu göz önüne alarak girişim yüzeyinin akım hızları ve ortam geçirgenliğine bağlı olarak tuzlu suya doğru dış bükey olacağını belirtmiş.

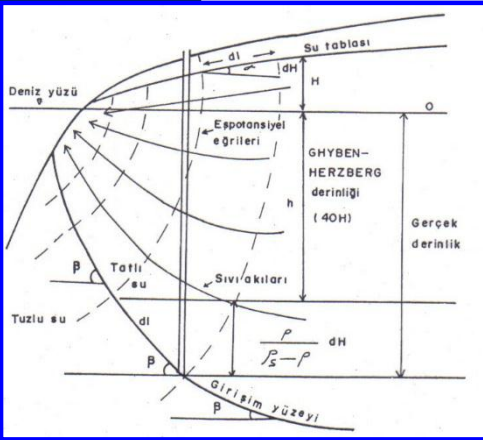
Girişim yüzeyinin yatay ile yaptığı açı nasıl bulunur?
 $\sin\beta$?

İki tarafın türevi alınırsa:

$$h = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} * H$$

$$dh = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} * dH$$

Beta açısının Sinüsü; $\text{Sin}\beta = dh/dl$



$$\text{Sin}\beta = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} * dH/dl$$

$$\text{Tan}\alpha = dH/dl = i$$

Darcy'den; $q/A = K*i = V$ ise; $i = V/K$

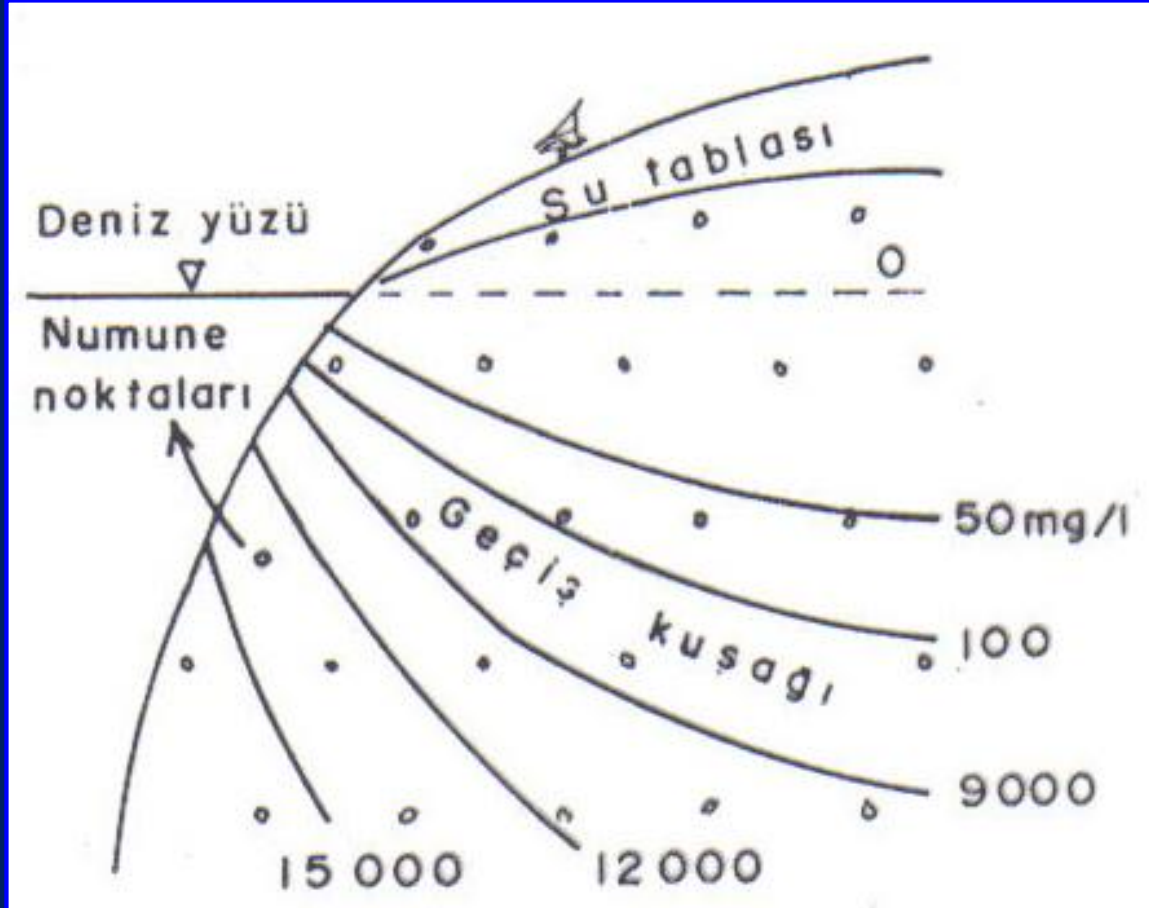
β açısı, denize boşalan yeraltısuyunun akım hızı ile doğru orantılı olarak denize doğru artmakta.

$V=Q/S$ (Q sabit, S denize doğru azalır)

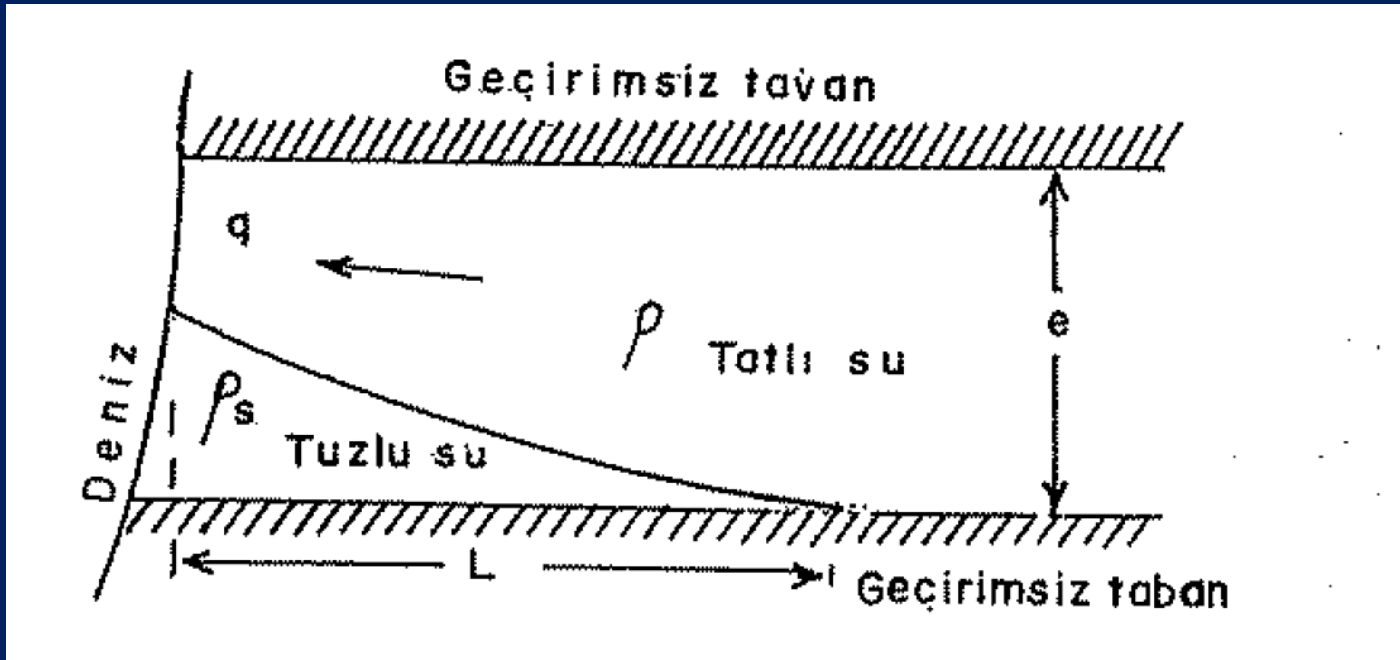
$$\text{Sin}\beta = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} * V/K$$

V denize boşalan yeraltısuyunun akım hızı m/s

K: akiferin geçirgenlik katsayısı m/s



Hidrokimyasal yöntemle kıyı akiferlerinde girişim yüzeyinin belirlenmesi



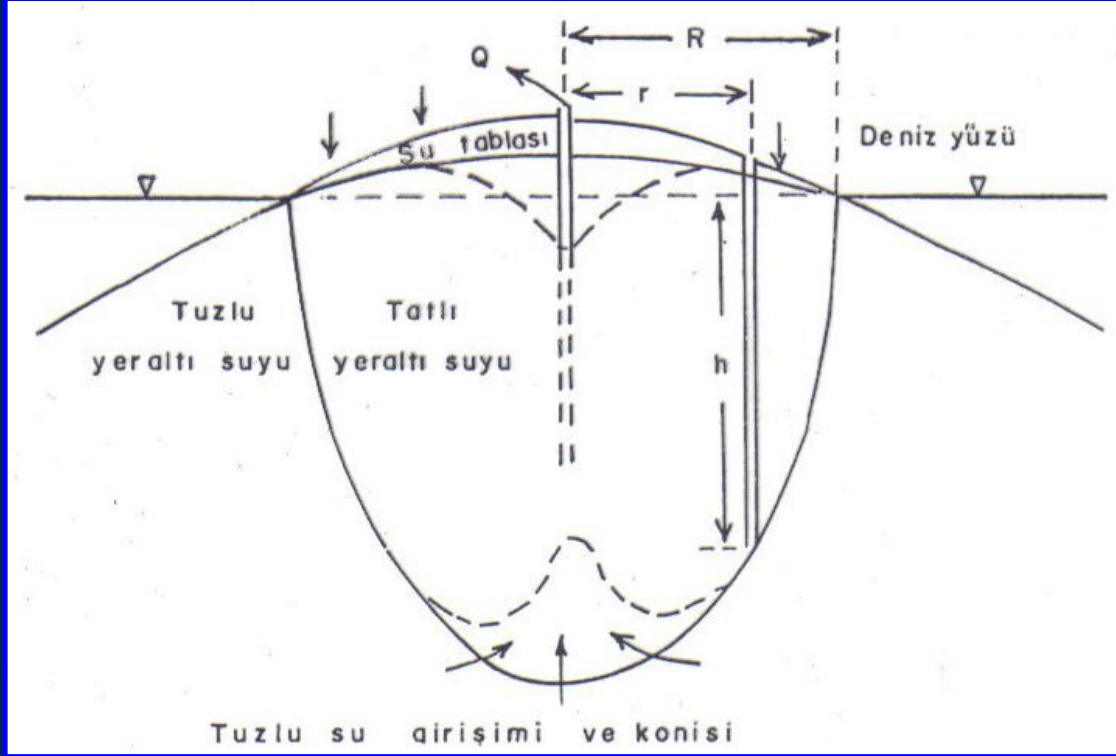
Basıncı akiferde tuzlu su kaması

L (tuzlu su kaması uzunluğu) debi ile ters orantılı.

