

# JEM 225

## MÜHENDİSLİK HİDROLOJİSİ



*Prof. Dr. Mehmet ÇELİK*  
*Uygulamalı jeoloji – hidrojeoloji uzmanı*

# Konular

- Giriş; Suyun bileşimi, doğada suyun dağılımı, suyun önemi, su kaynakları yönetiminde mühendislik hidrolojisinin yeri
- Hidrolojik çevrim
- Atmosfer, bulut oluşumu, yüzey ve yeraltı suyu dağılımı
- Hava akımları ve yağış oluşumu
- Yağış tipleri
- Yağışın ölçülmesi
- Buharlaştırma ve ölçülmesi
- Yağış verilerinin değerlendirilmesi
- Yağış sonrası olaylar, süzülme
- Hidrolik sistem-hidrostratigrafi-akifer
- Havza, yüzeysel akım, baz akım
- Yüzey-yeraltı suyu ilişkisi

# Hidroloji'nin Tarihçesi

Tarihler ve kişiler	Konular/olaylar
M.Ö. X. yy. Hz. Süleyman M.Ö. VII. yy. Homeros	Denizin sonsuzluğu karadaki suların kaynağıdır...
M.Ö. VI. yy. Thales	Deniz sularının rüzgarlarla karalara itilmesi ile karadaki su kaynakları oluşmaktadır...
M.Ö. V. yy. Anaxogore	Mağara gölünden esinlenerek yer altı suyu depolarının varlığı...
M.Ö. I. yy. Marcus Pollio Vitreuve	Dağların arası en çok yağış alan bölgelerdir. Bu bölgelerde süzülen ve sıkışan sular kaynakları oluşturmaktadır...
M.Ö. 384-322 Aristo	Yoğuşma teoremi
Çinde M.Ö. 900 Hidistanda M.Ö. 400 İran	Dinamik hidrolojik döngü Bu dönemde ve bölgede yapılanların batıdaki gelişmeleri etkilemediği ifade edilmiştir.
M.Ö. 1200 Çin Kayıtları	Rüzgar ve yağışın gözlemleri. Hidrolojik ölçümler Hindistan ve Mısırda, özellikle büyük nehirlerin boşalımı ile ilgili ölçümler (Biswas, 1970)
Hammurabi Yasaları	En eski bilinen <b>Su Yasası</b> 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 yapıları
1126 Fransa	Artois kasabasında yapılan sondaj artezyen yapmış ve ismini oradan almıştır..

Tarih/Kişi	Konular/Olaylar
1540 İtalya	St. Patrick kuyusu (60 m)
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
Palissy-Perrault-Mariotte	<b>Hidroloji-Su Bilimi bir bilim dalı olarak ilk defa tanımlandı</b>
1802 JB. Lamarck	Suların araştırılması ve depolanması ilk defa kitapta geçti <b>İlk Hidrojeoloji çalışması</b>
1856 Darcy	Doymun ortamda suyun hareketi
1863 Dupuit	Pompaj, gözlem kuyulu-dengeli rejim
1879 J. Lucas	Yeraltı sularında ilk jeoloji konularının araştırılmasını Londra Alt Kretase kumtaşlarında yapmıştır
1887 Daubree	Günümüzde yeraltı suları (Kitap)
1919 Mead	İlk hidrojeoloji yayını

# Mühendislik Hidrolojisine Giriş

Doğada suyun dağılım oranı nedir?

İnsanlığa yetecek kadar su var mıdır? Ülkemizde yağış-su dağılımı nasıldır?

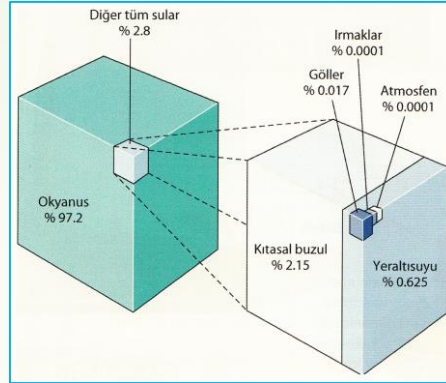
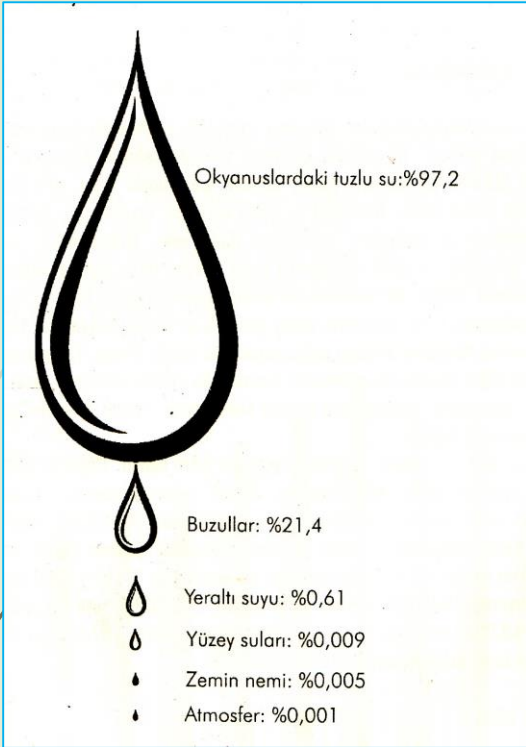
Suyun (H<sub>2</sub>O) yapısı nedir?

Türkiye su kullanımı?

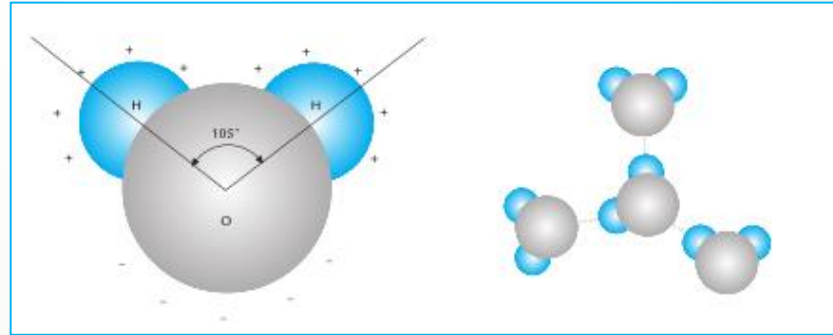
Su kaynaklarını geliştirmek için ne yapılabilir?

	1993 yılı	1991 yıl	1967 yılı
Türkiye yağış ortalaması (aritmetik metod) (mm)	642.6	642,6	670
Türkiye'ye düşen ortalama yıllık yağış hacmi (km <sup>3</sup> )	501.0	501,0	518
Yerüstü suları :			
Akış halindeki miktar (km <sup>3</sup> )	186.05	186,05	166
Yıllık akış yağış oranı	0.37	0,37	0,32
Tüketilebilecek yıllık su miktarı (km <sup>3</sup> )	95.0	95.0	86
Fiili yıllık su tüketimi (km <sup>3</sup> )	25.9	25,6	
Yeraltı suları :			
Çekilebilir yıllık su potansiyeli (km <sup>3</sup> )	12.0	11,6	6
Tahsis edilen su miktarı (km <sup>3</sup> )	7.6	6,6	5,8
Fiili yıllık su tüketimi (km <sup>3</sup> )	5.7	5,4	

Şen (2003)



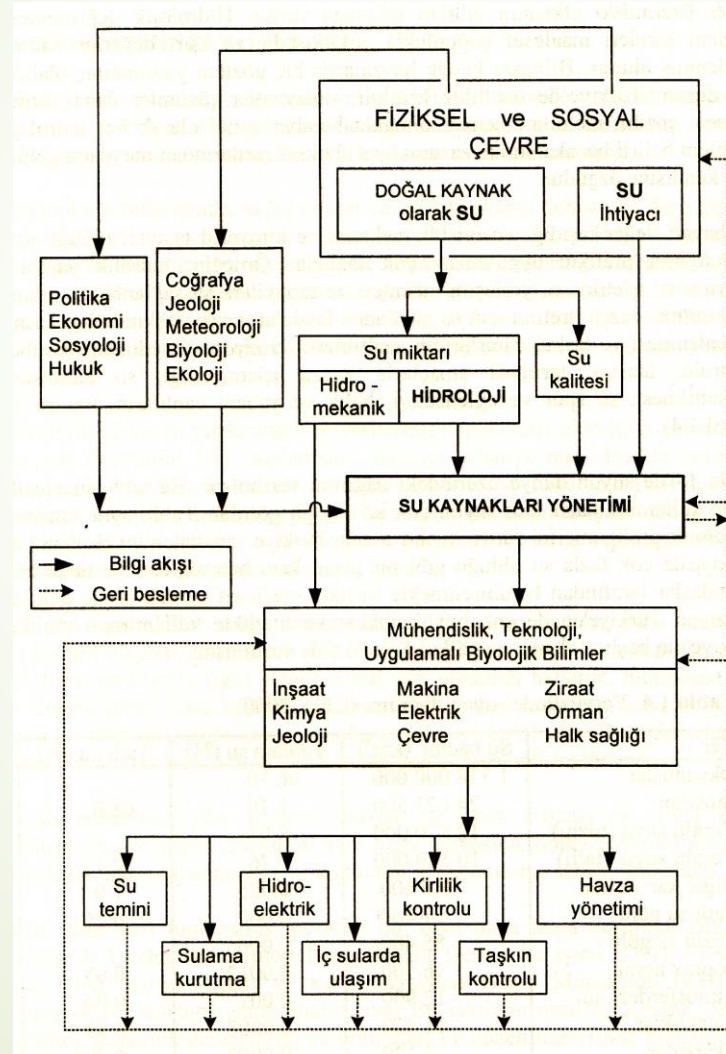
## Suyun yapısı



Fetter (2001)

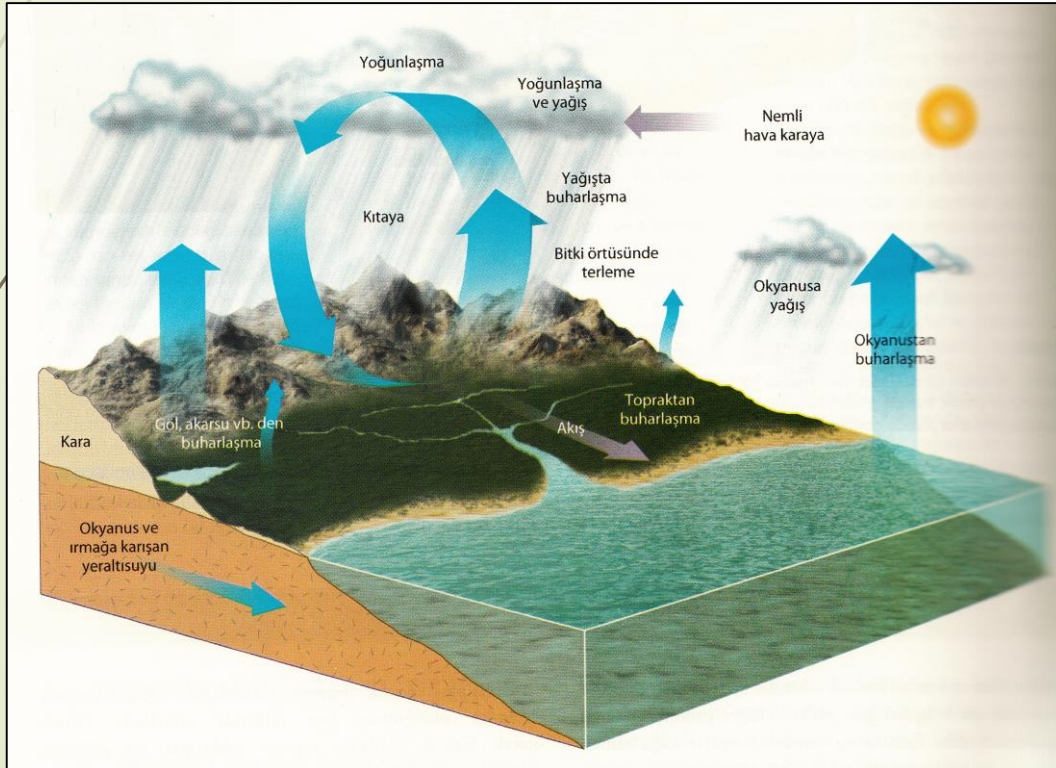
# Su kaynakları yönetimi ve Mühendislik Hidrolojisi

Mühendislik hidrolojisi «Su Kaynakları Yönetiminde» nerede yer alır?  
Temel bilimler ve yer bilimlerinin Mühendislik Hidrolojisi ile ilgisi nedir?



# Hidrolojik çevrim (Doğada suyun dolaşımı)

- Yağış nasıl oluşur, bileşenleri nelerdir?
- Hidrolojik çevrimde suların ilişkisi nasıldır?
- Suların kökeni nedir?
- Su kütlesi bilançosu nedir?



$$P = E_{tr} + Q_r + I \pm \Delta s$$

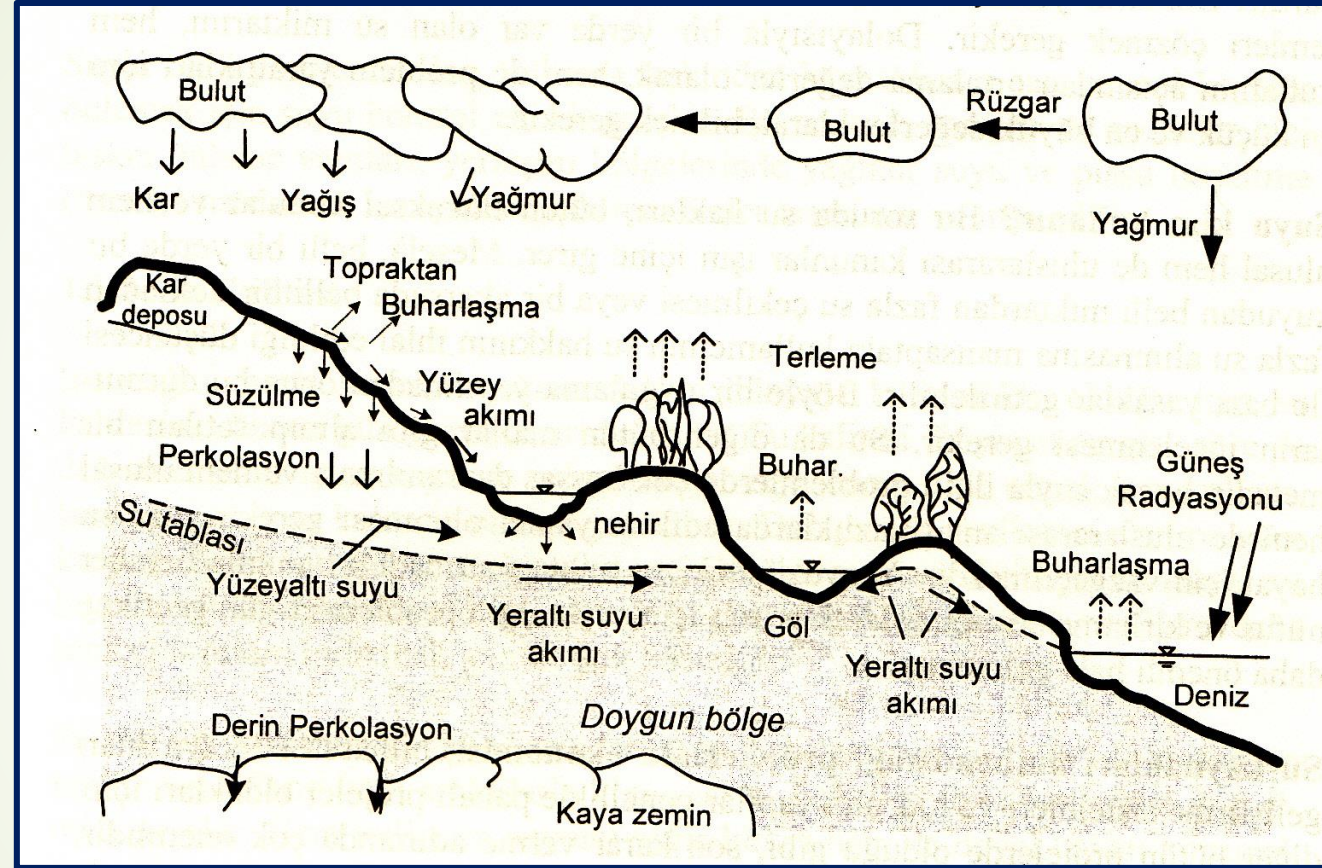
P: Yağış

$E_{tr}$ : Buharlaşma-Terleme

$Q_r$ : Yüzeysel akış

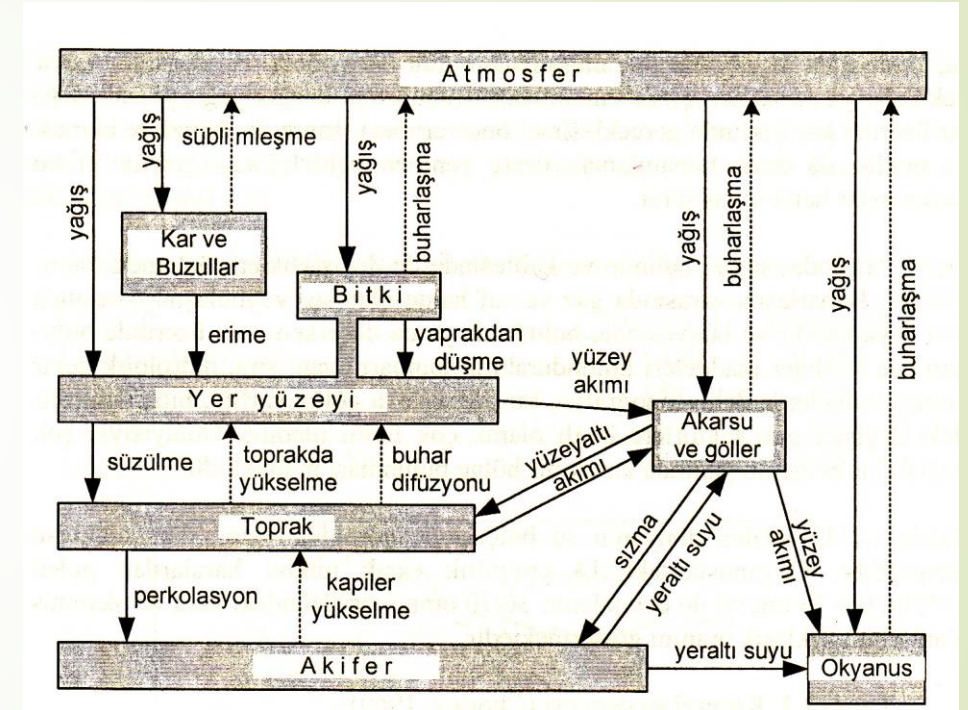
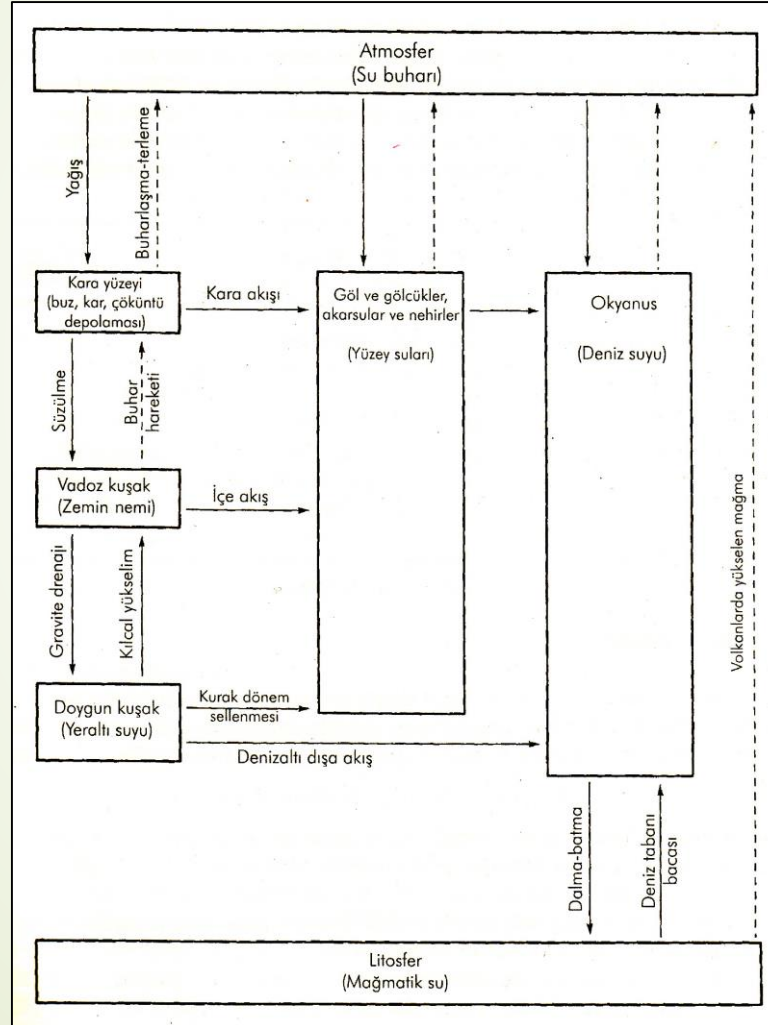
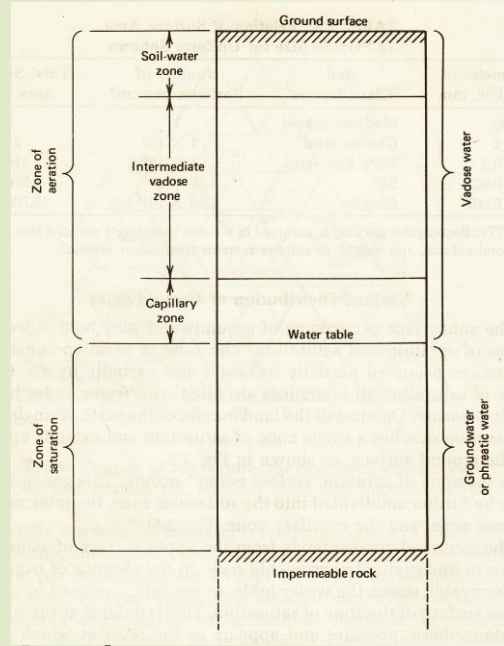
I: Süzülme

