



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

HİDROJEOLOJİ

2.Hafta

Hidrolojik Çevrim Bileşenleri
Buharlaştırma-Yağış

Prof.Dr.N.Nur ÖZYURT

nozyurt@hacettepe.edu.tr

Hidrolojik Çevrim

Katı, sıvı ve gaz hallerinden birinde bulunan su; güneş enerjisi ve yerçekim kuvveti etkileri ile atmosfer, litosfer ve hidrosfer arasında Hidrolojik Çevrim (Su Döngüsü) içinde sürekli dolaşır. Okyanuslardaki su, sıvı halden gaz haline geçerek atmosfere ulaşır ve tekrar yoğunlaşarak yeryüzüne döner.



<https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=4>

Soru: Böylesi sonsuz bir döngü varken neden/nasıl su kıtlığı yaşanıyor?

Hidrolojik Çevrim Bileşenleri

Sadeleştirdiğimizde hidrolojik çevrimin ana bileşenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- **Buharlaştırma-terleme**
- **Yağış**
- **Yüzeysel akış**
- **Yeraltına süzülme ve yeraltısuyu akışı**

Bu bileşenler, hidrojeoloji çalışmaları için olmazsa olmaz bilgilerin/verilerin özetidir.

Sırası ile bu hidrolojik çevrim bileşenlerini tanıyıp, nasıl ölçülüp-gözlendiklerini öğrendikten sonra bu verilerin hidrojeolojik uygulamalardaki kullanımı öğreneceğiz.

Buharlaşma ve Terleme (Transpirasyon)

Buharlaşma; sıvı yada katı fazda olan suyun su buharı haline dönüşerek atmosfere karışması sürecidir.

Terleme ise bitkilerin kökleri ile aldıkları suyu yaprakları ile atmosfere su buharı şeklinde bırakmalarıdır.

Buharlaşmayı Etkileyen Faktörler

- Solar radyasyon
- Buharlaşmanın meydana geldiğı yüzey ile onu üzerleyen hava arasındaki buhar basıncı farklılığı
- Sıcaklık
- Rüzgar hızı
- Atmosferik basınç
- Enlem
- Yükseklik
- Buharlaşma yüzeyinin tabiatı
- Buharlaşan suyunun kimyası

Terlemeyi Etkileyen Faktörler

- Bitki türü,
- Bitki yoğunluğu,
- toprak nemi ve çeşidi,
- mevsim,
- sıcaklık,
- ortalama yıllık yağış

Soru: Suyun kimyası buharlaşmayı ne yönde etkiler (Arttır yada azaltır) ve neden?

Buharlaşma miktarının ölçölmesi

Buharlaşma; birim zamanda birim yüzey alanından buharlaşan su miktarıdır.

Buharlaşma, genellikle tüm alandan birim zamanda buharlaşan suyun derinlik (buharlaşma yüksekliği) olarak tanımlanır.

Buharlaşma, uzunluk boyutunda ve genellikle mm biriminde ölçölür ve rapor edilir. Birim zaman genelde bir gündür.



Buharlaşma bu amaç için özel tasarlanmış «Tavalar» ile ölçölür

En yaygın kullanılan tava “**Class A**” tip tavadır ve tavalar metalden üretilir.

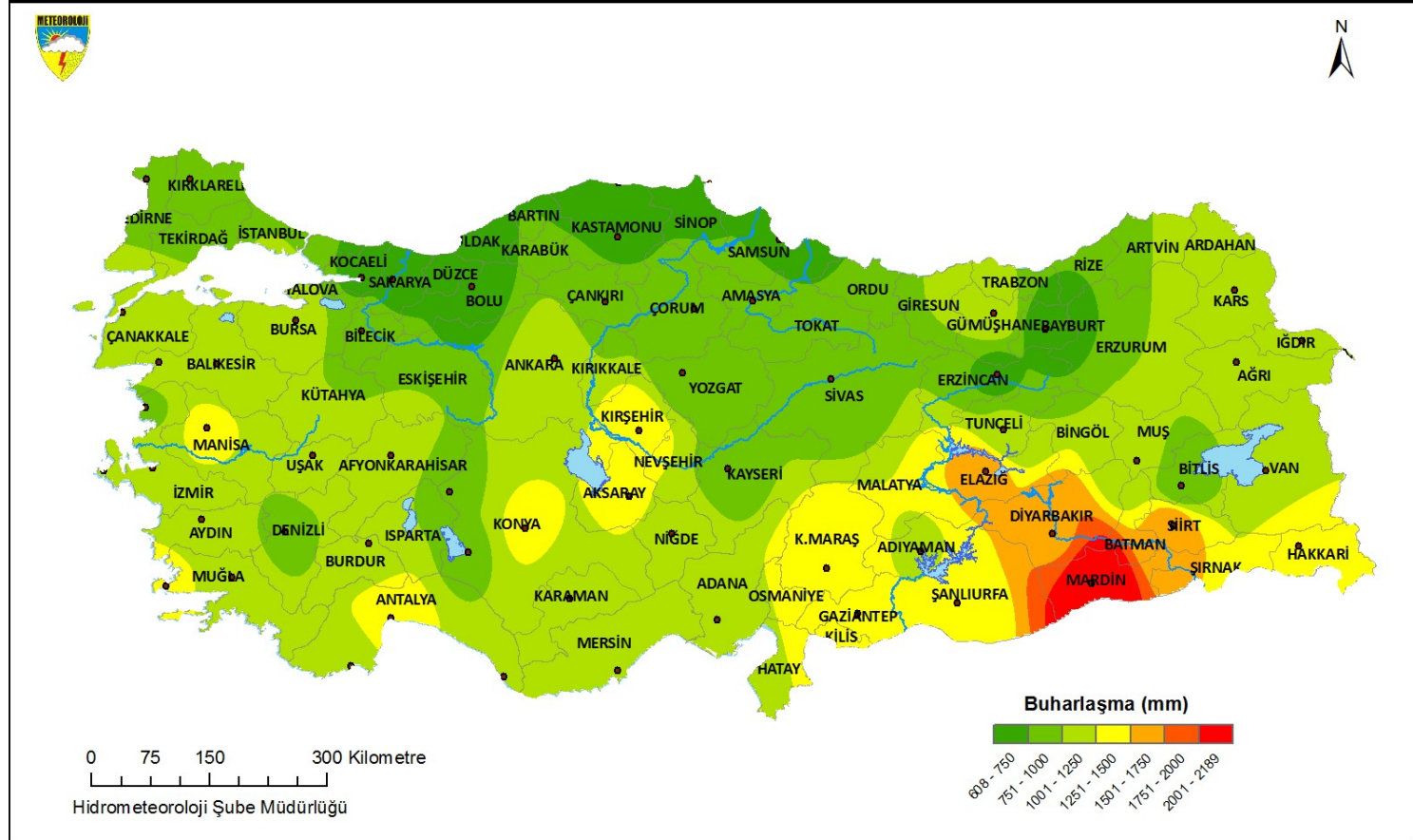
122 cm çapında 25.4 cm derinliğindeki tava zeminden 30 cm yukarı yerleştirilir.