$$L = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \cdot \frac{K \cdot e^2}{q}$$

Formül Darcy yasasından yararlanılarak bulunmuştur.

Adalarda tatlı yeraltı suyu merceği



Adalardaki tatlı suyun deniz seviyesinden aşağıdaki h kadar derinliği:

I: etkili süzülme %

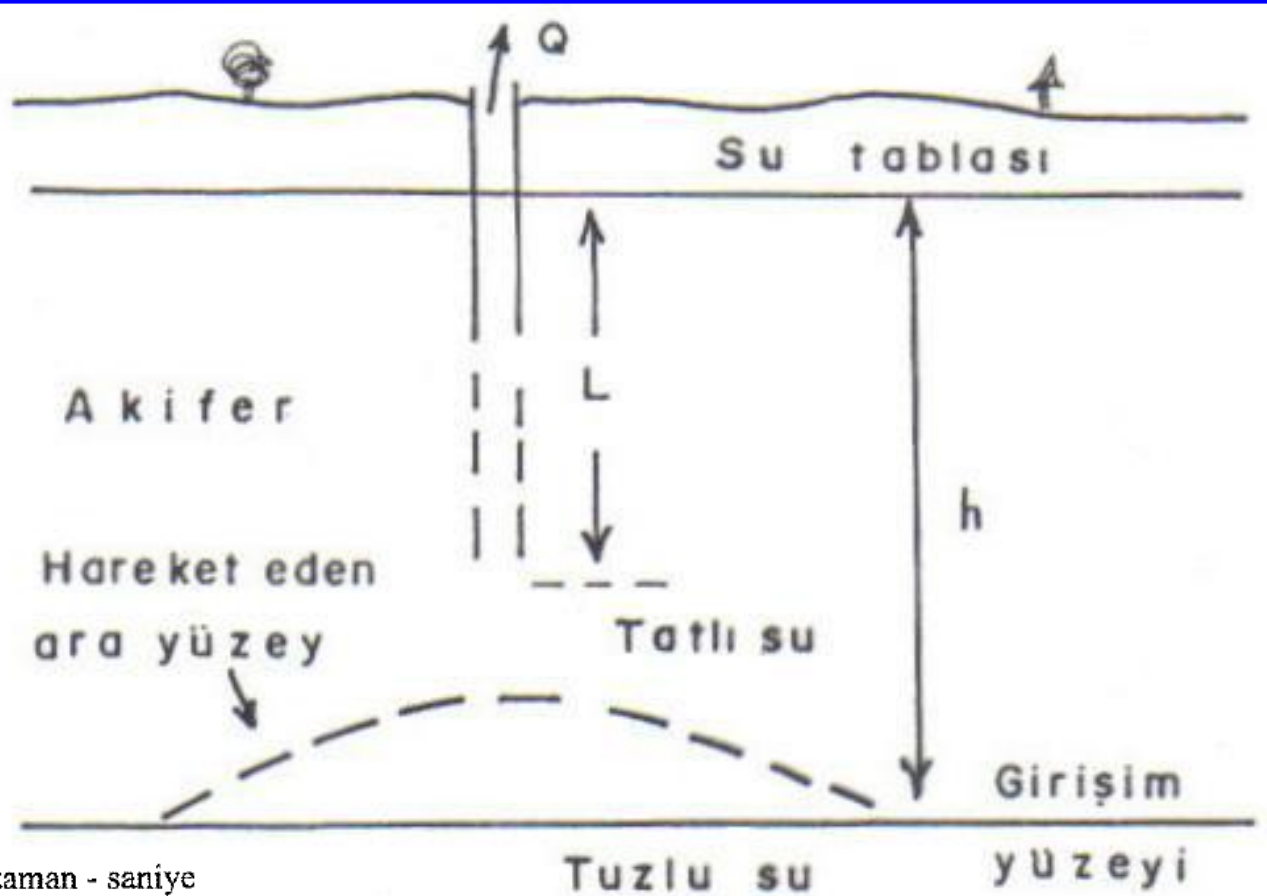
K: Geçirgenlik katsayısı

R: Adanın yarıçapı

r: Tatlı su derinliği hesaplanacak noktanın ada merkezine olan uzaklığı

$$h^2 = \frac{I}{0.0512K} (R^2 - r^2)$$

Pompaj ile mercek küçülebilir.



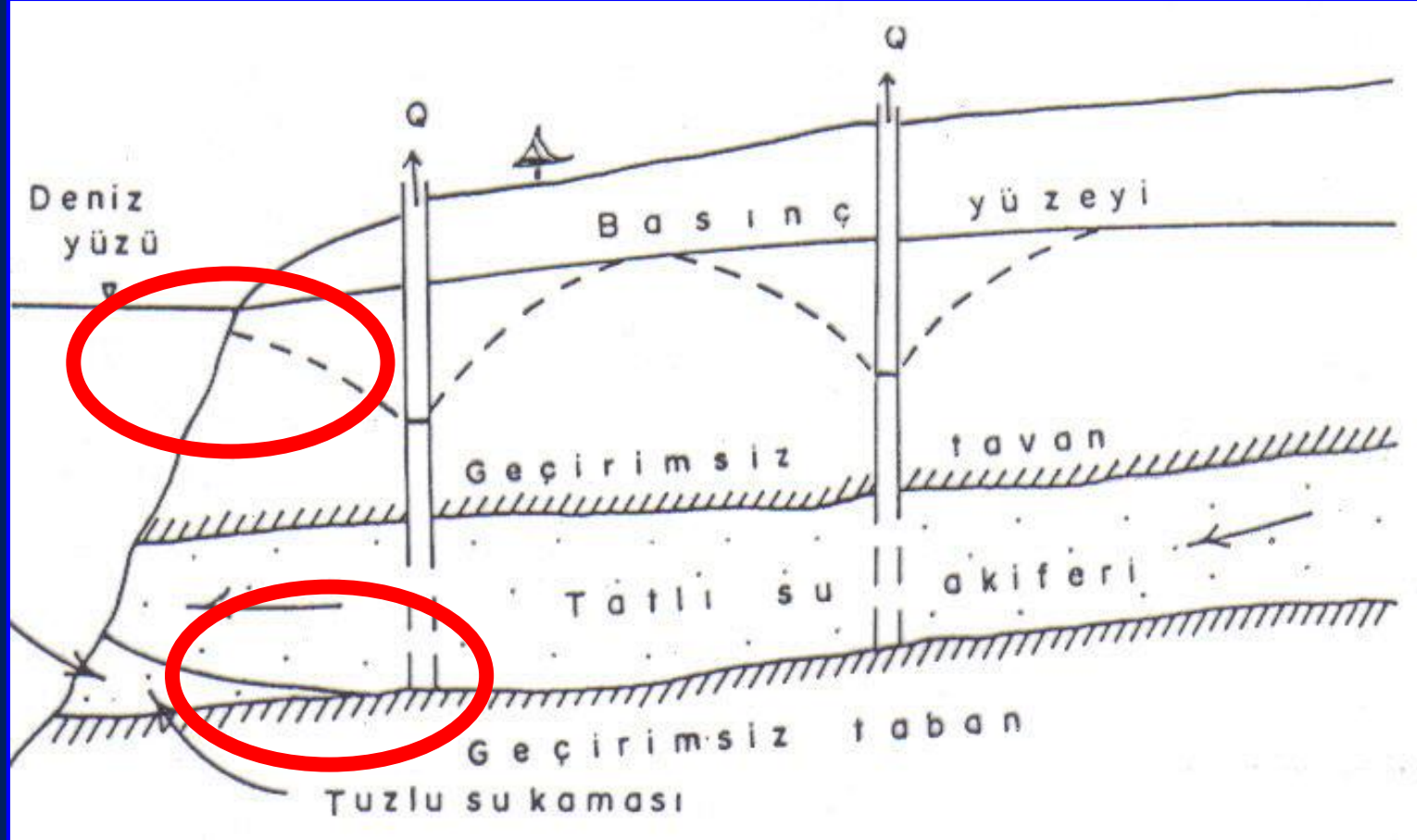
- t : Kuyudan çekilen suyun tuzlanacağı zaman - saniye
- h : Akiferin kalınlığı - m Tatlı su akiferi
- Q : Kuyudan çekilen suyun debisi - m³/s
- ne: Etkili gözeneklilik - %
- l : Su tablası altında sondajın derinliği (veya filitre boyu) - m

