

Buharlaşma

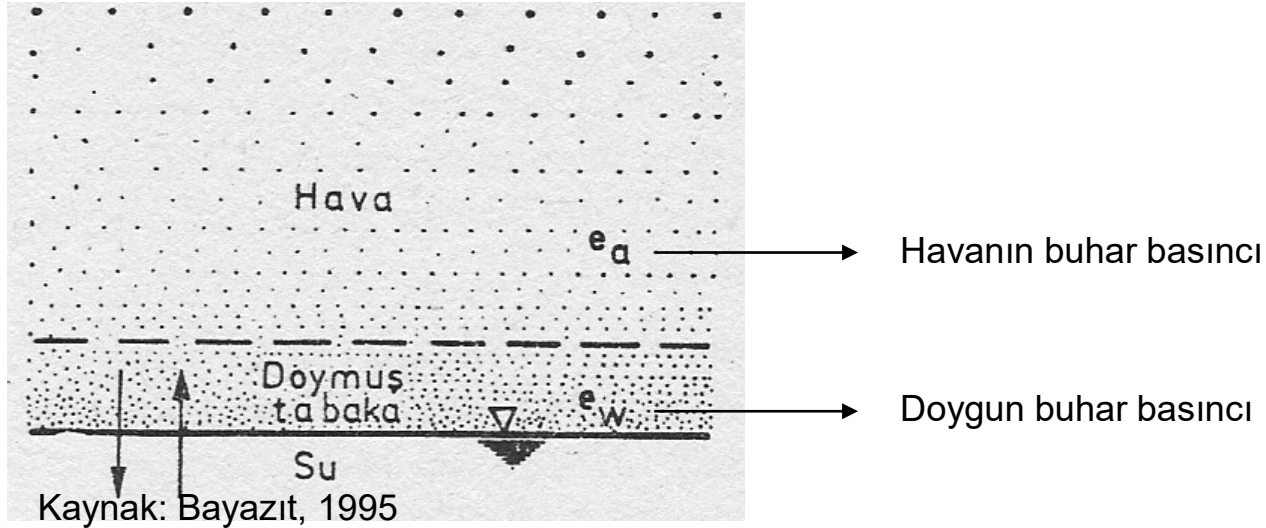
- Suyun sıvı halinden gaz veya buhar haline dönüşmesi sürecidir ve suyun sıvı halinden gaz veya buhar olarak atmosfere iletilmesinin başlıca yoludur.
- Atmosferdeki nemin yaklaşık % 90'nı okyanuslar, denizler, göllerden; geri kalan % 10'u ise bitki yüzeyindeki buharlaşmadan meydana gelir.
- Küresel ölçekte, buharlaşan su miktarı ile yağış olarak düşen su miktarı yaklaşık olarak aynıdır olsa da coğrafik olarak değişir.

Suyun sıvı halden gaz haline geçmesine buharlaşma(evaporasyon) denir.

Su yüzeyindeki moleküller yeterli bir kinetik enerji kazandıkları zaman havaya fırlarlar.

Su yüzeyi yakınlarında sürekli olarak sudan havaya, havadan suya geçen moleküllere rastlanır.

Sudan havaya geçen moleküllerin sayısı daha fazla ise buharlaşma olduğu kabul edilir.

