

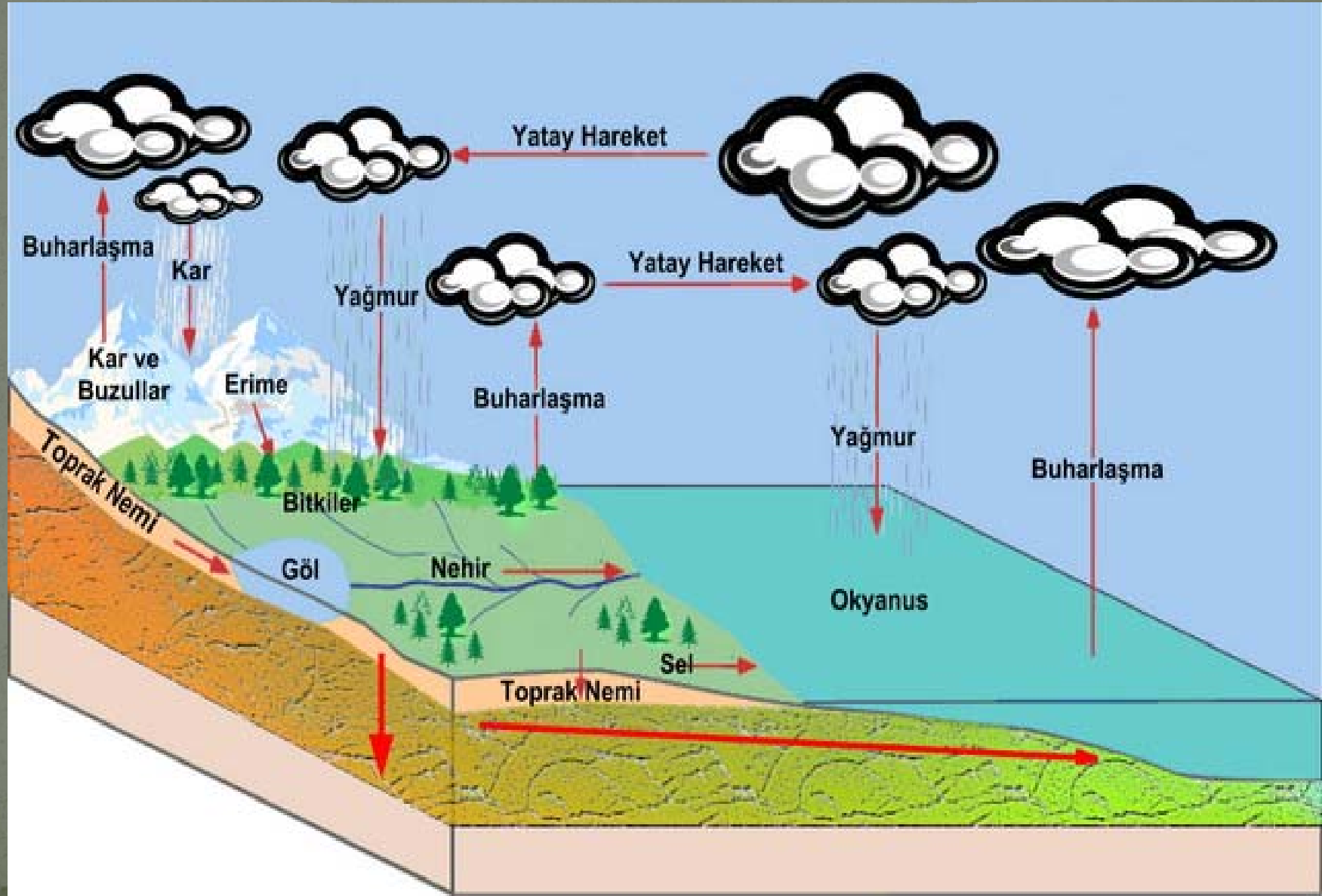
HAVZA SÜREÇLERİ

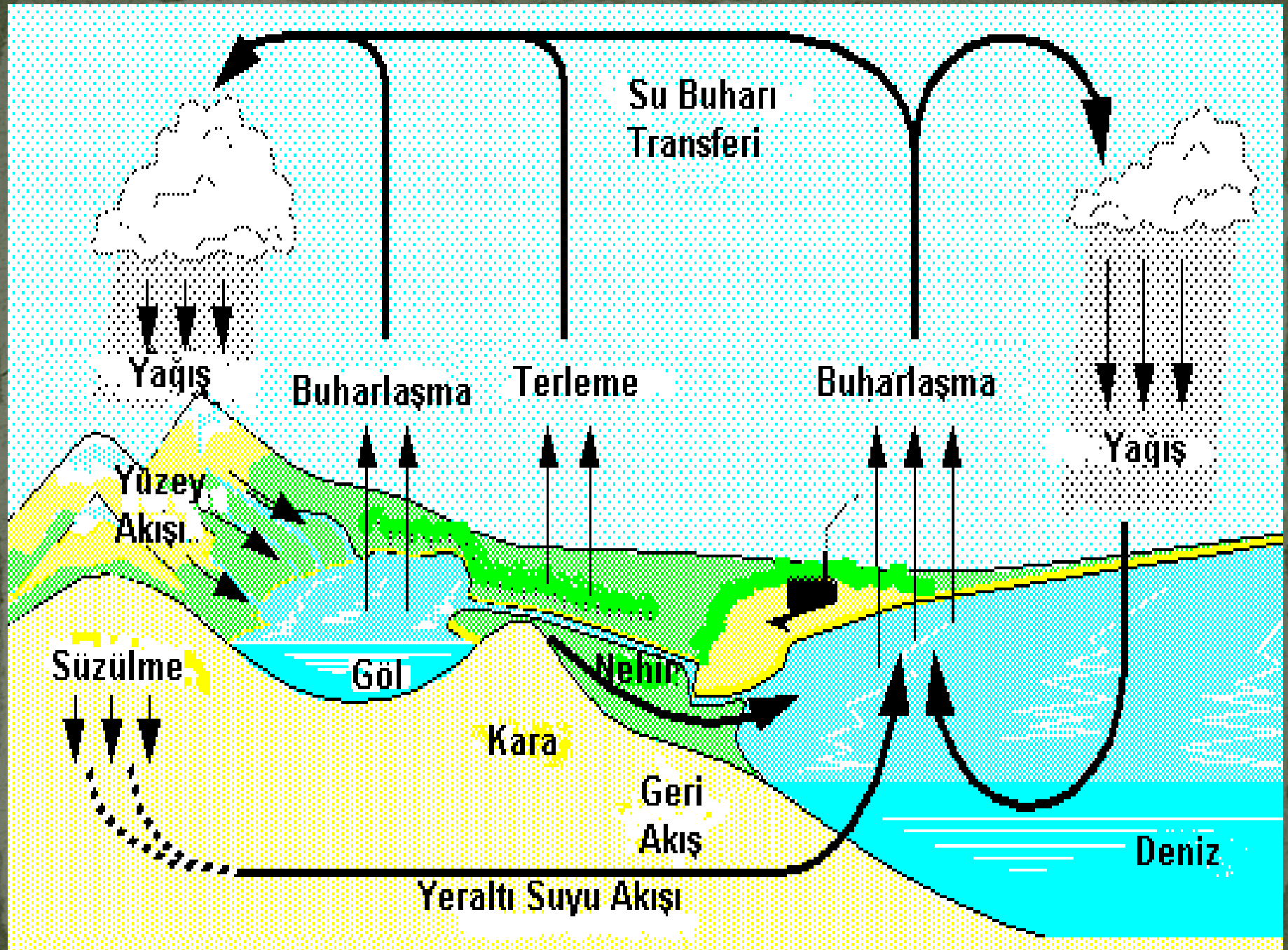
HİDROLOJİK DÖNGÜ (Su Döngüsü)

- Yer kürenin atmosfer, kara ve su olmak üzere üç ayrı bölümünde su, gaz durumdan sıvı veya katı duruma ya da katı veya sıvı durumdan gaz durumuna dönüşerek yer değiştirir ve sonunda başlangıç durumunu alır.
- Atmosferde bulunan su buharı, gerekli koşullar oluştuğunda yoğunlaşır ve bir bölümü yağışa dönüşür. Bu yağışın az da olsa bir bölümü daha yer yüzüne ulaşmadan atmosferde buharlaşır ve geri döner. Yağışın bir bölümü de bitkilerin yaprak, dal ve gövdeleri gibi toprak üstü kısımları tarafından tutularak yer yüzeyine ulaşmadan buharlaşıp atmosfere döner.

- **Yer yüzeyine ulaşan yağış**, yer yüzeyi koşullarına göre farklı miktarlarda farklı yönlerle kanalize olur. Örneğin yer yüzeyinde ölü örtü denilen bitki artıkları varsa bir bölümü burada depolanır ve daha sonra buharlaşmaya uğrar.
- Bir bölümü alt toprak katmanına sızar ve bir bölümü de yağışın şiddet ve miktarına bağlı olarak yüzeysel akışı geçerek yüzeydeki çukurluklarda depolanır, derelere ve nehirlerle ve oradan da göllere ve denizlere ulaşır. Bu sularda buharlaşma yoluyla atmosfere geri döner.

Hidrolojik Döngü





- Toprak yüzeyinden içeri giren suyun bir bölümü toprak nemine bağlı olarak toprak tarafından depolanır.
- Bir bölümü toprak içerisinden sızarak yüzey altı akışı halinde şevlerden, kaynaklardan veya yamaçlardan yüzeye çıkarak yüzeysel akışa dönüşür.
- Bir bölümü de yer çekimi nedeniyle taban suyuna katılır ve buradan da nehir, deniz ve göllere ulaşarak buharlaşmaya uğrar ve atmosfere geri döner.

- Toprakta depolanan suyun bir bölümü bitkiler tarafından kökleri yoluyla alınır. Bu suyun çok az bir bölümü doku yapımında kullanılır, büyük bir bölümü de **Transpirasyon (terleme)** yoluyla buhar halinde atmosfere geri döner.
- Toprakta depolanan suyun bir bölümü ise **kapilar yükselme** ile yüzeye doğru hareket eder ve buradan buharlaşıp atmosfere geri döner.

- Su döngüsünün ögeleri bir havzada belirlenebildiği takdirde su üretimi, su koruması, toprak koruması gibi hidrolojik ve arazi kullanımı sorunlarının çözüm imkanları elde edilir.

- Su döngüsünde başlıca ögeler olarak sayılabilecek; yağış, intersepsiyon, transpirasyon, toprak ve su yüzeyinden buharlaşma, infiltrasyon, toprak ve su depolaması, yüzeysel akış ve dere akışı, taban suyu gibi gibi olgular birer havza süreci olarak ele alınarak dersimiz kapsamında detaylandırılacaktır.