Sahil akiferlerinde hareketli ara yüzey

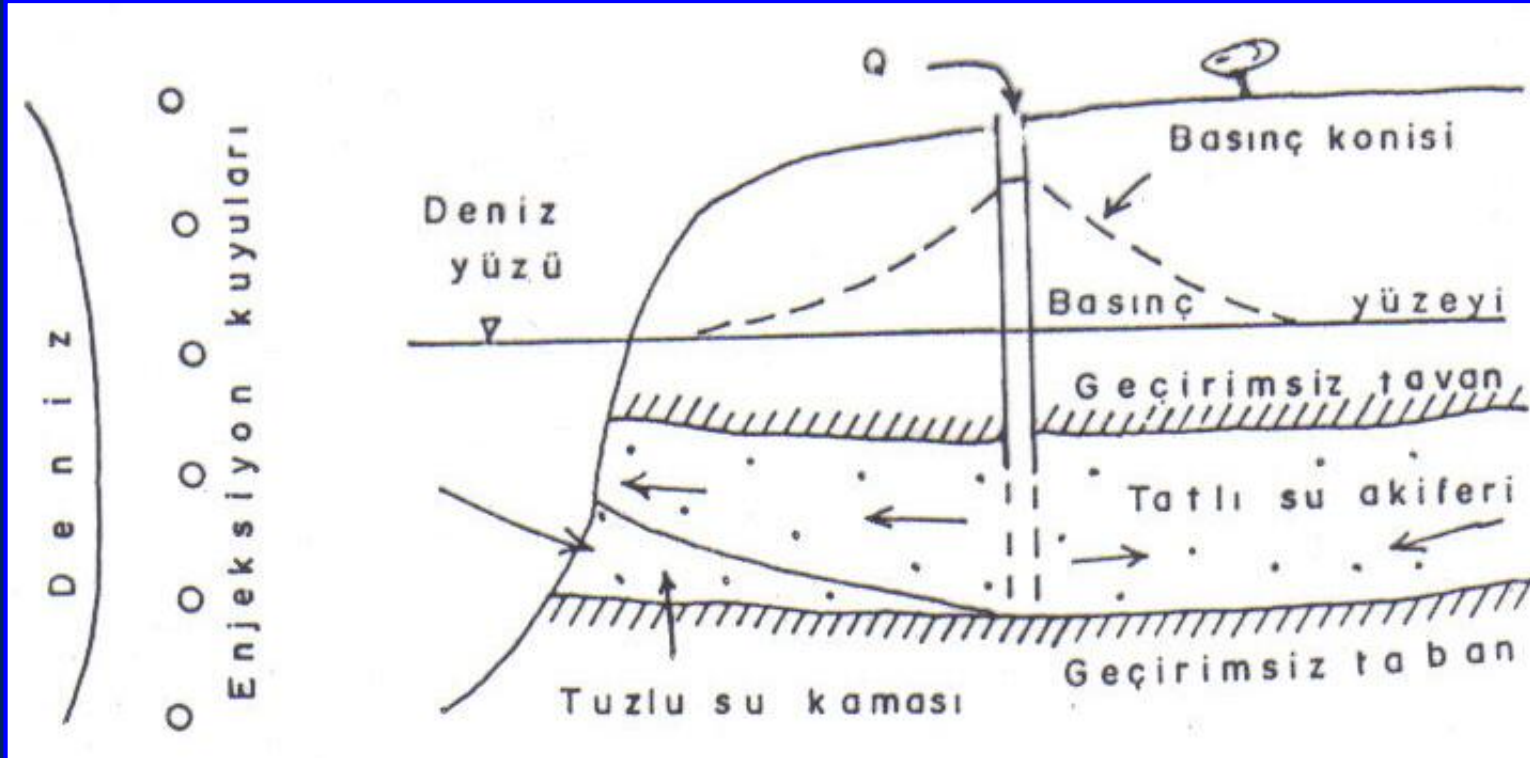
$$t = \frac{2 \cdot \pi \cdot ne}{3Q} (h^3 - 3hl^2 + 2l^3)$$

KIYI AKİFERLERİNE DENİZ SUYU GİRMESİNİN ÖNLENMESİ

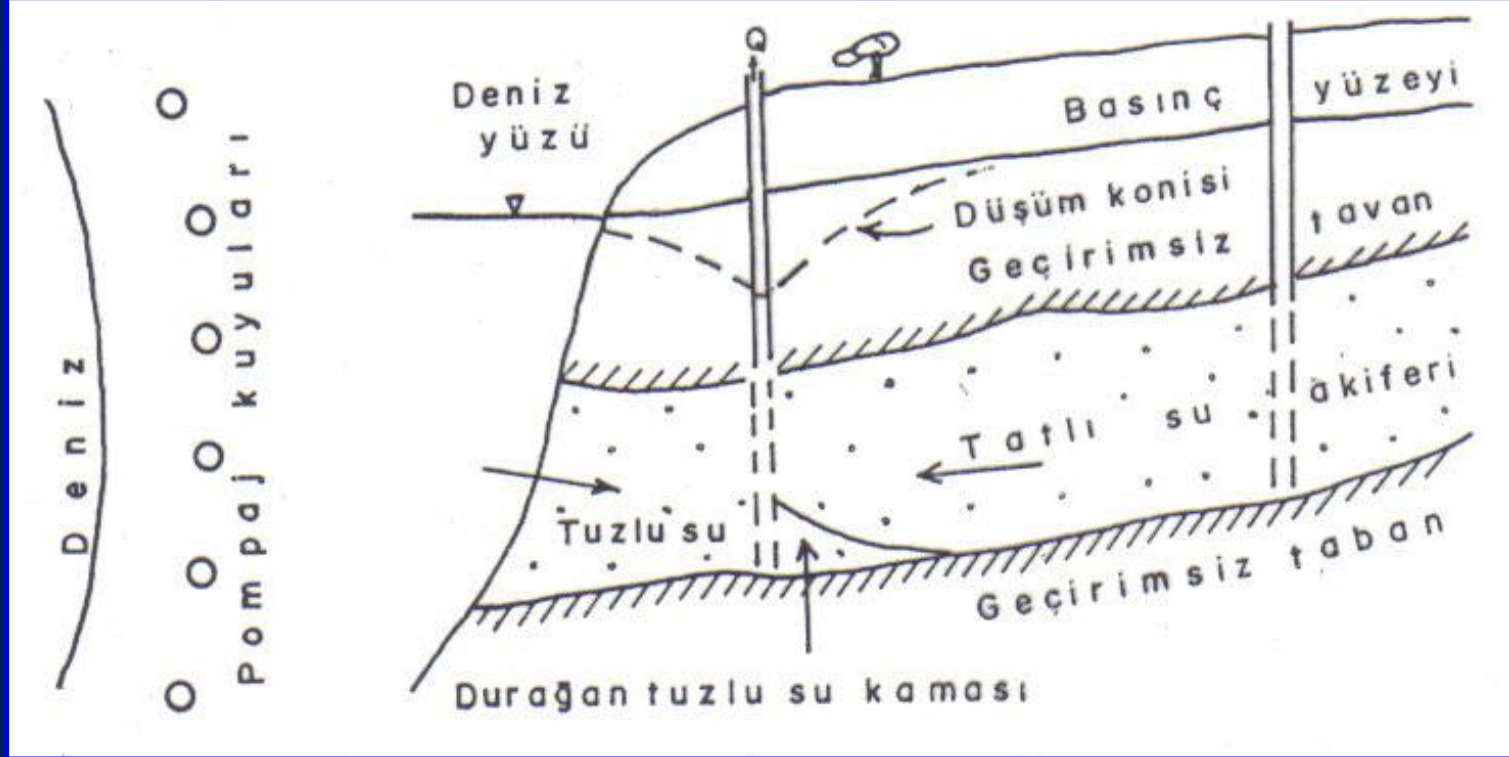
1. Kıyı akiferlerinde açılan kuyularda pompajın azaltılması.
2. Pompaj kuyusunun kıyıdan uzakta açılması



3. Yapay beslenme- Serbest akiferlere yayma biçiminde yüzeyden Basınlı akiferlerde kuyulara su verilerek



Kıyıya paralel düşüm çizgisinin düşüm çizgisi oluşturulması



Kuyular birbirlerine yakın olmalı, ortak düşüm konisi...

KAYNAKLAR

Kaynaklar yeraltısuyunun yeryüzüne çıkış noktalarını gösterirler (kaynak suyu bir akiferden gelir). Su çıkışı bir noktadan veya geniş bir alandan olabilir. Bu alana kaynak alanı verilir.



Kazan Havzası'nda bir kaynak



Kütahya Köprüören Havzası'nda bir kaynak

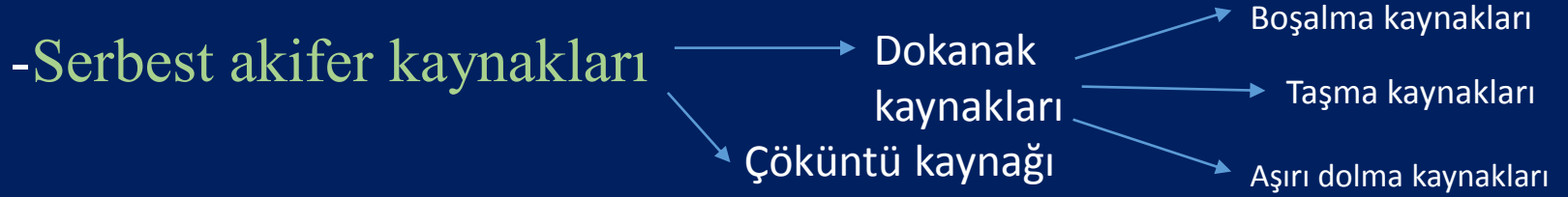
Kaynakların sınıflandırılması

- Jeoloji
- Gözeneklilik ve geçirimsizlik
- Hidrodinamik esaslar

Hidrodinamik esaslara göre sınıflama

•**Süzülme suyu kaynakları**- vadi tabanlarında batıp çıkan kaynaklar

•**Akifer kaynakları**- suyu doğrudan doygun kuşaktan gelir.