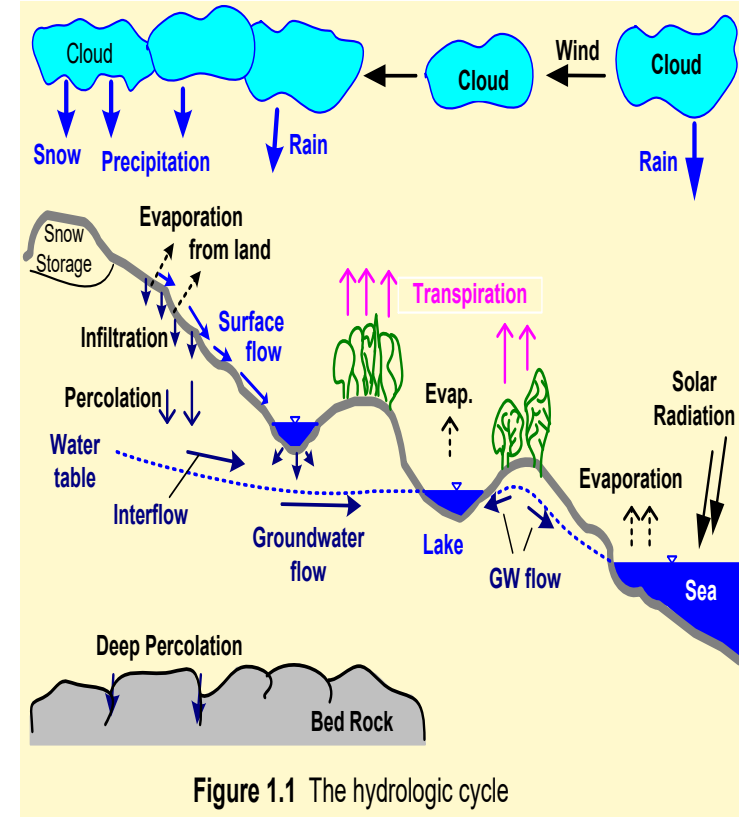


Buharlaşma + Terleme, Sıcaklık ve Rüzgar Etkileri

- **Buharlaşma**, yeryüzündeki sıvı haldeki suyun (su kütleleri, zemin ve bitki yüzeyleri) gaz haline geçerek atmosfere geri dönmesini ifade eden süreç.
- **Terleme**, bitki yaprak gözeneklerinden buharlaşarak atmosfere geri dönen su buharı akısı.
- Her iki süreci bir arada ifade etmek için kullanılan **evapotranspirasyon (ET)** terimi hem buharlaşma hemde terleme süreçlerindeki toplam buhar akısıdır.
- Terleme bitki büyümesi ile alakalıdır. Toplam ET, tüketici su kullanımını ifade eder.
- Yağışın akışa dönüşüm sürecinde önemli bir su kaybını gösterir.
- Su haznelerinden eksilen suyu, havza su potansiyelini, toprak nem değişimini, ve bitki su kullanımını etkiler --- **havza su bütçe çalışmaları**

ET Kayıpları

- ET kayıpları, aylık, mevsimlik yada yıllık dönemler dikkate alındığında önemli büyüklüklere ulaşmaktadır.
- Örneğin dünya genelindeki hidrolojik çevrim dikkate alındığında yeryüzüne düşen yağışların yaklaşık %60-70 kadarı buharlaşma ve terleme yoluyla atmosfere geri dönmektedir (McMahon vd, 2013).
- Yarı-kurak iklim kuşağında (Akdeniz) yer alan ülkemiz içinde buharlaşma kayıpları önemlidir ve yaklaşık olarak ortalama %65 mertebesindedir.



Buharlaşmayı Etkileyen Faktörler

- Buharlaşma şiddeti meteorolojik faktörlere ve buharlaşma yüzeyinin durumuna bağlı olarak değişir.

-Meteorolojik faktörler: Güneş radyasyonu, rüzgar hızı, havanın nem

miktarı, sıcaklık ve atmosfer basıncı

(diğer meteorolojik faktörler sabit tutulduğunda, rüzgar daki %10 luk değişim, buharlaşma miktarında %1-3 lük değişim; sıcaklık çift etkiye sahiptir)

-Buharlaşma yüzeyi: yağışa açık bütün yüzeyler-- şiddet f(yüzeyin su

ve enerji miktarı), sıvı suyun sıcaklığı, tuzluluğu, yüzeyin hava direç

özellikleri, yüzeyin enerji özellikleri.

(tuzluluk buharlaşmayla ters orantılıdır, tuz oranındaki %1 lik artış, buharlaşma da %1 lik azalmaya sebep olur)

Buharlaşmaya miktarı çeşitli etkenlere bağlıdır;

1. Buharlaşma miktarı su yüzeyindeki buhar basıncıyla suyun üstündeki havanın buhar basıncının arasındaki fark ile orantılıdır.