Havzaya Düşen Ortalama Yağışın Hesabı

- Yağışlar noktasal olarak ölçülür. Ancak bir havza üzerine düşen yağış miktarı, bir noktadan diğer noktaya değişiklikler gösterdiğinden, o havza ile ilgili hidrolojik değerlendirmelerde ortalama veriler kullanılır.
- Yani, havzada ve yakında bulunan farklı yağış ölçerlerin değerlerinden yararlanarak ortalama bir değer esas alınır.
- Bu ortalamanın hesabında uygulanan yöntemlerin başlıcaları ; Aritmetik Ortalama, Eş Yükselti Eğrileri ve Thiessen Poligon yöntemleridir.

Yağış Havzasında Ortalama Yağış Hesabı Yöntemleri

Aritmetik Ortalama
Yöntemi

Eş Yağış Eğrileri Yöntemi

Thiessen Poligon Yöntemi

Aritmetik Ortalama Yöntem

- Farklı meteoroloji istasyonundaki yağış ölçerlere ait yağış değerleri (günlük, aylık ve yıllık) toplanır ve yağış ölçer sayısına bölünür. Bulunan değer havzanın ortalama yağış değeridir.

$$X_{\text{ort}} = \sum P / n$$

- $P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum P$
- $N = \text{Toplam yağış ölçer sayısı}$

Eş Yağış Eğrileri Yöntemi

- Eşit yağış düşen noktaların birleştirilmesiyle elde edilen eğrilere “Eş Yağış Eğrileri” denir. Birbirini izleyen eş yağış eğrileri arasındaki alanlara düşen yağışların ağırlıklı ortalaması, şu eşitlikle hesaplanır.

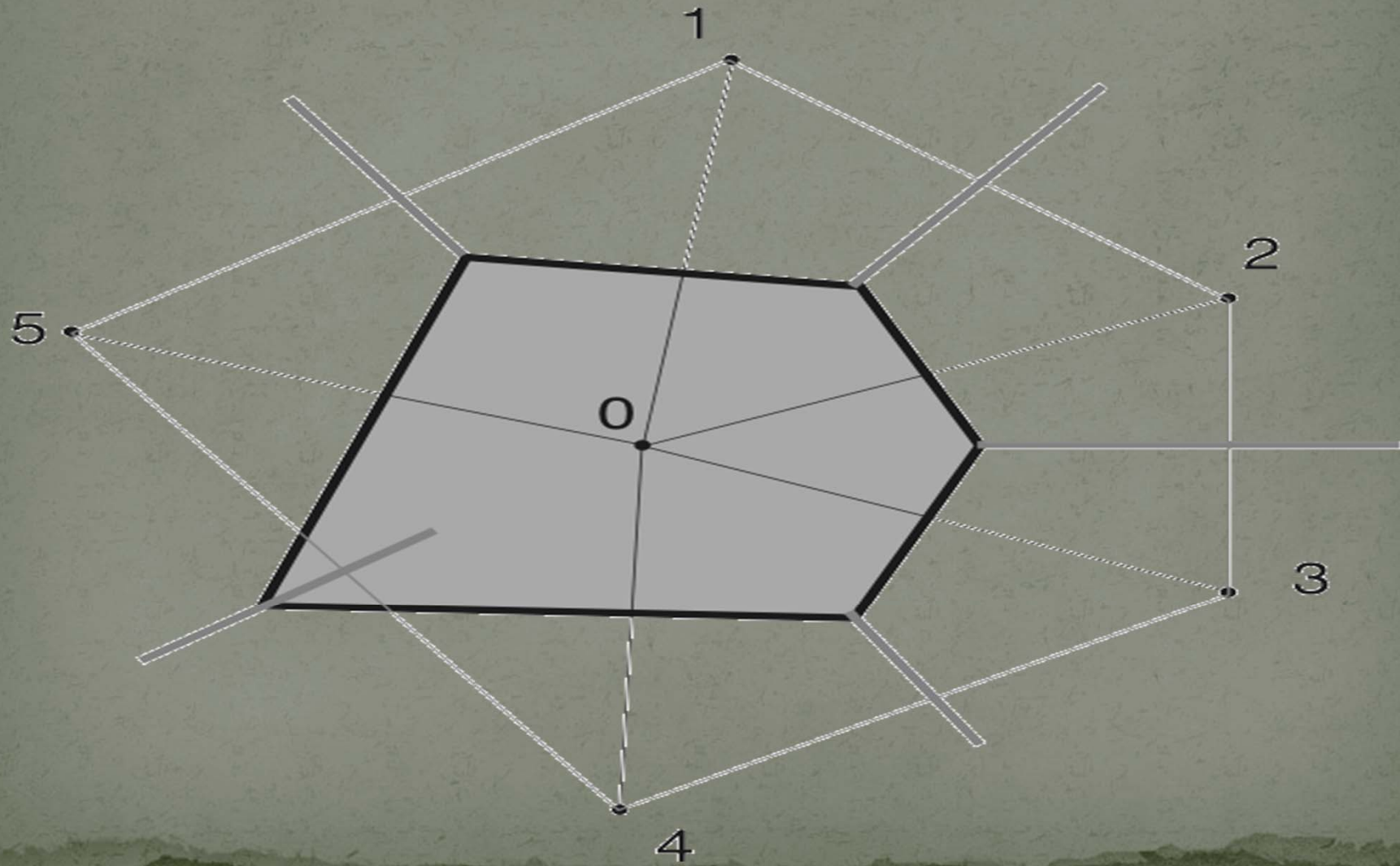
$$P_{\text{ort}} = (A_1/A \times P_1) + (A_2/A \times P_2) + \dots + (A_n/A \times P_n)$$

- $A_1 \dots A_n$ = Eş yağış eğrileri arasındaki alanlar (ha, km²)
- $P_1 \dots P_n$ = Eş yağış eğrileri arasındaki ortalama yağış değerleri (mm, cm)

Thiessen Poligon Yöntemi

- Harita üzerinde işaretlenen yağış ölçer noktaları birbiriyle düz çizgilerle birleştirilir. Bu çizgilerin orta dikmeleri birbiriyle kesiştirilerek poligonlar oluşturulur. Her bir yağış ölçer içinde bulunduğu poligonu temsil eder. Bu yöntem ağırlıklı ortalama esasına dayanır ve çok uygulanan bir yöntemdir.

Thiessen Poligonu



Şiddetli Yağışların Yineleme Süresi (Tekerrürü, Dönüşüm Süresi)

- Erozyon, sel ve taşkın gibi çevresel sorunlar yaratacak boyuttaki şiddetli yağışların kaç yılda bir meydana gelebileceğinin bilinmesi sorunlara önlem almak açısından büyük önem taşır.
- Örneğin, taşkınları önlemek için kanal kesitlerinin boyutlandırılmasında max. debi yaratabilecek şiddetli yağışların yineleme olasılığı; köprü ve menfez gibi sanat yapılarının ve teras, taşıntı barajı gibi erozyon önleyici yapıların boyutlandırılmasında göz önünde tutulur.

- Şiddetli yağışların yinelenmesi dönüşüm süresi olarak da adlandırılmakta ve belirli şiddette veya daha şiddetli yağışın birbirini izleyen düşme tarihleri arasında geçen ortalama zaman dilimi şeklinde tanımlanır.
- **Yinelenme (dönüşüm) süresi (T_r), olasılık (P)** değerinin bire bölümünü gösteren aşağıdaki eşitlikle ifade edilir. Şiddetli yağışların yineleme süresi ise;

$$T_r = n+1/m$$

- N =gözlem süresi
- M =belirtilen şiddetteki yağışların seri içerisindeki sıra numarası

Örnek

- Yağış serisi, uzun bir gözlem süresinde her yıla ilişkin günlük max. Yağışların en yüksek değerinden başlamak üzere küçüğe doğru sıralanmasıyla oluşur.
- Örneğin, 20 yıllık bir gözlem süresinde 24 saatlik en yüksek yağış 150mm ise bu değer 1. sırada, bundan sonraki en yüksek yağış değeri 120 mm ise 2. sırada yer alır. Bu verilere göre 120 mm'lik yağışın yinelenme süresi;

$$Tr = ((20+1)/2) = 10.5 \text{ yıl}$$

- $n=20$ ve $m=2$ olduğunda

Su Yüzeyinden Buharlaşma

Suyun sıvı halinden buhar haline geçmesi olgusuna buharlaşma denir. Bu olgu su kütlesindeki bazı moleküllerin su yüzeyinden ayrılmak için yeterli bir kinetik enerjiye sahip olduklarında gerçekleşir. Buharlaşma miktarı atmosferik ve yüzeysel etmenlerin çeşitliliğine bağlıdır. Bu süreç bir kütle transferi olarak kabul edilirse söz konusu transfer; 1-buharlaşabilecek su miktarına, 2-buharlaşma yüzeyindeki buhar basıncı ile atmosferdeki buhar basıncı farkına veya yoğunluğuna, 3-buhar taşıyıcı etmenlere ve 4-enerji transferine göre değışir (Lee, 1980).

Toprak Yüzeyinden Buharlaşma

Toprakta depolanan su toprak yüzeyinden buharlaşarak atmosfere döner. Atmosfere dönen bu suyun miktarı toprak suyunun miktarına bağlı olup toprak su ile doygun olduğu zaman buharlaşma miktarı en yüksek düzeye ulaşır. Toprak doygun halde iken toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşma miktarı açık su yüzeyindeki buharlaşma değeri kadar olabilir ve bu miktar, toprak nemi tarla kapasitesinden solma noktasına doğru azaldıkça buharlaşma da önemsiz bir değer alır.

Toprak yüzeyinden buharlaşma olurken kaybolan su, daha alt tabakalarda tutulan su ile kapilar boşluklardaki su hareketiyle doldurulur. Toprak kurumaya devam ederken topraktaki su iletimi zamanla azalır ve bu azalma da buharlaşmayı azaltır. Toprak ıslak iken içerisindeki başlıca su hareketi sıvı haldedir. Ancak toprak kurudukça gözeneklerdeki su hareketi daha çok buhar olarak gerçekleşir.

Toprak yüzeyinden buharlaşma miktarını tahmin etmek tekstür değişimi, toprak yüzeyi heterojenliği, taban suyu derinliğindeki farklılık gibi nedenlerden dolayı güçtür.

Su ve Toprak Yüzeyinden Buharlaşma (Evaporasyon) Miktarının Belirlenmesi

- 1. Doğrudan ölçme
 - A. Buharlaşma tavaşı
 - B. Kaydedici buharlaşma ölçerler (Evaporimetre)
 - C. Atmometre
 - D. Lizimetre



Buharlaşma Tavası



Evaporimetre



Atmometre



Lizimetre

Su ve Toprak Yüzeyinden Buharlaşma (Evaporasyon) Miktarının Belirlenmesi

2. İklim verilerine dayanarak belirleme

A. Dalton eşitliği

B. Penman eşitliği

C. Su Bütçesi yöntemi

Dalton Eşitliği

Buharlaşma miktarının, su yüzeyinde ve havadaki buhar basınçlarının farkıyla orantılı olduğu esasına dayanır ve aşağıdaki formülle ifade edilmektedir.

$$E = C(e_w - e_a)$$

Burada, E = buharlaşma miktarı (mm/ay),

C = buharlaşma hızına etki yapan diğer değişkenlere bağlı bir katsayı,

E_w = su yüzeyi sıcaklığında doymuş buhar basıncı (mm Hg sütunu) ve

e_a = havanın çiğlenme noktasındaki doymuş buhar basıncı (mm Hg sütunu)dır.