Tava gözlemlerinden hesaplanan buharlaşma 0,70 ile çarpılarak doğal (örn. Göl) ortamlardaki açık yüzey buharlaşmasına dönüştürölür.

Soru: Tava buharlaşmasının doğal koşullar için düzeltilmesi neden önemlidir?

Türkiye’de buharlaşmanın alansal değişimi

MAYIS-EKİM AYLARI TOPLAM AÇIK YÜZEY BUHARLAŞMA NORMALLERİ (1981-2010)



Soru: Suyun açık yüzeylerden buharlaşmasının nasıl ölçüldüğünü öğrendik ama yer yüzeyi altında bulunan «yeraltısuyundan» buharlaşma gerçekleşir mi?

Dr. N. Nur ÖZYURT 2020-2021
Güz Dönemi #evdekal

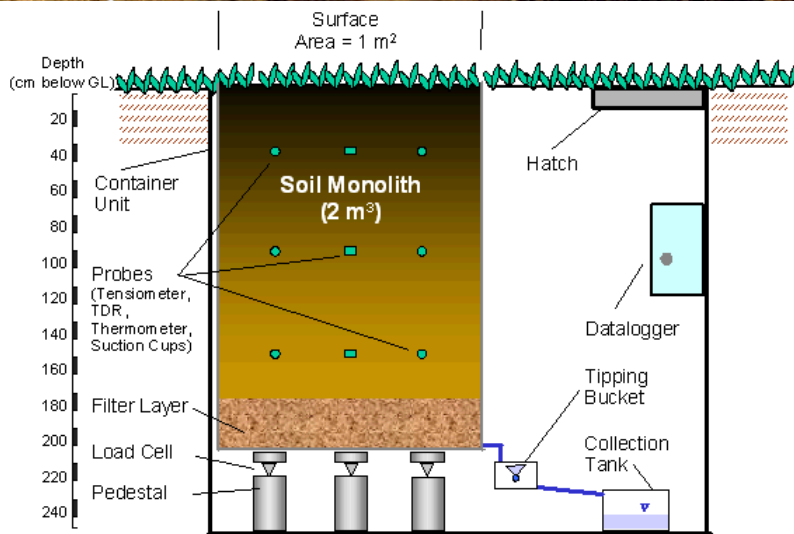
Terlemenin ölçülmesi



Terleme ölçümleri, **lizimetre** olarak adlandırılan bir düzenek ile gerçekleştirilir.

Lizimetre; su bütçesinin korunduğu (terleme dışında kayıp gerçekleşmeyen), üzeri çimen yada ekin ile kaplı, içi toprakla doldurulmuş ve yeraltına gömülmüş silindirik tanklardan oluşur. Tankların sürekli tartılması sonucunda kayıp terleme olarak rapor edilir.

Özel düzenek gereksinimi ve alansal temsil ediciliğinin tartışmalı olması nedeni özel durumlar dışında sürekli terleme gözlemi/ölçümü yapılmaz.



Buharlaşma-Terleme (Evapo-Transpirasyon)