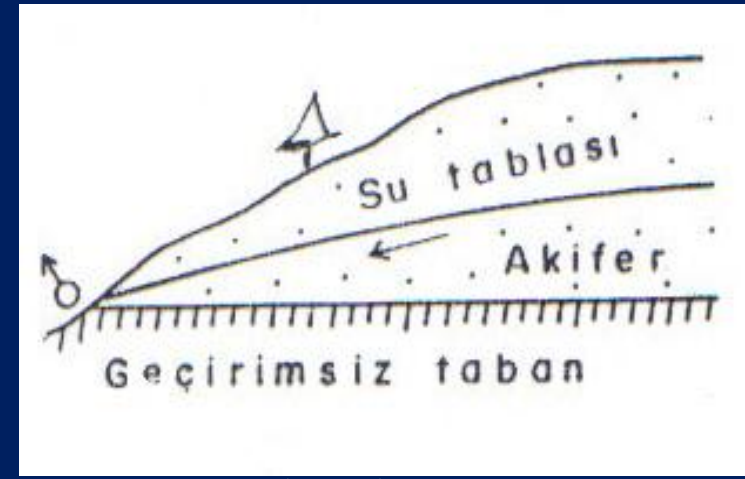


-Basınçlı akifer kaynakları



Dokanak Kaynakları: Su tablası kaynağa ait geçirimsiz tabana ulaşır.

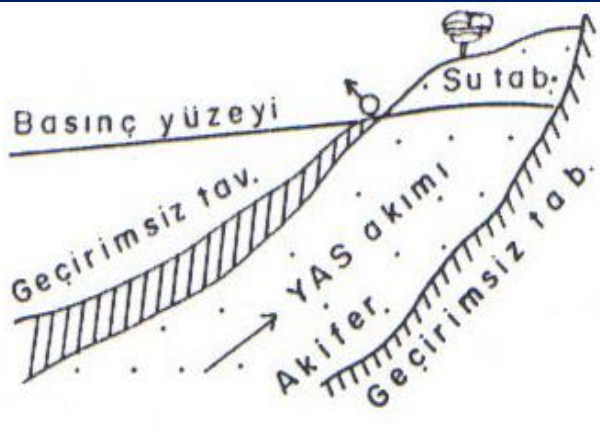
Boşalma kaynağı: Kaynak, serbest akiferin geçirimsiz tabanın dokanağından çıkar.



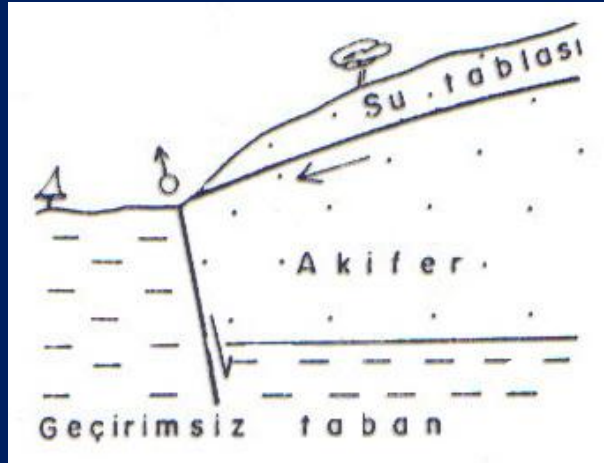
Boşalma kaynağı.

Taşma kaynağı: Serbest akiferlerin basınçlı akiferle geçiş kuşağında veya fayla alçalan geçirimli kuşağın doygun hale geldiği ve su tablasının topoğrafyayı kestiği yerlerde oluşabilir.

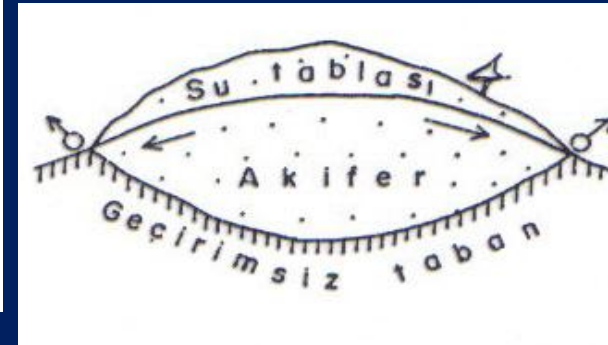
Aşırı dolma kaynağı: Serbest bir akiferde oluşan bir senkinalde, geçirimli kuşağın aşırı dolması ve su tablasının topoğrafyayı kesmesi ile geçirimsiz tabanın dokanağında oluşurlar.



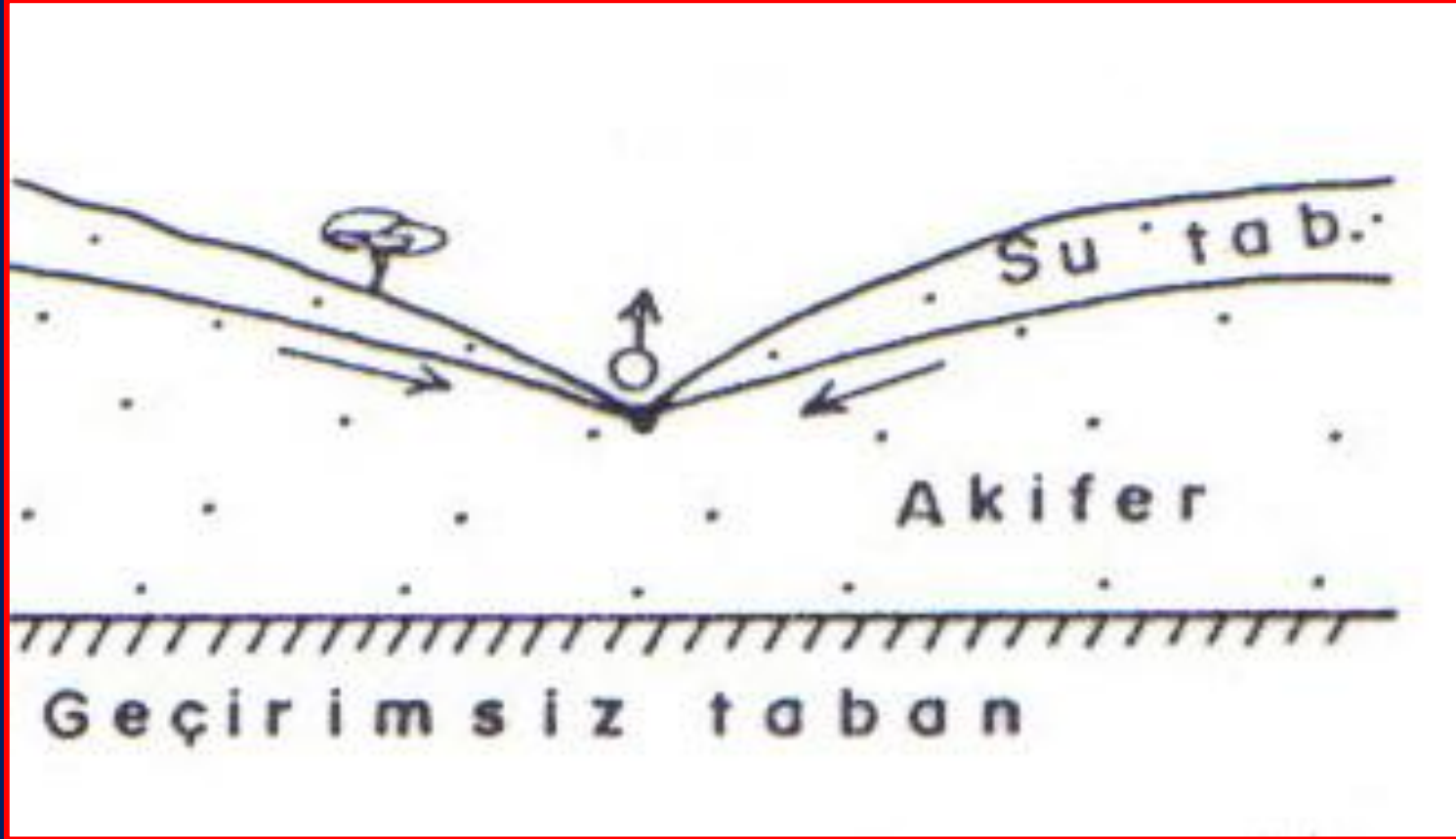
Taşma kaynağı.