Penman Eşitliği

$$E = (\Delta / \gamma \times H + E_a) / (\Delta / \gamma + \chi)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Burada, E = buharlaşma,

Δ = sıcaklığa bağlı katsayı,

γ = ıslak ve kuru psikrometre sabitesi,

H = net radyasyon olup

χ = su yüzeyi için 1 olarak alınmaktadır.

Su Bütçesi Yöntemi

Su deposuna (göl, baraj)süreklilik eşitliği uygulanırsa;

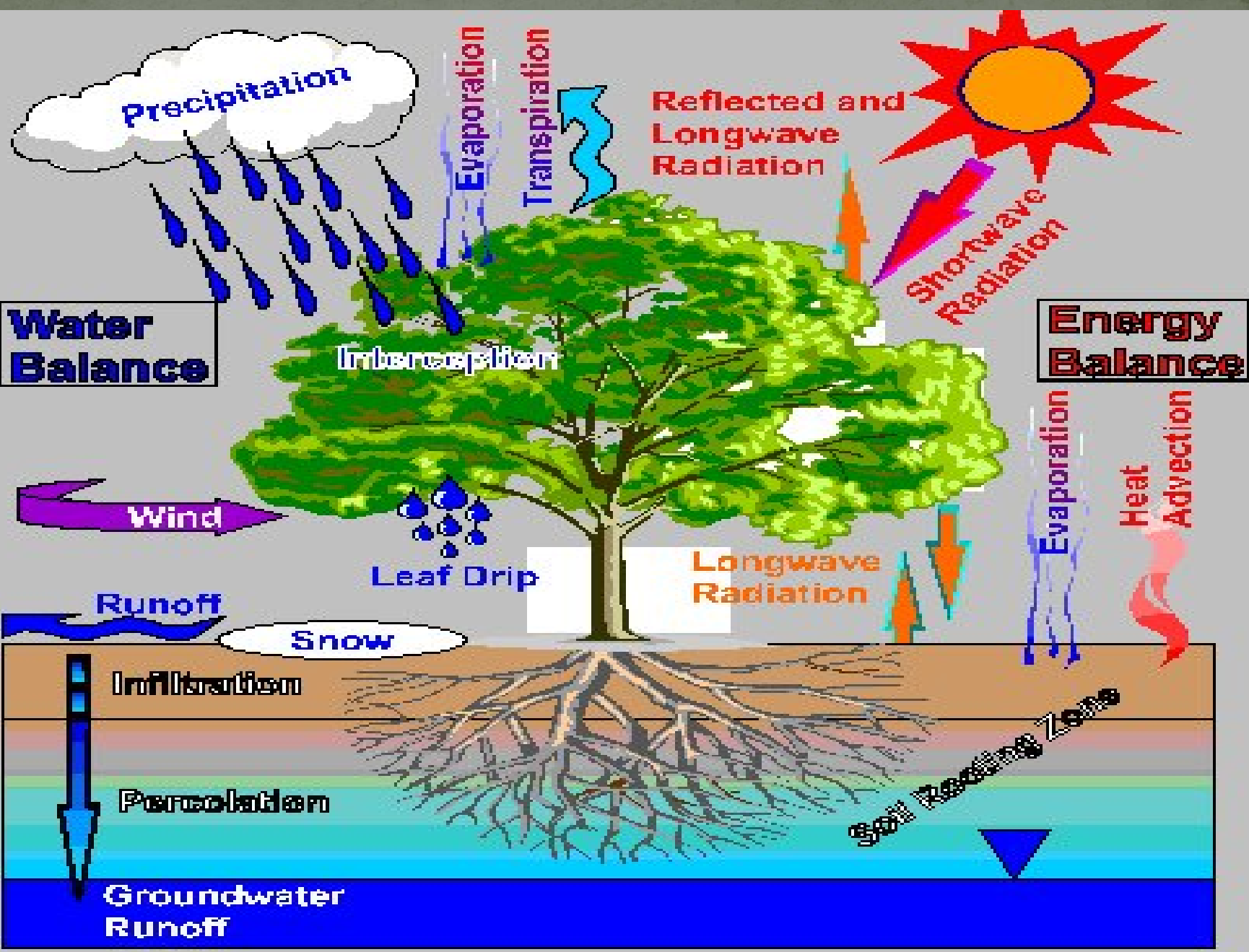
$$E = P + X - Y - F \pm \Delta S \quad \text{yazılır.}$$

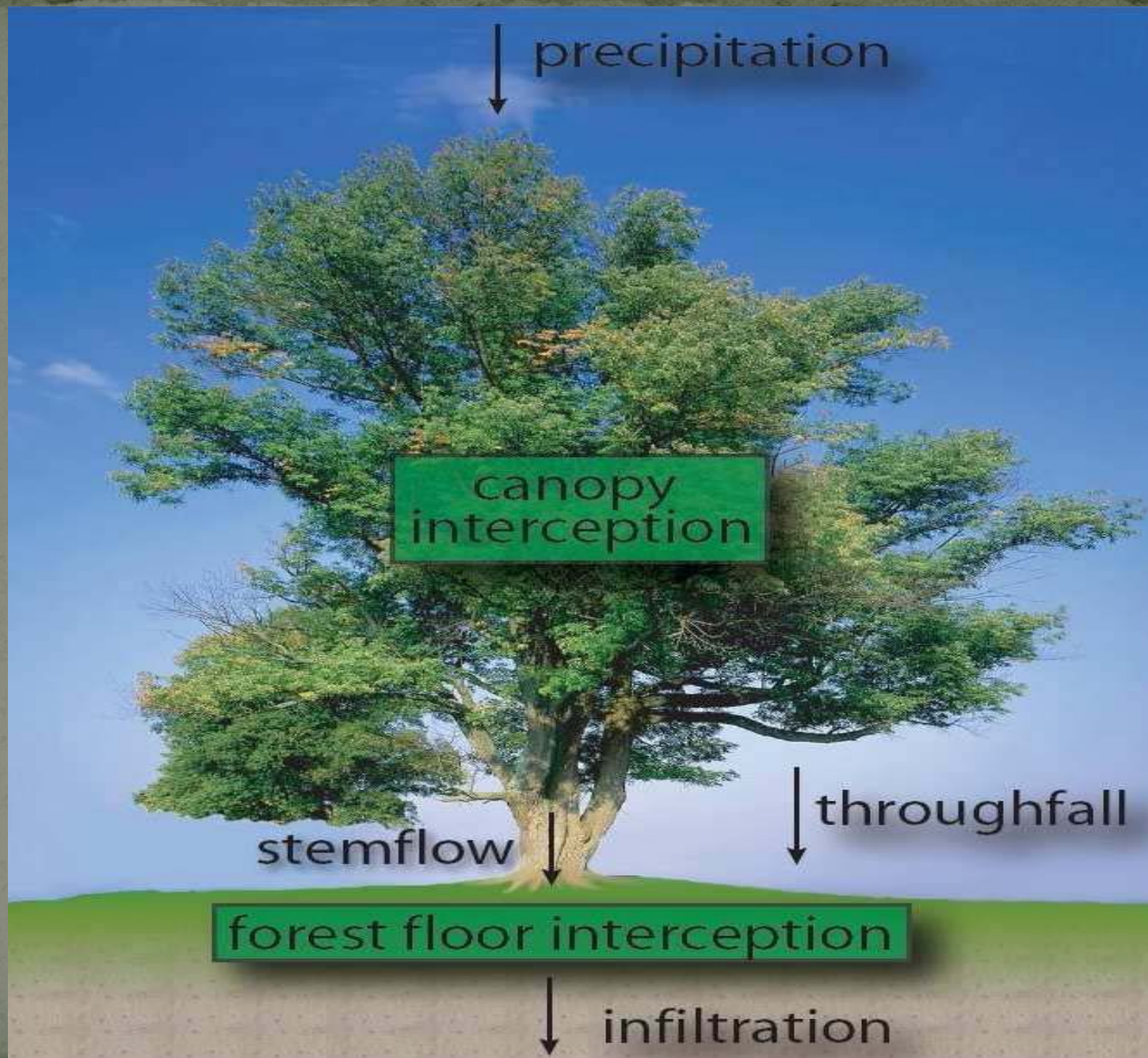
Burada, P = yağış, X ve Y depoya giren ve çıkan akış miktarları,

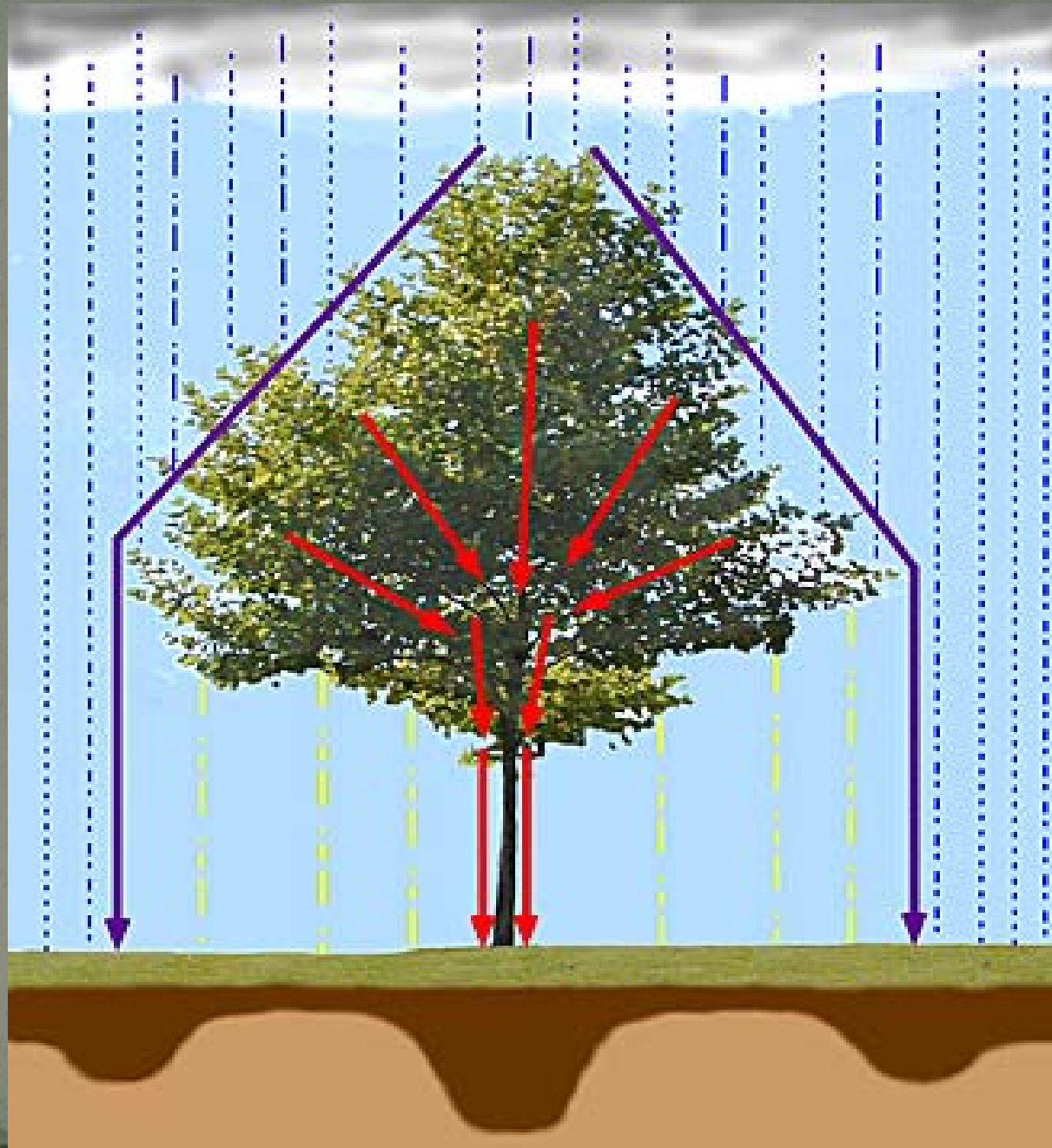
F = yer altına sızan su ve S = deponun hacmindeki değişmedir.