$\Delta s$ : Rezervdeki değişim



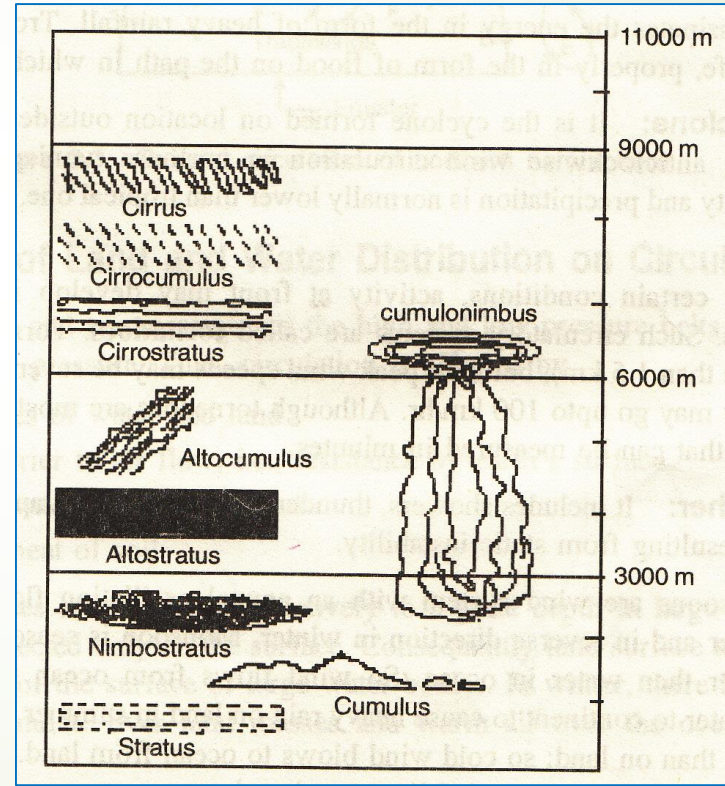
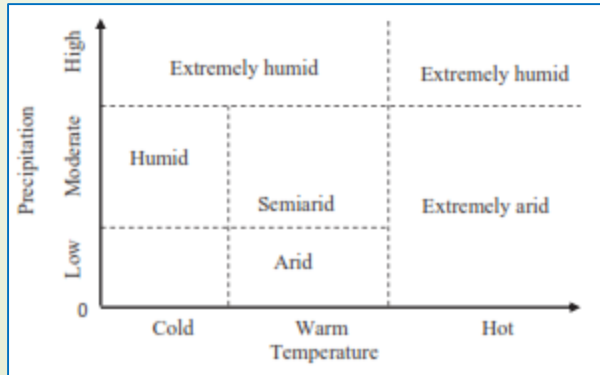
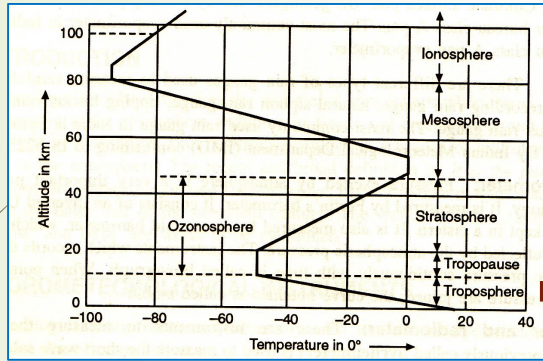


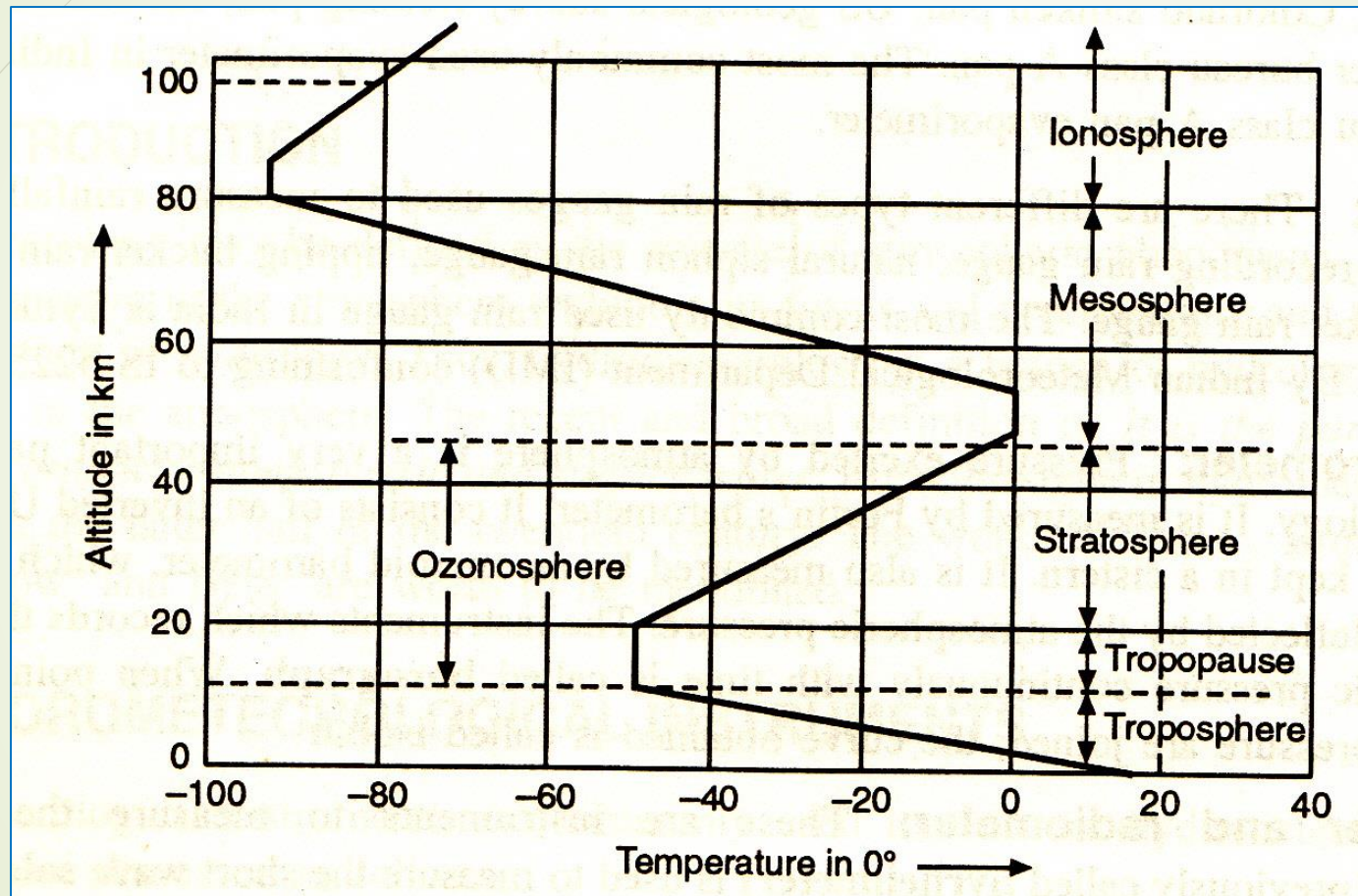
# Hidrolojik çevrimde suların ilişkisi



# Atmosferin Katmanları ve Bulut Oluşumları

- Atmosferin katmanları nelerdir?
- Troposferde bulut oluşum tipleri nasıldır?



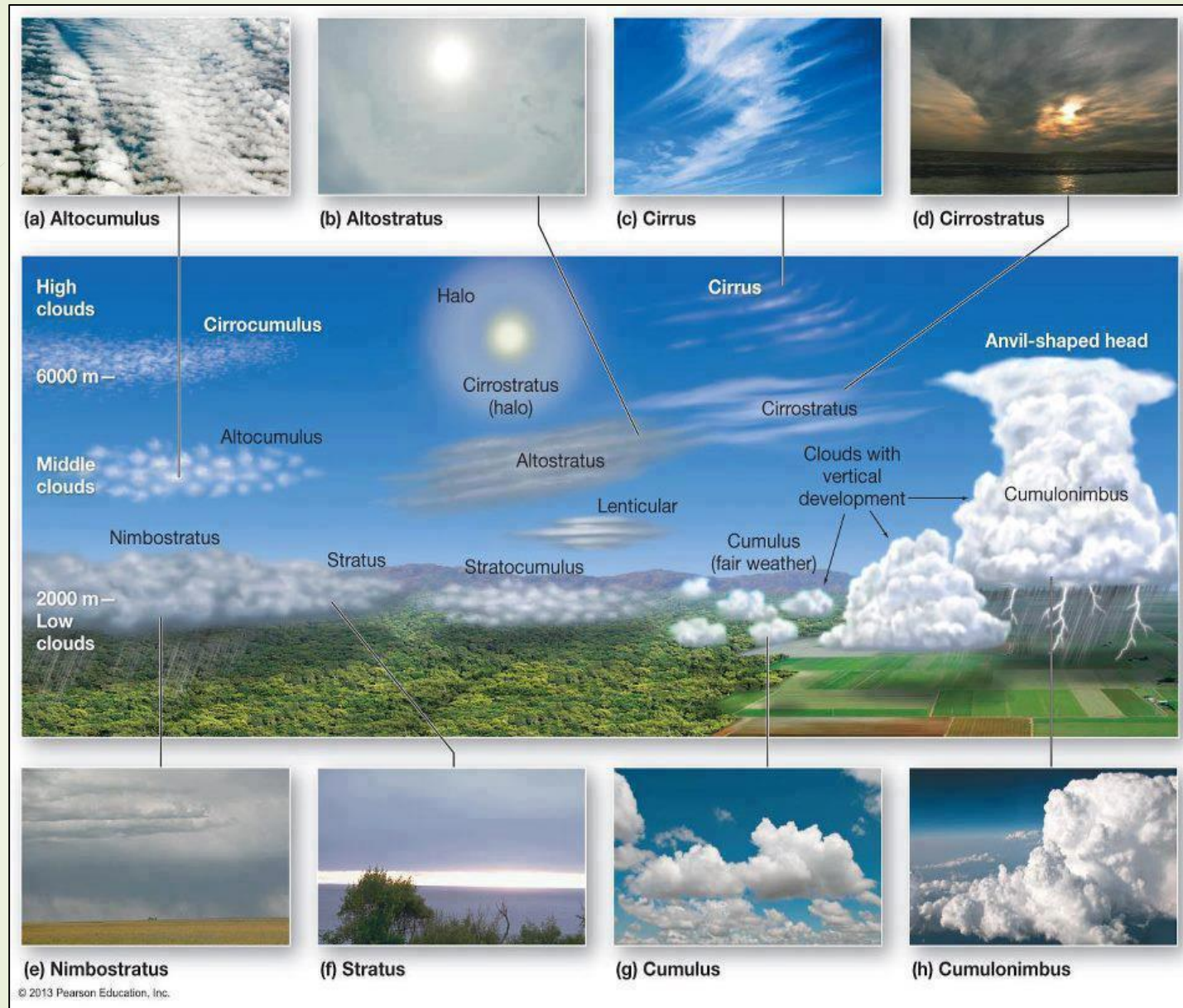


# BULUT NEDİR, NASIL OLUŞUR?

- Serbest atmosferde, buz kristalleri ve su damlacıkları gibi gözle görülür parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşan bütündür.
- Bulut, hava parselinin atmosfer içerisinde yükselmesi ile içerisinde bulunan su buharının yoğunlaşması sonucunda oluşur.
- Sisin buharlaşması şeklinde oluşumu da söz konusudur. Yoğunlaşma çekirdekleri adı verilen toz ve duman parçacıkları sayesinde su buharı yoğunlaşabilir.
- Bulutun oluşumunda her şeyden önce, ister konvektif faaliyetle olsun, isterse bir dağ yamacının zorlamasıyla olsun veya isterse yerin ısınmasıyla yere yakın yerlerdeki hava parselinin ısınarak yükselmesi sonucunda olsun yükselme, soğuma ve yoğunlaşma gerekli olan üç temel özelliktir.

# BULUT OLUŞUMU

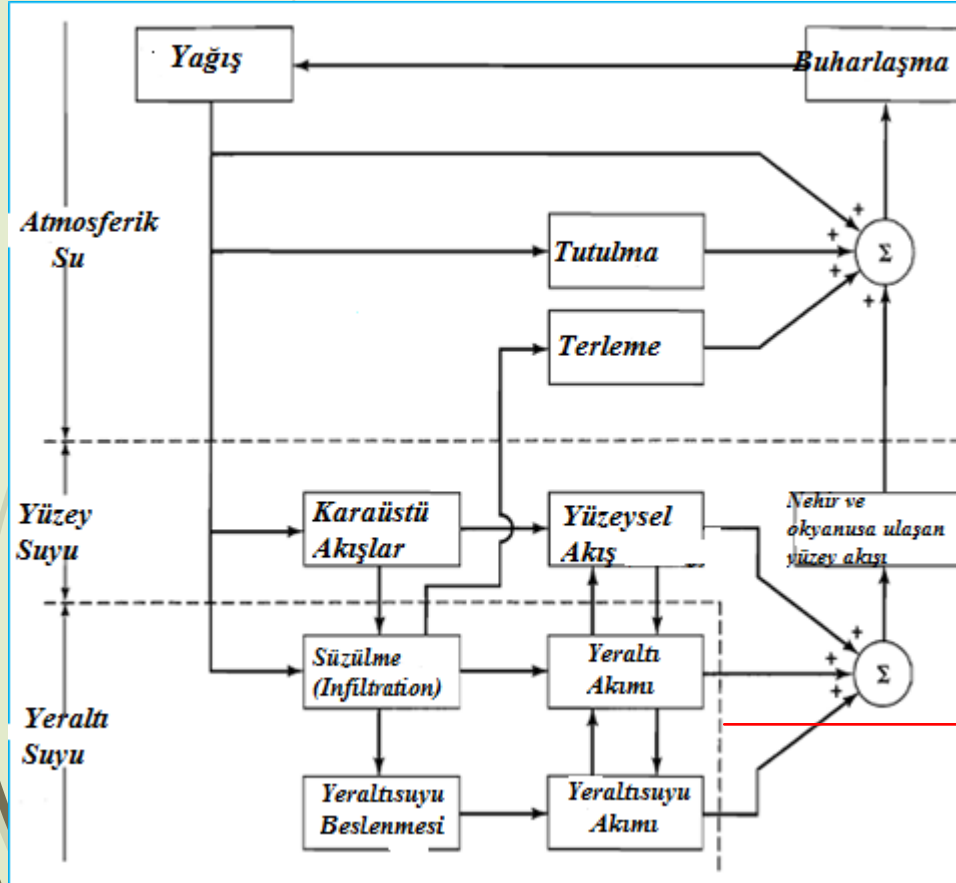
- Değişik tipteki bulutların meydana gelme süreci. Genel bir bakış açısıyla, troposferik bulutların oluşumu için dört süreç vardır:
- 1) Karasız hava kütesinden bulut oluşumu,
- 2) Kararlı hava kütesinden bulut oluşumu,
- 3) Yarı-yatay enverziyonel durumla bağlantılı bulut oluşumu ve,
- 4) Cephesel bulut oluşumu.



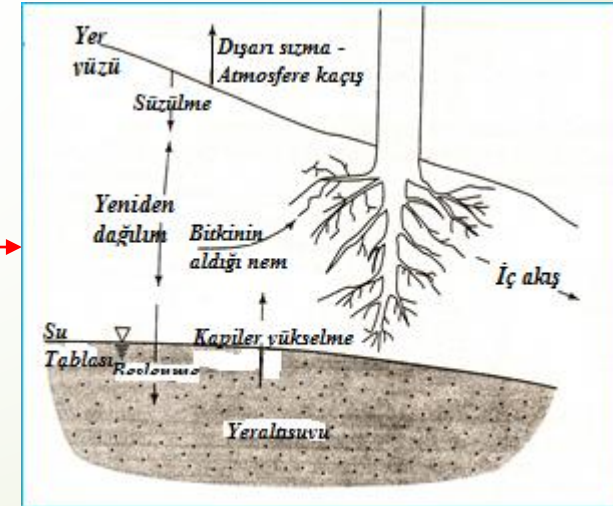
# BULUTLARIN SINIFLANDIRMASI

ALÇAK BULUTLAR	ORTA BULUTLAR	YÜKSEK BULUTLAR
Stratus	Alto cumulus	Cirrus
Strato cumulus	Alto stratus	Cirro cumulus
Cumulus	Nimbo stratus	Cirro stratus
Cumulo nimbus		

# Atmosfer, Yüzey ve Yeraltı Suyu Dağılımı

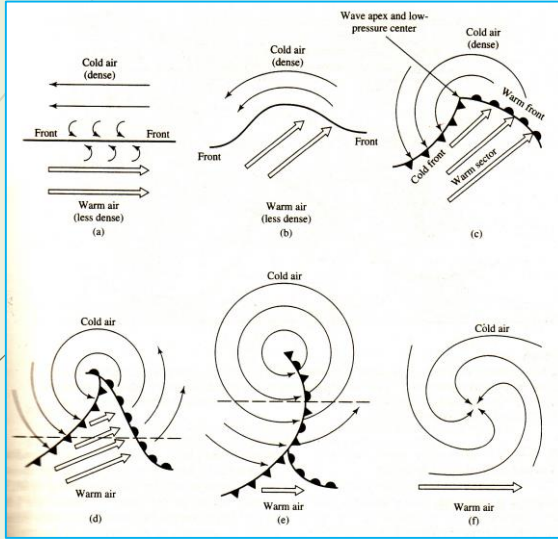


- Atmosfer-yüzey ve yeraltı sularının ilişkisi var mıdır?
- Tutulma-taşınma-yüzeysel akış-yeraltı akımı-yeraltı suyu akımı-buharlaşma terimleri ne demektir?
- Yüzeyden yeraltına süzülen sular akifere ulaşabilir mi?
- Yüzey altındaki akışların tamamı rezervuar-akifer suyu mudur?
- Yeraltı suyundan buharlaşma olur mu?
- Akış-akımların yönü neye göre belirlenir?

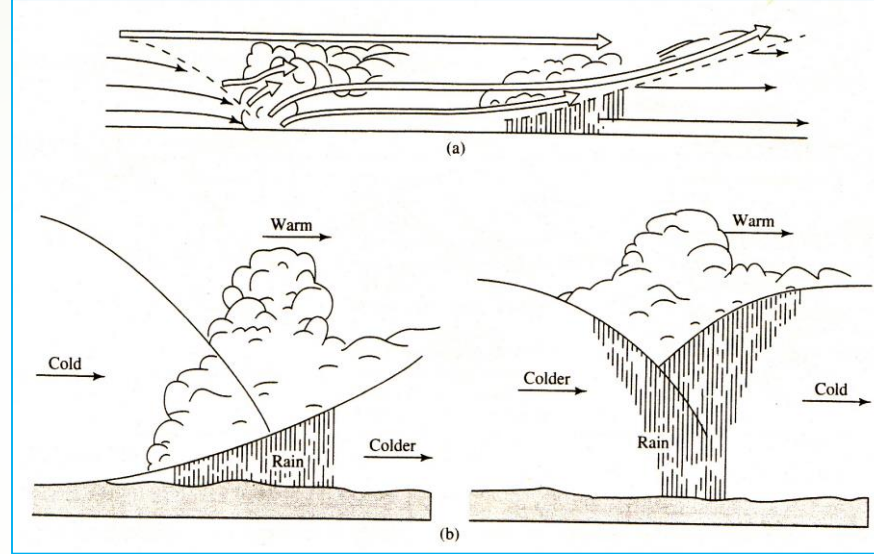




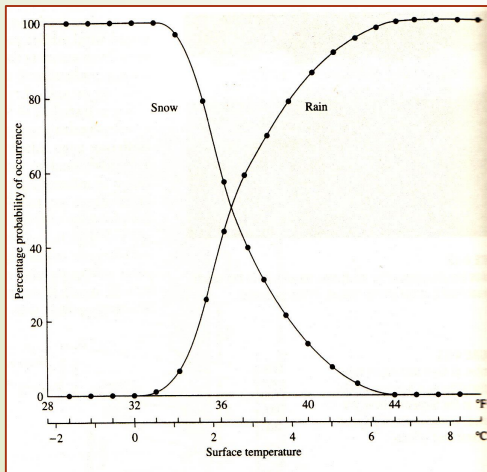
# Hava akımları ve yağış oluşumu



Ekstra Tropik Sinklonların tipik oluşum sekansları

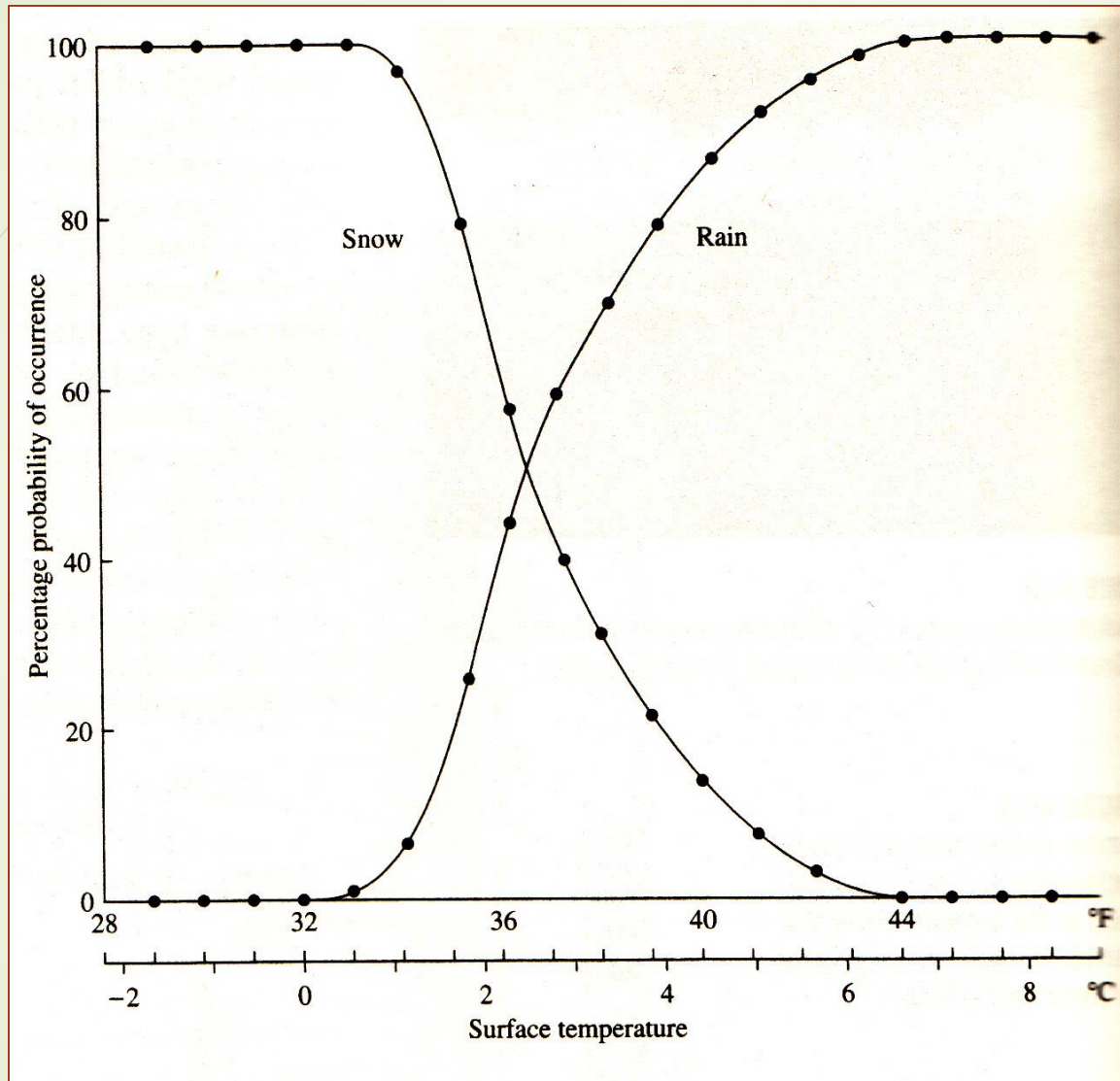


Ekstra Tropik Sinklon oluşumlarının enine kesit görüntüleri  
(a, d nin kesiti; b, e'nin kesiti)



Yüzey hava sıcaklığının fonksiyonu olarak kar ve/veya yağmur oluşum oranı

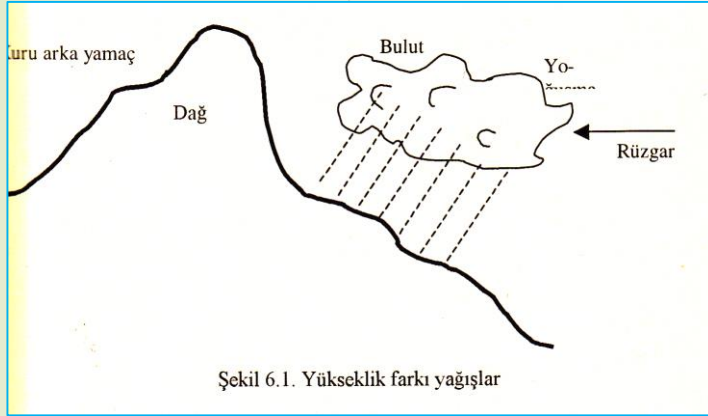
- Soğuk ve sıcak hava akımlarının yağışın oluşumundaki rolü nedir?
- Yağmur ve kar yağışı yüzey sıcaklığına bağlı olarak hangi oranda oluşur?