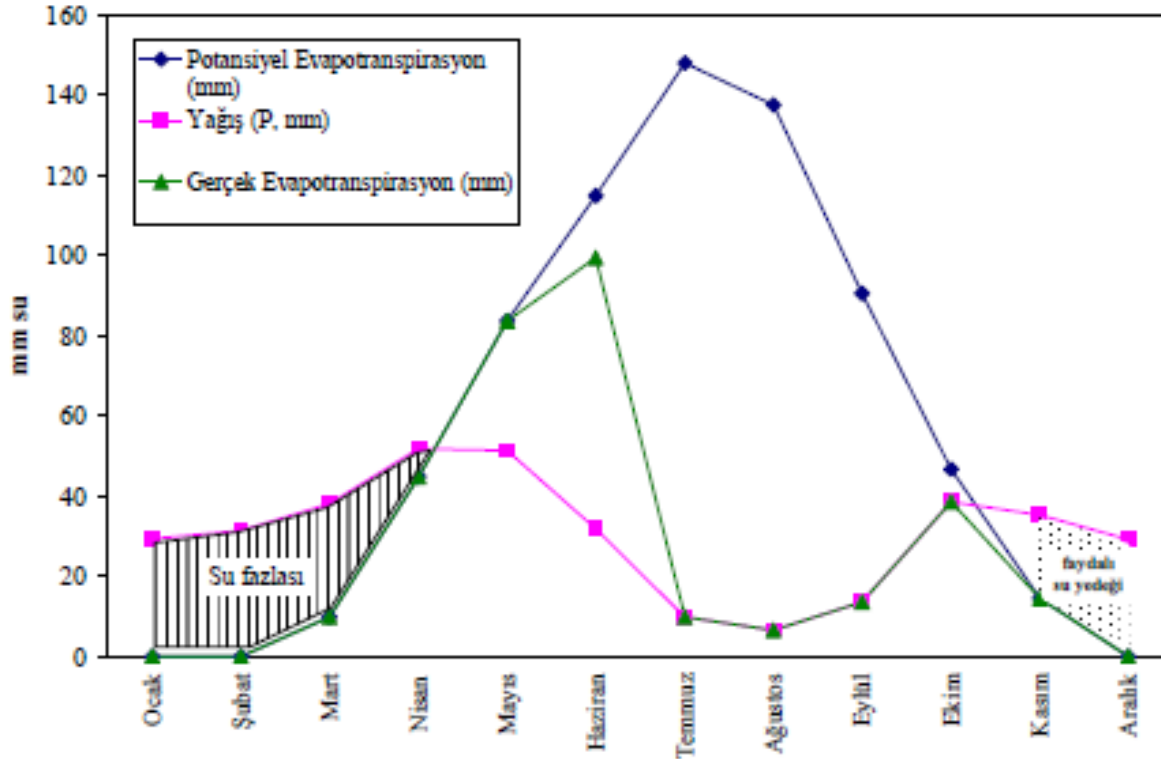
Bu durumda uygulamada; hidrojik bütçe bileşeni olarak buharlaşma-terlemenin toplam olarak öngörölmesi gerekmektedir.

Buharlaşma-terleme; ölçölmez sürece etkiyen parametreleri (sıcaklık, güneşlenme süresi vb) içeren analitik eşitlikler ile hesaplanır.

Potansiyel Buharlaşma-terleme; ET_p
Gerçek Buharlaşma-terleme; ET_a

Potansiyel Buharlaşma-terleme (Etp): buharlaşmayı etkileyecek faktörler/koşullar altında gerçekleşebilecek en büyük buharlaşma miktarını tanımlar.

Gerçek Buharlaşma-terleme (Eta): Herhangi bir ortamda potansiyel buharlaşma kadar su kaybının gerçekleşmesi Etp karşılığı su bulunmasına bağlıdır. Bu durumda yeteri kadar su bulunmadığında Eta kadar buharlaşma olur.



Buharlaşma-Terlemenin Hesaplanması

Buharlaşma-Terleme hesaplaması için farklı zaman adımları için geliştirilmiş aşağıdaki yöntemler kullanılır;

- Penman yöntemi:** günlük ETp ve Ea
- Thorthwaite yöntemi:** aylık ETp
- Turc yöntemi:** yıllık Eta

Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına; yapılan hidrolojik/hidrojeolojik değerlendirmedeki beklenti ve eldeki veri olanaklarına göre kararverilir.

Zaman çözünürlüğü arttıkça yöntemin veri gereksinimi artmaktadır.

Penman Yöntemi

günlük ETp ve Ea

$$ET = \frac{\Delta * H + 0,27 * E}{\Delta + 0,27}$$

ET - Günlük potansiyel buharlaşma değeri (mm su gün-1)

Δ - Mutlak sıcaklıktaki havanın doymuş su buharı basıncı grafiğinin eğimi (mmHg/°F)

E- günlük buharlaşma (mm)

H - Buharlaşma yüzeyinde kullanılan güneş enerjisi miktarı (mm su gün-1)

Thornthwaite Yöntemi

aylık ETp

Thornthwaite yöntemi ile yalnızca meteorolojik koşullara bağlı olarak potansiyel evapotranspirasyon (ETp) hesaplamaktadır.

Bu yöntemde hesaplamaya katılan iki ana faktör aylık ortalama hava sıcaklığı ve gün ışığı süresidir.

Potansiyel evapotranspirasyon aylık düzeyde aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$ETp_m = 16N_m \left(\frac{10\bar{T}_m}{I} \right)^a$$

m: ayları (1, 2, 3...12),

Nm: gün ışığı saati ile ilişkili aylık enlem düzeltme katsayısını,

Tm: aylık ortalama hava sıcaklığını (°C),

I: yıllık ısı indeksi,

A: sabit katsayı

$$I = \sum i_m = \sum \left(\frac{\bar{T}_m}{5} \right)^{1.5}$$

$$a = 6.7 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.7 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.49$$