Suyun sıcaklığı artıkça;

- moleküllerin hızları artar,
- yüzeysel gerilim azalır ve
- doymuş havadaki nem miktarı (su yüzeyindeki buhar basıncı) artacağından buharlaşma kolaylaşır.

2. Havanın hareketi: Buharlaşmanın devamı için doygun hale gelen suyun üstündeki havanın su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu da havanın hareketi ile mümkündür.

3. Enerji: Su moleküllerinin hızlarını artırarak buharlaşmayı sağlamak için enerji gereklidir. 1 gr suyun buharlaşması için 539-597 kalori enerjiye ihtiyaç vardır.

4. Suda erimiş tuzlar buharlaşmayı azaltır. Bu azalma %1 kadardır.

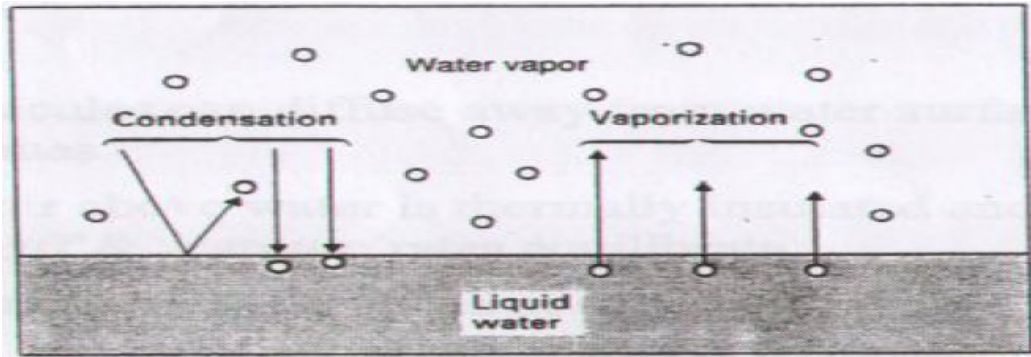
5. Su yüzeyinde çok ince (monomoleküler) bir kimyasal film oluşturarak buharlaşmayı azaltmak mümkün olabilir.

6. Su derinliği de mevsimlik buharlaşma miktarı üzerine etkisi olmaktadır.

7. Hava basıncı azaldıkça buharlaşma artar.

Buharlaşma Őiddeti

- Buharlaşma sırasında açık su yüzeyi ile temas halindeki hava arasında iki yönlü su transferi vardır. Bunlar, havadaki su moleküllerinin buhar basıncına bağlı olarak yoğuşup yüzeye geçişi (**yakalama oranı**) ve yüzeydeki su moleküllerinin sıcaklık etkisiyle gaz haline geçerek buharlaşmasıdır (**kaynama oranı**). Bu iki yönlü moleküler hareketin net farkı buharlaşma Őiddeti'dir.



Buharlaşma, yüzeyin nem içeriğine, yüzeyin sahip olduğu net ısı enerjisine ve yüzeyle temas halinde bulunan havanın rüzgar hızı, buhar basıncı ve sıcaklık faktörlerine bağlıdır.

ÖRN:

Günlük ortalama enerji (net radyasyon) miktarı 150 W/m^2 ; ortalama sıcaklık 20°C , su eşdeğerine dönüştür:

$$E = (\text{Nem'e bağımlı Yakalama Oranı}) - (\text{Sıcaklığa bağımlı Kaynama Oranı})$$



$$\lambda = 2.501 - 0.002361 T \text{ (MJ/kg } ^\circ\text{C)}$$

Gizli buharlaşma ısı akısı

$$\begin{aligned} \text{Gizli ısı, } \lambda &= 2.501 - 0.002361 \times (20) = 2.454 \text{ MJ/kg } ^\circ\text{C} \\ 150 \text{ W m}^{-2} &= 150 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \\ &= (150 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ J d}^{-1} \text{ m}^{-2} \\ &= 12.96 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} \\ &= (12.96 / \lambda) \text{ kg m}^{-2} \text{ d}^{-1} \\ &= 5.28 \text{ kg m}^{-2} \text{ d}^{-1} \\ &= 5.28 \text{ mm d}^{-1} \text{ (} \rho_w = 1000 \text{ kg m}^{-3} \text{)} \end{aligned}$$