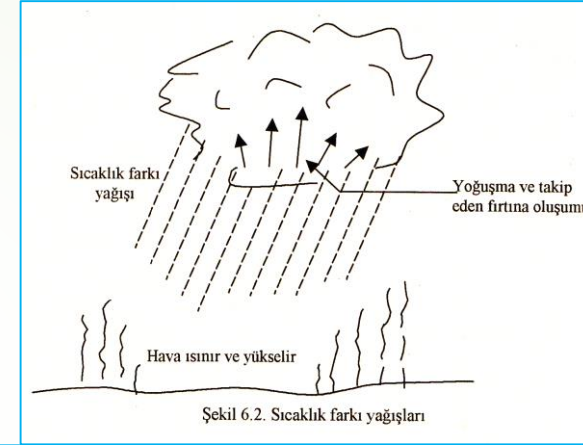
# Yağış Tipleri

- Cephe Yağışları (Frontal precipitation): İki farklı hava kütlesi arasındaki zıtlık nedeniyle oluşan yağışlardır.
- Konvektif Yağışlar (Convective Precipitation): Çevresine göre daha sıcak olan havanın yükselmesi ile oluşan yağışlardır.
- Orografik Yağışlar (Orographic precipitation): Geniş bir su kütlesi yanında ve ondan daha yüksek olan bir dağın oluşturduğu engelin sebep olduğu yağışlar.
- Türbülans yükselmeye bağlı oluşan yağışlar (Precipitation due to turbulent ascent).
- Siklonik Yağışlar (Cyclonic precipitation): Hava kütlelerinin yükselmesi sonucunda daha düşük basınç alanları ile birleşmesi ile oluşan yağışlar.

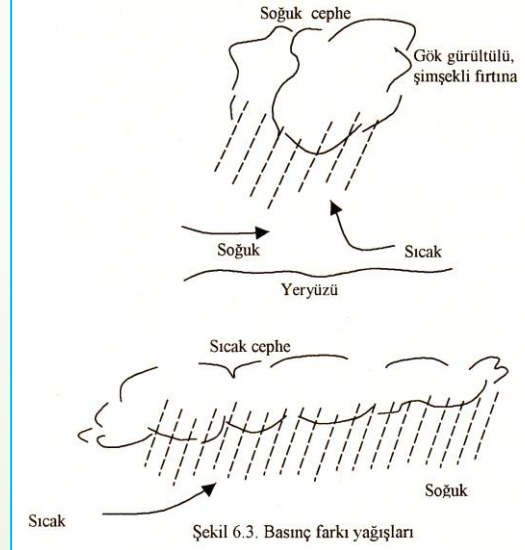
# Farklı koşullarda oluşan yağışlar



Orografik-Yükseklik farkına bağlı oluşan yağışlar



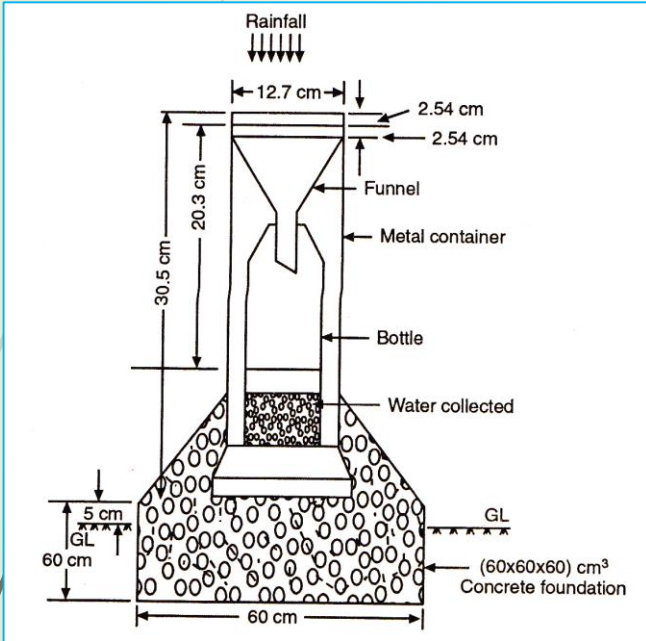
Konvektif-Sıcaklık farkına bağlı oluşan yağışlar



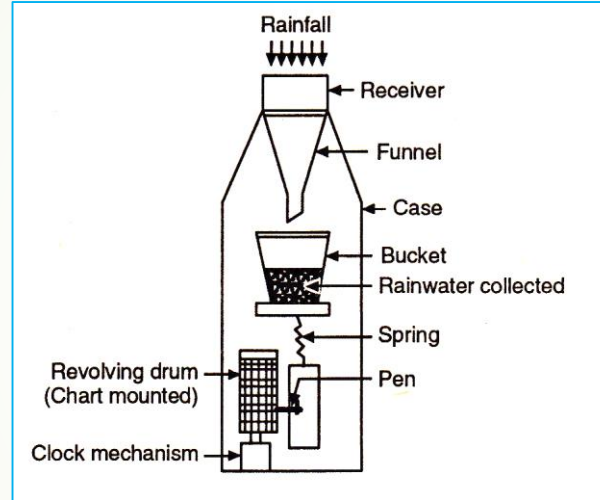
Siklonik-Basınç farkına bağlı oluşan yağışlar

# Yağışın ölçülmesi

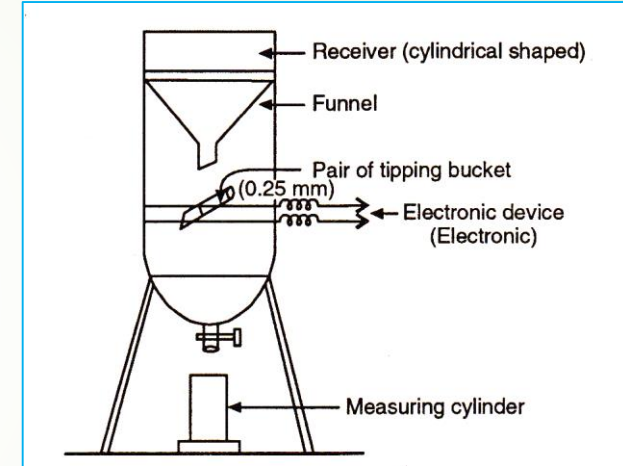
- 1 kg yağış ile 1 mm yağış ne demektir?
- Yağış nasıl ölçülür?



Symon's tip yağış ölçer



Ağırlık tartımı  
tipi ölçü aleti



Kova devirme  
tipi yağışölçer

Diğer Yağış Ölçme Yöntemleri: Sifon yağış ölçer veya yüzdürme ölçü aleti, Depolama yağış ölçer, Uzaktan ölçme sistemi yağışölçer, Yağışın radarla ölçümü, Otomatik radio-rapor yağışölçer (Automatic radio-reporting rain gauge).

# Buharlaşma Temel Kavramları

- Potansiyel buharlaşma nedir?
- Gerçek buharlaşma nedir?
- Terleme nedir?
- Buharlaşma-Terleme nedir?
- Buharlařmayı etkileyen faktörler nelerdir?
- Buharlaşma nasıl ölçülür?
- Rezervuarların buharlaşmasını azaltmak için ne yapılabilir?

(Rezervuar yüzey alanının küçültülmesi, rüzgar kırıcılar, mekanik örtüler, monomoleküler filmler)

## Buharlařmayı etkileyen faktörler

- Güneř radyasyonu
- Buhar basıncı
- Sıcaklık
- Rüzgar hızı
- Atmosferik basınç
- Su yüzey alanı
- Su kalitesi
- Buharlařan yüzeyin doğası (yeryüzü-su yüzeyi-kar yüzeyi)
- Suyun tuzluluęu
- Su katmanının kalınlığı
- Nemlilik (humidity)

# Buharlařmanın ölçülmesi

- Ampirik formüller
- Su bütçesi metodu
- Enerji bütçesi metodu
- Kütle transfer metodu
- Enerji bütçesi ve Kütle transfer metodlarının birlikte kullanılması
- Tava Ölçüm Metodu
- Evaporometre ile ölçüm

## Buharlařmanın Tahmin Edilmesi:

- Ampirik Denklemler

(Blaney-criddle method (1966) veya denklemi,

Thorntwaite denklemi (1964),

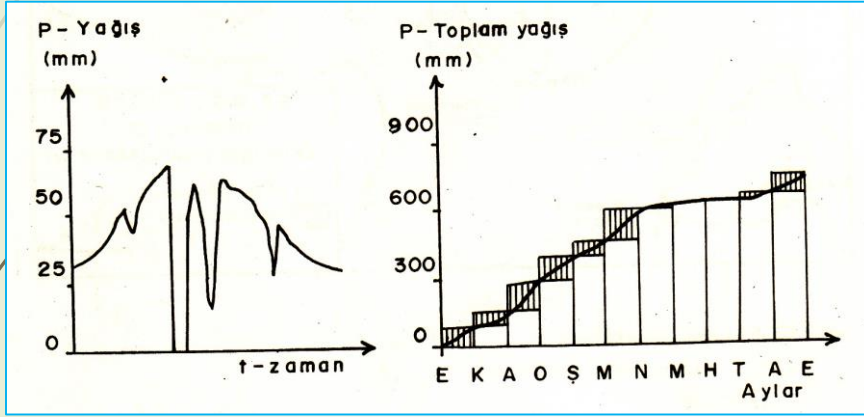
Penman denklemi (1948),

Christiansen denklemi (1968)

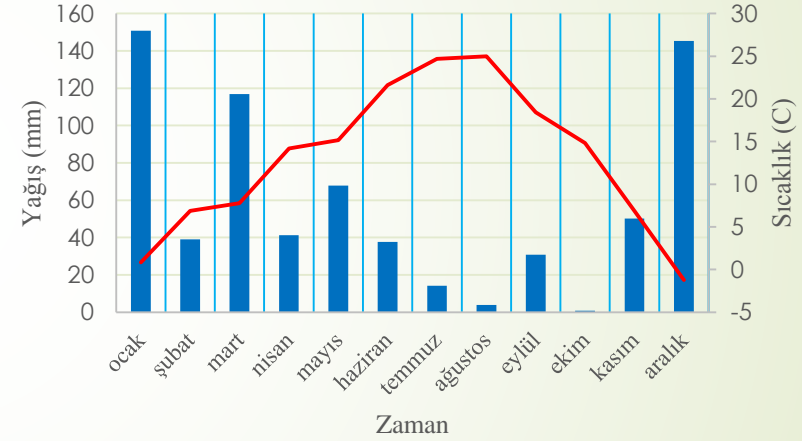
- Arazi Ölçüm Yöntemleri (Lizimetreler, Field plots (Arazi tüpleri), zemin nemi azaltma çalışmalarını, su bütçesi metodu, buharlaşma index metodu)

# Yağış ve sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi

- Yağış-toplam yağış-kümülatif yağış nedir?
- Sıcaklık ve ısı nedir?
- Yağış-sıcaklık dağılımının anlamı nedir?



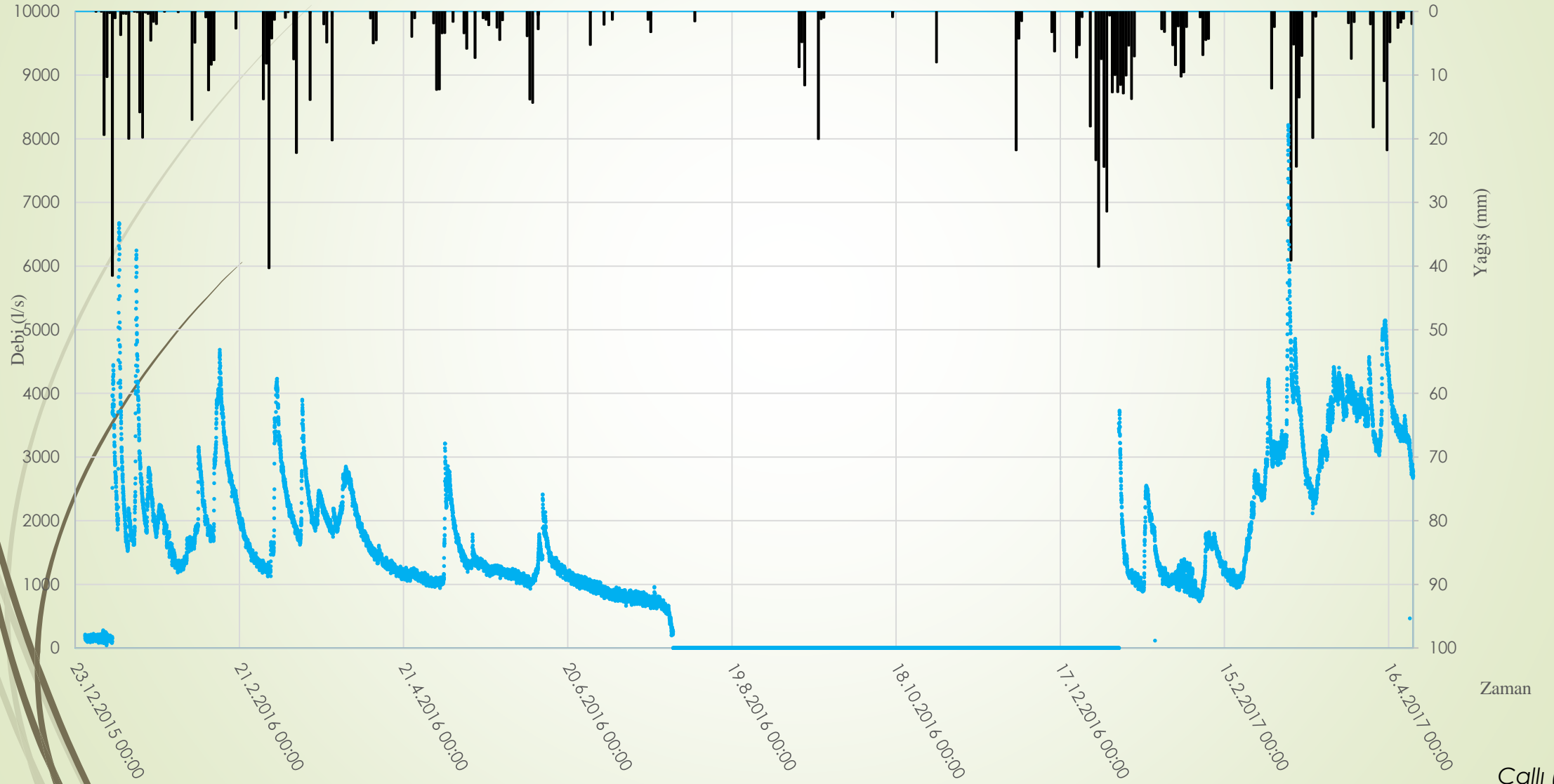
Yağışın grafiksel olarak kaydedilmesi ve kümülatif yağış eldesi



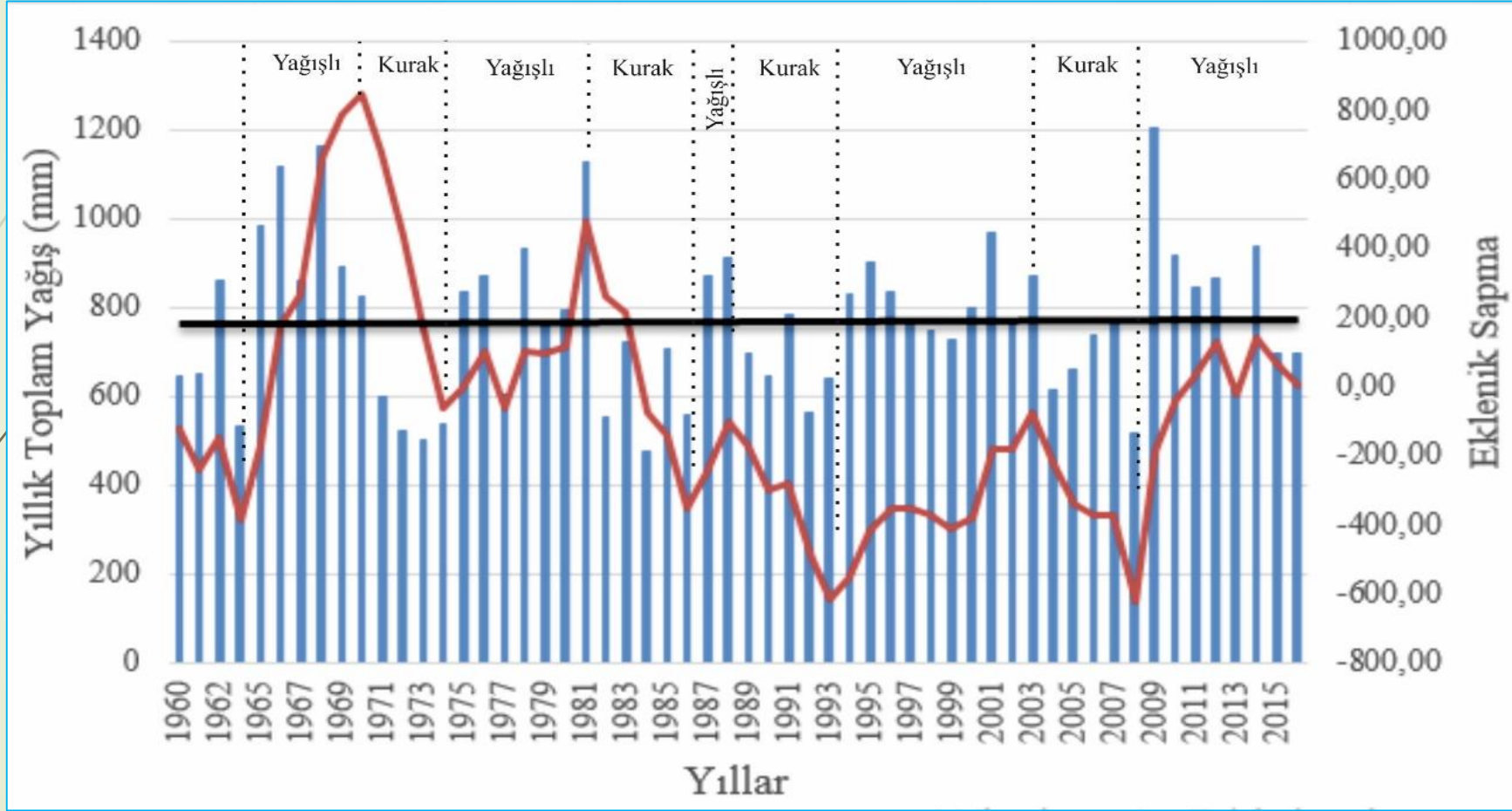
Yağış-sıcaklık-zaman grafiği



# Yağış-kaynak boşalımı ilişkisi (Yağışlı ve kurak dönem)



## Eklenik sapma eğrisi ile yağışlı ve kurak dönemlerin belirlenmesi



Ortalama yağıştan eklenik sapma (Seydişehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre)

# Yağış verilerinin değerlendirilmesi

- 1-Aritmetik ortalama yöntemi
- 2-Thiessen poligon yöntemi
- 3-Eş-yağış haritası yöntemi

*Aritmetik Ortalama – Alansal ortalama yağış değeri ( $P_o$ );*

$$P_o = \frac{\text{toplam yağış}}{\text{istasyon sayısı}}$$

Theissen Çokgenler Metodu;

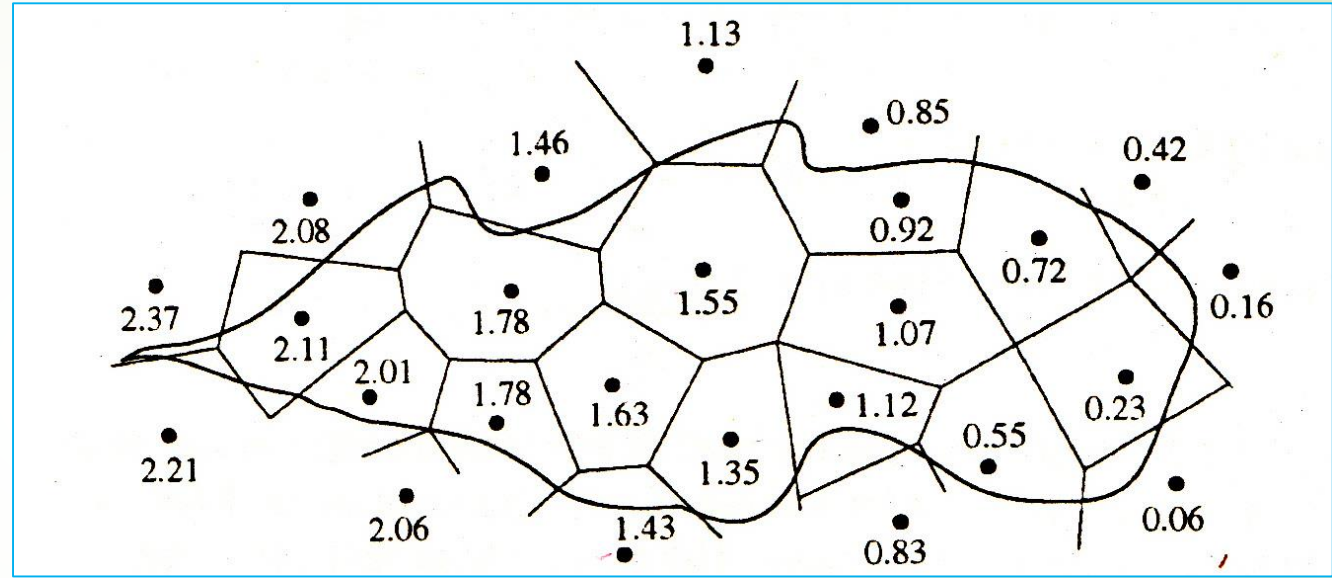
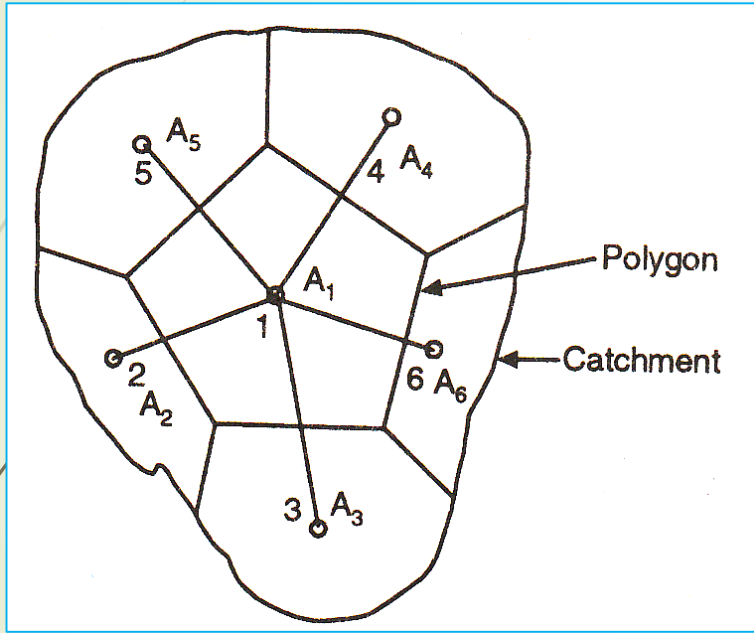
$$P_{\text{ort}} = \frac{\sum P_i a_i}{\sum a_i}$$

Burada  $P_{\text{ort}}$  : alansal ortalama yağış derinliği,  
 $a_i$  :  $i$  çokgeninin havza içinde kalan alanı,  
 $P_i$  :  $i$  istasyonunda gözlenen değerdir.