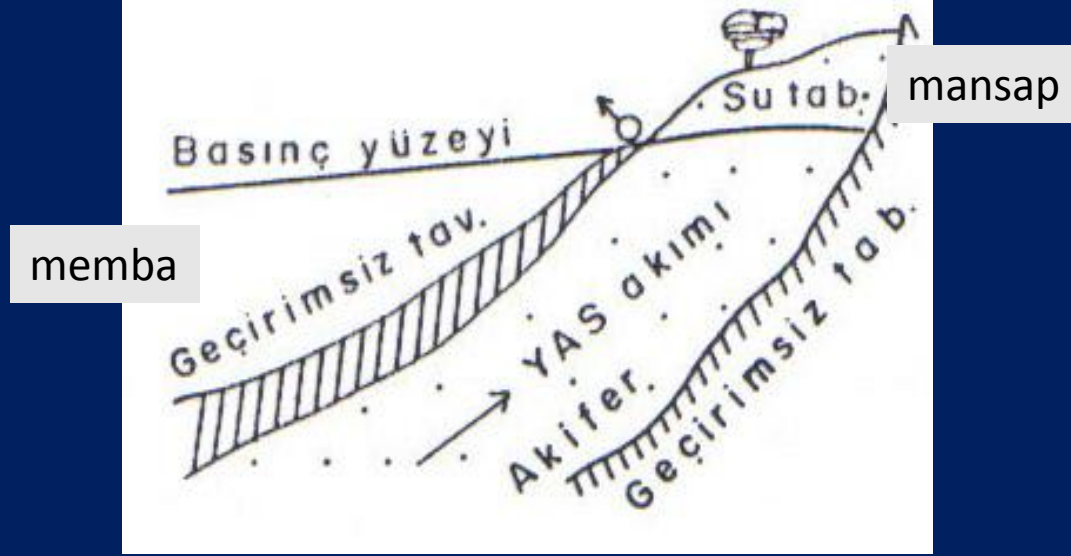


Fayla oluşan taşma kaynağı.



Çöküntü Kaynağı: Su tablası akiferin geçirimsiz tabanına ulaşmaz. Vadi kaynağı da denir.

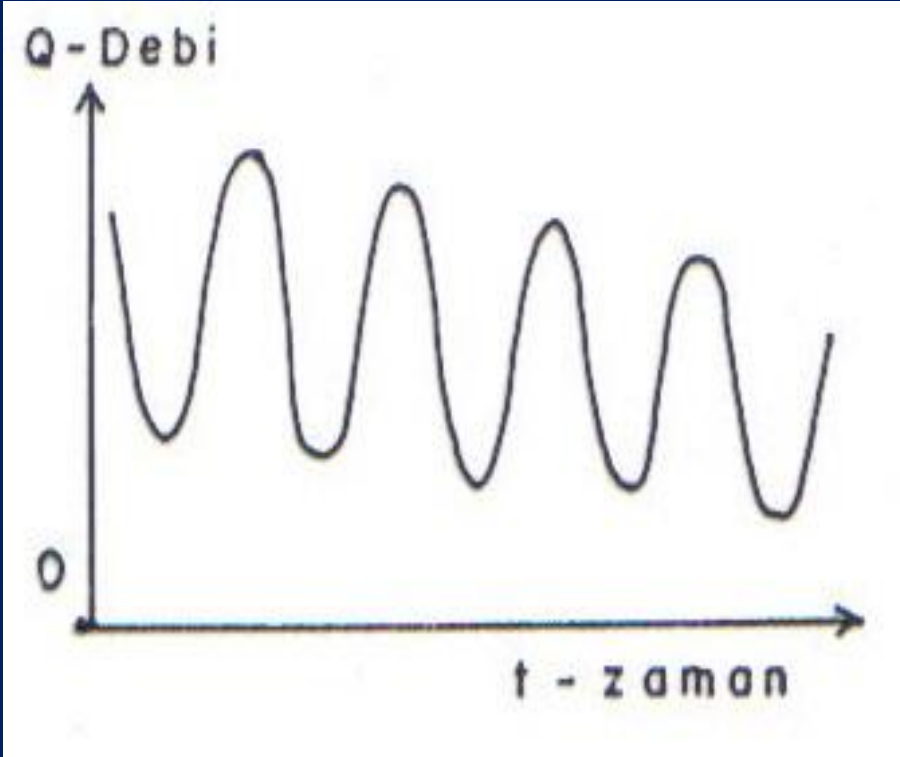




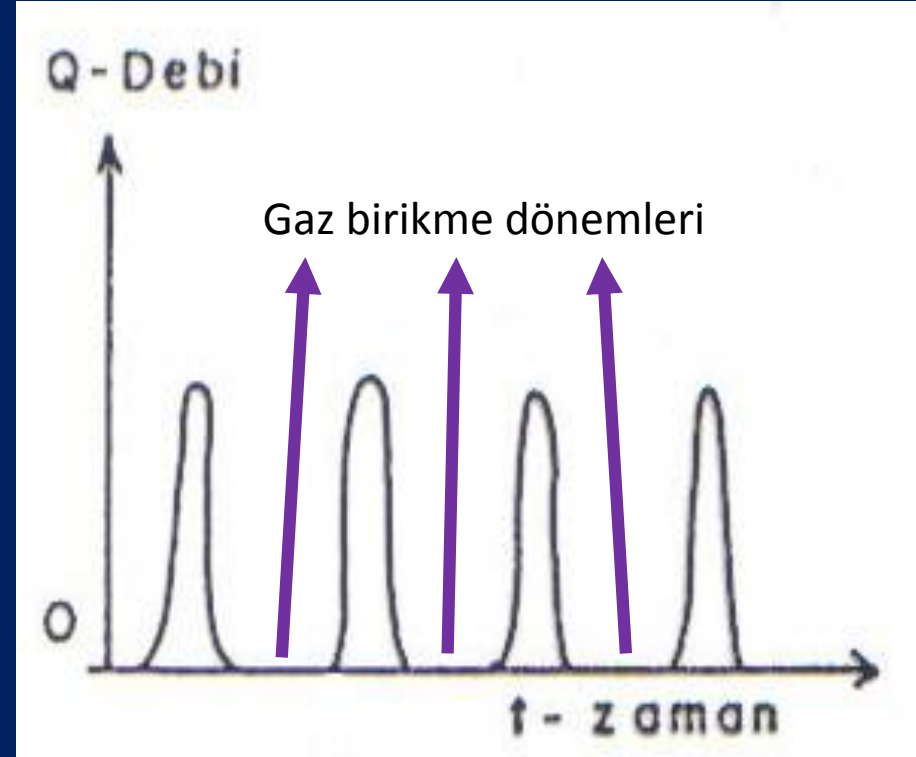
Taşma kaynağı- aynı zamanda basınçlı akifer kaynağı.
Akifer kaynağın memba yönünde basınçlı durumdadır.

ÖZEL KAYNAKLAR

Devirli, gayzer ve gazlı kaynaklar



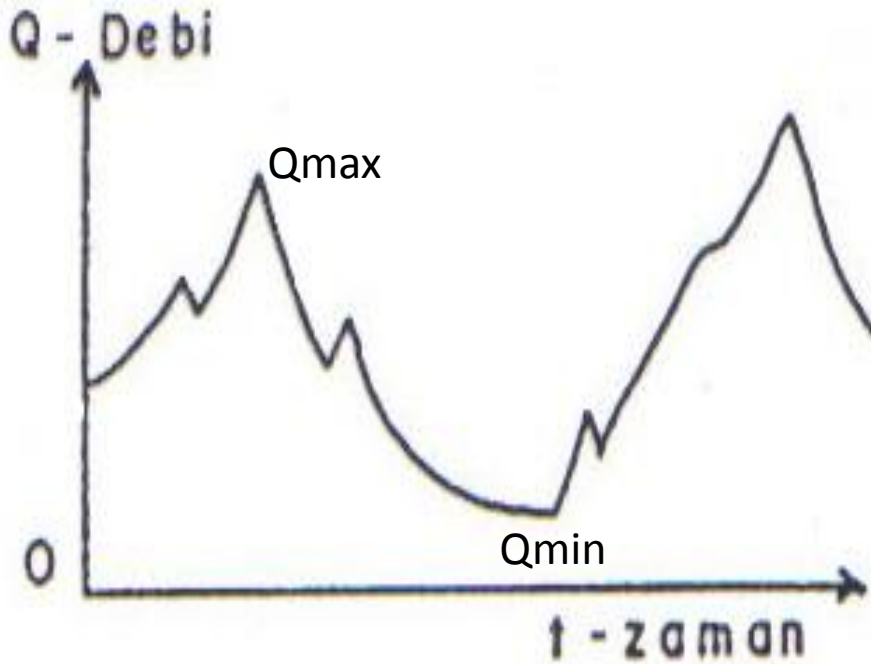
Devirli kaynak- debi muntazam olarak zaman içinde artıp azalır.