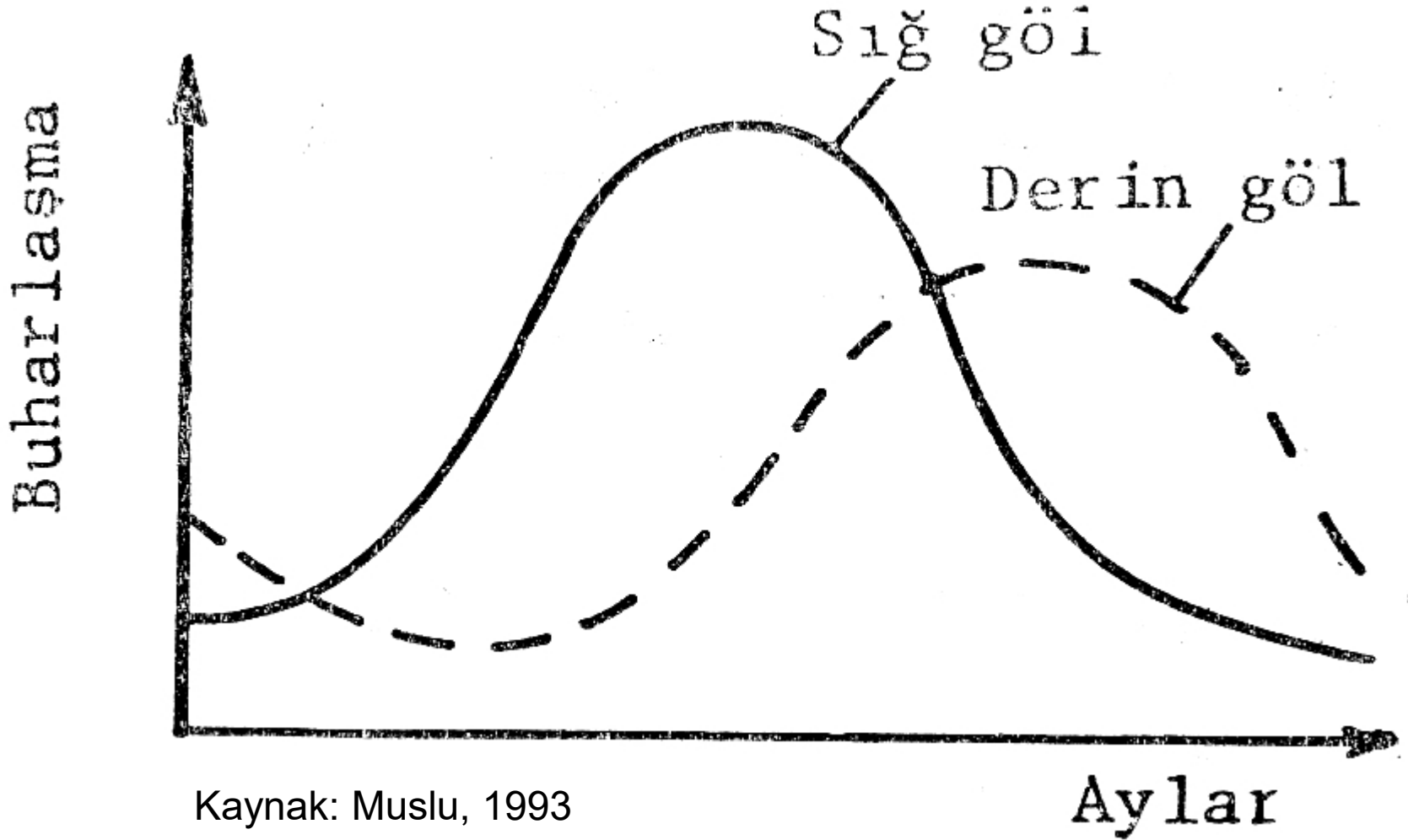
Göllerde Su Derinliğinin Su Yüzeyinden Buharlaşmaya Etkisi