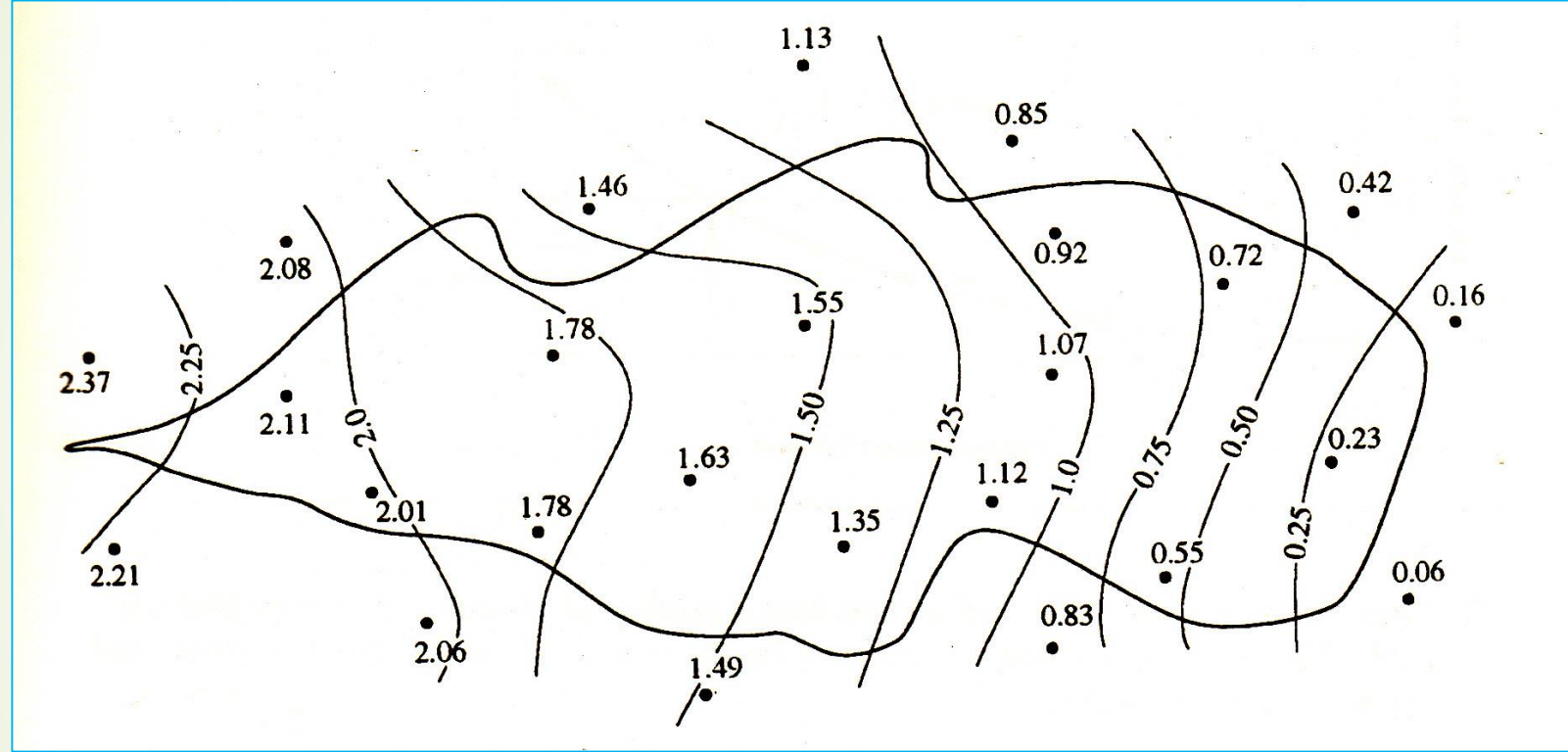
Eşyağış eğrileri metodu;

$$P_{\text{ort}} = \frac{\sum \bar{P}_i a_i}{\sum a_i}$$

Burada  $\bar{P}_i$  : eş yağış eğrileri arasındaki ortalama yağış değeri,  
 $a_i$  : eş yağış eğrileri arasındaki alan,  
 $P_{\text{ort}}$  : alansal ortalama yağış değeridir.



Thissen poligon yöntemi



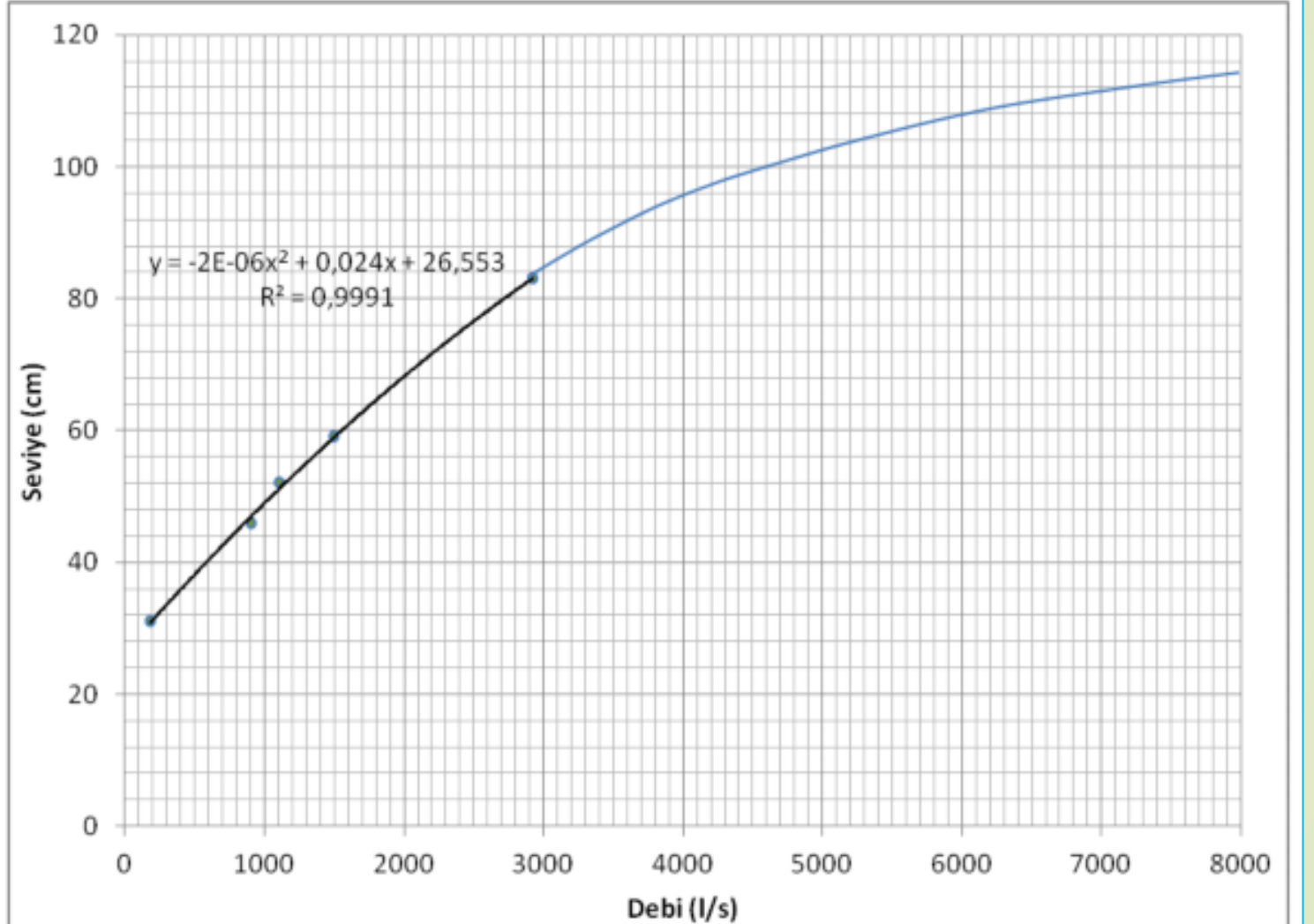
Eş yağış hatırası yöntemi (Isohyetal map method)

# Debi ölçme yöntemleri

- Akım ölçüm metodu
- Hız ölçüm metodu
- Pitot tüp metodu
- Yüzdürme metodu
- Eğim alanı metodu
- Rotametre
- Eğri oran metodu (rating curve method)
- Savak metodu
- Bot yüzdürme metodu
- Hidrolik model metodu
- Eko sounder metodu
- Ultrasonic akım metre metodu
- İzleme tekniği metodu
- ...

# Akarsularda/Kaynak boşalım noktalarında Anahtar Eğri Oluşturulması

- Anahtar eğri niçin elde edilir, nasıl yararlanılır?
- Anahtar eğri için ne zaman debi ölçülmelidir?
- Debi (Q) nedir?





Nasrettin Hoca Kaynađı, Sivrihisar



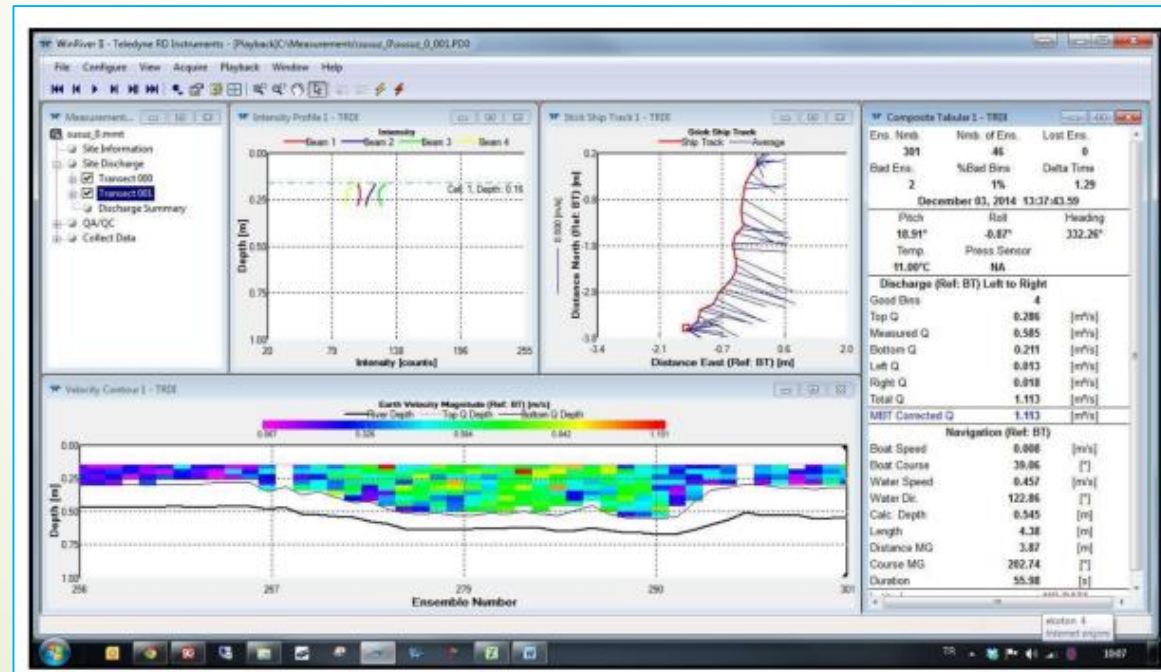
Çerkeş deresi, Çankırı







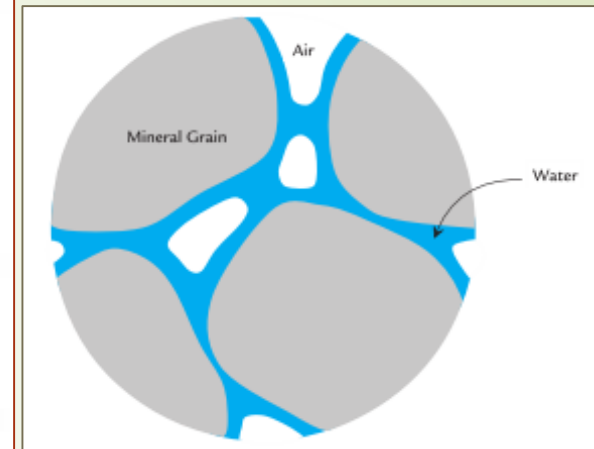
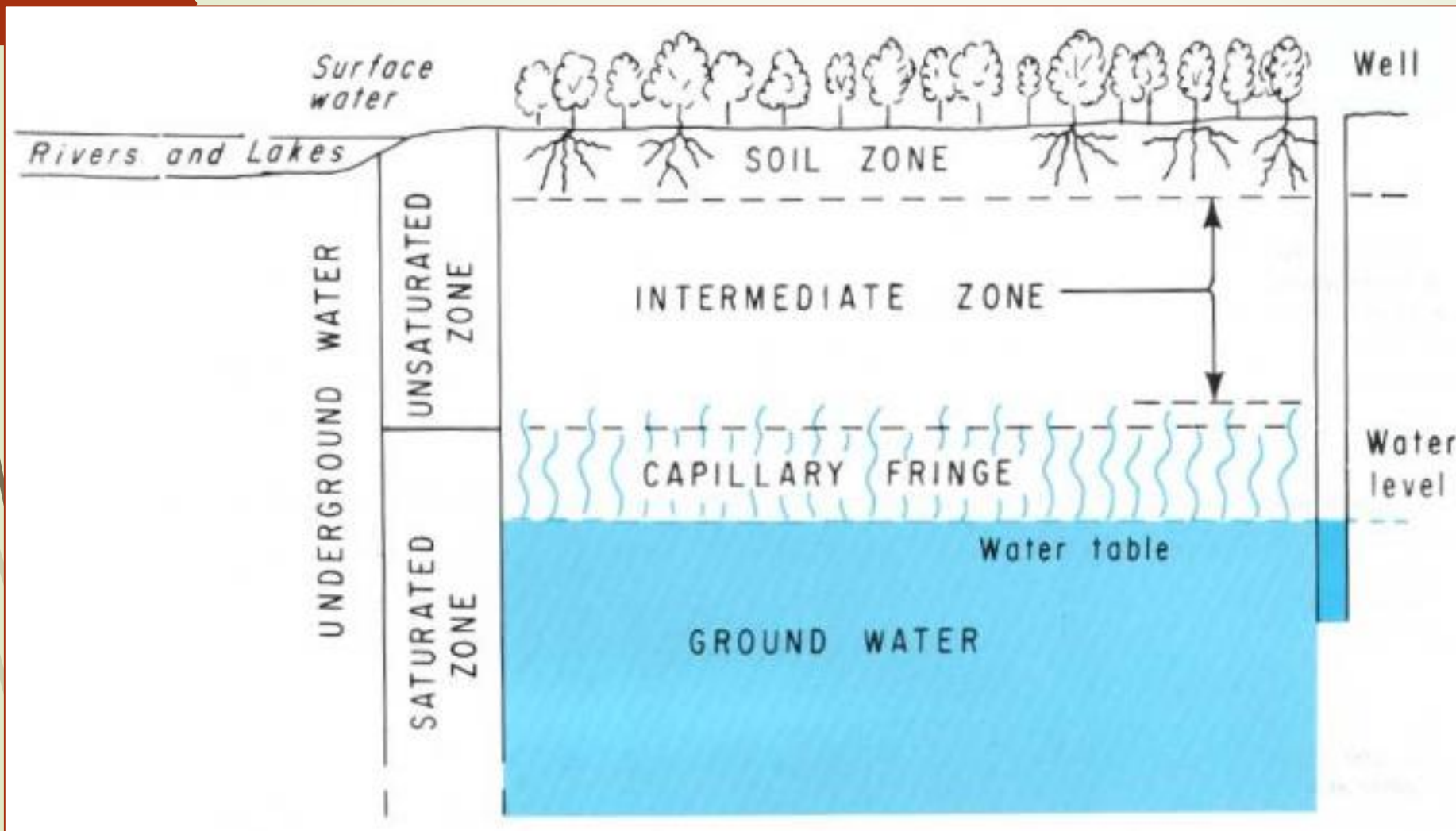
Pınarbaşı Estavelle, Seydişehir, Konya

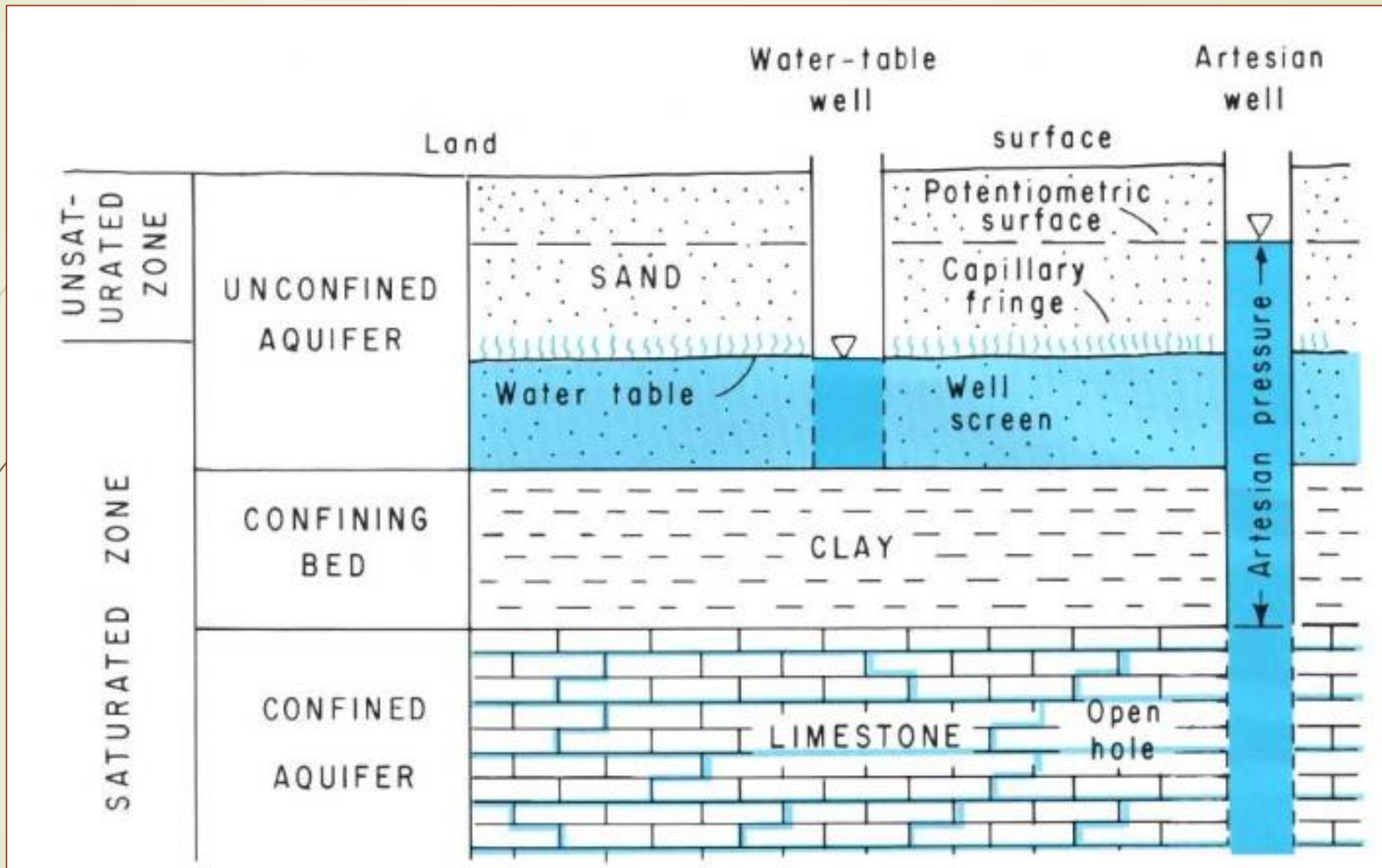


# Hidrolik Sistem-Hidrostratigrafi

- Hidrostratigrafi nedir?
- Doymuş-doymamış zon ne demektir?
- Akifer-yeraltı suyu nedir?
- Serbest akifer nedir?
- Basınçlı akifer nedir?
- Geçirimsiz birim ne demektir?
- İstifte kil-kiltaşı katmanı ne anlama gelir?
- Vadoz su-vadoz kuşak nedir?
- Kapiler kuşak nedir?