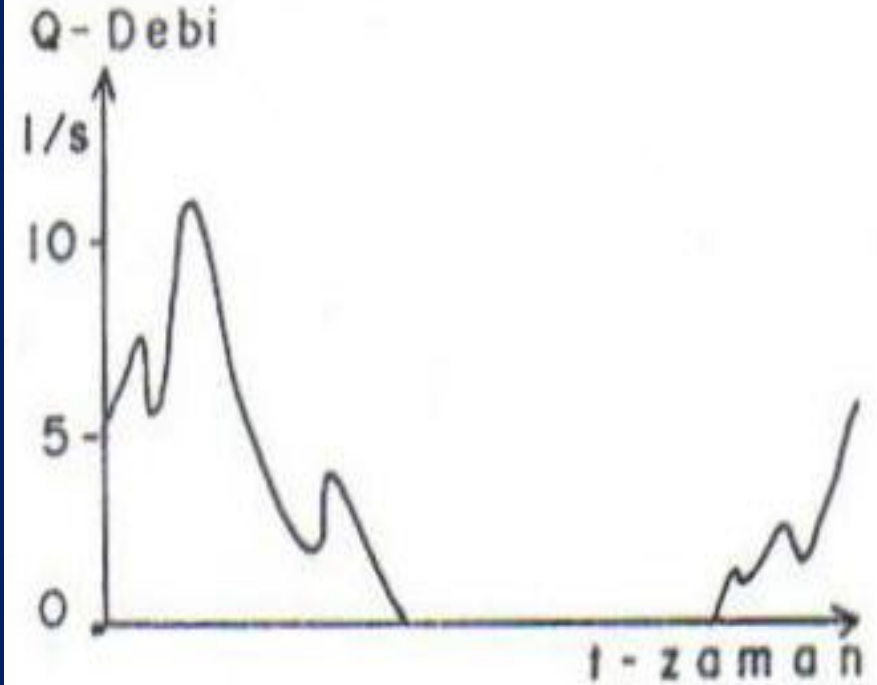
Gayzer kaynak- buhar ve gaz basıncı ile kesintili sıcak su fişkırta kaynak

FAALİYET DURUMUNA GÖRE KAYNAKLAR

Devamlı, mevsimlik, geçici, devirli ve kesintili kaynaklar



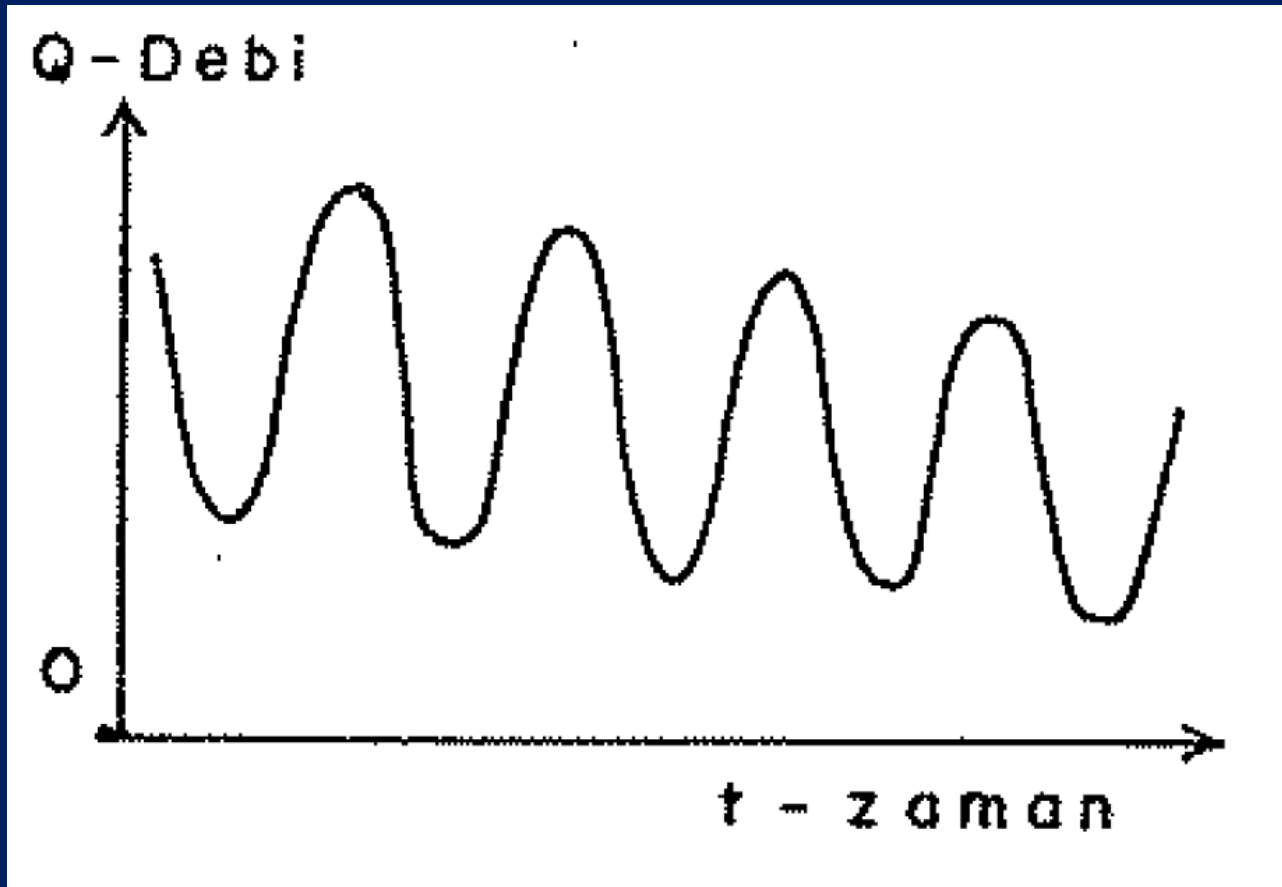
Devamlı kaynak



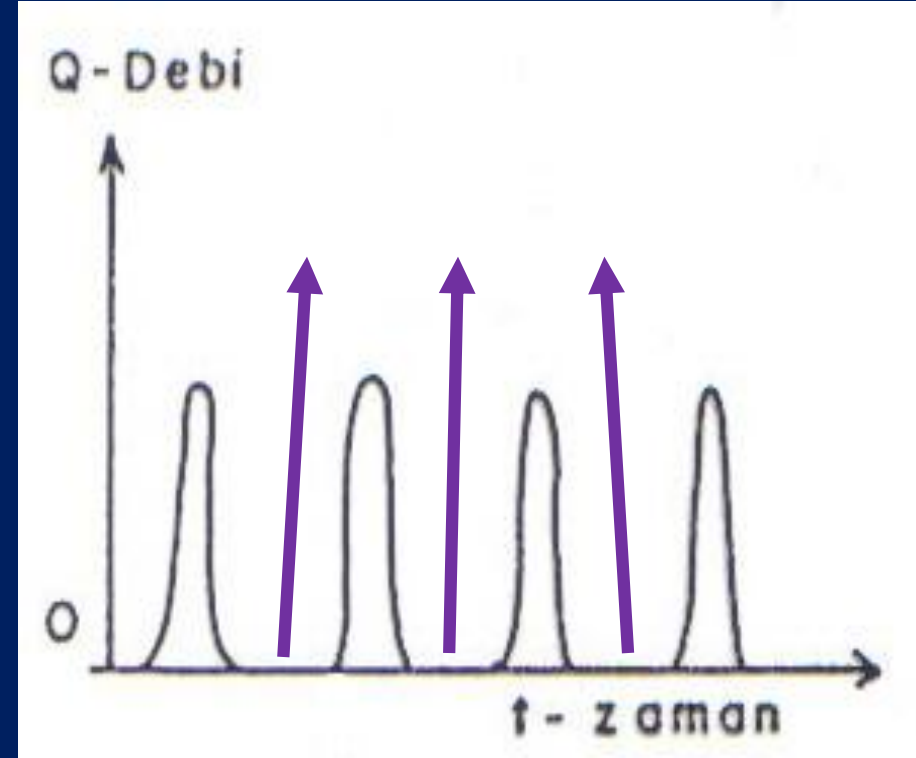
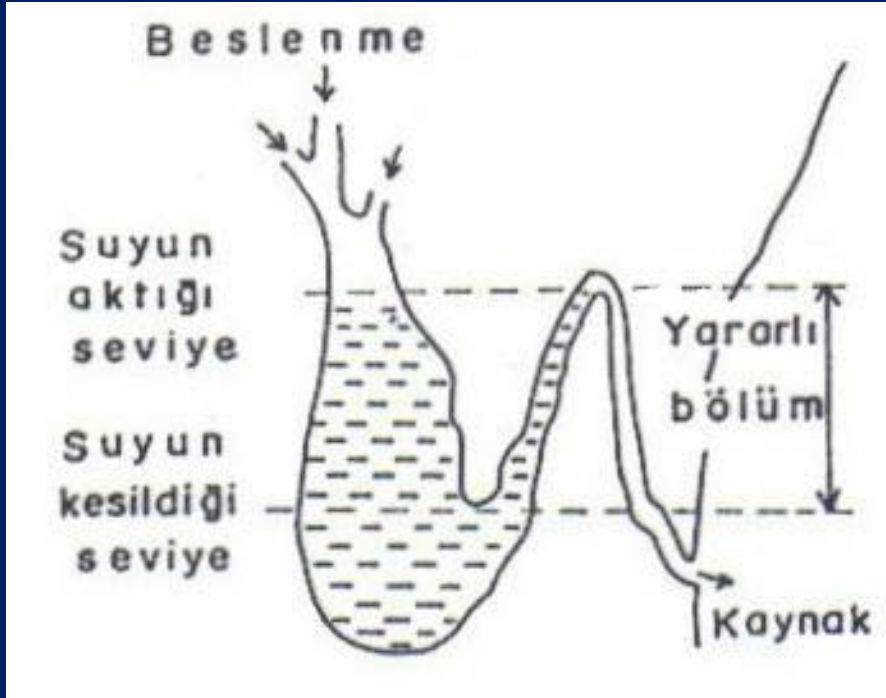
Mevsimlik kaynak: Senenin belirli zamanlarında (yağışlı dönemler sonrasında) faal, kısa süre sonra kaybolurlar. Akım sürekli değil.

Geçici kaynaklar: Sağanak şekilde yağın yağmurlardan sonra oluşup kısa sürede kaybolurlar.

Devirli kaynaklar: Debisi gerçek rejimde kesintisiz olup, belirli zaman aralığında devirli ve muntazam olarak debi değışikliği sunan kaynaklar.



Kesintili kaynak.



Gayzer kaynak- buhar ve gaz basıncı ile kesintili sıcak su fişkirtan kaynak

Kesintili kaynak: Kaynakta akım iki zaman arasında, genelde bir yeraltı sifonunun devirli işlemesi sonucu oluşur. Bu tip kaynaklar debi değişikliği gösterir ve kesilir.