İTERSEPSİYON

Yağışın bitkilerin yaprak, dal ve gövde gibi toprak üstü kısımları tarafından tutulup buharlaşması sürecine **intersepsiyon** denir. Bu süreç havza amenajmanında toprak ve su koruması yönünden önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin, intersepsiyon sonucu toprağa daha az su ulaşmakta ve böylece hem toprak yüzeyi daha az yağmurun çarpma etkisine uğramakta hem de daha az miktarda su yüzeysel akışa geçerek erozyon yaratma gücü azalmaktadır.







İntersepsiyonla İlgili Terimler

İntersepsiyon Depolaması: Her hangi bir yağış anında bitkilerin toprak üstü kısımları tarafından depolanan su miktarıdır.

İntersepsiyon Depolama Kapasitesi: Bitkilerin toprak üstü kısımlarının yağış suyu ile doygun halde iken depoladığı su miktarıdır. Yağış miktarı çok az ise bu depolama kapasitesine ulaşamayabilir.

Orman Altı Yağış: İntersepsiyon dışında kalan yağış miktarı olup bu yağış toprak yüzeyine ulaşır.

Gövdeden Akış: Bitkilerin toprak üstü kısımları tarafından tutulan yağışın, gövde boyunca akarak toprak yüzeyine ulaşan kısmıdır.

Toplam intersepsiyon: İntersepsiyon depolama kapasitesi ile yağış süresince buharlaşan su miktarının toplamıdır. İntersepsiyon depolama kapasitesine ulaşıldığı veya bu kapasitenin aşıldığı durumlarda bu miktar aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$I = d + et$$

Burada; e = evaporasyon şiddeti (mm/saat),

t = yağış süresi (saat),

d = intersepsiyon depolama kapasitesidir.

Ölü Örtü İntersepsiyonu

Bu genel terimlerin dışında bir de ölü örtü intersepsiyonu söz konusudur. Ölü örtü intersepsiyonu ölü örtünün kalınlığı, ayrışma durumu, tipine bağlı olarak değişir ve ormanda ölü örtünün varlığına göre bu miktar göz ardı edilebilir veya dikkate alınabilir. Örneğin, Belgrad ormanındaki meşe meşceresi altında gelisen ölü örtü ağırlığının %380'i, kayın meşceresinde ise ağırlığının %392'si kadar su tutabilmektedir (Ozhan, 1977). Ölü örtü intersepsiyonu en çok kış sonu ve ilkbaharda gerçekleşir.

İntersepsiyon'un Belirlenmesi

$$\dot{I} = P_t - (P_{oay} + P_{ga})$$

$\dot{I}$ = intersepsiyonu,

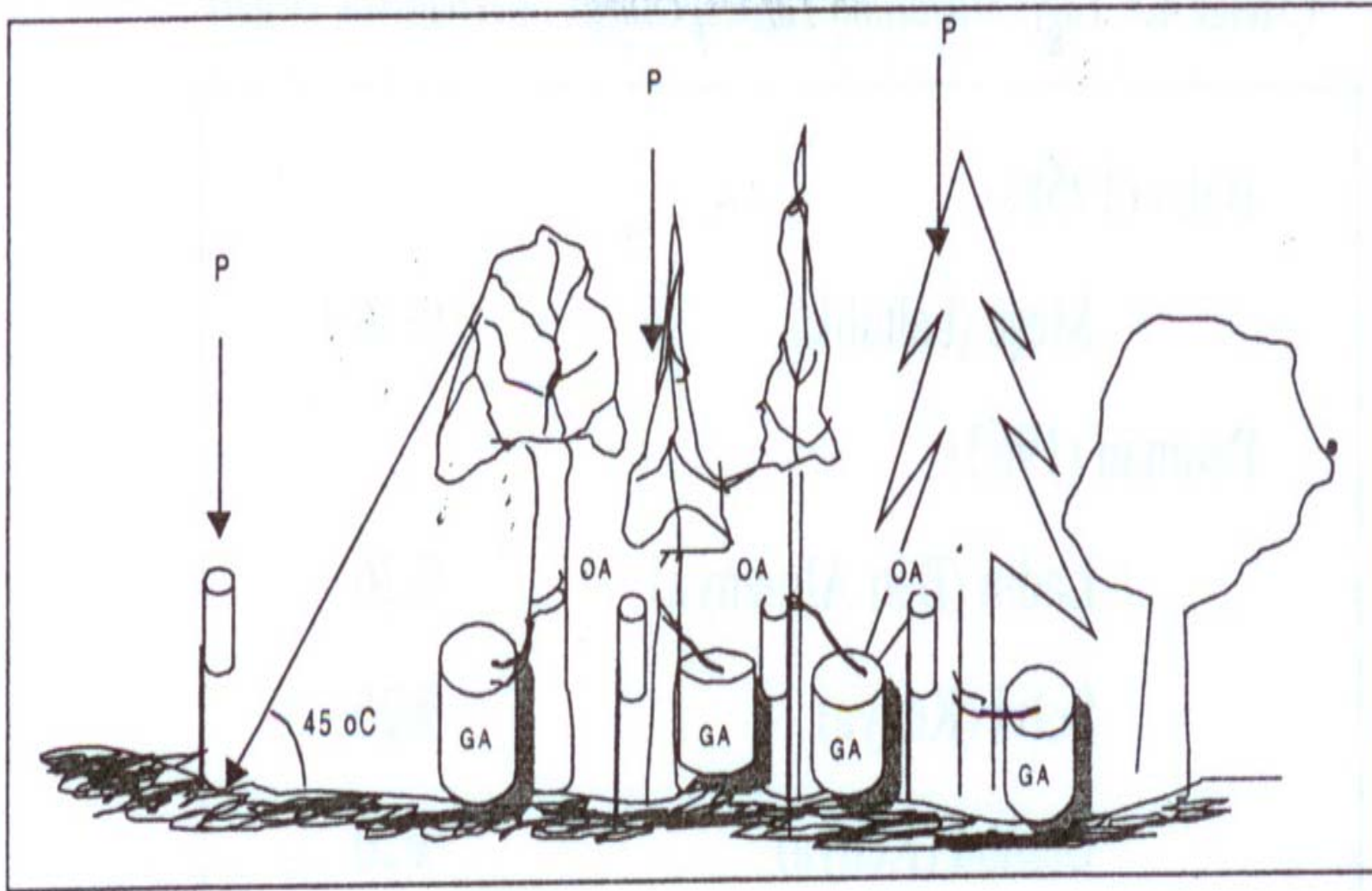
P_t = yağış miktarını,

P_{oay} = orman altı yağış ve

P_{ay} = gövdeden akışı ifade etmektedir

İntersepsiyon'un Ölçülmesi

İntersepsiyon miktarı orman altına ve bitişğine konulan yağış ölçer ve diğer yardımcı araçlar yardımıyla belirlenir. Şekil 4.6 bir deneme alanında intersepsiyon ölçmek için konulan araçları göstermektedir. Şekilden de izlenebileceği gibi ormanın etkileyemeyeceği uzaklıktaki bir açık alana yağış ölçer verleştirilir. Bu yağış ölçerin kaydettiği yağış miktarı orman üzerine düşen toplam yağışı gösterir. Orman altına ise boşlukların yani kapalılık durumuna göre değişik miktarda yağış ölçer ile farklı karakterleri temsil eden bitkilerin gövdelelerine de gövdeden akış ölçmek için düzenekler verleştirilir (Resim 4.1). Belirli bir alan için hesaplanan orman altı yağış ve gövdeden akış miktarının toplamı açık alandaki yağış miktarından çıkarılarak intersepsiyon miktarı yukarıda verilmiş olan eşitlikle hesaplanır.



Şekil 4.7. İntersepsiyonun Ölçülmesi.





10 05 2002

İntersepsiyon'u Etkileyen Etmenler

- **A. Bitki Nitelikleri**

- Yüzey alanı
- Toprak yüzeyini örtme derecesi (Kapalılık)
- Kışın yapraklı olup olmama
- Tür, yaş ve dallanma durumu
- Gövde yapısı ve pürüzlülüğü

- **B. İklim Özellikleri**

- Yağmur şiddeti, miktarı ve süresi
- Kar özellikleri
- Hava sıcaklığı
- Rüzgar hızı
- Yağışlar arasındaki süre

İntersepsiyon'un İfade Biçimleri

İntersepsiyon miktarı farklı şekillerde ifade edilir. Bunlar a) mm veya cm, b) yağışın yüzdesi ve c) intersepsiyon şiddeti (mm /saat- cm/saat) dir.

a) **İntersepsiyonun mm değeri:** Açık alana düşen yağış miktarı ile orman altı yağış ve gövdeden akış toplamı arasındaki farktır ve 4.5.'deki eşitlikle hesaplanır.

b) **Yağışın yüzdesi olarak intersepsiyon değeri:** İntersepsiyon miktarının yağış miktarına oranını belirtir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$İ(\%) = \frac{İ}{P_t} \times 100$$

c) **İntersepsiyon şiddeti (mm/saat)** Birim zamanda meydana gelen intersepsiyon miktarı olup, intersepsiyon miktarının yağış süresine bölünmesi ile hesaplanır.