Turc Yöntemi

yıllık ETa

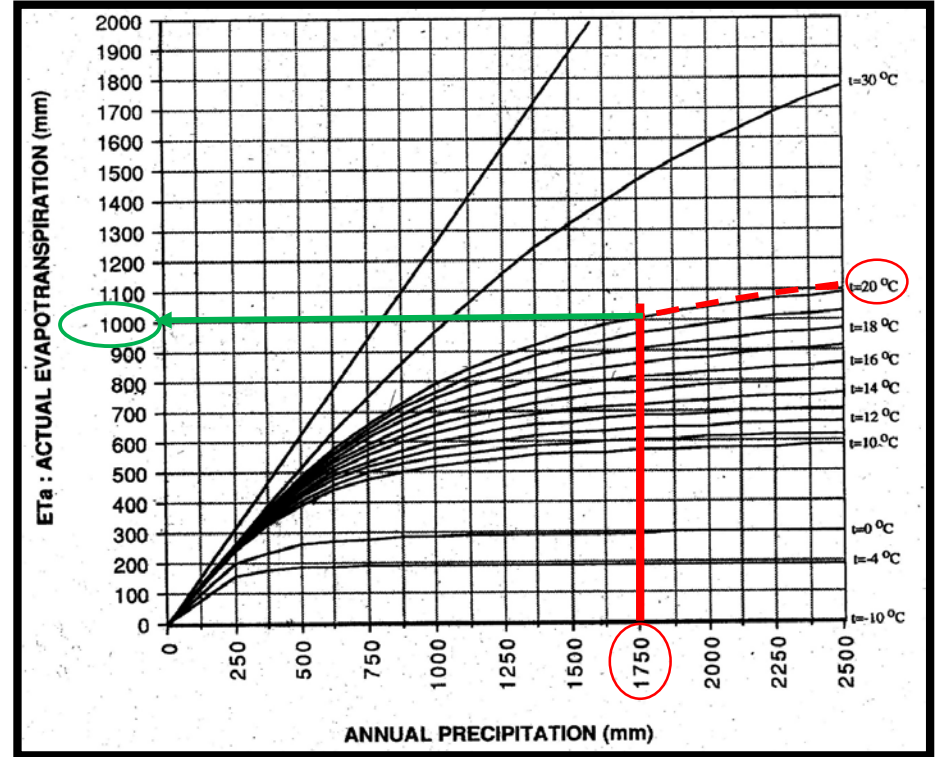
$$ETa = \left(\frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \right)$$

ETa: Gerçek Buharlaşma-
Terleme

P: Yıllık ortalama yağış (mm)

T: Yıllık ortalama sıcaklık (°C)

L: $300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$



Yaygın olarak ölçümü yapılan hava sıcaklığı ve yağış yüksekliği gözlemlerine dayandığı için hidrojeolojik değerlendirmelerde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Hesaplama eşit kullanılarak yada grafik üzerinden (ort. Sıcaklık eğrisi ile ort. Yağış eksenini karşılaştırarak) okunarak yapılır.

Örnek: 1750 mm yıllık ortalama yağış alan bir bölgede yıllık ortalama hava sıcaklığı 20°C ise gerçek buharlaşma terlemeyi bulunuz? *Grafik üzerinden ETa 1000 mm olarak belirleniyor, eşitliği kullanarak hesaplamayı deneyiniz!!!*

Yağış

Yağış, atmosferdeki su buharının katı (kar, dolu) veya sıvı (yağmur, çığ) halde yeryüzüne düşmesidir.

Yağışın türü ve miktarı; rüzgâr hızı, sıcaklık ve atmosfer basıncı gibi iklimsel faktöre bağlıdır. Yağış temel olarak aşağıdaki süreçler ile oluşur;

Yükselim (Konveksiyonel) Yağışlar; ısınarak yükselen havanın soğuyarak yoğunlaşmasıyla oluşur.

Yamaç (Orografik) Yağışlar; bir yamaç boyunca yükselen nemli hava kütlelerinin soğumasıyla oluşan yağışlardır. Daha çok denize dönük yamaçlarda görülürler. Ülkemizde özellikle Akdeniz kıyı şeridinde sıklıkla gerçekleşir.

Cephesel (Frontal) Yağışlar; sıcak ve soğuk karakterli hava kütlelerinin karşılaştıkları bölgede gerçekleşen gelen yağışlardır.



Yağış miktarının ölçülmesi_Yağmur

Yağış miktarı birim alana düşen yağış yüksekliği (mm) veya ağırlığı olarak (kg/m^2) olarak ifade edilir.

Suyun yoğunluğunun 1000 kg/m^3 olarak kabul edilmesi halinde her iki birim de birbirine eşittir.

Yağış miktarı ölçümü **Plüviyometre** ile yapılır.

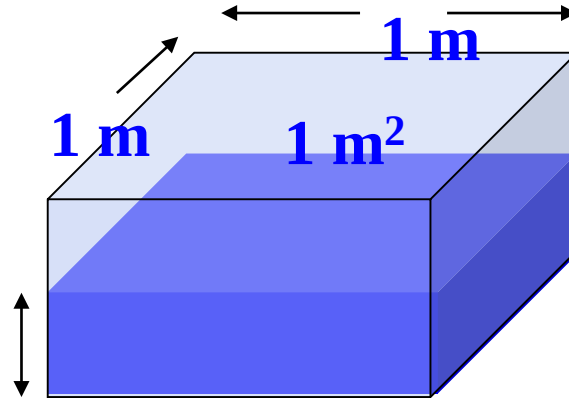
$$V = 1 \times 1 \times 0.02$$

$$V = 0.02 \text{ m}^3$$

$$V = 20 \text{ litre}$$

$$20 \text{ L/m}^2$$

$$20 \text{ kg/m}^2$$



$$20 \text{ mm} = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$$



Soru: Plüviyometre ile 1 günde 50 mm yağış yüksekliği ölçümü rapor edilmiş ise 25 km^2 lik drenaj alanına düşen günlük yağışı hesaplayınız.

Yağış miktarının ölçülmesi_Kar

Kar yağışı alan coğrafyalarda yağmurun yanısıra kar gözlemesi yapılması oldukça önemlidir.

Kar yağışının ölçülmesi

← plüviometre

Kar örtüsü kalınlığının
ölçülmesi →

Ölçülen kar örtüsü
kalınlığının kar birikintisinin
yoğunluğuna bağlı olarak
kar su eşdeğerine
dönüştürülmesi gerekir.



Kar Su Eşdeğeri = $h * \text{kar örtüsü yoğunluğu}$

Kar örtüsü yoğunluğu %10 (sıkışmamış toz kar örtüsü) ile %60 (sıkışmış neredese buz formunda kar örtüsü) arasında değişen değerlerde olabilir.