- **Sığ göllerde** kışın gölün her tarafı 0°C'ye kadar düşebilir. 4°C sıcaklıktaki su kütleleri dibe çöker.
- İlkbaharda ise gölün yüzeyi ısınır ve 4°C sıcaklığa ulaşınca dibe çöker. Bu durumda tüm göl suyu karışır.
- Sonbaharda ise bu durumun tersi nedeniyle tüm su gene karışır.
- Bu nedenle **suyun ısınması ve soğuması hava sıcaklığı değişimlerini kısa bir zaman farkı ile takip eder.**

Göllerde Su Derinliğinin Su Yüzeyinden Buharlaşmaya Etkisi

- Derin göllerin ısınması çok daha fazla enerji gerektirmektedir ve 60 metreden daha derin kısımlar genellikle her mevsim 4°C civarında kalabilmektedir.
- Bu nedenle suyun ısınması ve soğuması uzun sürer ve hava sıcaklığını önemli bir zaman farkı ile takip eder.
- Su sıcaklığı yazın hava sıcaklığından daha düşük, kışın ise daha yüksek olmaktadır.

Göllerde Su Derinliğinin Su Yüzeyinden Buharlaşmaya Etkisi



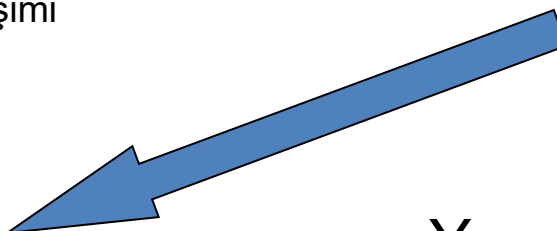
Serbest Su Yüzeyinden Buharlaşmanın Hesaplanması

Üç yöntem

- Su dengesi yöntemi
- Isı dengesi yöntemi
- Kütle taşınımı yöntemi

Su Dengesi Yöntemi

$$\underbrace{X}_{\text{Sisteme giren su}} - \underbrace{Y}_{\text{Sistemden çıkan su}} = \underbrace{\Delta S}_{\text{Sistemdeki su hacmi değişimi}} \quad \Rightarrow \quad X = Y + \Delta S$$


$$\underbrace{\underbrace{P}_{\text{Yağış}} + \underbrace{Q_{G,R}}_{\text{Sisteme giren akış}} + \underbrace{Q_{G,G}}_{\text{Sisteme giren yeraltı suyu akışı}}}_{X} = \underbrace{\underbrace{E}_{\text{Buharlaşıma}} + \underbrace{Q_{Ç,R}}_{\text{Sistemden çıkan akış}} + \underbrace{Q_{Ç,G}}_{\text{Sistemden çıkan yeraltı suyu akışı}} + \underbrace{\Delta S}_{\text{Sistemdeki su hacminin değişimi}}}_{Y}$$

Su Dengesi Yöntemi

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Yağış} & & & \text{Buharlaşıma} & & & \text{Sistemdeki} \\ \text{P} & + & \text{Q}_{G,R} & = & \text{E} & + & \text{Q}_{Ç,R} & + & \text{Q}_{Ç,G} & + & \Delta S \\ \text{Sisteme} & & \text{Sisteme} & & \text{Sistemden} & & \text{Sistemden} & & & & \text{su hacminin} \\ \text{giren akış} & & \text{giren yeraltı} & & \text{çıkan akış} & & \text{çıkan yeraltı} & & & & \text{değişimi} \\ & & \text{suyu akışı} & & & & \text{suyu akışı} & & & & \end{array}$$

Denklem n yıl için yazılıp, daha sonra yıl üzerinden ortalama alındığında; ΔS , $Q_{G,G}$ ve $Q_{Ç,G}$ sıfır alınabilir.