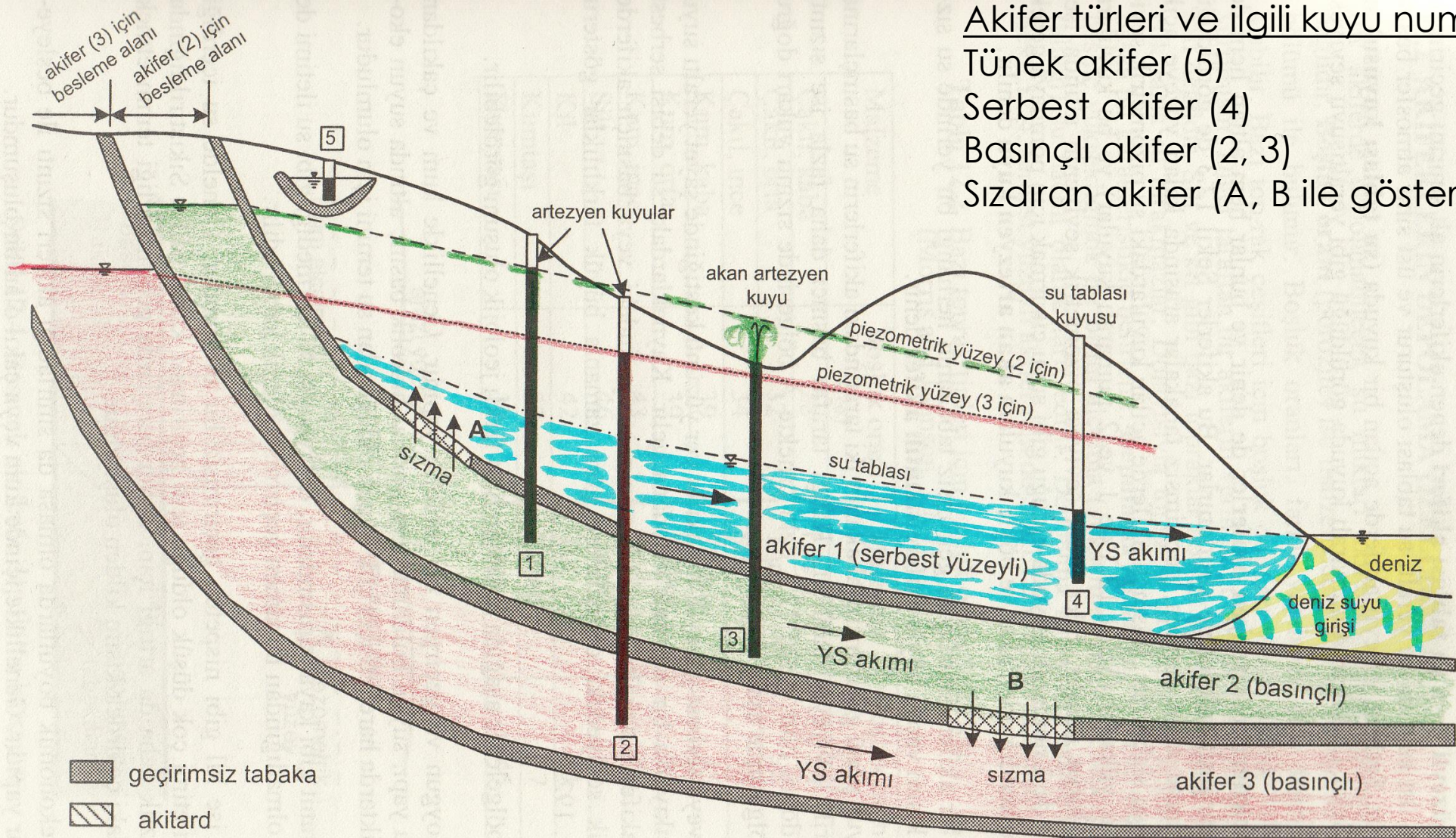
		Zemin suyu	Zemin suyu kuşağı
Vadoz kuşak (havalanma zonu)	Vadoz su	Ara vadoz kuşak	Ara kuşak
Su tablası		Kılcal su	Kılcal saçak
Doygunluk kuşağı (freatik zon)	Yeraltı suyu		

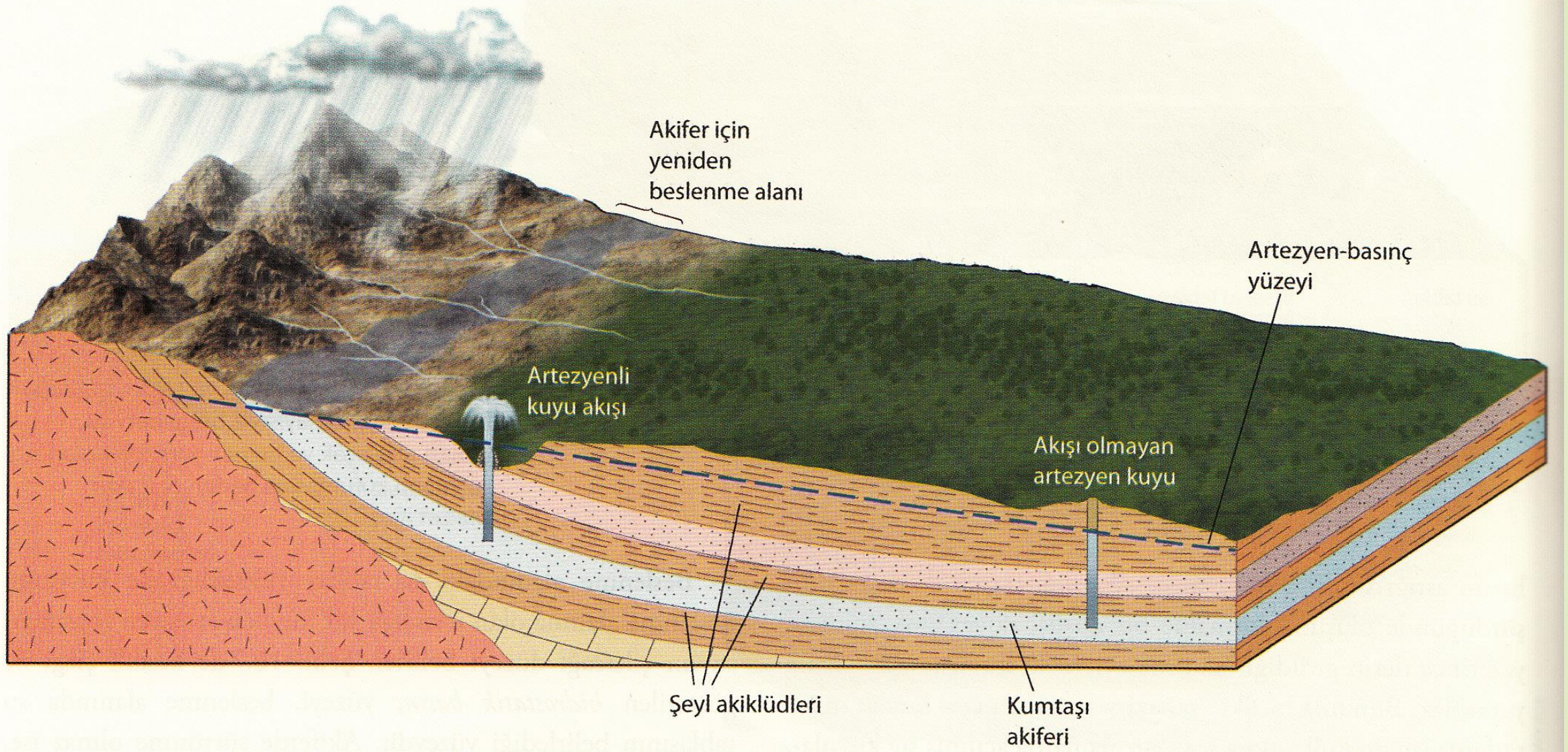




# Akifer Türleri

Akifer türleri ve ilgili kuyu numaraları  
Tünek akifer (5)  
Serbest akifer (4)  
Basıncı akifer (2, 3)  
Sızdıran akifer (A, B ile gösterilen bölgeler)





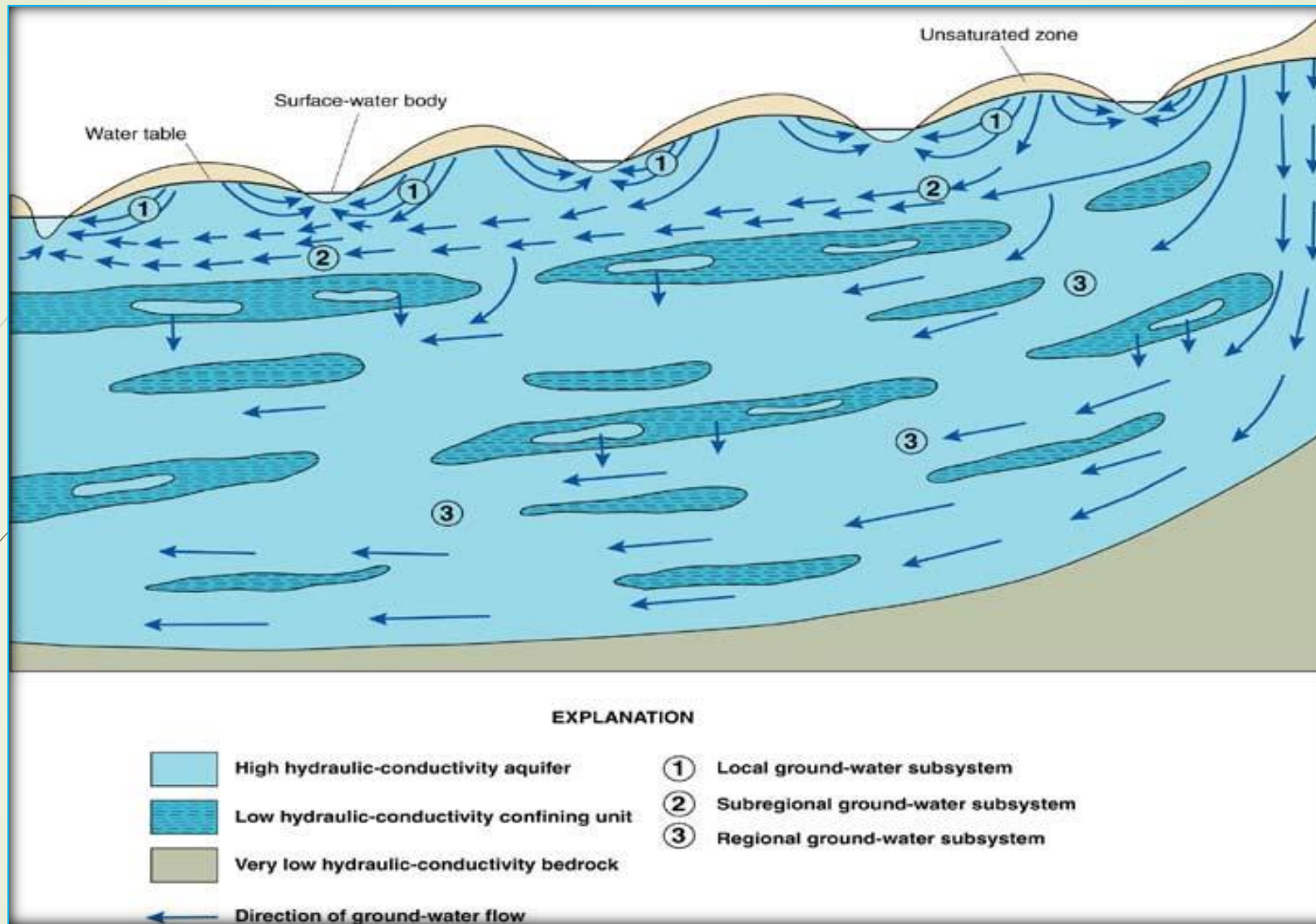
## Basınçlı akifer modeli

# Yüzey-Yeraltı Suyu Yaşı ve Dolaşım Derinliği

- Suyun yaşı nedir?
- İçtiğimiz su kaç yaşında?
- Sığ-derin dolaşım ne demektir?



Yüzey ve yeraltı sularının görelî yaşları



Yeraltı suyu akım sistemleri (Sığ-Orta-Derin dolaşimli)





# Türkiye Su Havzaları



# Türkiye havzaları

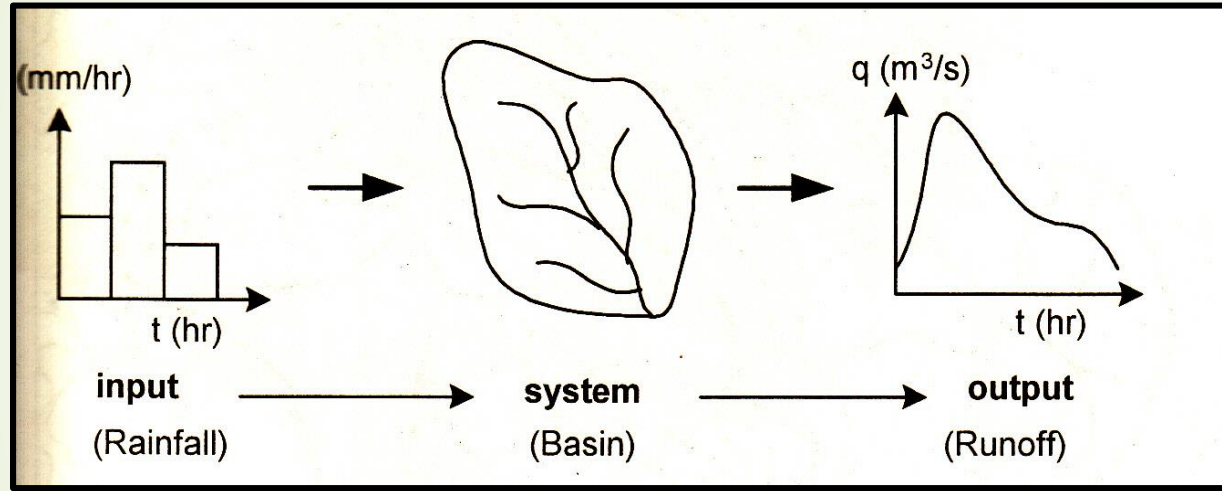
Nehir Havzası Adı	Yağış alanı		Yıllık ortalama akış		Ortalama yıllık verim
	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>3</sup> )	(%)	(l/s/km <sup>2</sup> )
(01) Meriç-Ergene Havzası	14,560	1.9	1.33	0.7	2.9
(02) Marmara Havzası	24,100	3.1	8.33	4.5	11.0
(03) Susurluk Havzası	22,399	2.9	5.43	2.9	7.2
(04) Kuzey Ege Havzası	10,003	1.3	2.09	1.1	7.4
(05) <b>Gediz</b> Havzası	18,000	2.3	1.95	1.1	3.6
(06) Küçük Menderes Havzası	6,907	0.9	1.19	0.6	5.3
(07) Büyük Menderes Havzası	24,976	3.2	3.03	1.6	3.9
(08) Batı Akdeniz Havzası	20,953	2.7	8.93	4.8	12.4
(09) Antalya Havzası	19,577	2.5	11.06	5.9	24.2
(10) Burdur Gölü Havzası	6,374	0.8	0.50	0.3	1.8
(11) Akarçay Havzası	7,605	1.0	0.49	0.3	1.9
(12) Sakarya Havzası	58,160	7.5	6.40	3.4	3.6
(13) Batı Karadeniz Havzası	29,598	3.8	9.93	5.3	10.6
(14) <b>Yeşilirmak</b> Havzası	36,114	4.6	5.80	3.1	5.1
(15) <b>Kızılırmak</b> Havzası	78,180	10.0	6.48	3.5	2.6
(16) Konya Kapalı Havzası	53,850	6.9	4.52	2.4	2.5
(17) Doğu Akdeniz Havzası	22,048	2.8	11.07	6.0	15.6
(18) <b>Seyhan</b> Havzası	20,450	2.6	8.01	4.3	12.3
(19) Asi Havzası	7,796	1.0	1.17	0.6	3.4
(20) <b>Ceyhan</b> Havzası	21,982	2.8	7.18	3.9	10.7
(21) Fırat-Dicle Havzası	184,918	23.7	52.94	28.5	8.3
(22) Doğu Karadeniz Havzası	24,077	3.1	14.90	8.0	19.5
(23) Çoruh Havzası	19,872	2.6	6.30	3.4	10.1
(24) Aras Havzası	27,548	3.5	4.63	2.5	5.3
(25) <b>Van Gölü</b> Havzası	19,405	2.5	2.39	1.3	5.0
<b>TOPLAM</b>	<b>779,452</b>	<b>100.0</b>	<b>186.05</b>	<b>100.0</b>	

# Havza ve Analizi

- Drenaj Havzası-Havza (catchment/watershed), alt havza
- Yağış alanı, beslenme alanı nedir?

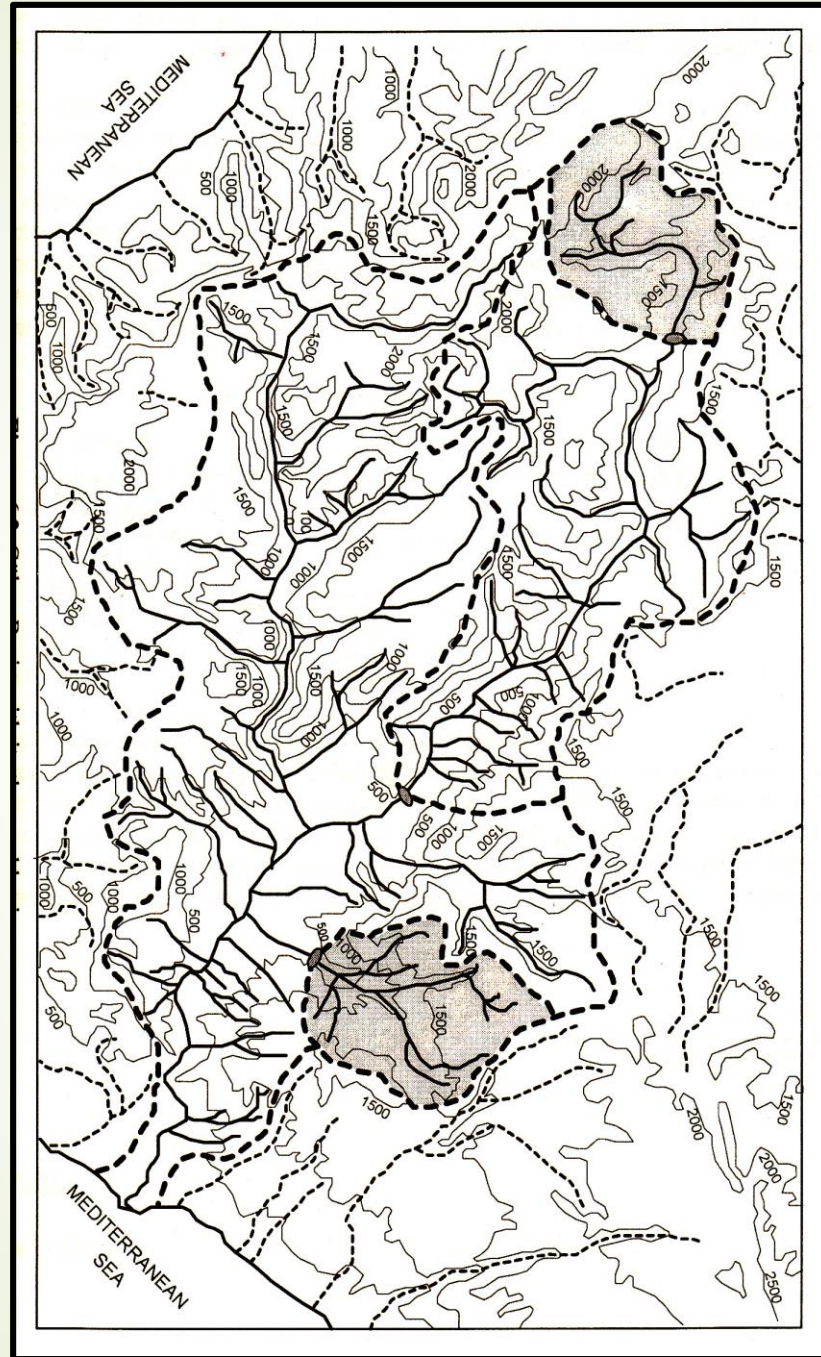


- Havza, yağışı nehir akımına çeviren transfer sistemidir.
- Havza karakteristikleri hidrografın oluşum şekli için önemlidir.
- Sisteme girdi, yağışın histogramı (hyetograph) ile gösterilir.
- Sistemden çıktı, akım hidrografı olarak gözlenir.



- Drenaj havzası veya havza: Bir alanda, nehir üzerindeki bir enine kesit, nehirle ilgili bütün yüzey sularını gösteriyor havza olarak tanımlanır (ayrıca catchment veya watershed olarak da isimlendirilir).
- Alt Havza: Nehir boyunca alınan kesitte nehrin her kolu ayrı bir alt havza olarak tanımlanabilir.

# Alt Havza (Göksu Havzası örneđi)



# Havza dinamik ve çok kompleks bir sistem olup, iki farklı özelliğe sahiptir:

## 1. Jeomorfolojik karakteristikler

Alan ve şekli (veya eğimi) bunlar sabit kabul edilebilir veya değişimi uzun zaman alır.

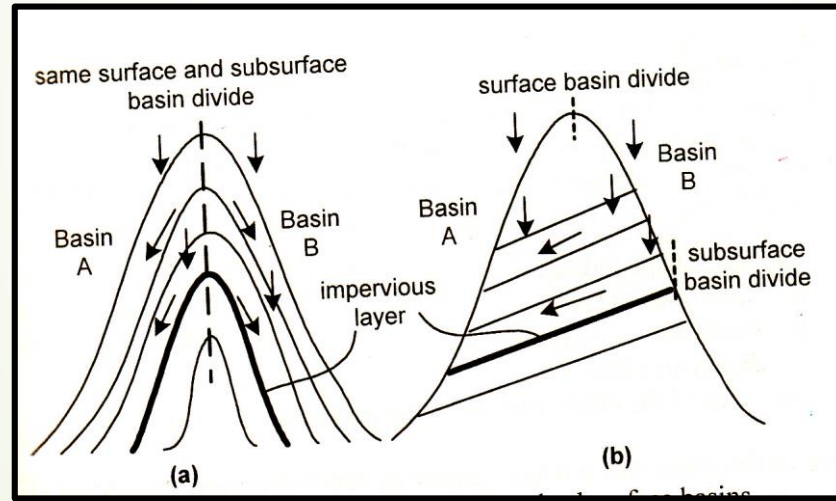
Topoğrafya; jeomorfolojik karakteristiklerinden olup, yüzey suyunun akım hızı ve yönünü doğrudan etkiler. Topoğrafya havza sınırının belirlenmesinde kullanılır. Günümüzde dijital olarak da çizilmektedir.