Örnek: 150 cm kar örtüsü kalınlığının yoğunluğu %30 olarak öngörülmüş ise bu kar örtüsü için kar su eşdeğeri nedir?

Yağış şiddeti

Birim zamanda belirli bir bölgeye düşen yağış miktarı yağış şiddeti olarak adlandırılır.

düşük şiddetli yağış: 2.5 mm/h

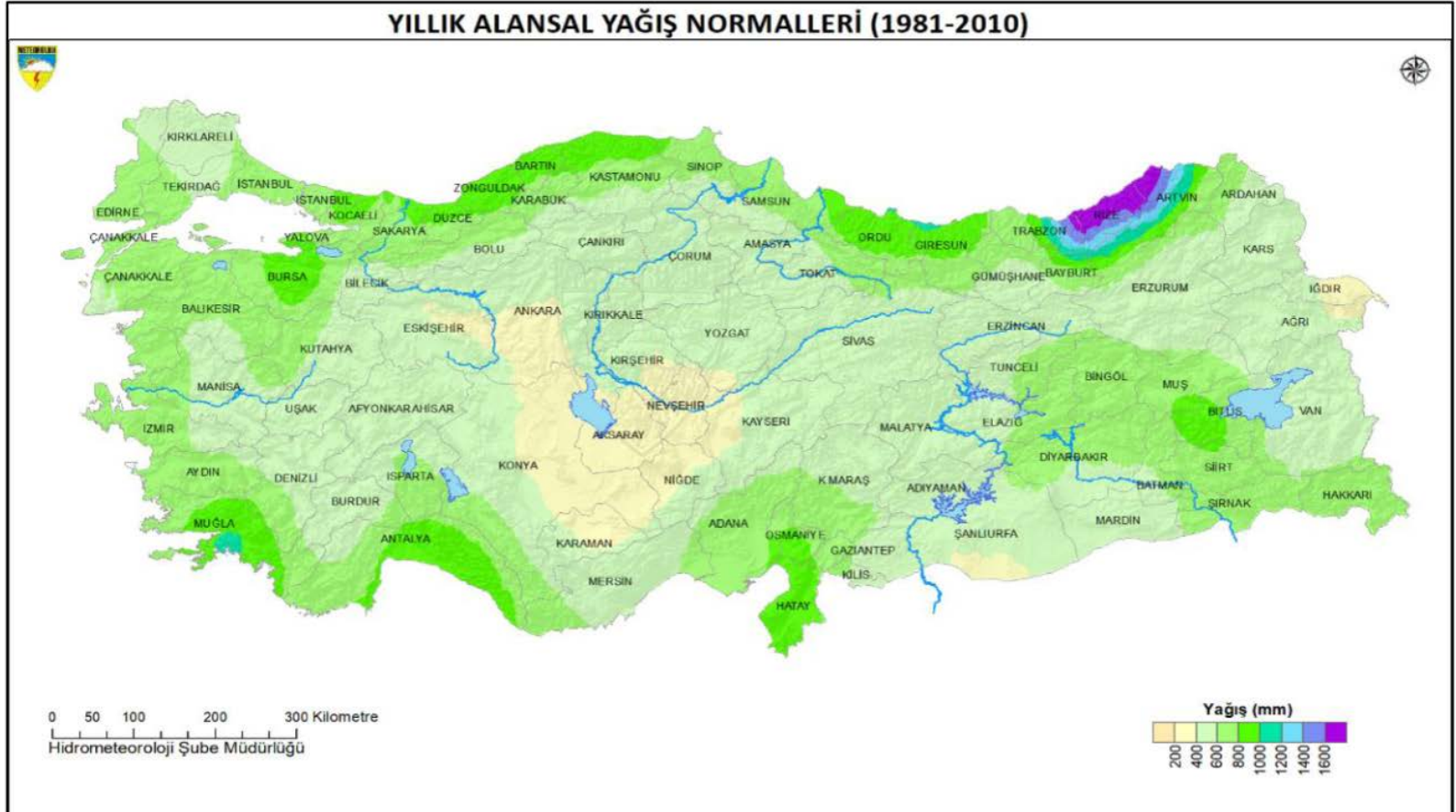
orta şiddetli yağış: 2.5-7.6 mm/h

yüksek şiddetli yağış_saganak:7.6 mm/h

Şiddetli yağış olayları sonucunda can ve mal kaybı ile sonuçlanan taşkınlar ve heyelanlar oluşmaktadır.