TRANSPİRASYON

Bitkilerin topraktan aldıkları suyu terleme yoluyla atmosfere vermelerine **transpirasyon** denir. Bitkilerin terlemesi yapraklarındaki stoma denilen gözlekler yoluyla gerçekleşir. Yaprak yüzeyini örten kutikula yoluyla da toplam transpirasyonun %2-3'ü kadar bir transpirasyon olduğunu yapılan bazı araştırmalar göstermiştir (Hewlett, 1982).

Transpirasyonun şiddeti gün içerisinde ve günler arasında önemli değişimler gösterdiği gibi bitki türleri arasında da farklılıklar görülmektedir. Değişik bitki türlerinin transpirasyon yoluyla bir yılda kaybettikleri su miktarı Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Transpirasyon'u Etkileyen Etmenler

- 1) **Bitkisel ve fizyolojik etmenler:** Bitki yapraklarındaki stomaların miktarı ve durumu, yaprak strüktürü, yaprakların güneş ışınlarına göre pozisyonu, genel yaprak alanı, kök ve toprak üstü kısımları arasındaki oran yapraktaki özsuyunun ozmotik basıncı ve bazı bitki hastalıkları bu etmenler arasında sayılabilir. Ayrıca bir orman toplumunda ağaçların sıklığı ve boyu ile kök derinliği bitkilerin farklı derecede transpirasyon yapmasına neden olmaktadır (Satterlund, 1972).
- 2) **Çevresel etmenler:** Havanın buhar basıncı, nemi, sıcaklığı ve ışık şiddeti, rüzgar, toprak nemi transpirasyonu etkileyen önemli çevresel etmenlerdir. Yüksek sıcaklık ve düşük hava nemi transpirasyonun artmasında önemli rol oynadığı gibi bunlara rüzgarın şiddeti de eklenirse transpirasyon daha da artar. Ancak artış topraktaki nemin miktarına bağlıdır.

Transpirasyon'u Ölçme Yöntemleri

1. Saksı veya lizimetre ölçmeleri
2. Çabuk tartma yöntemi
3. Öz suyu akım ölçer (Sap flow meter) ve
4. Meteorolojik ölçmelere dayanan yaklaşımlar;
 - a) Meşcereler üzerinde buhar gradyanı ve akımlarının analizi
 - b) Meşcerelerin enerji dengesi analizi

Havzada Meydana Gelen Transpirasyon'un Belirlenmesi

Havza bazında meydana gelen transpirasyonun ölçülmesi henüz çözülmüş bir konu olmamakla birlikte bir havzada toprak ve su yüzeyinden buharlaşma ihmal edilerek su bütçesinin diğer bileşenleri ölçülmek suretiyle transpirasyon miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir.

$$T = P - (Q + I_t + TYB + SYB) \pm \Delta S$$

Burada, T = bir havzada meydana gelen transpirasyon, P = yağış, Q = akış, I_t = toplam intersepsiyon, TYB = toprak yüzeyinden buharlaşma, SYB = su yüzeyinden buharlaşma ve ΔS = toprak suyu depolamasındaki değişimdir.

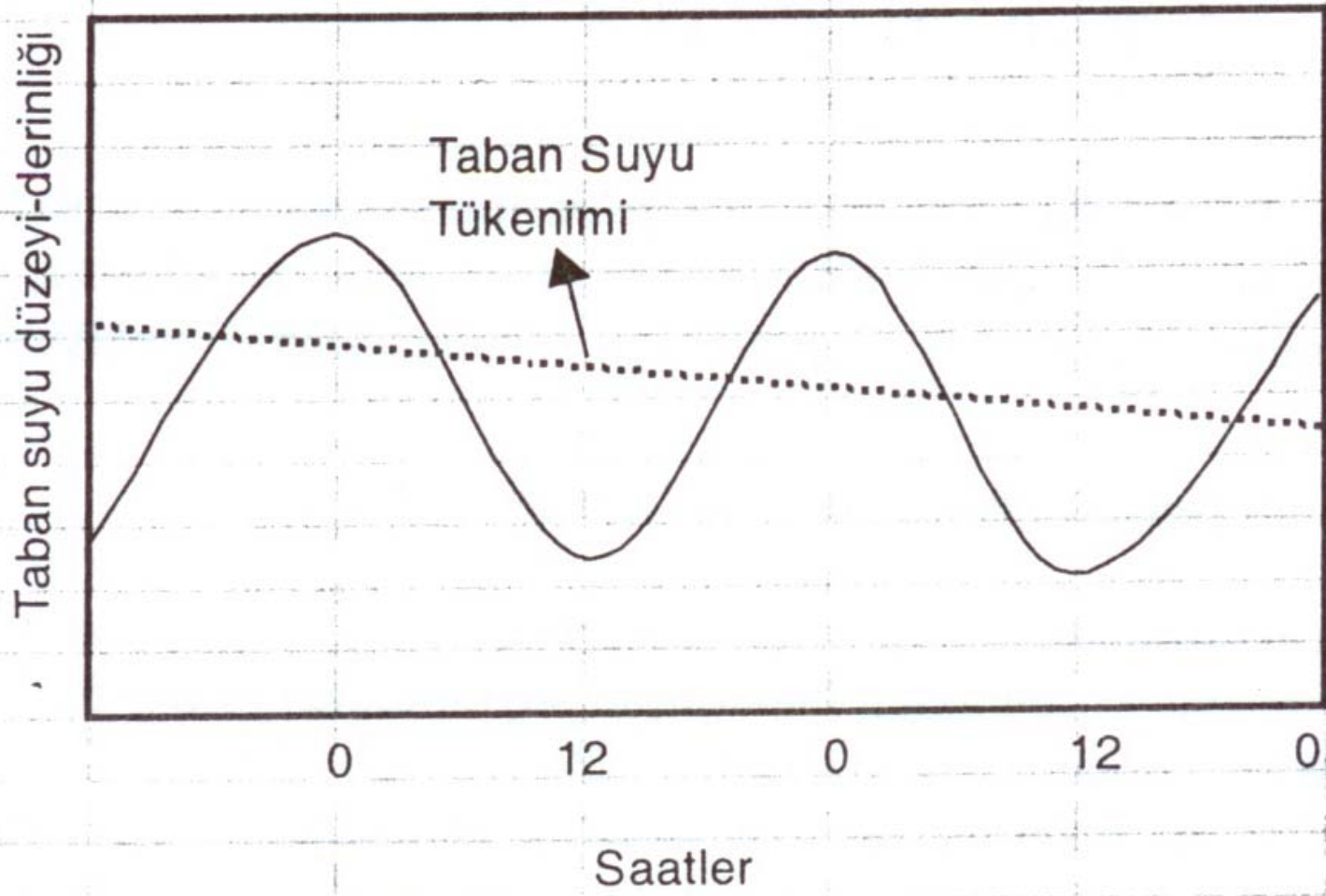
Evapotranspirasyon (Bitki Su Tüketimi, ET)

Bitkiler tarafından terleme yoluyla kaybedilen, dokuların yapılarında kullanılan ve çevresindeki topraktan buharlaşan suyun toplamı olup bu tanım bitki su tüketimi ile aynı anlamı taşır (Özhan, 1982). Bu tanım Hart (1972) tarafından tanımlanan bitki su tüketimi ile aynı anlama gelmektedir. Bu terim gerçek evapotranspirasyon ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) olarak iki ayrı şekilde ifade edilmektedir. Gerçek evapotranspirasyon, var olan çevresel etmenlere göre gerçekleşen evapotranspirasyon anlamına, potansiyel evapotranspirasyon ise su miktarının bol ve diğer koşulların optimum olması durumunda yani toprak neminin ve iklimin en üst düzeyde olması halinde meydana gelebilecek evapotranspirasyon anlamına gelir.

Evapotranspirasyon'u Etkileyen Etmenler

- Transpirasyonu etkileyen etmenlerle aynıdır. Gün içerisindeki dağılımı ise;

Özellikle bitki örtüsünün yoğun ve buharlaşmanın elverişli olduğu ortamlarda gün içerisinde evapotranspirasyon değeri büyük bir değişim göstermekte ve öğlen saatlerinde en üst düzeye çıkmakta, gece ise en düşük düzeyde kalmaktadır. Bunun sonucu olarak dere akımları da bir yağış olmadığı halde öğlen saatlerinde azalmakta, gece ise artmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Evapotranspirasyonun Gün İçinde Değişimi (Lee, 1980).