## 1. Hidrolojik karakteristikler

Akım şekli, süzülme kapasitesi, zemin şartları veya zamanla bitki örtüsü değişimi (bitki örtüsü günlük olmasa da mevsimlik veya fırtına-yağış dönemlerine göre değişebilir).

# Alan, Çevre Uzunluğu ve Havzanın Şekli

- Yüzey ve yer altı havzaları için su bölüm hattı çizilmesi



Terimler: A: Havza alanı, P: Çevre uzunluğu (perimeter), L: Ana kanal uzunluğu, LH: Havza uzunluğu, WH: Havza genişliği,  $WH: A/LH$ , G: Boşalım ağzından havza merkezine uzaklık ( $L_c$ ),  $L_o$ : En uzun havza çapı (G ve B arası).



# Bazı indisler

► Havza şekil indisi ( $Sl_1$ ,  $Sl_2$ )

$$Sl_1 = L_H/W_H$$

$$Sl_2 = A/A_d = 4\pi \cdot A/p^2$$

$$K_c = 0,28 \cdot (P/\sqrt{A})$$

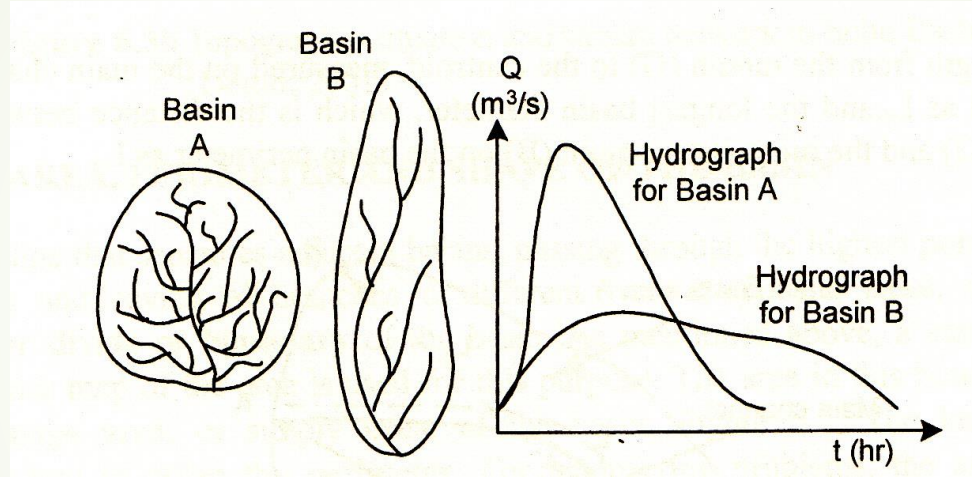
$Sl_1$  ve  $Sl_2$ : Şekil indeksi

$K_c$ : Gravelius indeksi

$P$ : Havza çevres uzunluğu , km

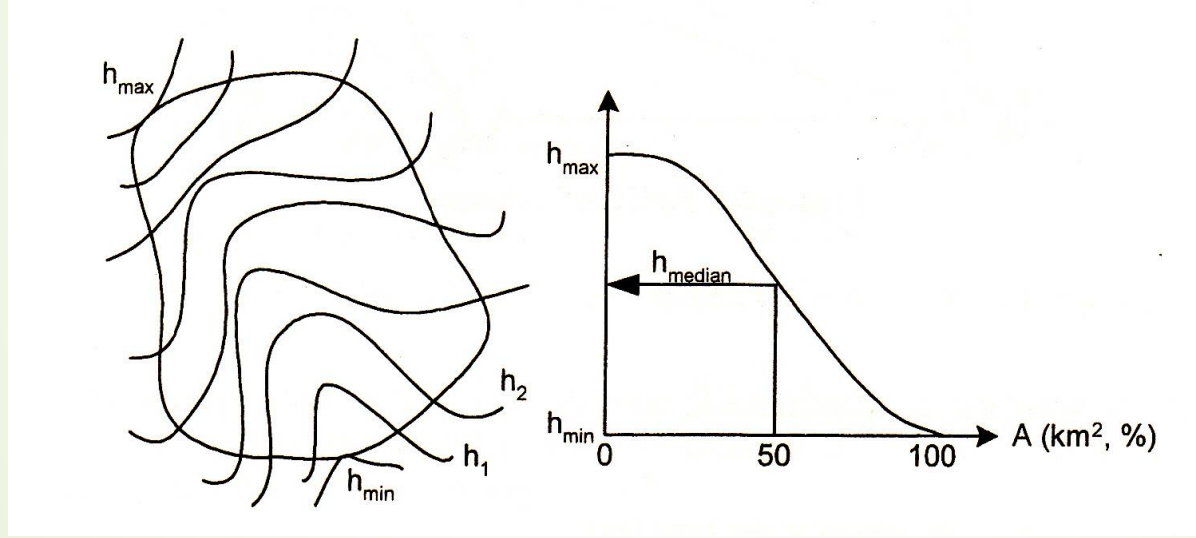
$A$ : Havza alanı, km<sup>2</sup>,

$A_d$ : Havza ile aynı çevre uzunluğunda daire alanı



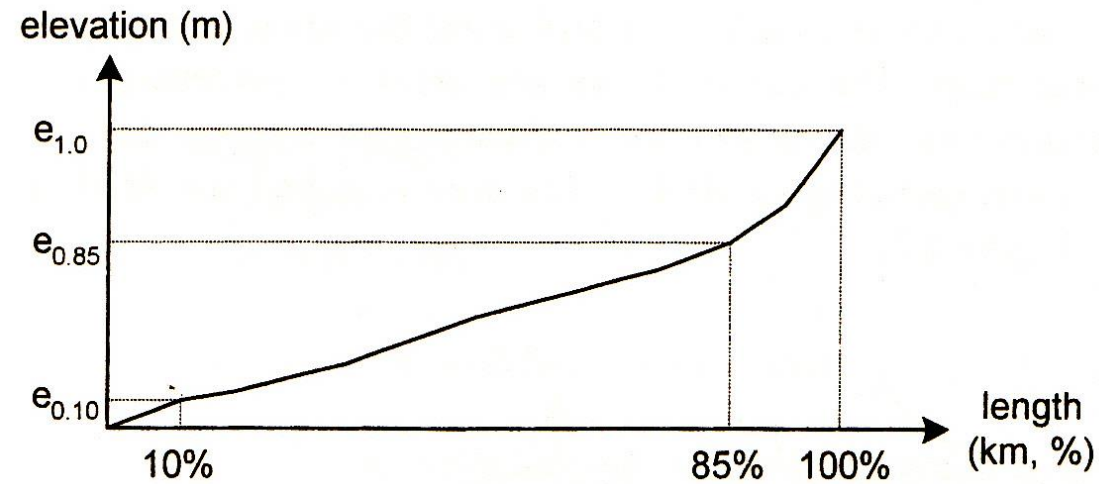
Hidrograf üzerinde havza şeklinin etkisi

# Havza Eğimi



Havza ve hipsometrik (alan-yükseklik) eğri

## Nehir yatağının eğiminin bulunması



**Figure 6.9** Profile of a channel

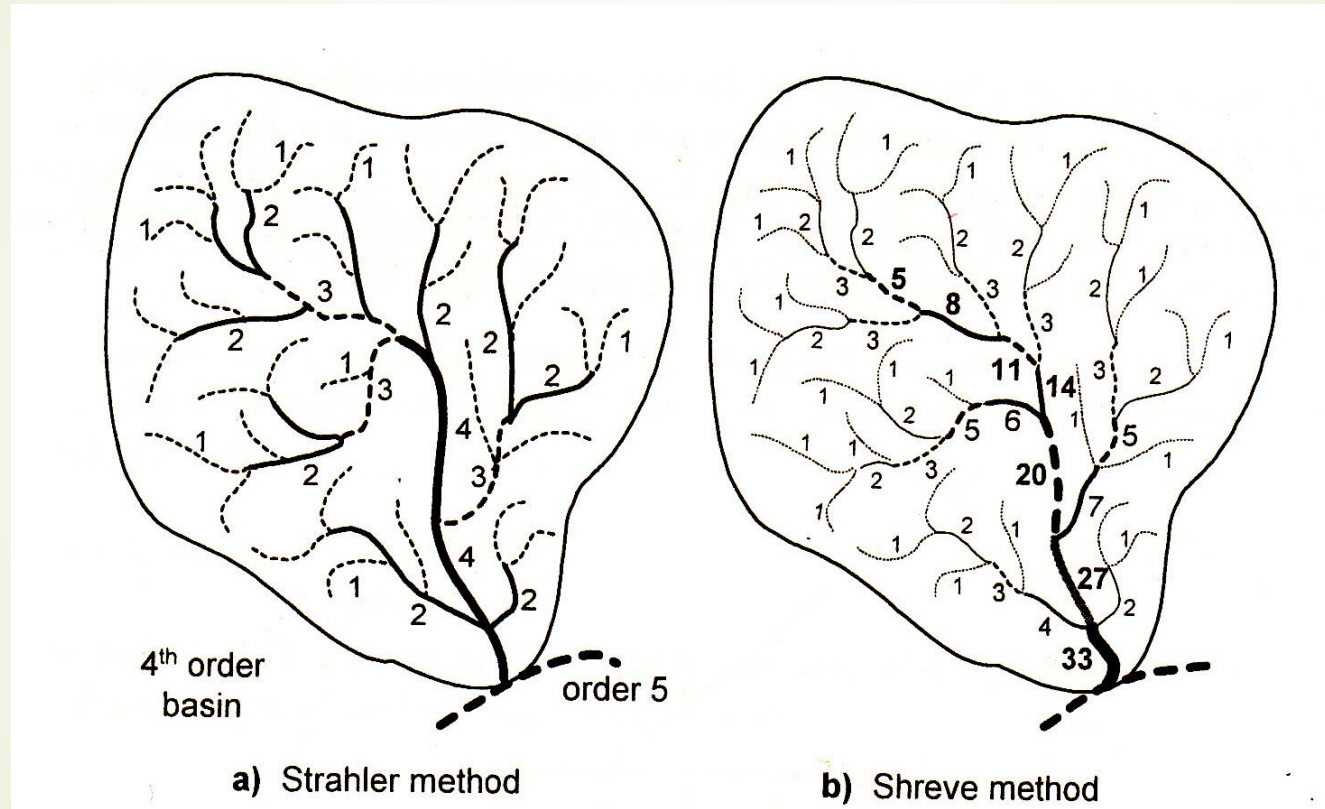
The slope,  $s$ , of the river is defined as

$$s = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{L} \quad \text{or} \quad s = \frac{h_{0.85} - h_{0.10}}{0.75 L} \quad (6.6 \text{ a, b})$$

Where

- $h_{\max}$  : elevation at the head (m)
- $h_{\min}$  : elevation at the mouth (m)
- $L$  : total length of the river (m)
- $h_{0.85}$  : elevation at 85% of total length (m)
- $h_{0.1}$  : elevation at 10% of total length (m)

# Havzanın drenaj karakteristikleri



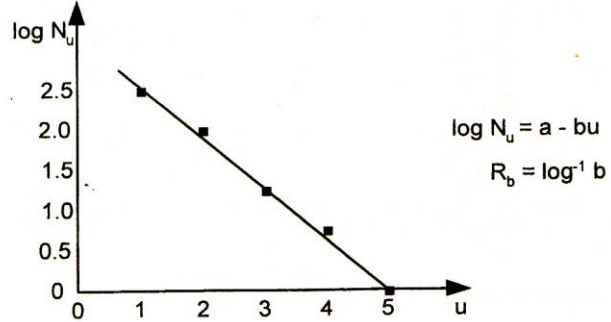
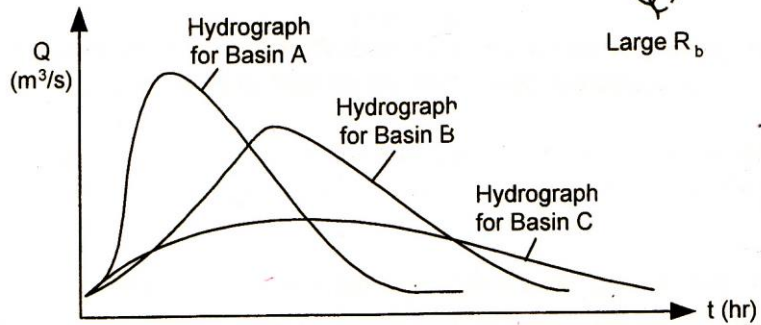
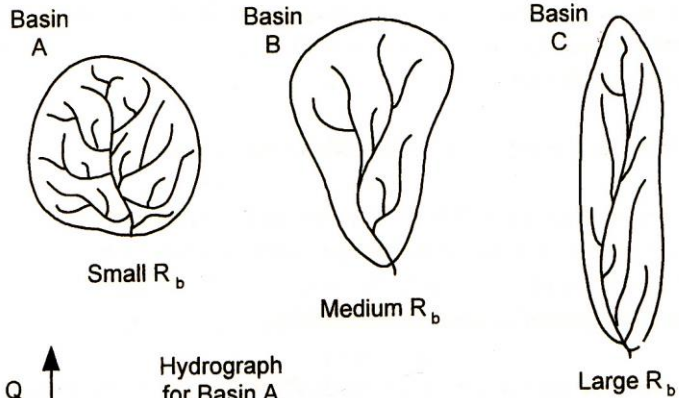


Figure 6.11 Bifurcation ratio



Hidrograf şekli üzerinde çatallanma oranının etkisi

Çatallanma oranı

Drenaj yoğunluğu (Dd): Havzanın nasıl drene edildiğini göstermekte olup, birim alandaki nehrin bütün kollarının toplam uzunluğudur, m/km<sup>2</sup>

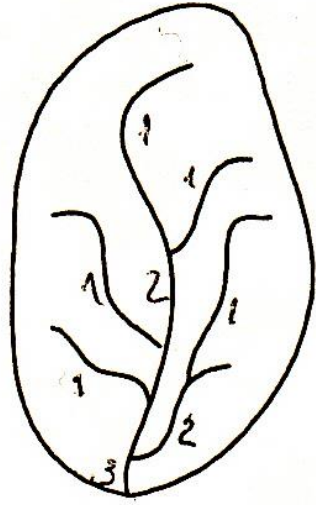
$$Dd: \sum Lu/A$$

$\sum Lu$  : Nehir kollarının toplam uzunluğu, m,

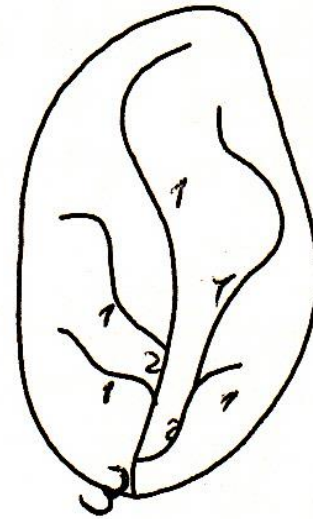
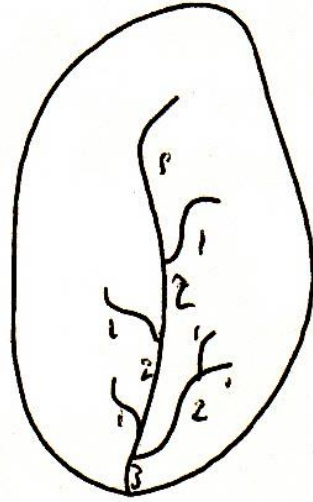
Df: Drenaj sıklığı

$$Df : \sum Nu/A$$

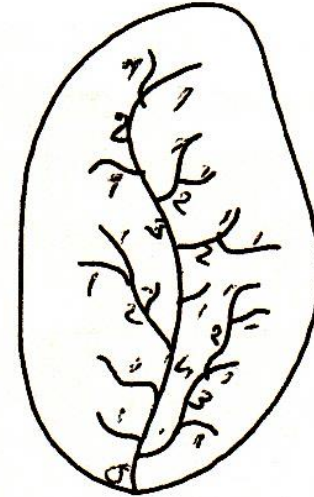
# Hipotetik havzaların drenaj yoğunluğu ve drenaj sıklığı



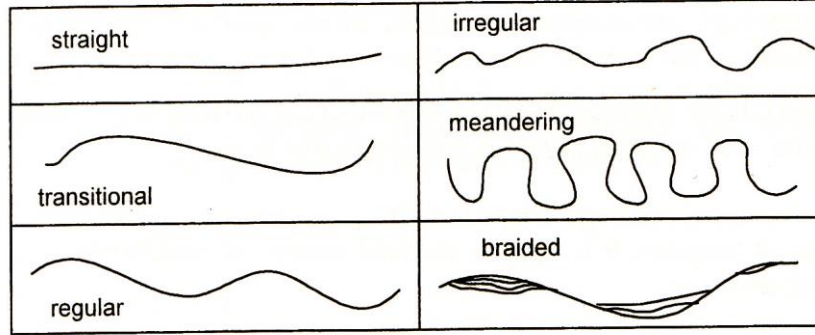
$D_f$  same,  $D_d$  different



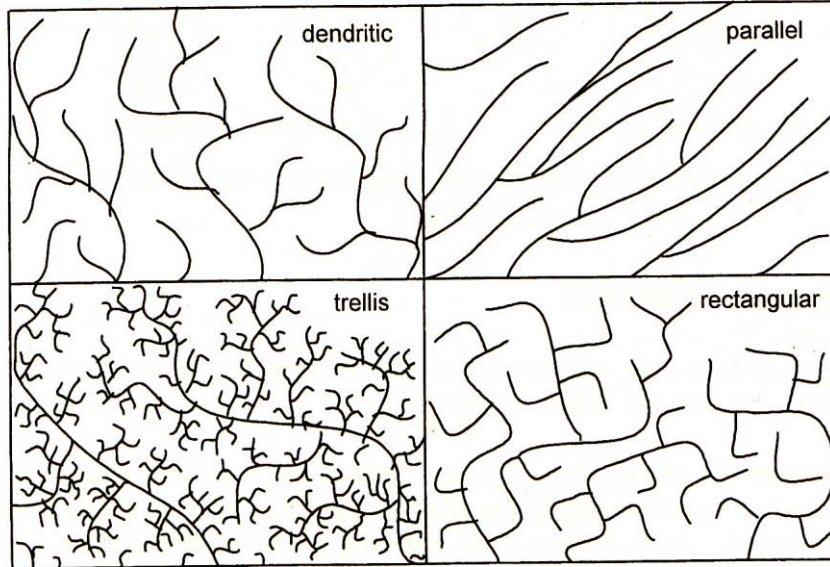
$D_d$  same,  $D_f$  different



# Nehirlerin akış yolu tipleri (stream pattern)



Nehirlerin farklı akış tipleri (doğrusal, kavisli, düzenli, düzensiz, menderesli, örgülü)



Farklı akış yollarına bağlı olarak gelişen farklı drenaj tipleri:

Dentritik

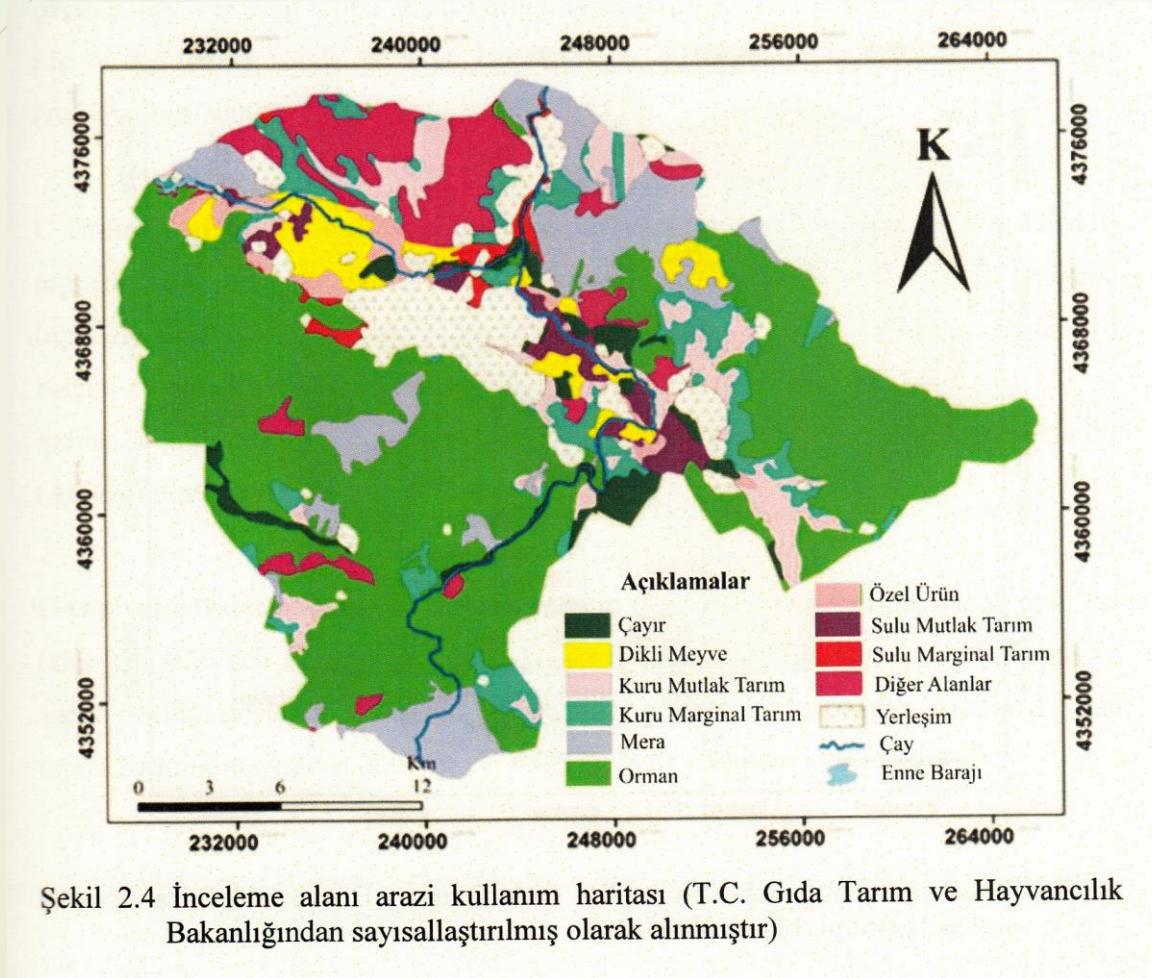
Paralel

Kafes

Dikdörtgen



# Zemin Karakteristikleri ve Arazi Örtüsü



Kütahya havzası arazi kullanım haritası

Arazi örtü tipleri, bitkisel örtü yağış-sellenme ilişkisi bakımından çok önemlidir. Bunlar aşağıda değinilen 4 etki ile açıklanabilir:

1. Tutulma (interception)
2. Su tüketimi
3. Mekanik direnç
4. Bitki kökleri boyunca infiltrasyon kolaylığı

# Gecikme Zamanı

Bir havza için, havzanın çıkışa en uzak noktasına düşen yağmur damlasının çıkışa ulaşana kadar geçen zamana o havzanın gecikme zamanı denir. Hidrolojide yağış-akış ilişkisi için önemli olan gecikme zamanını veren pekçok denklem bulunmaktadır.