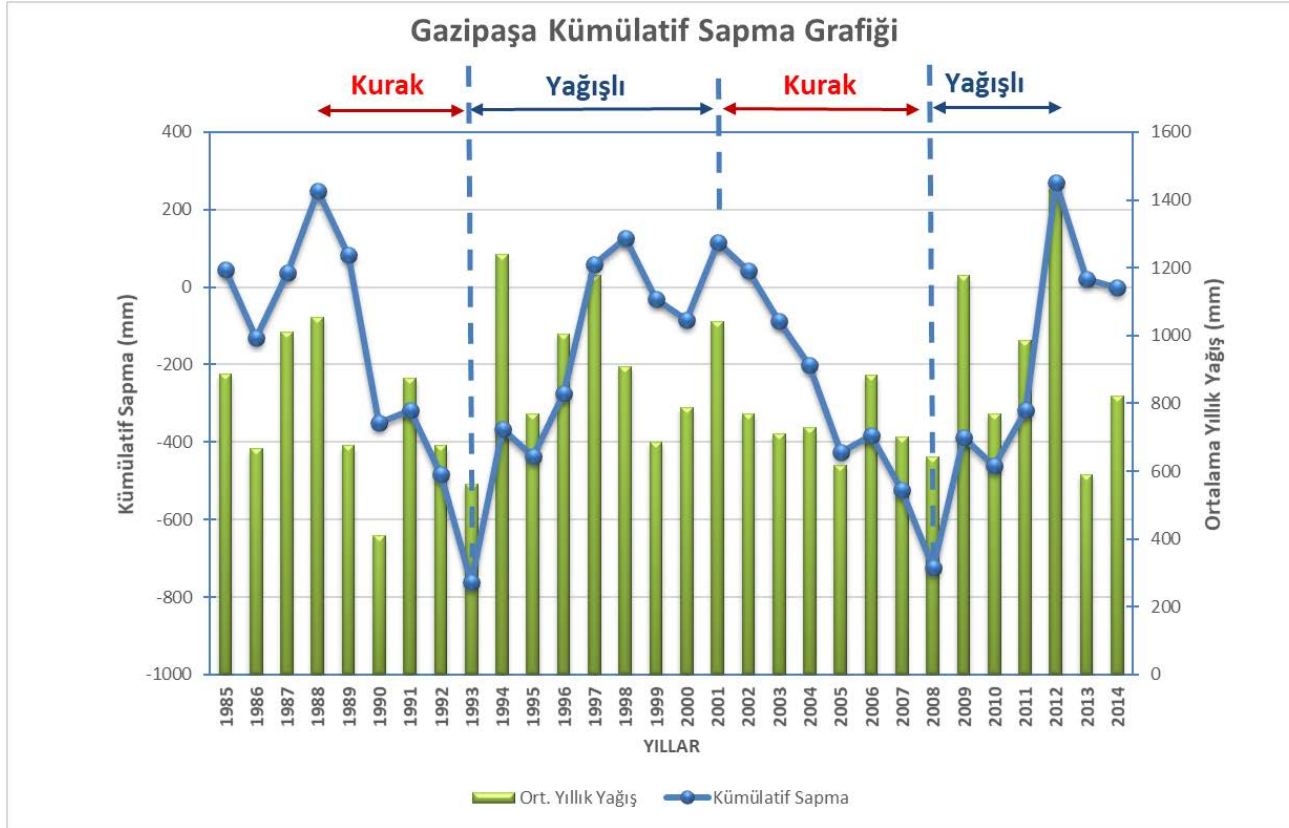
Yağış miktarı, alansal ve zamansal (mevsimsel) olarak değişmektedir!!

Türkiye’de yıllık yağışın alansal değişimi



Yağış miktarının zamanla değişimi

Trend analizleri_Kümülatif Sapma



Hidrolojik çevrim bileşenlerinin zaman içindeki değişimleri tatlı-su kütlelerinin (göl, yeraltısuyu) hacmindeki değişimlerin izlenmesi değerlendirilmesi açısından önemlidir. Küresel iklim değişikliklerinin tartışıldığı günümüzde bu değerlendirmeler giderek ön plana çıkmaktadır.

Hidrolojik çevrim bileşenlerinin alansal değişimi

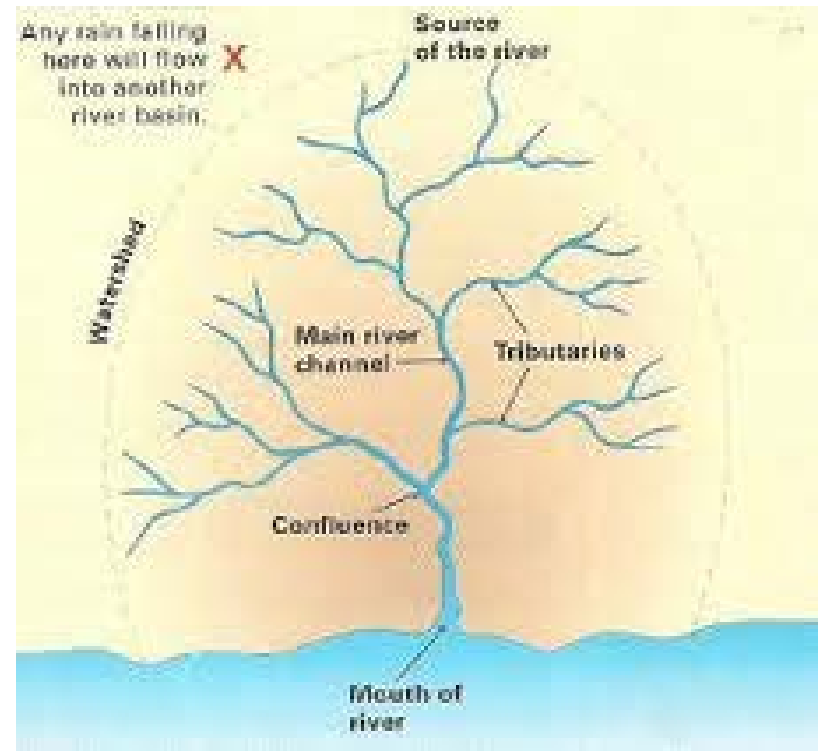
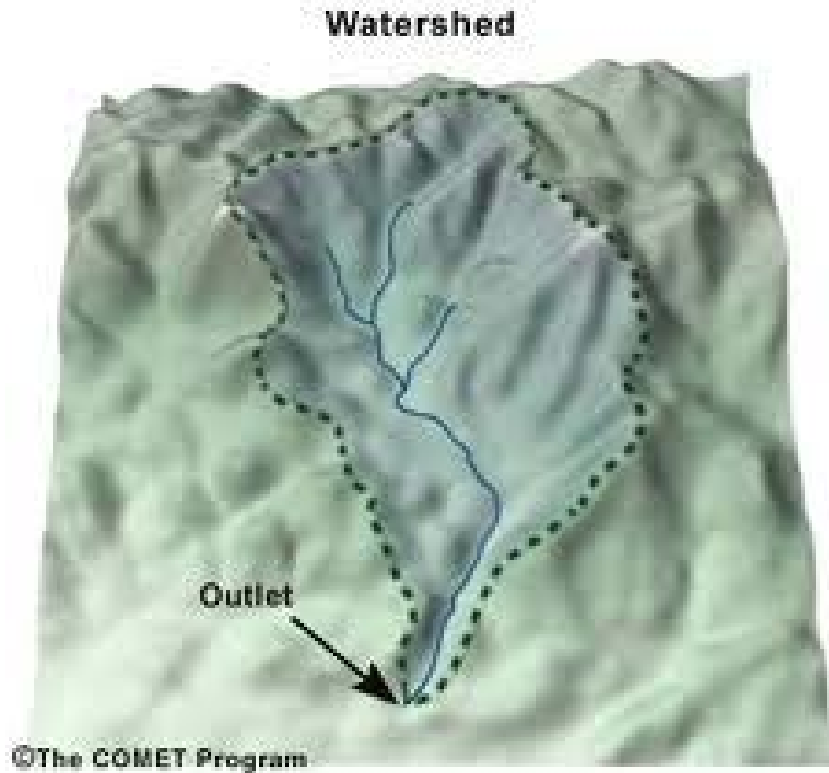
Hidrolojik çevrim bileşenleri (yağış, buharlaşma) alansal olarak farklılık gösterirler.