evapotranspiration =
transpiration + evaporation

transpiration

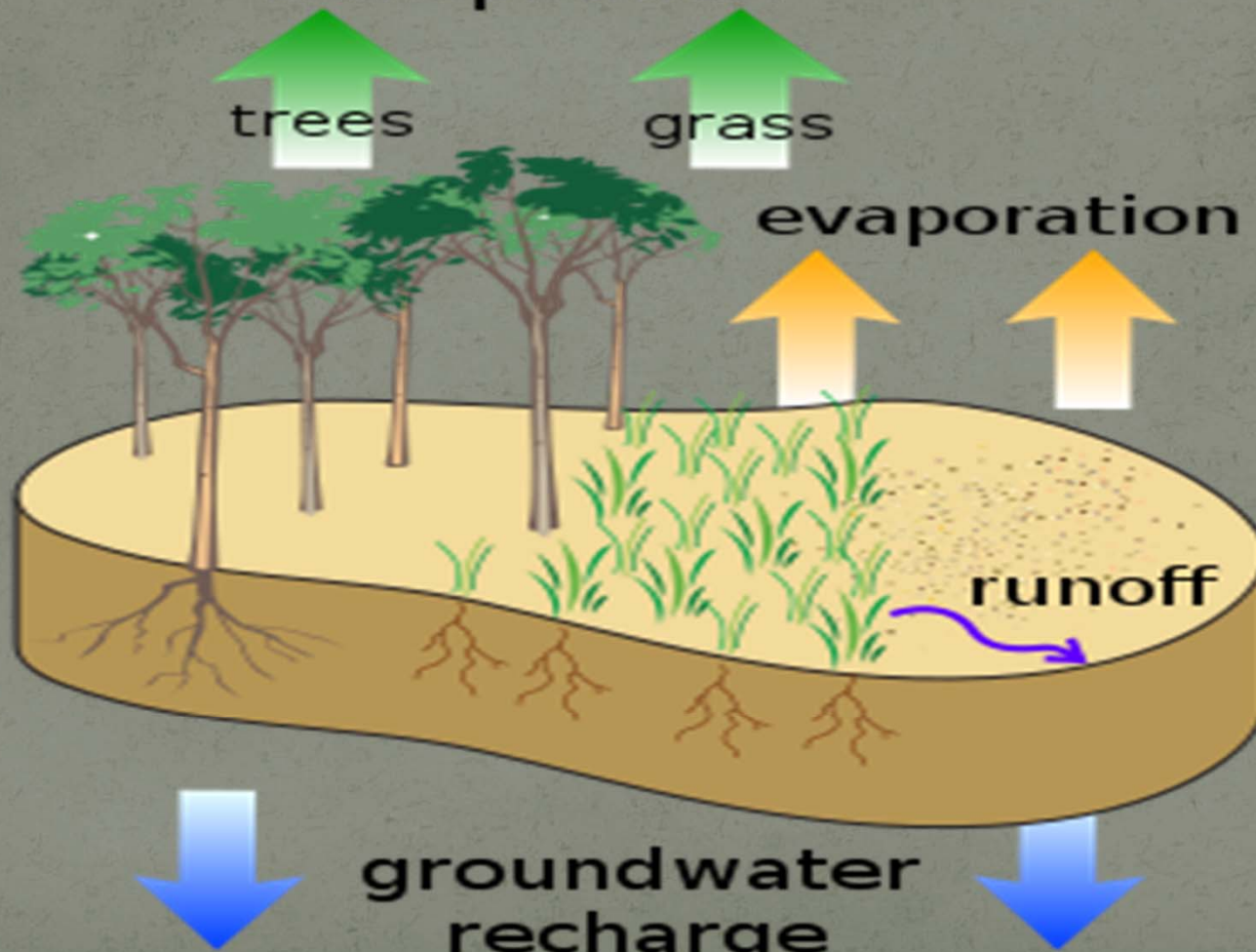
trees

grass

evaporation

runoff

groundwater
recharge



Evapotranspirasyon'u Ölçme Yöntemleri

- 1. **Su Bütçesi veya Hidrolojik Yöntemler**
 - a. Su Bütçesi Eşitliği
 - b. Lizimetre ve Evapotranspirometre Yöntemi
 - c. Çadır Yöntemi
 - d. Toprak Nemi Tükenimi Yöntemi
 - e. Eş Havza Yöntemi
 - f. Hidrograf Analizi
 - g. Taban Suyu Düzeyi Değişimleri
- 2. **Mikrometeorolojik Yöntemler**

Evapotranspirasyon'u Ölçme Yöntemleri

3. **Ampirik Yöntemler**

- a. Penman Eşitliği
- b. Thorntwaite Eşitliği
- c. Turc Eşitliği
- d. Ölçülen Güneş Radyasyonunu Buharlaşma Eşdeğeri
- e. Jensen – Ilaise Yöntemi

4. **Diğer Yöntemler**

- a. Transpirasyon Oranı
- b. İntegresyon Yöntemi

Thorntwaite Yöntemi

Bu yöntemde hava sıcaklığı ve gün uzunluğu esas alınarak potansiyel evapotranspirasyon aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Thorntwaite, 1954).

$$e = 1.6 (10 t/I)^a$$

Burada;

e = potansiyel evapotranspirasyonu (ayda cm olarak),

t = aylık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve

I = yıllık sıcaklık indisini ifade etmektedir.

$$a = 0.000\,000\,675\,I^3 - 0.000\,077\,I^2 + 0.01792\,I + 0.49239$$

Yıllık sıcaklık indis değeri her aya ilişkin sıcaklık indis değeri ($\bar{I}$)'lerin toplanmasıyla bulunur ki;

$$i = (t/5)^{1.514}$$

i = aylık sıcaklık indisi ve

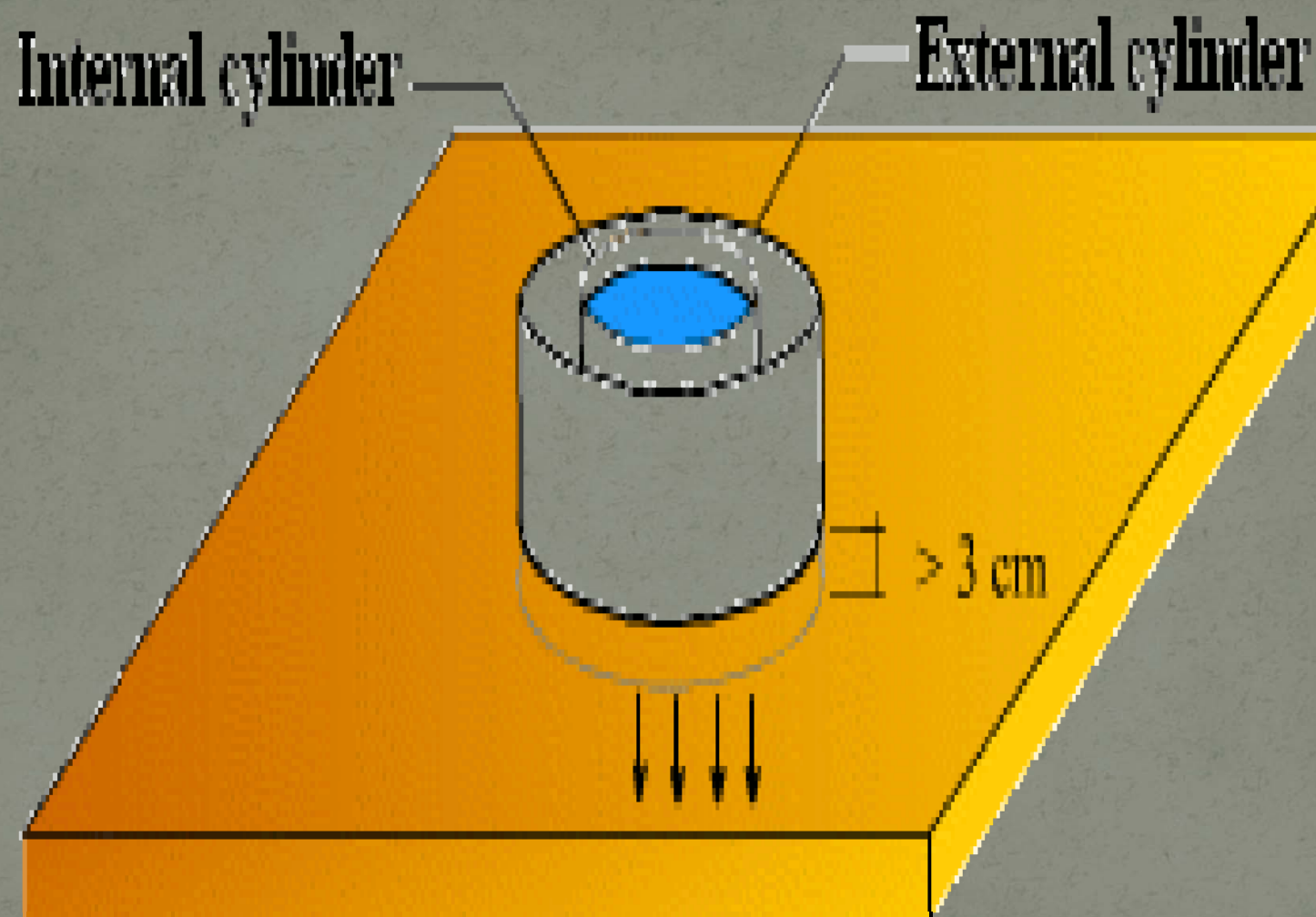
t = aylık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) göstermektedir.

İNFİLTASYON

Yağış suyu toprak yüzeyine ulaştıktan sonra yer çekimi, kapilar çekim ve göllenme durumunda ise basıncın da etkisiyle bir bölümü veya tamamı toprak içerisine sızar. Suyun, toprak yüzeyinden toprak içersine doğru sızmasına 'infiltrasyon' denir ve birim zamanda (saatte) toprak yüzeyinden giren suyun derinliğini (mm, cm) gösteren mm/sa veya cm/sa birimiyle ifade edilir. Bir başka tanımlama yapılırsa "suyun toprak yüzeyinden içeri doğru giriş hızına infiltrasyon hızı (şiddeti) denir. Suyun toprak yüzeyinden içeriye doğru en yüksek giriş hızı ise "infiltrasyon kapasitesi" olarak tanımlanır. Çıplak bir toprak yüzeyinde infiltrasyon şiddeti hiçbir zaman yağış şiddetini aşamaz, orman örtüsü ile kaplı alanlarda ise etkili yağış şiddetini geçemez.



İnfiltrasyon Tavası



Çizelge 4.9. İnfiltrasyon ve Perkolasyon Şiddeti Sınıfları (Kohnke, 1968).

Sınıflar	İnfiltrasyon Şiddeti mm/sa	Perkolasyon Şiddeti mm/sa
Çok Yavaş	<1	<1
Yavaş	1-5	1-5
Orta Derecede Yavaş	5-20	5-16
Orta Derecede	20-65	16-50
Orta Derecede Hızlı	65-125	50-160
Hızlı	125-250	>160
Çok Hızlı	>250	