## SCS Denklemi

ABD Toprak Muhafaza Servisi (USDA, 1975) gecikme zamanı,  $t_c$ 'yi bulmak için aşağıdaki denklem verilmiştir. Havza gecikmesi etkili yağışın ağırlık merkezinden hidrograf pikine kadar olan zamana eşittir.  $t_L$  (Havza gecikmesi) formülündeki,  $L$  fit cinsinden havza uzunluğu,  $S$  inç cinsinden havza depolaması ve  $w_s$  de % olarak havza eğimidir. Bu denklem için ortalama havza eğimi ve depolama miktarının tahmini gerekmektedir. Depolama miktarı, yüzey örtüsü ve arazi kullanımının bir fonksiyonudur.  $CN$  havzanın eğri numarasıdır (0-100 arasında alınır).  $CN$  havzanın toprak sınıflandırılması ve yüzey örtüsünün fonksiyonudur (Aşağıdaki tablolardan toprak grupları ve  $CN$  değerlerine örnek verilmiştir. Bir havzanın karakteristikleri değişiyorsa, bu alanların oranları kullanılarak bütün havzayı temsil eden bir  $CN_{tem}$  değeri bulunur.

$$T_c = 1,67 t_L$$

$$t_L = L^{0.8} \frac{(S+1)^{0.7}}{1900 w_s^{0.5}}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

**Tablo 6.1** Toprak gruplarının tarifi (USDA, 1951)

Grup A	<i>En düşük akım potansiyeli:</i> Derin kum, derin lös, topaklanmış silt
Grup B	<i>Oldukça düşük akım potansiyeli:</i> Sığ lös, kumlu lem
Grup C	<i>Oldukça yüksek akım potansiyeli:</i> killi lem, sığ kumlu lem, organic maddesi az toprak ve genelde kili bol toprak
Grup D	<i>En fazla akım potansiyeli:</i> Islanınca önemli ölçüde şişen topraklar, ağır plastik kil ve bazı tuzlu topraklar

Formülde  $a_i$  ilgili bölgenin alanını,  $C_{ni}$  de aynı alanın eğri numarasını verir.

Usul (2008)

**Tablo 6.2** Bazı tarım, yarı kentleşmiş veya kentleşmiş arazi kullanımına sahip alanların eğri numaraları (geçmiş nem durumu II,  $I_a = 0.2S$ )\* (USDA, 1972)

Arazi kullanım tarifi	Hidrolojik toprak grubu			
	A	B	C	D
İşlenmiş arazi: koruma muamelesi yapılmamış koruma muamelesi yapılmış	72	81	88	91
	62	71	78	81
Otlak: kötü durumda iyi durumda	68	79	86	89
	39	61	74	80
Mera : iyi durumda	30	58	71	78
Baltalık ve orman: seyrek bitki, zayıf örtü mulch sız iyi örtü	45	66	77	83
	25	55	70	77
Açıklık alanlar, kırlar, parklar, mezarlıklar, vb. iyi durumda : alanın 75%'den fazlası otlakla kaplı orta durumda: alanın 50% - 75%'i otlakla kaplı	39	61	74	80
	49	69	79	84
Ticaret ve iş alanları (85 % geçirimsiz)	89	92	94	95
Endüstriyel bölge (72% geçirimsiz)	81	88	91	93
Yerleşim birimleri				
Ortalama arazi büyüklüğü	Ortalama % geçirimsiz			
1/8 acre** veya küçük	65			
1/4 acre	38			
1/3 acre	30			
1/2 acre	25			
1 acre	20			
Kaplamalı otopark, çatılar, araba yolları	98	98	98	98
Sokaklar ve yollar:				
kaplamalı ve yağmur suyu drenajlı	98	98	98	98
çakıl	76	85	89	91
toprak	72	82	87	89

Arazi kullanımı hakkında ayrıntılı bilgi USDA (1972)'de bulunabilir.

\* 6.7 Bölümünde anlatılmıştır.

\*\* 1 acre yaklaşık 4 dönümdür

$$CN_{tem} = \frac{\sum (a_i CN_i)}{\sum a_i} \quad (6.13)$$

# Süzülme (İnfiltrasyon)

Suyun toprak yüzeyindeki boşluklardan veya çatlaklardan içeri sızmasına süzülme denir ve suyun toprakta dikey olarak aşağıya hareketi olan perkolasyon'dan veya derin süzülme'den ayırt edilmesi gerekir. Süzülmenin olduğu toprak derinliği 20-50 cm dolayındadır.

Yeryüzüne düşen yağış suyu, yüzeydeki çatlaklar ve gözenekler büyük ise yerçekimi kuvveti ile, küçük ise kapiler kuvvetle toprağa girmekte ve hareket etmektedir.

Süzülme hızı ve toplam süzülen su miktarı havza ve yağış karakteristiklerinin bir fonksiyonudur. Havza karakteristikleri arasında toprak tipi, toprağın nem miktarı ve geçirimsizliği, drenaj durumu, yüzey örtüsü ve yer altı su tablası derinliğidir. Yağmur karakteristikleri ise hızı ve toplam hacmidir (Usul, 2008).

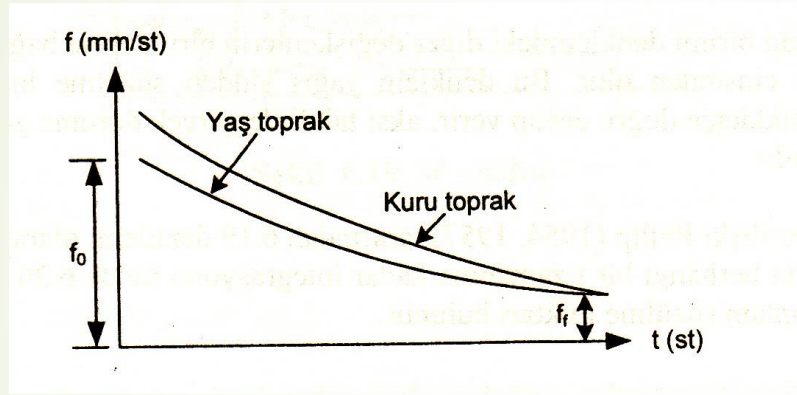
Topraklar drenaj özelliklerine göre dört hidrolojik gruba ayrılmaktadır (Tablo 6.2).

Toprağın süzülme kapasitesi,  $f_0$ , suyun toprağa girdiği maksimum hızdır ve aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Toprağın fiziksel karakteristikleri
2. Toprağın başlangıçtaki nem durumu
3. Yüzey eğimi
4. Yüzeydeki su derinliği ve doymuş tabakanın kalınlığı
5. Bitki örtüsü

# Süzülme Hızı

Suyun toprağa girme hızına süzülme hızı denir. Bu hız sabit değildir, zamanla değişir (azalır) ve aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi toprağın doymun hale gelmesiyle sabit bir değere,  $f_f$ , ulaşır.



$$f = f_f + (f_0 - f_f) e^{-kt} \quad (6.17)$$

Bu denklemde:

- $f$  : süzülme hızı (mm/st),
- $f_0$  : başlangıçtaki ( $t = 0$ ) süzülme kapasitesi (mm/st),
- $f_f$  : son sabit hız (mm/st), genellikle perkolasyon hızına eşittir,
- $k$  : toprak cinsi ve bitkiye göre değişen bir katsayı (1/zaman),

t : başlangıçtan itibaren geçen zamandır (st, dak).

Bu denklemi kullanarak toplam süzülme miktarı (F) bulunabilir. Eğrinin altındaki alana eşit olan F, belli bir t zamanına kadar denklemin integrali alınarak bulunur.

$$F = \int_0^t f(t) dt = f_f t + \frac{(f_0 - f_f)}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (6.18)$$

F değerinin birimi denklemdaki diğer değişkenlerin birimlerine bağlı olarak mm veya cm cinsinden olur. Bu denklem yağış şiddeti süzülme hızından fazla olduğu müddetçe doğru cevap verir, aksi takdirde gerçek duruma göre düzeltme yapılmalıdır.

Benzer bir ilişki Philip (1954, 1957) tarafından 6.19 denklemi olarak verilmiştir. Denklemin herhangi bir t zamanına kadar integrasyonu ile de 6.20 denklemi ile verilen toplam süzülme miktarı bulunur.

$$f_p = \frac{b t^{1/2}}{2} + a \quad (6.19)$$

$$F = b t^{1/2} + at \quad (6.20)$$

Denklemlerdeki a ve b parametrelerinin deneysel olarak bulunmaları gerekir.

Süzülmenin zamanla değişimini bulmak için teklif edilen başka denklemler de vardır (Collis, 1977).

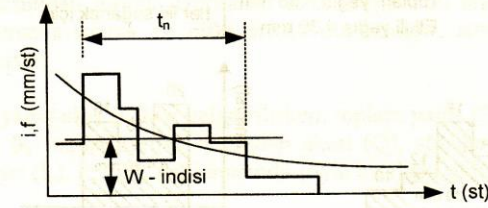
# Süzülme İndisleri

Pratik olması bakımından, hidrograf analizleriyle ilgili problemlerde süzülme hızı sabit alınmaktadır. Bu nedenle bir yağış için ortalama bir süzülme değeri kabul edilmesi düşünülmüştür.

Süzülme indisi denilen ve yağıştan olan ortalama süzülme kayıplarını yaklaşık olarak veren bu indisin W-indisi ve Fi-indisi olmak üzere iki tipi vardır (Usul, 2008).

## 6.7.2.1 W-İndisi

W-indisi Şekil 6.19'da görüldüğü gibi yağışın süzülmeden fazla olduğu süredeki,  $t_n$ , ortalama süzülme hızıdır ve şöyle bulunur.



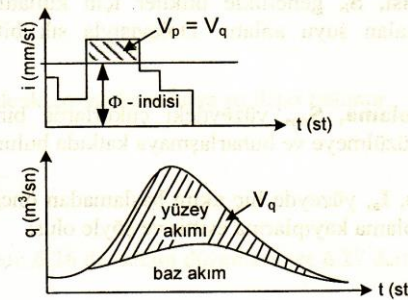
Şekil 6.19 W - indisi

$$W = \frac{P - R}{t_n} \quad (6.21)$$

Burada P ve R yağışın süzülmeden fazla olduğu  $t_n$  süresindeki mm cinsinden toplam yağış ve akımdır.

## 6.7.2.2 $\Phi$ -İndisi

Hidrograf analizinde en çok kullanılan indistir ve yağış histogramından bulunan öyle bir sabit hızdır ki üzerinde kalan yağışın toplam hacmi, bu yağıştan meydana gelen yüzey akımının toplam hacmine eşittir (Şekil 6.20).

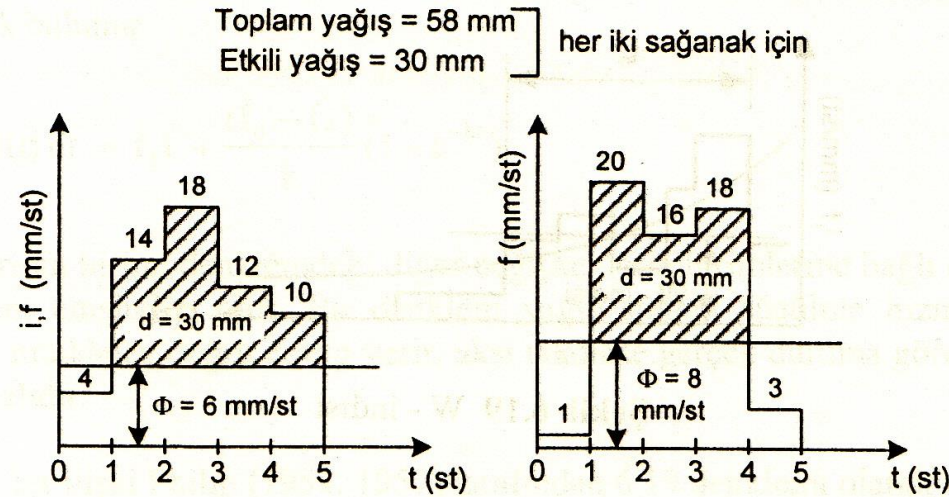


Şekil 6.20  $\Phi$  - indisi

$\Phi$ -indisinin bulunması için bir örnek Şekil 6.21'de gösterilmiştir. Bu örnekte 30 mm'lik bir yüzey akım için, toplam yağış derinlikleri eşit ve 58 mm, yağış



süreleri eşit ve 5 saat, ancak yağış şiddetleri farklı şekilde değişen iki sağanakın  $\Phi$ -indisleri bulunmuştur. Şekilde görüldüğü gibi bu iki hiyetograf için 6 mm/st ve 8 mm/st olmak üzere farklı  $\Phi$ -indisleri elde edilmiştir.



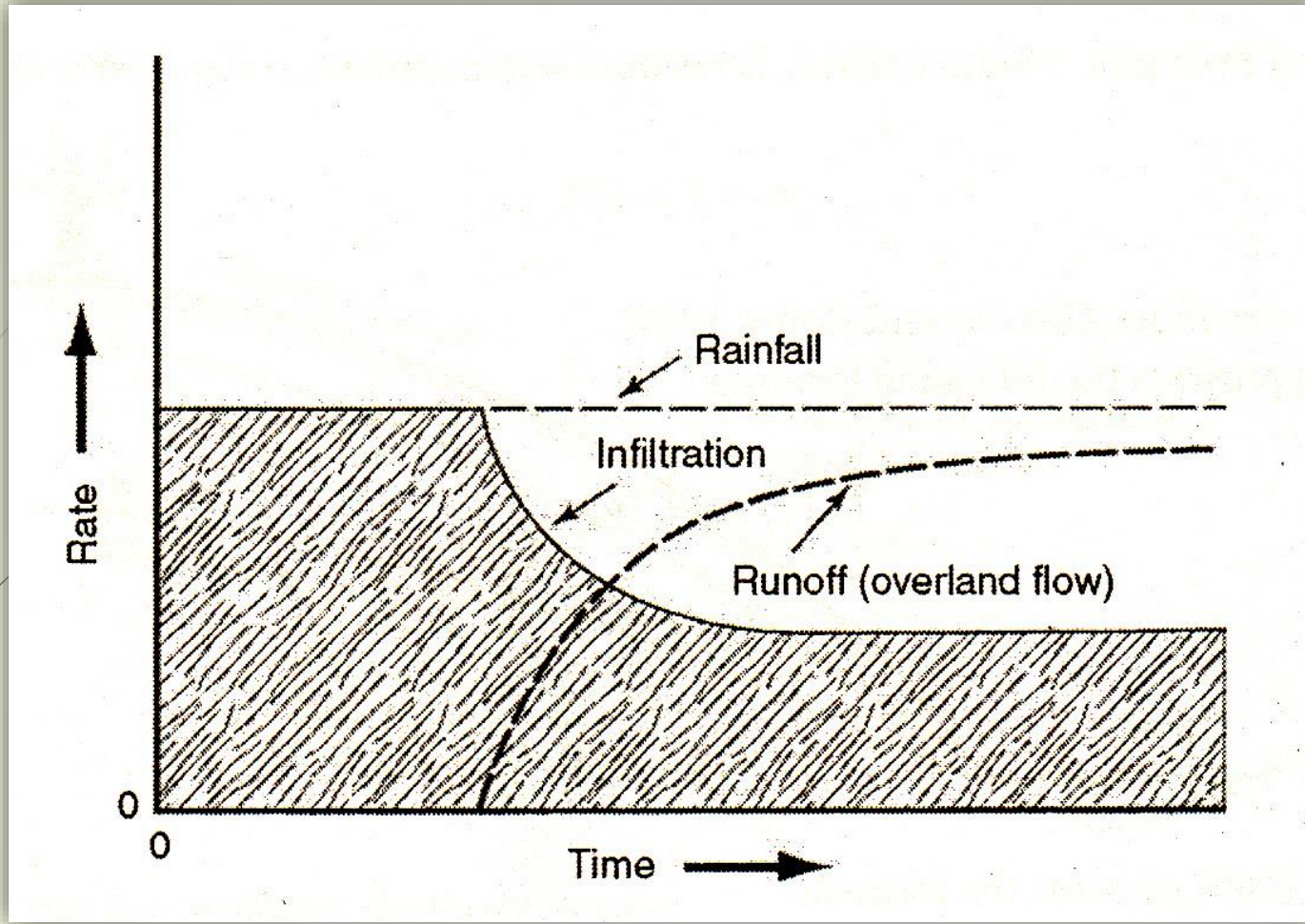
Şekil 6.21 İki sağanak için  $\Phi$  - indisi bulma örnekleri

$\Phi$ -indisi, süzülme hadisesi için oldukça basitleştirilmiş bir yaklaşımdır, bununla beraber yeterince verisi bulunmayan büyük havzalarda bir sağanakdan meydana gelecek akımın bulunmasında kabul edilebilir sonuçlar verir.

- Yağış hızı dengedeki süzülme kapasitesinden düşük ise yeryüzüne ulaşan tüm yağış süzülür (Şekil A).
- Yağış hızı dengedeki süzülmeden daha fazla, fakat başlangıçtaki süzülme kapasitesinden daha düşüğe başlangıçta tüm yağış süzülür, fakat süzülme hızı yağış hızının altına düştüğü zaman bir miktar yağış yeryüzünde kalır (Şekil B).
- Yağış hızı başlangıçtaki süzülme hızından büyük olursa, yeryüzünde anlık bir miktar su birikimi olacaktır (Şekil C).

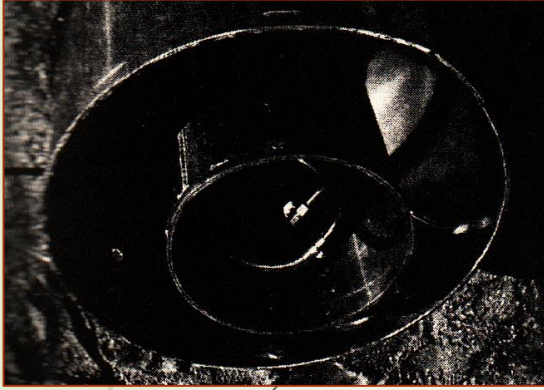
### **Süzülmeyi etkileyen faktörler:**

- 1- Yağış yoğunluğu
- 2- Yağış süresi
- 3- Zemin karakteristikleri
- 4- Bitki örtüsü
- Şehir alanları
- 5- Doygun tabakanın kalınlığı ve yüzey gecikme(engelleme) derinliği
- 6- Zemin boşluklarında hapsolan hava
- 7- Suyun bulanıklılığı
- 8- Zeminin kompaksiyonu
- 9- Diğer faktörler (zeminin çatlak- kuru, toprak erozyonu, ağaçlandırma)

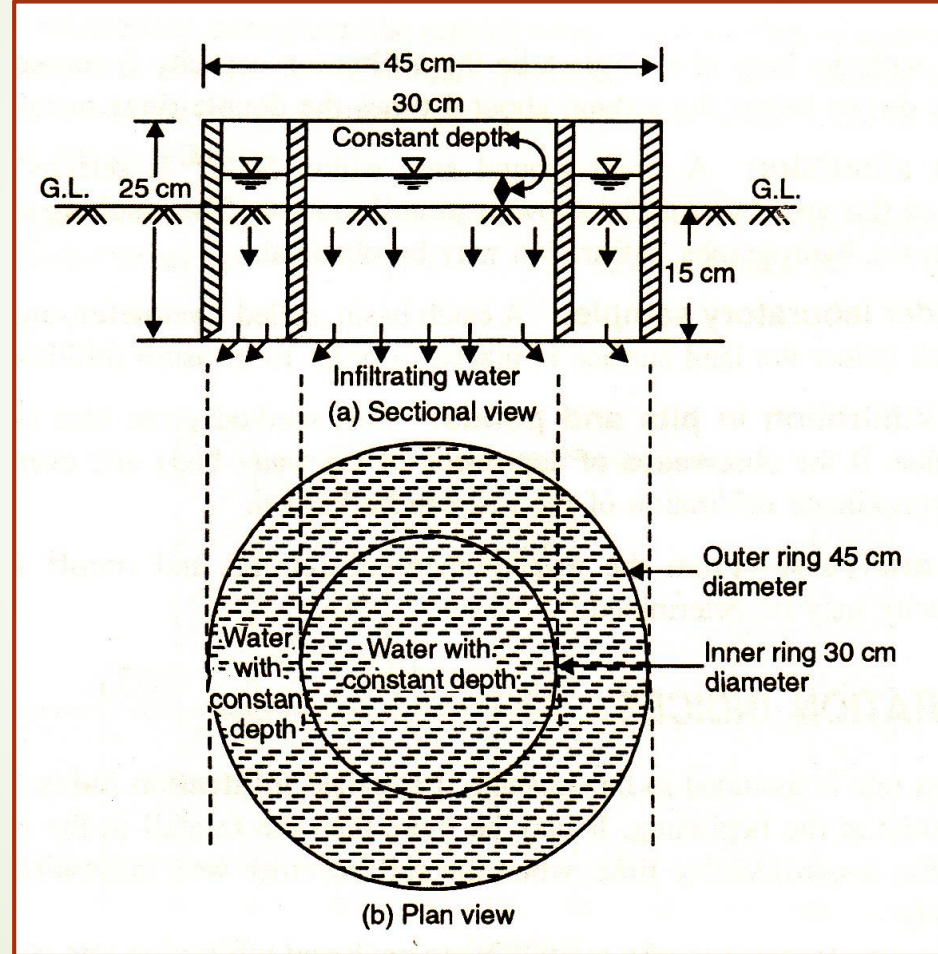


Yağış-süzülme-yüzeysel akış

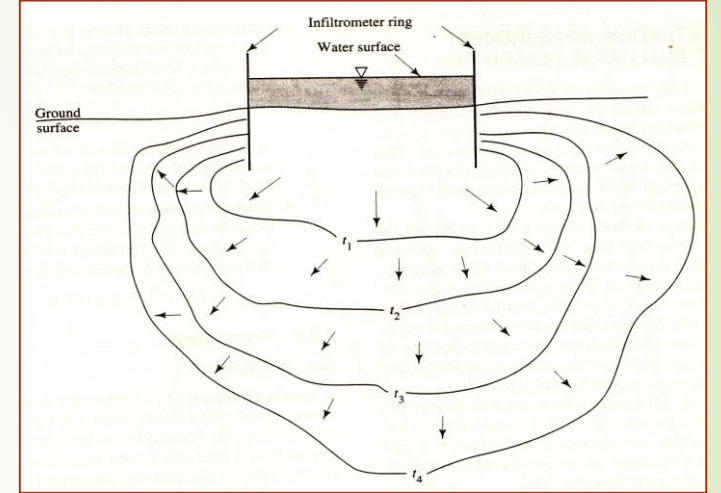
# Süzülme Deneyi



Çift halkalı infiltrometre



Çift halkalı infiltrometre



# SCS Metodu

Süzülmeyi bulmanın bir diğer metodu, eğri numarası metodu da denilen SCS metodudur. Bu metodu anlatmadan önce bazı terimlerin tarif edilmeleri gerekir.