Diğer bir deyişle; herhangi bir anda ilgilenilen alanın (drenaj alanı) belli bölgelerinde yağış olayı gerçekleşirken bazı bölgeler yağış alamaz yada çok daha az/fazla yağış alabilir.

Su kaynakları ile ilgili çalışmalarda çalışma alanı sınırı genellikle «**drenaj alanı**» olarak seçilir ve «**hidrolojik/hidrojeolojik sistem**» olarak adlandırılır.

Drenaj Alanı

- Drenaj Alanı
- Su Toplama Havzası



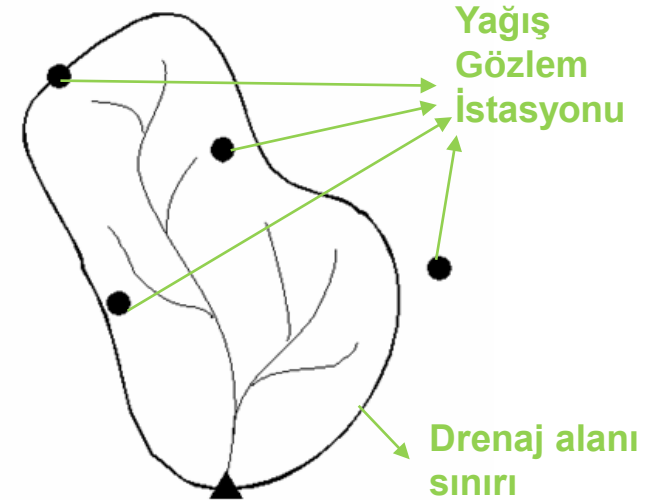
<http://techalive.mtu.edu/meec/demo/Watershed.html>

Alansal Yağışın Belirlenmesi

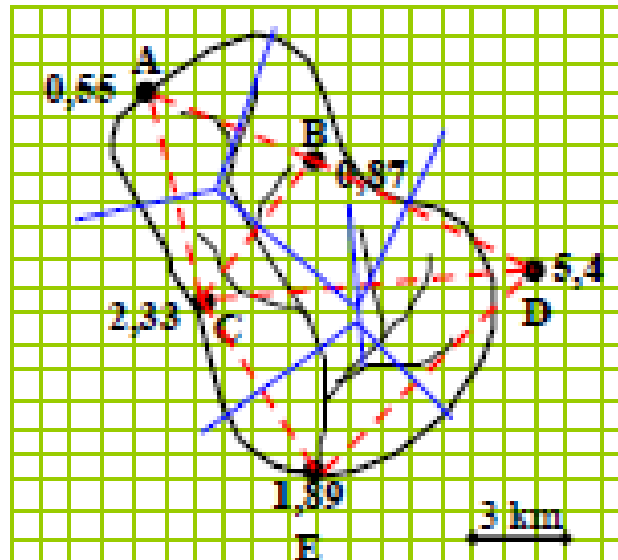
Noktasal yağış gözlemlerinin drenaj alanı için temsil edici tek bir yağış miktarı olarak tanımlanması için aşağıdaki yöntemlerden yararlanılır.

- Aritmetik ortalama
- Eş yağış eğrisi
- Thiessen poligon

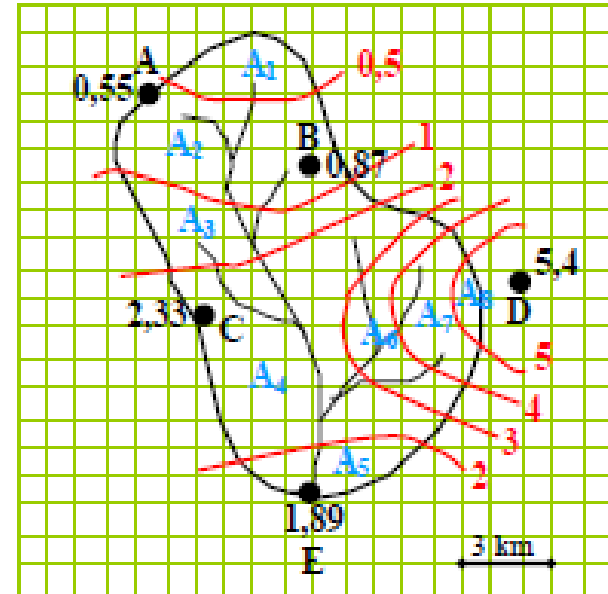
Yöntemlerin uygulanmasında drenaj alanı içi ve dışındaki yağış gözlem istasyonlarının verileri kullanılır.