Kum, çakıl, kumtaşı gibi taneler arası geçirimsizliğe sahip ve dar çatlaklı arazide kaynakların debisi çoğunlukla SABİT

Geniş yarık ve çatlak içeren kireçtaşı, dolomit ve jips gibi erime boşluklu arazide kaynakların mevsimlik debi değişimi büyük.

Kaynak debisinin R ile gösterilen ve birkaç senelik devreye ait değişme sabiti maksimum ve minimum debilerin birbirine oranıdır.

$$R = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$$

Debisi sabit kaynaklarda R=1- 12

Debisi az değişken kaynaklarda R=2-10

Debisi orta değişken kaynaklarda R= 10-50

Debisi çok değişken kaynaklarda R>50

GERÇEK

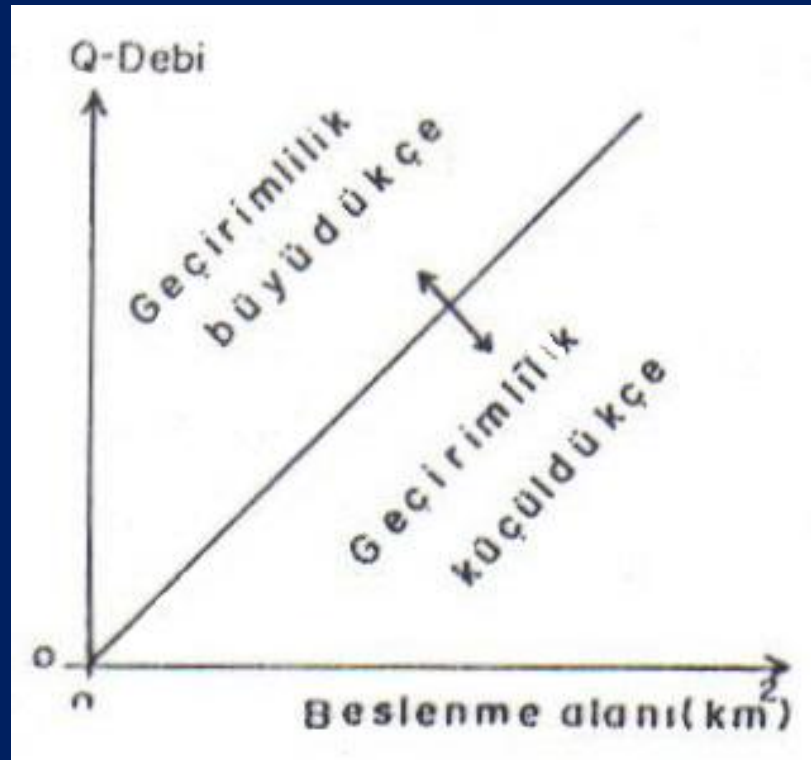
REJİMDE

BOŞALIM

Akarsuların boşalım grafiği: havzanın su depolama gücünü

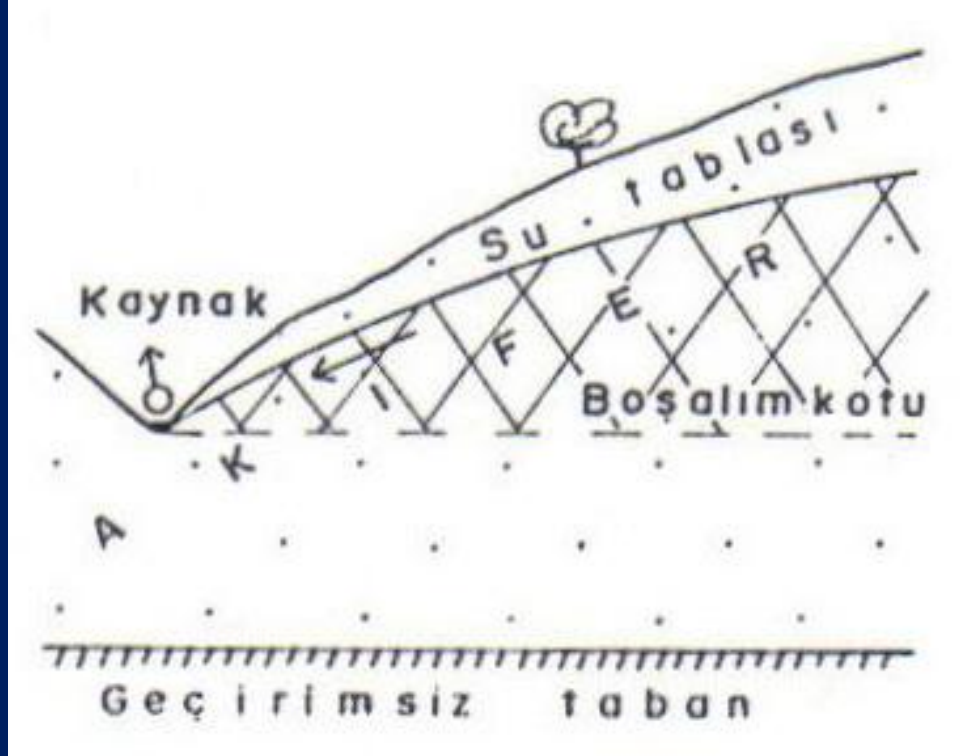
Kaynakların boşalım grafiği: Maksimum ve minimum debileri arasında geçen zamanda verdikleri su miktarını hesaplamaya yarar. Bu akım havzadaki yeraltısuyu rezervinden boşalan suyun miktarını verir.

Akifer geçirgenliği düşük ve akiferin kapladığı alan küçükse kaynak debisi az. Kaynak debisi kaynağın beslenme alanı genişledikçe artar.



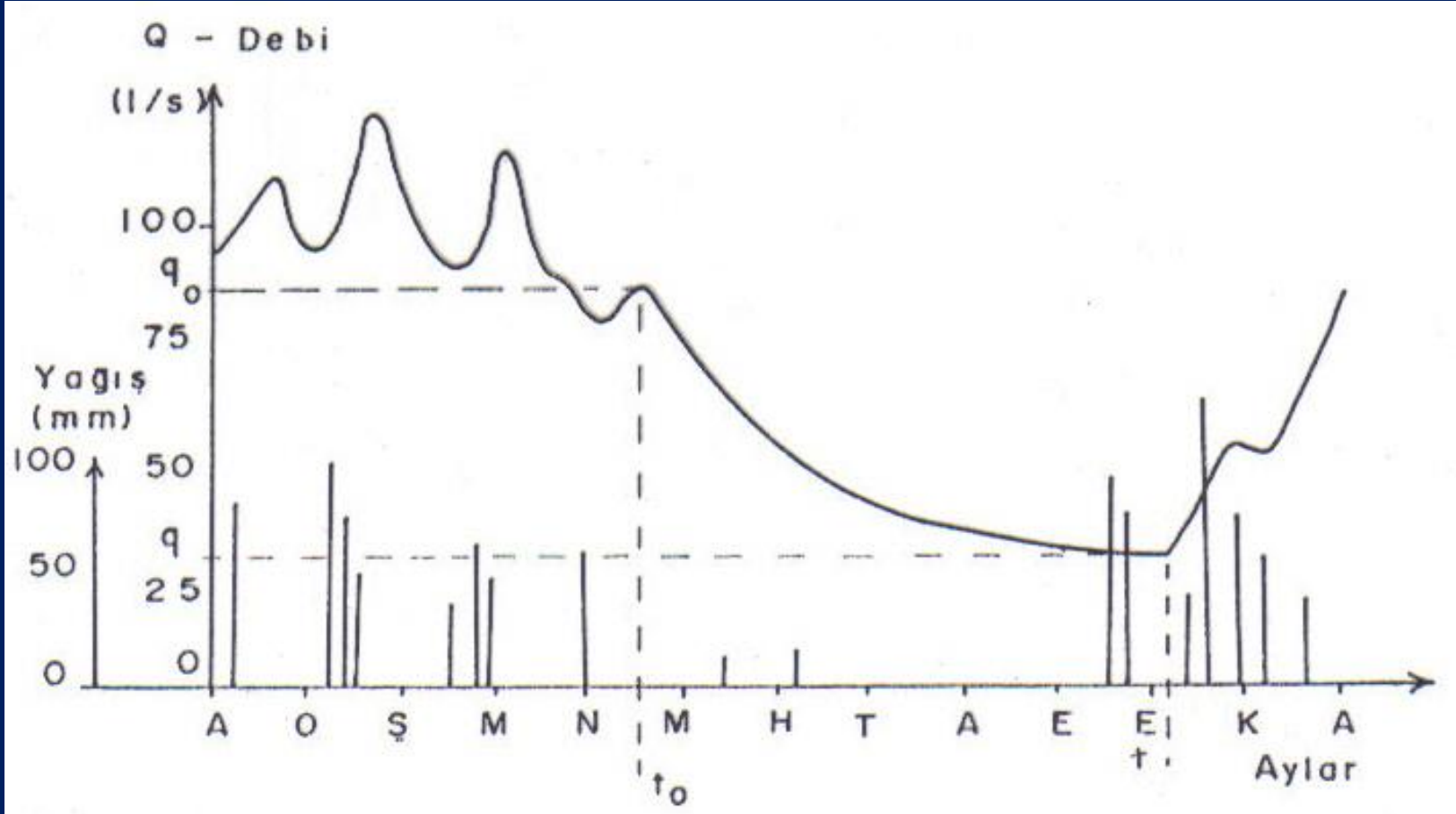
Kaynak debisinin geçirimsizlik ve beslenme alanıyla ilgisi.