**Tutulma depolaması,  $S_i$ ,** genellikle bitkiler için kullanılırsa da her türlü yüzeyin üzerinde kalan suyu anlatır. Dolayısıyla sık bitki örtüsüne sahip yüzeylerde fazladır.

**Çukurlardaki depolama,  $S_{dp}$ ,** yüzeydeki çukurlarda biriken suyu anlatır. Yüzey akıma değil süzülmeye ve buharlaşmaya katkıda bulunur.

**Başlangıç kayıpları,  $I_a$ ,** yüzeyde hiç akım başlamadan önceki toplam tutulma ve çukurlardaki depolama kayıplarına eşittir ve şöyle olur:

$$I_a = S_i + S_{dp} \quad (6.22)$$

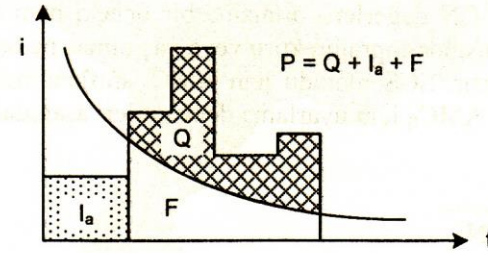
Çalışmalar başlangıç kayıplarının, yağış  $P$ , ve akım  $Q$ , arasındaki mümkün en büyük farkın  $S$ , % 20'si kadar olduğunu göstermiştir.

$$I_a = 0.20 S = 0.20 (P - Q) \quad (6.23)$$

**Yüzey depolaması,  $S_{dt}$ ,** yüzeyde kalan ve çıkış noktasından boşalana kadar ince tabaka akımı olarak devam eden suyu anlatır.

Yağmur sırasında önce başlangıç kayıpları tatmin olur ( $S_i$  ve  $S_{dp}$ ), sonra yüzey depolaması ve ardından toprak üzerindeki akım başlar, bu arada süzülme de devam eder. Zamanla toprak ve bitki örtüsü doymunlaşır, süzülme azalır ve yüzey akımı da artar.

SCS metoduyla yağış-akış ilişkisi geliştirilirken, toplam yağış ( $P$ ) Şekil 6.22'de gösterildiği gibi üç kısma ayrılır: doğrudan akım ( $Q$ ), süzülen miktar ( $F$ ) ve başlangıç kayıpları ( $I_a$ ).  $P$ ,  $Q$ ,  $I_a$  ve  $F$  arasında şöyle bir ilişki olduğu kabul edilir.



Şekil 6.22 Yağışın bileşenleri

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (6.24)$$

Burada  $S$  potansiyel maksimum tutulmadır. Süzülen miktar ise şöyle verilir.

$$F = (P - I_a) - Q \quad (6.25)$$

6.25 denklemini 6.24 denklemine konulursa şu ilişki bulunur.

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (6.26)$$

$Q$  değerini bulmak için 6.26 denklemini düzenlenince 6.27 denklemini elde edilir.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (6.27)$$

Yukarıda anlatıldığı gibi, çalışmalar  $I_a$ 'nın,  $S$ 'nin % 20'sine eşit olduğunu göstermiştir. O halde sonuç olarak doğrudan akım şöyle yazılabilir.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (6.28)$$

6.28 denklemini kullanarak belli bir  $P$  yağışından meydana gelecek akımı bulmak için bilinmeyen  $S$ 'nin tahmin edilmesi gerekir. Bu sebeple, daha önce 6.6.1. bölümünde anlatıldığı gibi SCS eğri numarası geliştirilmiştir. Ampirik analizler, CN değerinin, toprak grubu, yüzey örtüsü ve önceki nem durumunun bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

Tablo 6.2'de verilen CN değerleri, ortalama bir önceki nem durumu ( $AMC_{II}$ ) içindir ve yağmur sırasında toprağın kuru veya yaş olmasına bağlı olarak (farklı AMC değerleri) değişir. SCS metodu için AMC sınıflandırması Tablo 6.3'de verilmiştir.  $AMC_I$  ve  $AMC_{II}$  için uyarlama denklemleri aşağıdadır.

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013 CN_{II}} \quad (6.29)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 CN_{II}} \quad (6.30)$$

Son yıllarda havzaları temsil eden CN değerlerinin bulunmasında coğrafi bilgi teknolojileri de kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip çalışmalara örnekler Ankara yakınındaki Güvenç Havzası için Usul and Küpçü (1997) ve Güneybatı Anadolu Akdeniz kıyısındaki Çayboğazı Havzası için de Baga (1999)'da bulunabilir. Çayboğazı Havzasında CN değerlerini gösteren bir harita Şekil 6.23'de verilmiştir.

**Tablo 6.3** SCS methodu için geçmiş nem durumu sınıflandırması (AMC)  
(McCuen, 1998)

AMC Grup	5-gün önceki toplam yağış (in)	
	Durgun mevsim	Büyüme mevsimi
I	0.5'den küçük	1.4' den küçük
II	0.5 – 1.1	1.4 – 2.1
III	1.1'den büyük	2.1'den büyük

Durum I : topraklar kuru, fakat solma noktasına kadar değil (yeterli işleme yapılmış)  
Durum III: doymuş toprak (şiddetli yağmur veya son 5 günde düşük sıcaklık ve hafif yağmur)

# Havza-Taşkın hidrografını etkileyen faktörler

## İklim Faktörleri:

Yağışın hareketi, süzülmesi, yoğunluğu ve süresi

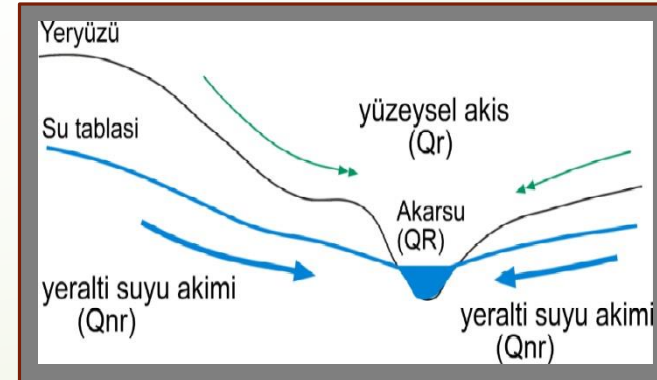
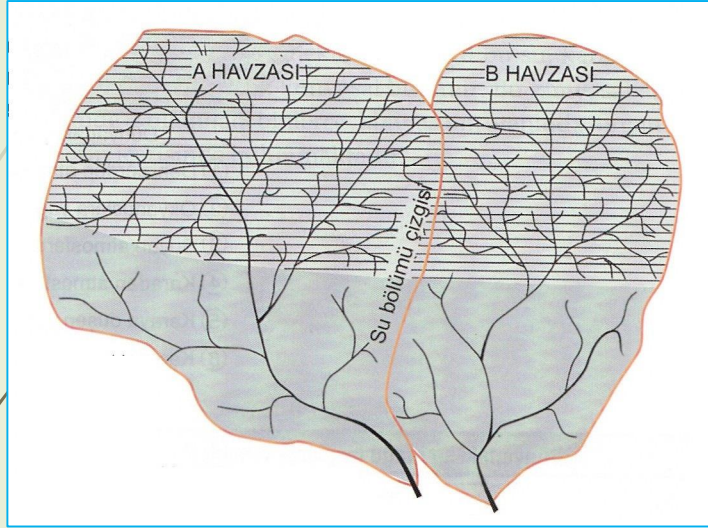
## Fizyografik Faktörler:

- a) Havzanın şekli
- b) Havzanın büyüklüğü
- c) Havzanın eğimi
- d) Havzanın doğası
- e) Drenaj yoğunluğu
- f) Havzanın yüksekliği
- g) Yer kullanımı ve örtüsü
- h) Zemin tipi ve jeolojik şartları
- i) Göller, depolama alanları ve bataklıklar
- j) Kanal karakteristikleri



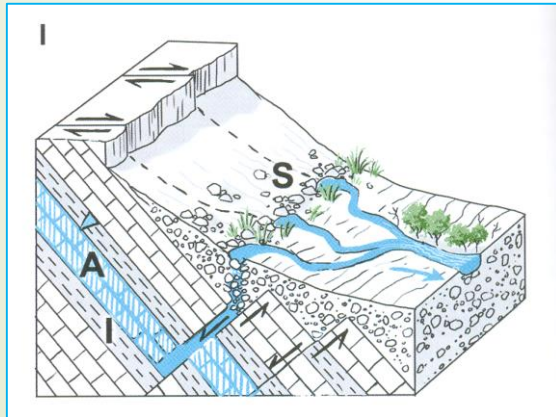
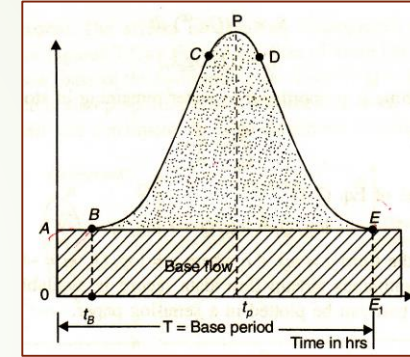
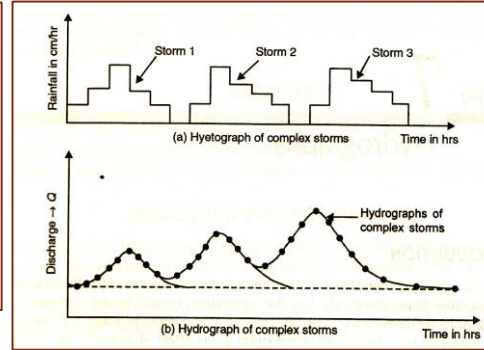
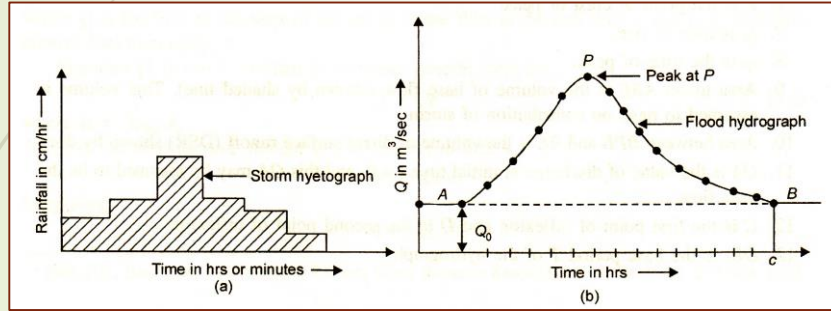
# Havza, Yüzeysel Akış-Baz Akımı

- Havza, yağış alanı, beslenme alanı nedir?
- Akarsu boşalımının bileşenleri nelerdir?

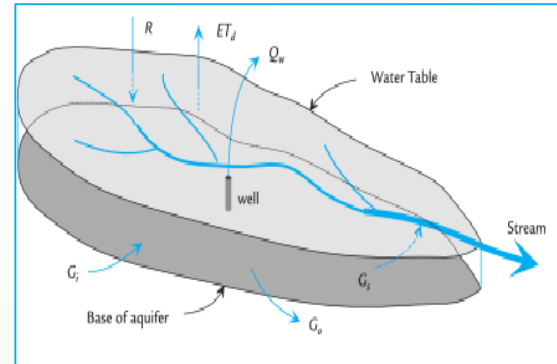


# Yüzey Suyu-Baz Akım (Yeraltı Suyu) Ayrımı

Hidrograf nedir?, Hiyetograf nedir?, Akarsu boşalımı bileşenlerine nasıl ayrılır?



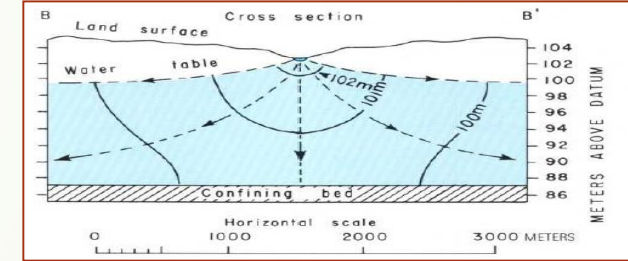
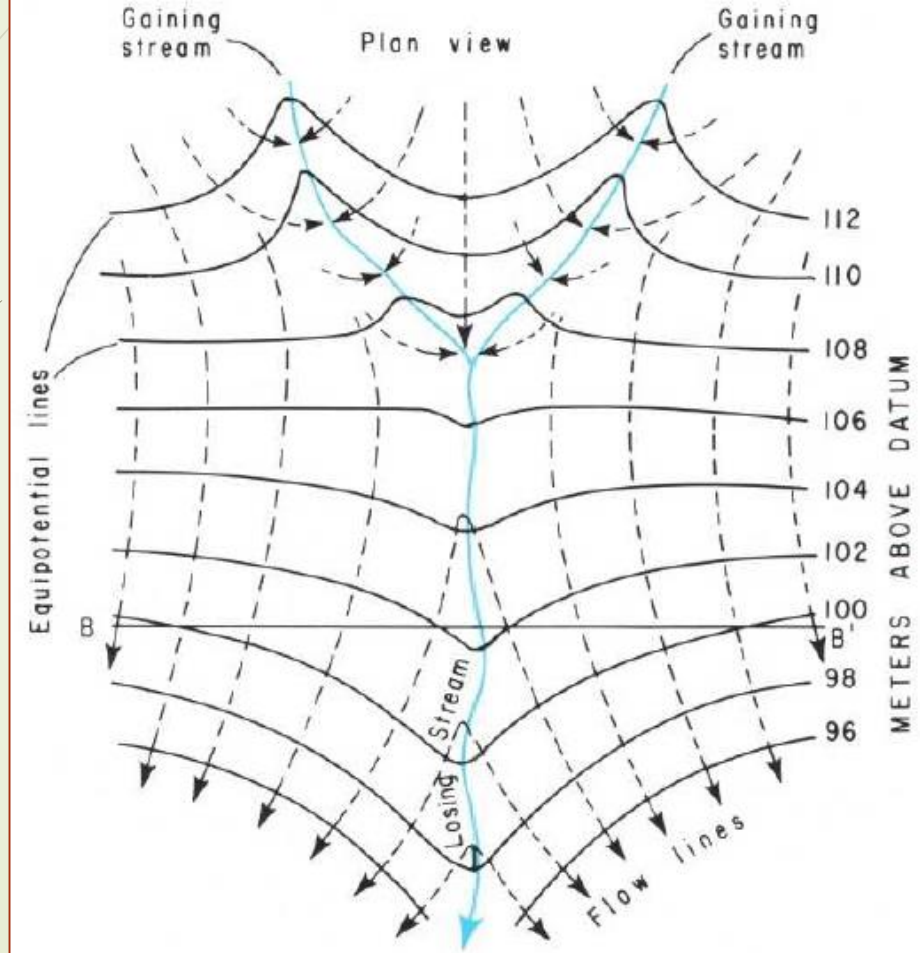
Kaynak  
boşalımı



Havza-Su bileşenleri

# Yüzey-yeraltısuyu ilişkisi-1

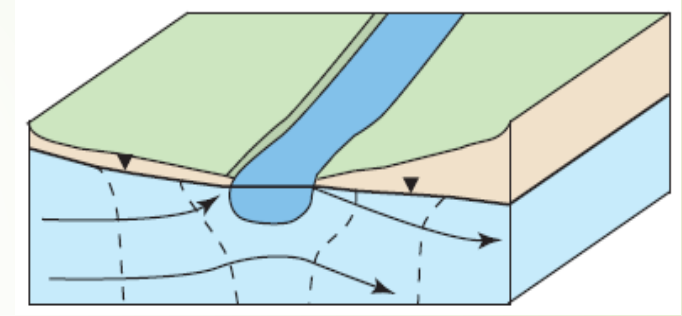
Akarsu yatağında hidrohipslerin durumu



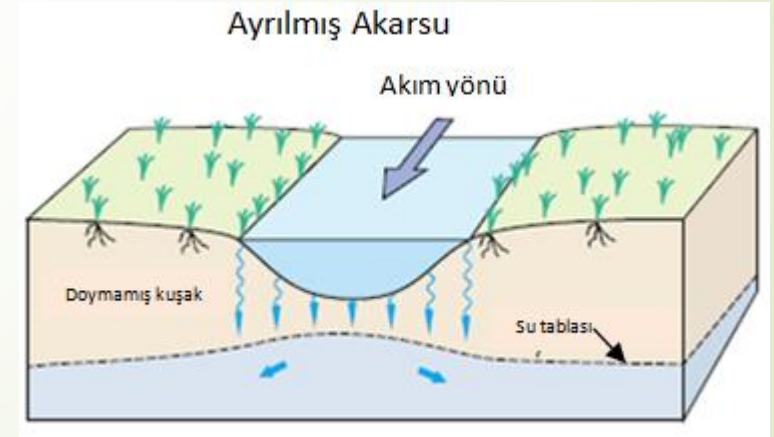
Hidrojeoloji kesiti

## Yüzey-Yeraltı suyu ilişkisi-2

Akarsu akiferden bir kıyıda beslenirken, diğer kıyıda akiferi beslemektedir.

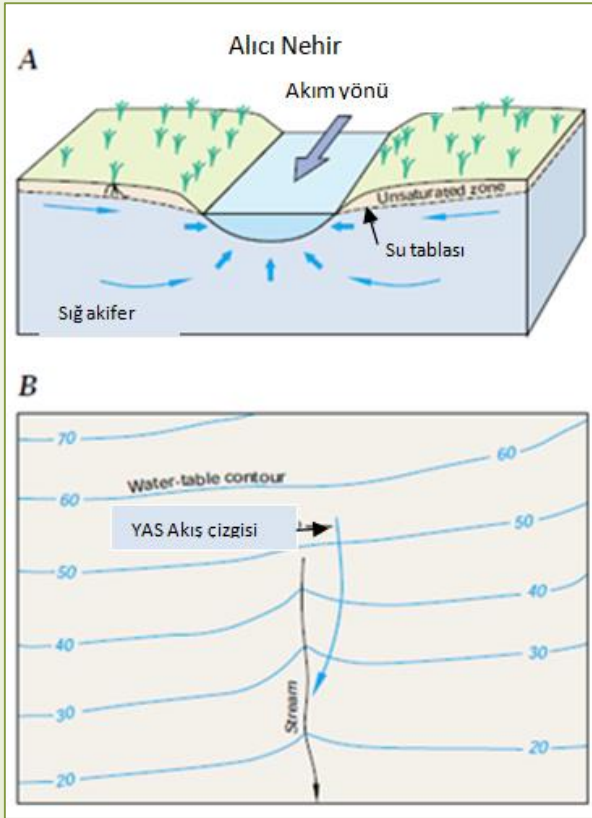


Akarsuyun akiferi beslemesi; su tablasının akarsuya ulaşmadığı durum

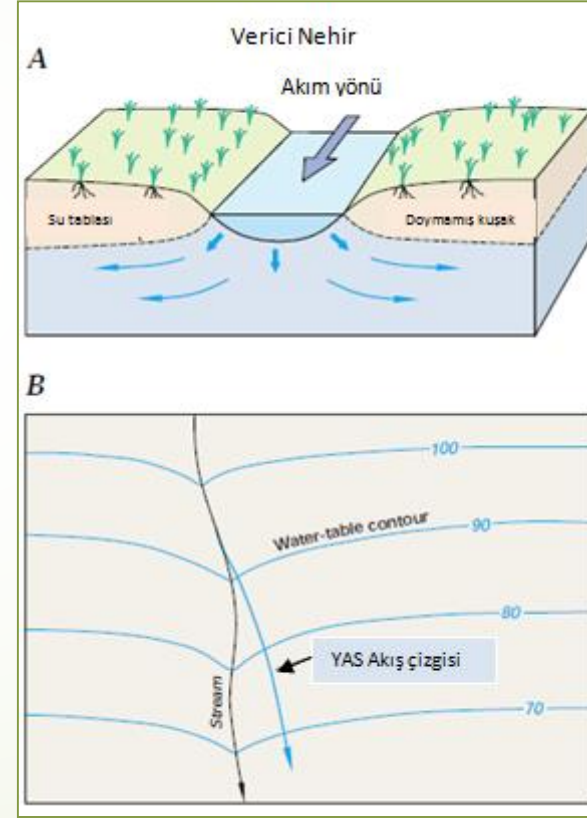


# YüzeY-Yeraltı Suyu İlişkisi-3

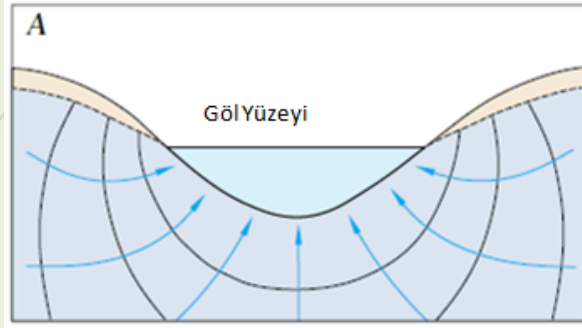
Akiferin akarsuyu beslediği durum. Hidrohipsler akarsu yatağında “ters V” yapmaktadır.



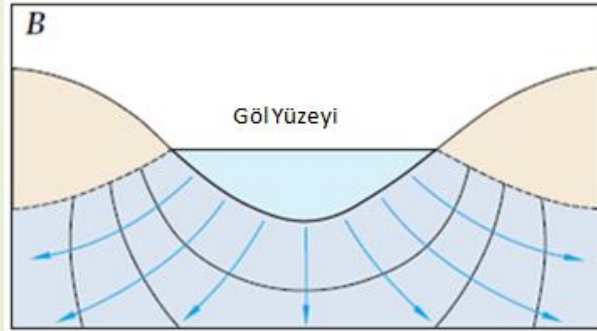
Akarsuyun akiferi beslediği durum. Hidrohipsler akarsu yatağında “V” kuralına uymaktadır.



# Göl-Yeraltı Suyu İlişkisi, Su Tablası Haritası-4

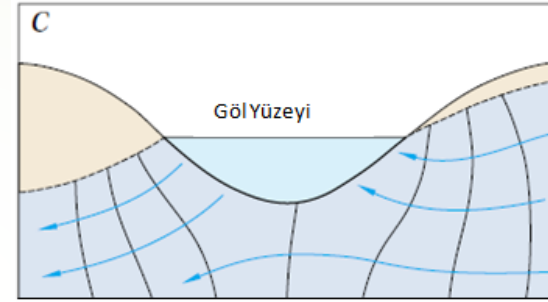
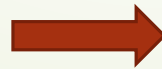


Akifer verici, göl alıcı



Akifer alıcı, göl verici

Göl dolayının su tablası haritası



Akifer bir yanda verici, diğer yanda alıcı