İnfiltrasyon Kapasitesini Etkileyen Etmenler

1. Toprak Tekstürü

2. Toprak Strüktürü

3. Toprak Kolloidlerinin Özellikleri

4. Toprağın Nem Kapsamı

5. Toprağın Donması

6. Yağmurun Şiddeti

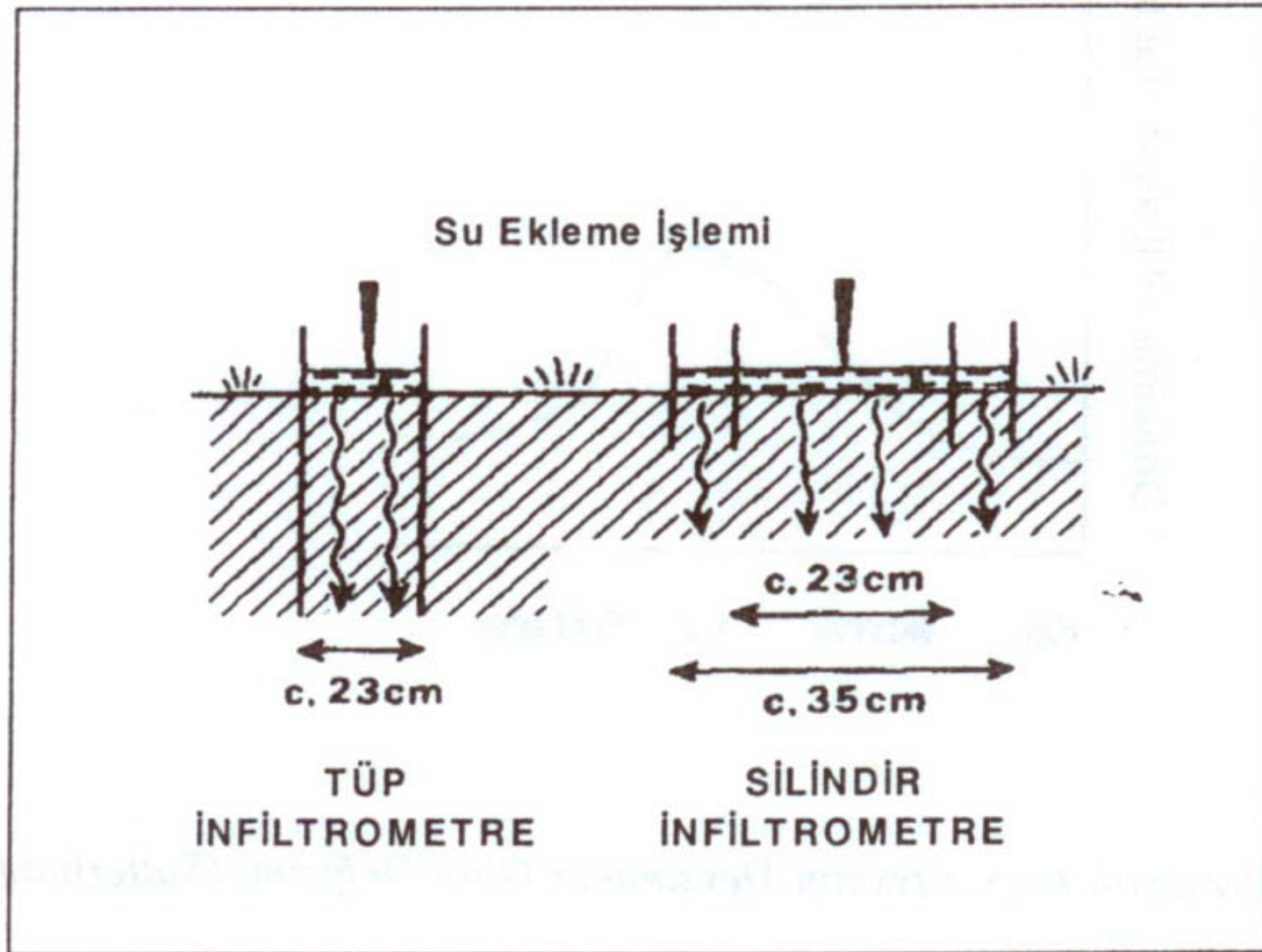
7. Toprak Sıkışması

8. Organizmalar ve Organik Madde

İnfiltrasyonun Ölçülmesi

a) Silindir Tipi İnfiltrometre

Genellikle 10 cm yüksekliğine sahip çelik silindir toprak üzerine yerleştirilip 5 cm kadar çakılarak içerisine su boşaltılır ve sabit bir hidrostatik basınç yaratmak için su seviyesi belirli bir seviyeye getirilir ve bu su yüksekliğini sabit tutarak toprak içerisine sızan su kadar su eklemeye devam edilir. Eklenen su belirli aralıklarla kaydedilir. İnfiltrometreye eklenen su miktarı ve süresi bilindiğine göre birim zamanda eklenen su yani debi Q (cm^3/dak), infiltrometre alanına A (cm^2) bölünmek suretiyle infiltrasyon miktarı (I);



Şekil 4.15. *Tüp ve Silindir Tipi İnfiltrometre (Gregory ve Walling, 1973).*

$$I = \frac{Q}{A} = \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2} = \text{cm}$$

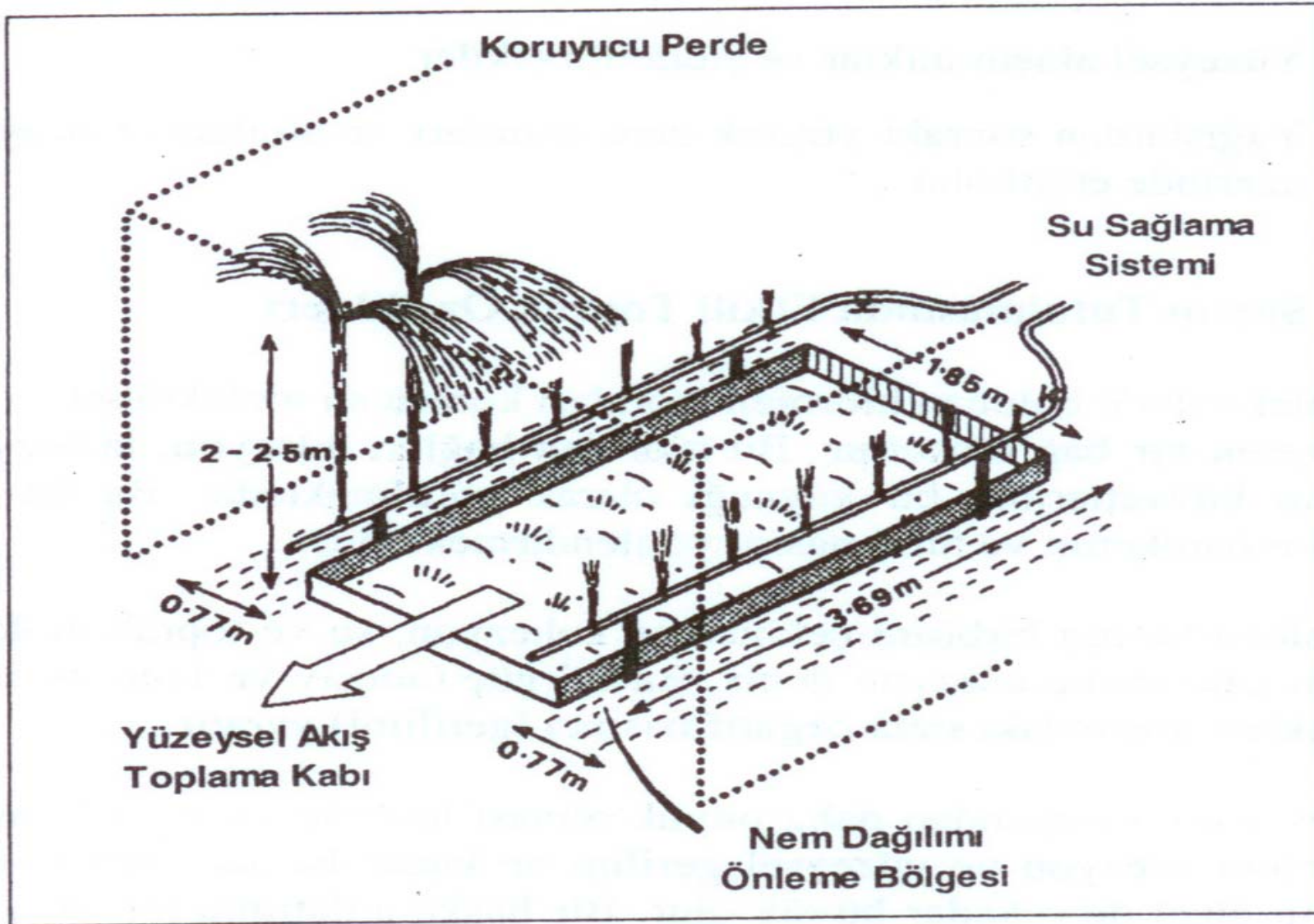
eşitliğiyle bulunur.

- **Örnek:** Alanı 100 cm^2 olan bir infiltrometre 30 dakika süre içerisinde 360 cm^3 su geçirmiştir. Bu verilere göre infiltrasyon miktarı; $Q = 360/30 = 12 \text{ cm}^3 / \text{dak}$ ve $I = 12 / 100 = 0.12 \text{ cm} = 1.2 \text{ mm/dak}$ 'dır.

Çoğu kez iç içe iki silindirden oluşan infiltrometreler kullanılmakta ve içerdeki silindirin çapı 30 cm ve dış silindir çapı da 46-50 cm arasında değişmektedir (Şekil 4.15). Bu tip infiltrometrede her iki silindirin içerisine de su boşaltılarak dış silindirin tampon bir etki sağlaması gerçekleştirilmektedir. Bu tip infiltrometreler farklı toprakların, bitki toplumlarının ve arazi kullanımlarının infiltrasyon üzerindeki etkilerini karşılaştırmak bakımından elverişlidirler.

b) Yağış - Akış Pilot Tipi İnfiltrometre

Bu infiltrometre üzerine yapay yağmur şeklinde su uygulanır ve meydana gelen yüzeysel akış ölçölür (şekil 4.16). Yağış şeklinde uygulanan su miktarı ile yüzeysel akış arasındaki fark infiltrasyon olarak hesaplanır. Bu uygulamada yapay yağmurun damla boyutu ve şiddeti değıştirilmek suretiyle farklı şiddette infiltrasyon kapasitesi değerleri elde edilebilir. Bu tiple belirlenen infiltrasyon kapasitesi silindir infiltrometrelere göre gerçeğe daha yakın değerler verir. Araştırmalar silindir tipi infiltrometre sonuğları ile yağış - akış pilot tipi infiltrometre sonuğları arasında sıkı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu nedenle iki ölçölü arasındaki değerler yardımıyla bir katsayı elde edilip gerçeğe daha yakın infiltrasyon tahminleri yapılabilir (Brooks ve ark.,1996).



Şekil 4.16. Yağış - Akış Pilot Tipi İnfiltrometre (Gregory ve Walling, 1973).

Suyun Toprakta Depolanması

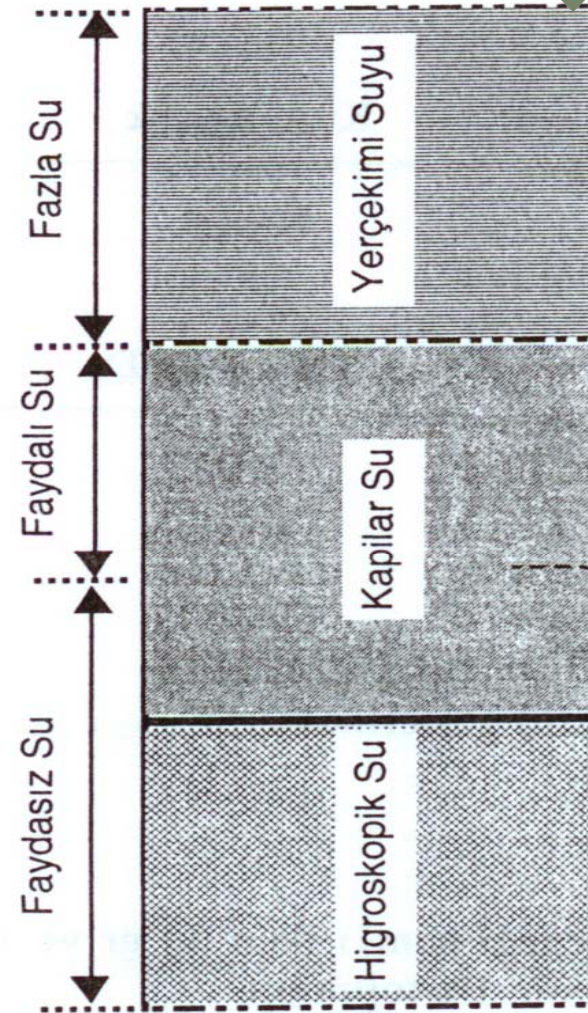
Toprakta depolanan su veya toprak suyu, havza amenajmanında üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Çünkü;

- 1) erozyon ve yüzeysel akışın kontrolünde etkin rol oynayan bitkiler için gereklidir.
- 2) bitki besin maddeleri için eritken görevi yapar ve bitki beslenmesinde önemli bir yer tutar.
- 3) toprağın havalanma durumunu ve toprak sıcaklığını etkiler.
- 4) toprağın infiltrasyon kapasitesini etkiler ve dolayısıyla;
 - Su ve rüzgar erozyonunda etkili olur.
 - Yüzeysel akışın miktar ve şiddetini etkiler.
 - Yağışlardan sonraki yüksek dere akımları ve bunların hidrografları üzerinde etkili olur.