Akiferin dış etkilerle beslenemediği dönemde kaynaklar akiferin boşalım kotu üzerindeki rezervini boşaltırlar. Bu devredeki rejime **AKİFERİN GERÇEK REJİMİ DENİR.**



Kaynak boşalım kotu

Kaynağın beslenme havzasında yağışın hiç olmadığı veya akifere etki etmeyecek kadar azaldığı dönemde kaynak debisinde meydana gelen değişimler yeraltısuyu boşalım eğrileri ile gösterilir.



Kaynağın debi değişim grafiği

Kaynakların gerçek rejimdeki boşalım grafiğinin temel formülü Maillet (1905) tarafından verilmiştir.

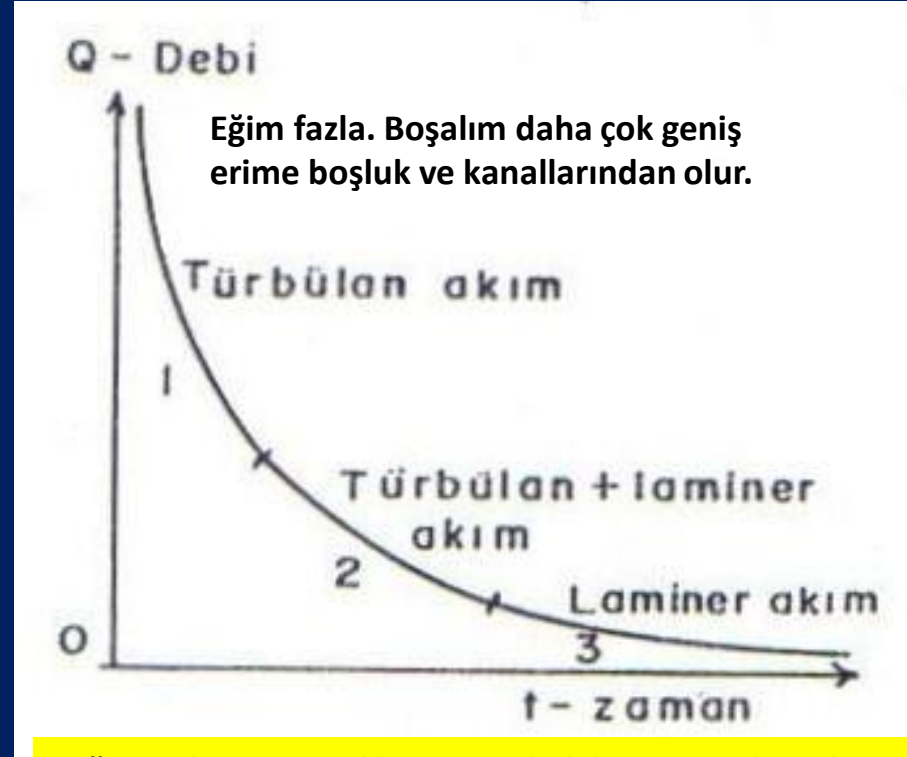
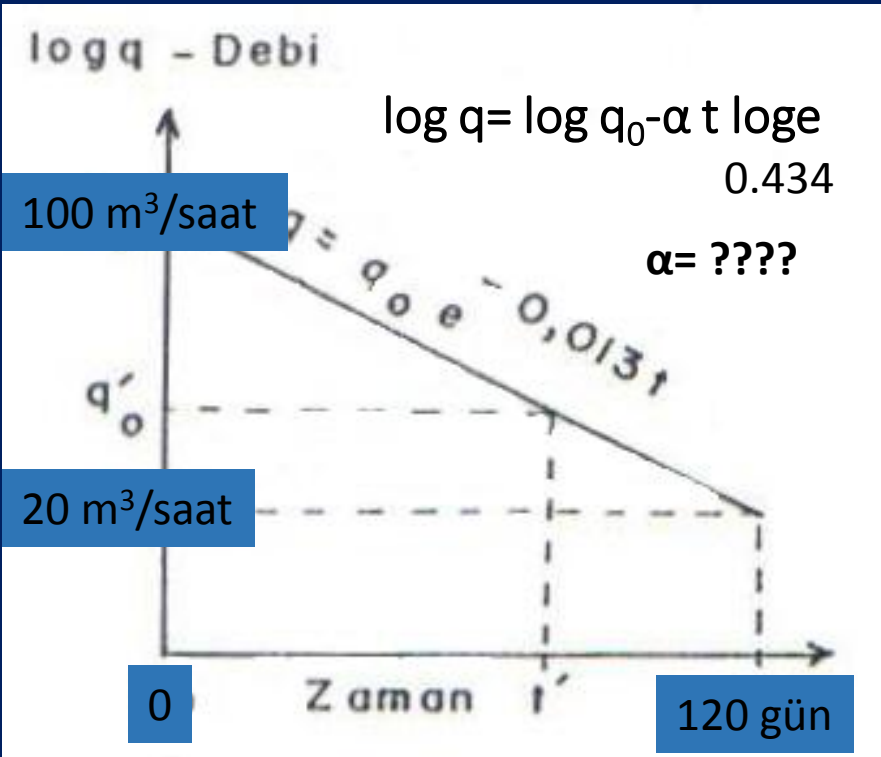
$$q = q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$$

$q = t$ zamanındaki debi m^3/s

$q_0 = t_0$ zamanındaki debi yani gerçek rejimin başlangıç debisi m^3/s

$\alpha =$ Boşalım katsayısı 1/gün

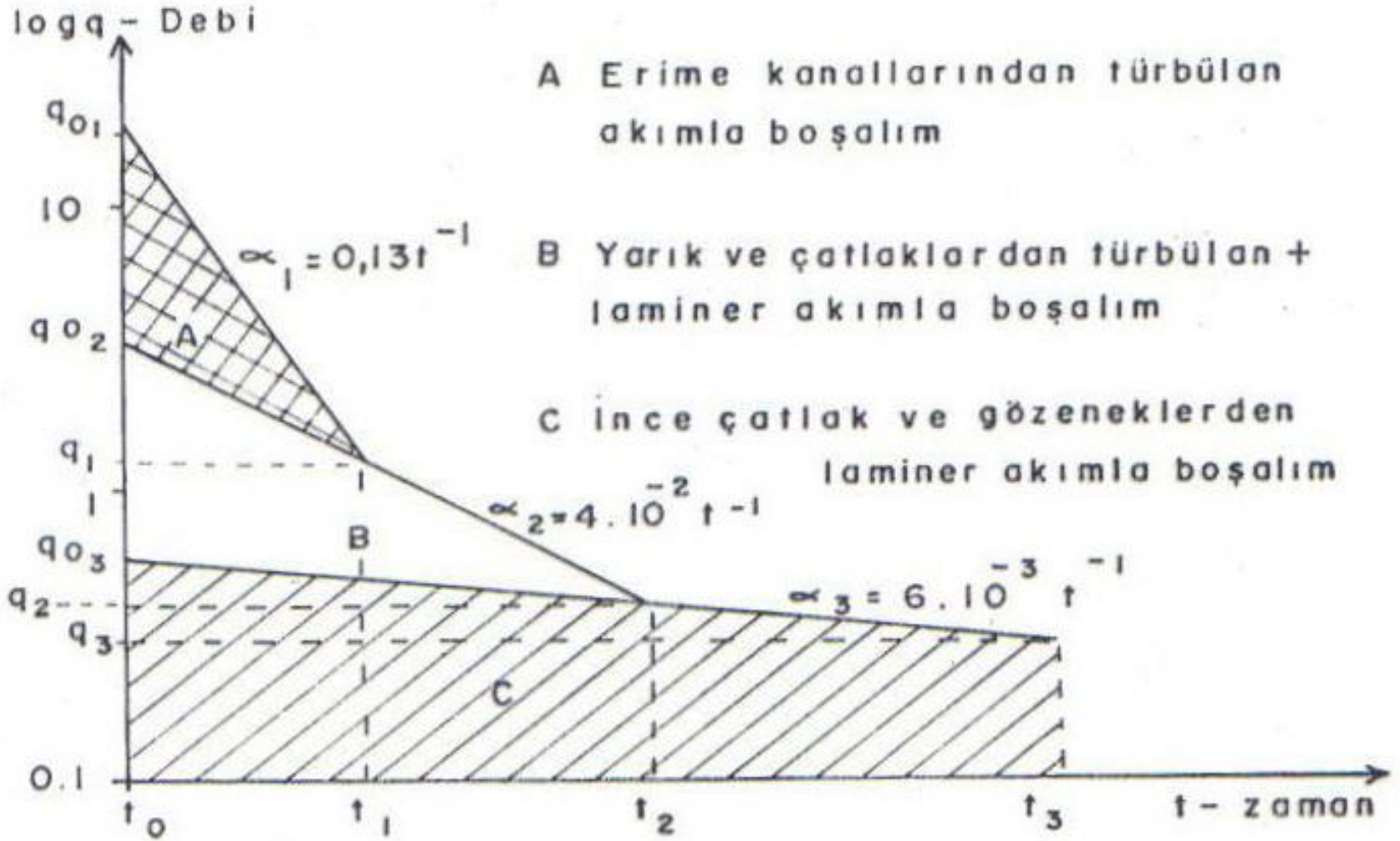
$e: 2.718$



Yağışsız dönem uzadıkça kaynak debisi giderek azalır, sonuçta kaynak kurur.

log q = f(t) boşalım grafiği

Q = f(t) grafiği ve akım türleri



Bir kaynağın yarılog hidrografının bileşenleri

Kaynağın boşalım kotu üzerindeki işletme rezervinin hacmi veya haznenin depolama gücü:

$$V_0 = \int_0^{\infty} q dt$$

....

$$V_0 = \frac{q_0 86400}{\alpha} \text{ 1/gün}$$

q_0 m³/s ise V_0 m³