Thiessen poligon



Eş yağış eğrisi



Alansal yağış gözlemi

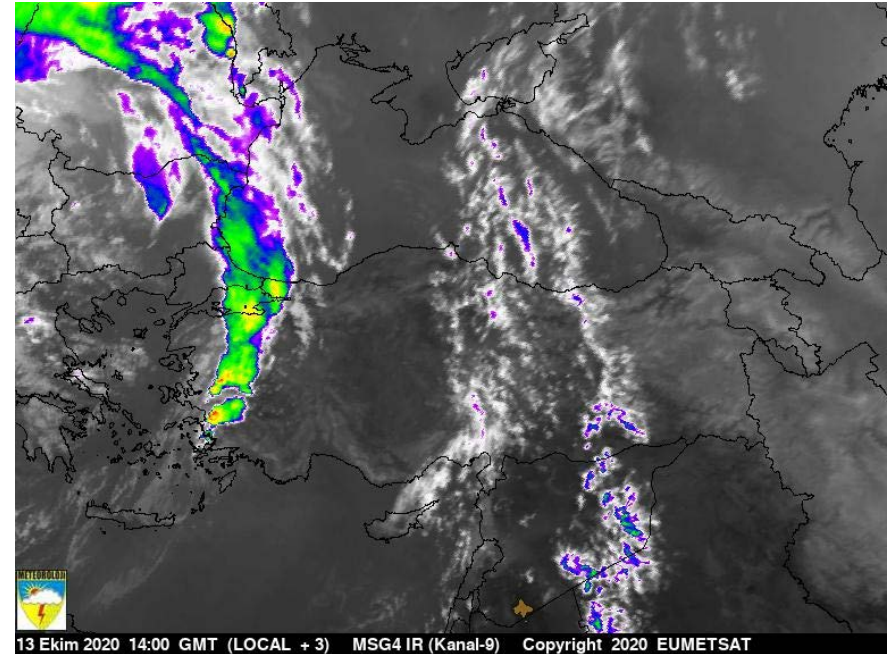
Günümüzde hidrolojik çevrim bileşenlerinin alansal görüntü ve sinyaller kullanılarak anlık ve alansal olarak gözenmesi mümkündür. Bu amaçla kullanılan veriler;

- Hava radarları
- Uydu görüntülerinden elde edilebilmektedir.

13 Ekim 2020 günü için
Radar verisi



13 Ekim 2020 günü için
Uydu görüntüsü (EUMETSAT)



<https://www.mgm.gov.tr/sondurum/radar.aspx>

<https://www.mgm.gov.tr/sondurum/uydu.aspx?uB=tr&uT=e&uG=p#sfB>

Hidrolojik Sistem ve Bütçe

Hidrolojik sistem, drenaj alanı ile sınırlanan su girişi, sistem içinde su kayıpları/tüketimi olan ve çıkışı olan bir sistemdir.

Bu sistem drenaj alanı, göl yada sınırları tanımlanmış yeraltusuyu depolama alanı (akifer) olabilir.

Bu sistemler, için “kütlenin korunumu yasası” geçerlidir. Diğer bir deyişle giren su çıkan suya eşittir, ancak depolamadaki su hacmi değişir.

$$\text{Giren Su} = \text{Çıkan Su} \pm \text{Depolamadaki Değişim}$$

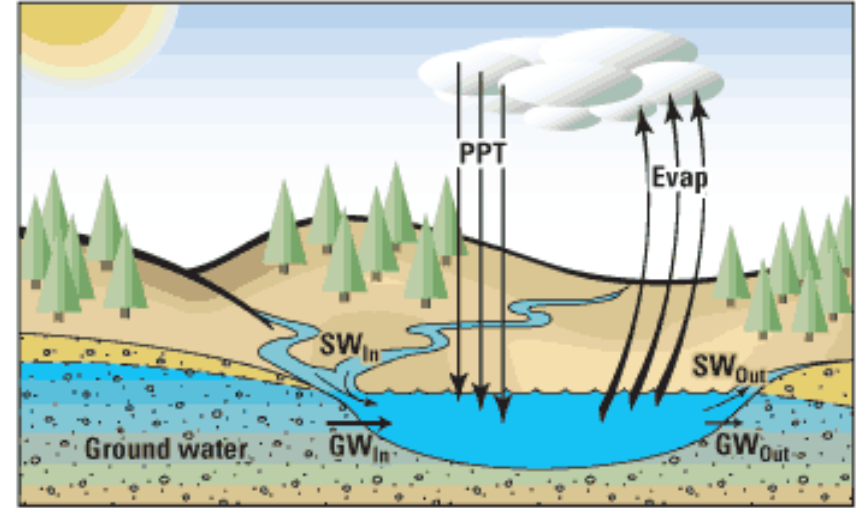
Örnek:

Göl için tanımlanan bir hidrolojik sistemde bütçe bileşenleri

**Giren Su = Yağış, Yüzey suyu katılımı,
Yeraltısuyu katılımı**

**Çıkan akış = Buharlaşma, Yüzey suyu,
Yeraltısuyu**

Giren ve çıkan su hacmi göl yüzey alanı ve su derinliğinde değişime neden olur.



Yüzeysel Akış