**Bitki Yararlanması
Açısından
Sınıflandırma**



**Fiziksel
Sınıflandırma**



Biyolojik Sınıflandırma

Doygunluk Durumu
(Boşlukların Tamamı
Su ile Dolu)



Tarla Kapasitesi
(1/3 Atm.)

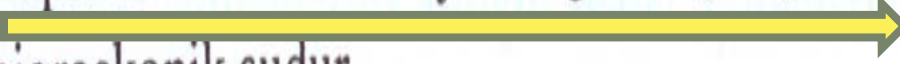
Solma Noktası
(15 Atm.)

Higroskopik Sabite
(31 Atm.)

Şekil 4.19 Bitkilerle İlişkisi Bakımından Toprak Suyunun Fiziksel ve Biyolojik Sınıflandırılması.

Toprak Suyunun Fiziksel Sınıflandırılması

Toprak suyu, toprakta tutulma enerjisine göre üçe ayrılır. Bunlar; sızıntı suyu, kapillar su ve higroskopik sudur.



Sızıntı suyu: Topraktaki boşluklarda tutulan ve yer çekimi etkisiyle aşağılara doğru süzülen sudur. Bu suyun toprakta tutulma enerjisi 0.1-0.2 atmosfer arasında (pF 2.5) olup bu koşulda suya sahip topraklara ıslak toprak denir. Bu su;

- a) Toprakta tarla kapasitesinden ($1/3$ atm.) daha az bir gerilimle tutulan ve yerçekimine tabi olarak aşağıya doğru sızan sudur.
- b) Genellikle 0.1 - 0.5 atmosfer veya ortalama olarak $1/3$ atmosferden daha az bir gerilimle tutulur.
- c) Bitki büyümesi bakımından arzu edilmeyen ve drenajla uzaklaşması gereken sudur. Zira, topraktaki iri boşluklarda havanın yerini doldurduğu için, kök havalanmasını önler.
- d) Hareketi yüzeysel gerilim ve yerçekimi ile olur.
- e) Toprakta besin maddelerinin yıkanmasına neden olur.
- f) Bu suyun hareketi toprağın kapilar olmayan iri boşluklarında cereyan ettiği için, toprağın permeabilite özelliklerine bağlı olarak hareket eder.
- g) İnfiltrasyonla toprağa giren suyun perkolasyonla taban suyuna ulaşması bu yolla olduğundan, yerçekimi suyunun dere akım hidrografının şekli üzerindeki etkisi, dolayısıyla hidrolojik bakımdan önemi büyüktür.
- h) Bu su toprakta geçici olarak tutulduğu için, detensiyon kapasitesini oluşturan sudur.

Kapillar su: Toprakta sızıntı suyunun uzaklaşmasından sonra toprak tane-cikleri etrafında ve kapillar boşluklarda adezyon ve kohezyon kuvvetiyle tutulan sudur.

- a) Toprağın küçük boşluklarında (kapilar boşluklarda) tutulan sudur.
- b) Tarla kapasitesi ($1/3$ atm.) ile higroskopik koefisient (31 atm.) arasındaki gerilim koşullarında tutulur.
- c) Kapilar su, toprağın "retensiyon kapasitesini" oluşturan ve yer çekimine tabi olarak aşağı sızmadan sürekli olarak depolanan sudur.
- d) Bu su sızmadığı, taban suyuna karışmadığı ve dolayısıyla dere akımına katkıda bulunmadığı için toprağın su bilançosunda önem taşır.
- e) Bitkiler tarafından kullanılmakla beraber, tamamından faydalanılamaz.
- f) Toprak eriyiği olarak bitki beslenmesinde önemli rol oynar.

Higroskopik su: Toprak tarafından 31 atmosferden daha fazla güçle ($pF=4.2$) tutulan ve bitkiler tarafından faydalanılamayan sudur. Su toprakta buhar halinde hareket eder. Bu durumdaki topraklara kuru toprak denir.

- a) Kapilar su topraktan uzaklaştıktan sonra toprak parçacıklarının yüzeyinde ince bir film halinde ve higroskopik koefisient geriliminde (31 atm.) tutulan sudur.
- b) Yerçekimi ve yüzeysel gerilim kuvvetleri ile hareket etmez.
- c) Toprakta 31 atmosferden 104 atmosfere kadar değişen gerilim koşullarında tutulan sudur.
- d) Genellikle toprak kolloidleri tarafından tutulur.
- e) Büyük ölçüde sıvı olmayan formda bulunur.
- f) Hareketi genellikle buhar halinde olur.

Toprak Suyunun Bitki Yararlanması Açısından Sınıflandırılması

Bitkilerin toprak suyundan yararlanabilip yararlanamayacağı konusunda ve dolayısıyla sulama yönünden önemli olan nem karakteristikleri hakkında bilgi edinmesini sağlayan terimler ortaya konulmuştur. Bunlar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Tarla Kapasitesi: Serbest drenaj koşulları altında kök bölgesi toprağında tutulabilen maximum nem yüzdesini ifade eder. Diğer bir deyimle tarla kapasitesindeki nem toprakta, kapılar ve yerçekimi kuvvetleri arasında denge halinde bulunan sudur. Tarla kapasitesi toprağın yapısına, bünyesine, tane dağılımına ve porozitesine göre değişir. Tarla kapasitesinde toprak özelliklerine göre nem tansiyonu, $1/10$ - $1/3$ atmosfer sınırları arasında değer verir. Tarla kapasitesinin laboratuvarında tayininde, genel olarak $1/3$ atmosfer basınç altında verdiği nemin kuru ağırlığına göre yüzdesi esas alınır.

Devamlı Solma Noktası:

Sulama ile tarla kapasitesine eriştirilen toprak nemi bitki kullanımına elverişli bir duruma getirilmiş olur. Bitkiler bu sudan kökleri yoluyla ve kolaylıkla yararlanabilirler. Ancak bu yararlanma, topraktaki nem yüzdesi bir değere inene kadar sürer ve bu noktadan sonra bitkiler topraktaki suyu alamazlar. Bu durumda toprak nemi devamlı solma noktasına erişmiştir denir ve köklerin basıncı bu andaki tansiyonu yenemedikleri için sudan yararlanamazlar. Devamlı solma noktası topraktan toprağa ve bitki çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterir ve 7 -40 atmosfer arasında nem tansiyonu olarak ifade edilebilir. Laboratuvarda ise bu değer genel olarak 15 atmosfer olarak alınmakta ve uygulanmakta, bu basınç altında alınan nemin yüzdesi olarak ifade edilmektedir.

Elverişli Su Tutma Kapasitesi: Bitkiler tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası arasındaki herhangi bir nemden kolayca yararlanabilirler. Bu suya elverişli su ve birimsel olarak ifade edilmesine de elverişli su tutma kapasitesi denir. Sulu tarım arazisinde herhangi bir andaki nem yüzdesi ile devamlı solma noktası arasındaki fark ise o andaki toprakta bulunan elverişli suyu ifade eder.

Toprakta bulunan elverişli su açığı veya elverişli su tutma kapasitesi açığı belirli bir toprak derinliğine göre aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$d = \frac{P_w \times P_a \times D}{100}$$

Eşitlikte;

d = topraktaki elverişli su açığını (cm),

P_a = hacim ağırlığını (gr / cm^3),

$P_w = P_{tk} - P_k$,

P_{tk} = toprağın tarla kapasitesindeki nem miktarını (%değeri),

P_k = toprağın o andaki nem miktarını (%değeri) ve

D = toprak katmanı derinliğini (cm) ifade etmektedir.

Toprak Suyunun Biyolojik Sınıflandırması

Toprak suyu bitki büyümesi için vazgeçilmez bir gereksinmedir. Bitkilerin büyümesi, gelişmesi ve çeşitli özellikleri, dolayısıyla bitki örtüsü havza amenajmanında erozyon, sel ve taşkınların önlenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle toprak suyunun biyolojik veya bitkilerin kullanımı bakımından sınıflandırılması üzerinde kısaca durmak yerinde olacaktır.

Toprak suyunu bitkilerin kullanabilme olanakları bakımından aşağıdaki şekilde 1) fazla su, (2) faydalı su (faydalanılabilen su) ve (3) faydasız su (faydalanılamayan su) olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür (Buckman Brady, 1960).

Fazla Su: Tarla kapasitesinin üstünde tutulan suyun bitkilere yararı yoktur. Hele suyun topraktaki miktarı artarak doyma noktasına yaklaşırsa, boşluk hacmindeki havanın yerini de su doldurduğundan, kökler havalanamaz ve bu durum bitkiler için zararlı dahi olabilir. Bu nedenle yerçekimi suyuna biyolojik bakımdan fazla su adı verilir (Şekil 4.19). Aynı zamanda bu su ile topraktaki besin elemanları da yıkandığından bitkiler için faydalı olduğu söylenemez.

Faydalı Su (Faydalanılabilen Su): Toprakta pörsüme noktası ile tarla

kapasitesi arasında tutulan sudur. Bu ayırimda, benzer toprak koşullarında tüm bitkilerin benzer pörsüme noktası değerlerine sahip oldukları kabul edilmektedir. Aslında, bitkilerin kök sistemlerinin farklı olması nedeniyle bazı bitkilerin gerektiğinde transpirasyonlarını azaltıcı bazı önlemler aldıkları (çöl bitkilerinde olduğu gibi), aynı toprak-su gerilimi koşullarında farklı miktarlarda su çekebildikleri ve yine kurak koşullara daha fazla dayanabildikleri bilinmektedir. Bütün bu olgular, uzun süredir tartışılmakta ve sonuçta bitkilerin faydalı su kuşağından farklı şekilde yararlandıklarından söz edilebilmektedir.

Faydasız Su (Faydalanılamayan Su): Faydasız su genellikle toprakta

pörsüme noktasında veya daha yüksek gerilimlerde tutulur. Bu su, fiziksel bakımdan higroskopik su ile, bitkinin transpirasyon kaybını ve diğer fizyolojik gereksinimlerini karşılayamayacak derecede yavaş alabildiği kapilar suyun bir kısmını oluşturur (Şekil 3.15).