$$\bar{E} = \bar{P} + \overline{Q_{G,R}} - \overline{Q_{Ç,R}}$$

Su Dengesi Yöntemi

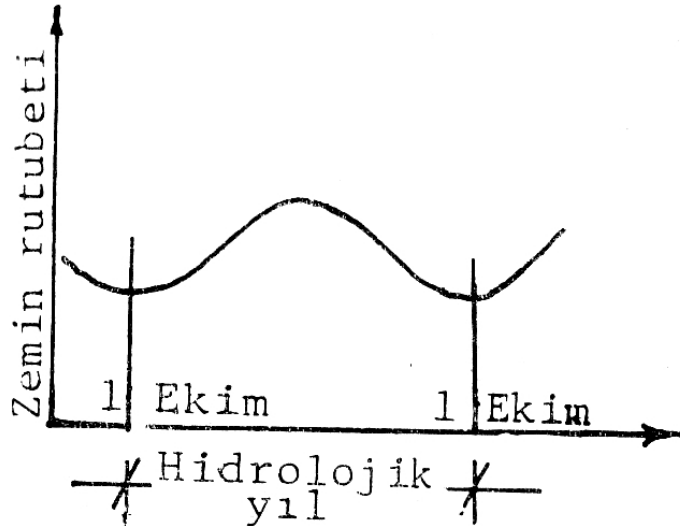
Sistemdeki
su hacminin
değişimi

Yağış

Buharlaşma

$$\underbrace{P}_{\text{Yağış}} + \underbrace{Q_{G,R}}_{\text{Sisteme giren akış}} + \underbrace{Q_{G,G}}_{\text{Sisteme giren yeraltı suyu akışı}} = \underbrace{E}_{\text{Buharlaşma}} + \underbrace{Q_{Ç,R}}_{\text{Sistemden çıkan akış}} + \underbrace{Q_{Ç,G}}_{\text{Sistemden çıkan yeraltı suyu akışı}} + \underbrace{\Delta S}_{\text{Sistemdeki su hacminin değişimi}}$$

Denklem kısa bir süre için yazılmak istenirse, ΔS , $Q_{G,G}$ ve $Q_{Ç,G}$ belirlenmelidir. Bunların belirlenmesi kolay değildir.



Bir çözüm, ΔS , $Q_{G,G}$ ve $Q_{Ç,G}$ bileşenlerinin sıfıra mümkün olduğunca yakın olmalarını sağlayan zaman aralıkları ile çalışmaktır. Buna göre **hidrolojik yıl** tanımlanır.

Enerji Dengesi Yöntemi

Bu yöntemde, güneş ışığı ile yeryüzüne ulaşan ısı enerjisinin;

- Su kütlesinin sıcaklığını arttıran
- Buharlaşmada harcanan (buharlaşma ısı çeker)
- İletim ile atmosfere dönen
- Yansıma ile atmosfere dönen
- Su kütlesinden dışarı çıkan

ısı enerjilerinin toplamına eşit olduğu ifade edilmektedir.

Enerji Dengesi Yöntemi

Yeryüzünü
ısıtan enerji

Uzaya ışıma ile
verilen ısı enerjisi

Yansımaya
katsayısı

$$H = R_I - R_B$$

Zeminde
tutulan ısı
enerjisi

$$R_I = R_C - r \cdot R_C$$

Yeryüzüne
ulaşabilen
ısı enerjisi

Yeryüzünden
yansıyan ısı
enerjisi

Suyu
buharlaştıran
ısı enerjisi

$$H = \Delta D + E_0' + K$$

Suyun
depoladığı
ısı enerjisi

İletim
(kondüksiyon) ile
atmosfere verilen
ısı enerjisi

Enerji Dengesi Yöntemi

Suyu buharlaştıran
ısı enerjisi

$$H = \underbrace{\Delta D}_{\text{Suyun depoladığı ısı enerjisi}} + \underbrace{E_0'}_{\text{İletim (kondüksiyon) ile atmosfere verilen ısı enerjisi}} + \underbrace{K}_{\text{Bowen oranı}}$$

Suyun
depoladığı
ısı enerjisi

İletim
(kondüksiyon) ile
atmosfere verilen
ısı enerjisi

$$K = \underbrace{\beta}_{\text{Bowen oranı}} \cdot E_0'$$

Bowen
oranı

$$H = \Delta D + E_0' \cdot (1 + \beta)$$

p_0 : Atmosfer basıncı (kg/cm²)

T_w : Suyun sıcaklığı (°C)

T_a : Havanın sıcaklığı (°C)

e_w : Suyun buhar basıncı (kg/cm²)

e_a : Havanın buhar basıncı (kg/cm²)

$$\beta = 6 \cdot 10^{-4} \cdot p_0 \cdot \frac{T_w - T_a}{e_w - e_a}$$

E_0' enerjisinden buharlaşan suyun yüksekliği hesaplanabilir.

Su Yüzeyinden Buharlaştırmanın Penman Teorisi ile Hesabı

Penman teorisi ile nispeten kolay elde edilen meteorolojik veriler kullanılarak serbest su yüzeyinden buharlaşma hesaplanabilir.

Yeryüzünü ısıtan enerji H Uzaya ışıma ile verilen ısı enerjisi R_B

$$H = R_I - R_B$$

Zemini ısıtan ısı enerjisi (kalori/cm²/gün)

Güneşli saatlerin toplamı

$$R_C = R_A \cdot \left(0,2 + 0,48 \cdot \frac{n}{D} \right)$$

Angot değeri (kalori/cm²/gün)

Gündüz süresi

Yeryüzüne ulaşabilen ısı enerjisi R_I Yeryüzünden yansıyan ısı enerjisi $r \cdot R_C$

$$R_I = R_C - r \cdot R_C$$

Yansımaya katsayısı (albedo)

Yüzeyin Cinsi	r
Serbest su yüzeyi	0,06
Kaya	0,12 - 0,15
Kuru toprak	0,14
Islak toprak	0,08 - 0,09
Çayır	0,10 - 0,33
Yeni yağmış kar	0,90
Kar (temiz)	0,40
Kar (kirlenmiş)	0,10
Yeşil bitki örtüsü	0,20

Su Yüzeyinden Buharlaştırmanın Penman Teorisi ile Hesabı

Angot değerleri (kalori/cm²/gün)

Enlem Derecesi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
N 90	0	0	55	518	903	1077	944	605	136	0	0	0
80	0	3	143	518	875	1060	930	600	219	17	0	0
60	86	234	424	687	866	983	892	714	494	258	113	55
40	358	538	663	847	930	1001	941	843	719	528	397	318
20	631	795	821	914	912	947	912	887	856	740	666	599
Ekvator	844	963	878	876	803	803	792	820	891	866	873	829
20	970	1020	832	737	608	580	588	680	820	892	986	978
40	998	963	686	515	358	308	333	453	648	817	994	1033
60	947	802	459	240	95	50	77	187	403	648	920	1013
80	981	649	181	9	0	0	0	0	113	459	917	1094
90	995	656	92	0	0	0	0	0	30	447	932	1110

Su Yüzeyinden Buharlaştırmanın Penman Teorisi ile Hesabı

$$R_B = 117,4 \cdot 10^{-9} \cdot T_A^4 \cdot (0,47 - 0,077 \cdot \sqrt{e}) \cdot \left(0,2 + 0,8 \cdot \frac{n}{D}\right)$$

Uzaya ışıma ile verilen ısı enerjisi (kalori/cm²/gün)

Yeryüzünün mutlak sıcaklığı (°Kelvin)

Gerçek buhar basıncı (mmHg)

$$R_C = R_A \left(0,2 + 0,48 \cdot \frac{n}{D}\right) \quad R_I = R_C - r \cdot R_C$$

$$H = R_I - R_B$$

(kalori/cm²/gün)

$$H = R_A \cdot (1 - 0,06) \cdot \left(0,2 + 0,48 \cdot \frac{n}{D}\right) -$$

$$117,4 \cdot 10^{-9} \cdot T_A^4 \cdot (0,47 - 0,077 \cdot \sqrt{e}) \cdot \left(0,2 + 0,8 \cdot \frac{n}{D}\right)$$

Kütle Taşınımı Yöntemi ile Su Yüzeyinden Buharlaşmanın Hesabı

3. *Kütle transferi metodu* : Sınır tabakası teorisini, türbülansın karışım uzunluğu ve türbülanslı difüzyon kavramlarını kullanarak su yüzeyinden havaya su moleküllerinin iletimi olayı için yapılan teorik analizler sonunda buharlaşma miktarını su yüzeyinden iki farklı yükseklikte ölçülen nem, sıcaklık ve rüzgâr hızı cinsinden veren formüller ileri sürülmüştür. Bunlara bir örnek Thornthwaite-Holzman formülüdür. :

$$E = \frac{K (e_1 - e_2) (w_2 - w_1)}{T \cdot \ln (z_2/z_1)^2} \quad (3.7)$$

Bu formülde E saatlik buharlaşma miktarı, e_1 ve e_2 yerden z_1 ve z_2 yükseklikte havanın buhar basıncı, w_1 ve w_2 aynı yüksekliklerde rüzgâr hızı, T havanın ortalama sıcaklık derecesidir. K bir sabiti göstermektedir. Yapılması gereken ölçümlerin çok oluşu ve hesaplanan değerlerdeki hatanın fazla oluşu yüzünden bu gibi formüller fazla kullanılmamaktadır.

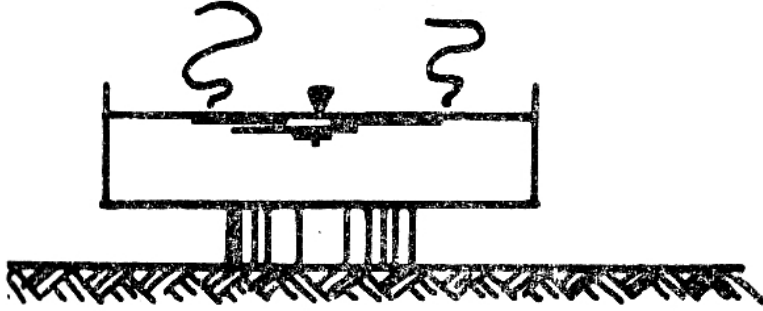
Su Yüzeyinden Buharlaşmanın Ölçülmesi

Serbest su yüzeyindeki buharlaşma, tavalar (leğenler) ile ölçülür.

- a) Zemin üzerinde
- b) Zemine gömülü
- c) Yüzücü

Diğerlerinden daha kararlı sonuçlar verdiği için en çok (a) tipi buharlaşma tavası kullanılır.

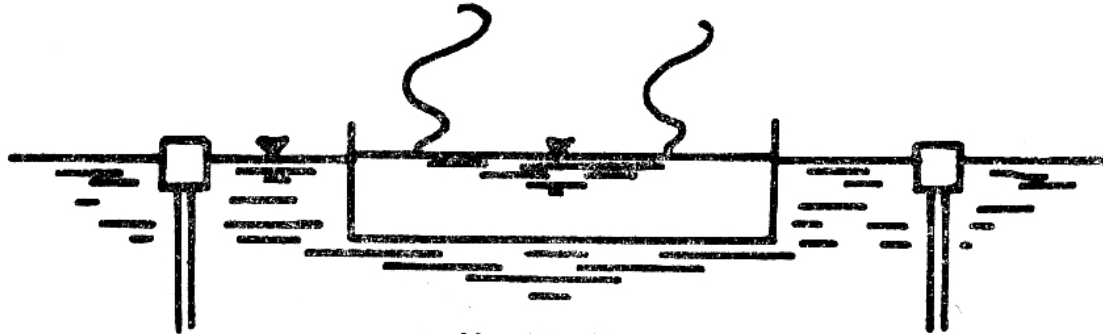
Su Yüzeyinden Buharlaştırmanın Ölçülmesi



Zemin üstünde
(a)



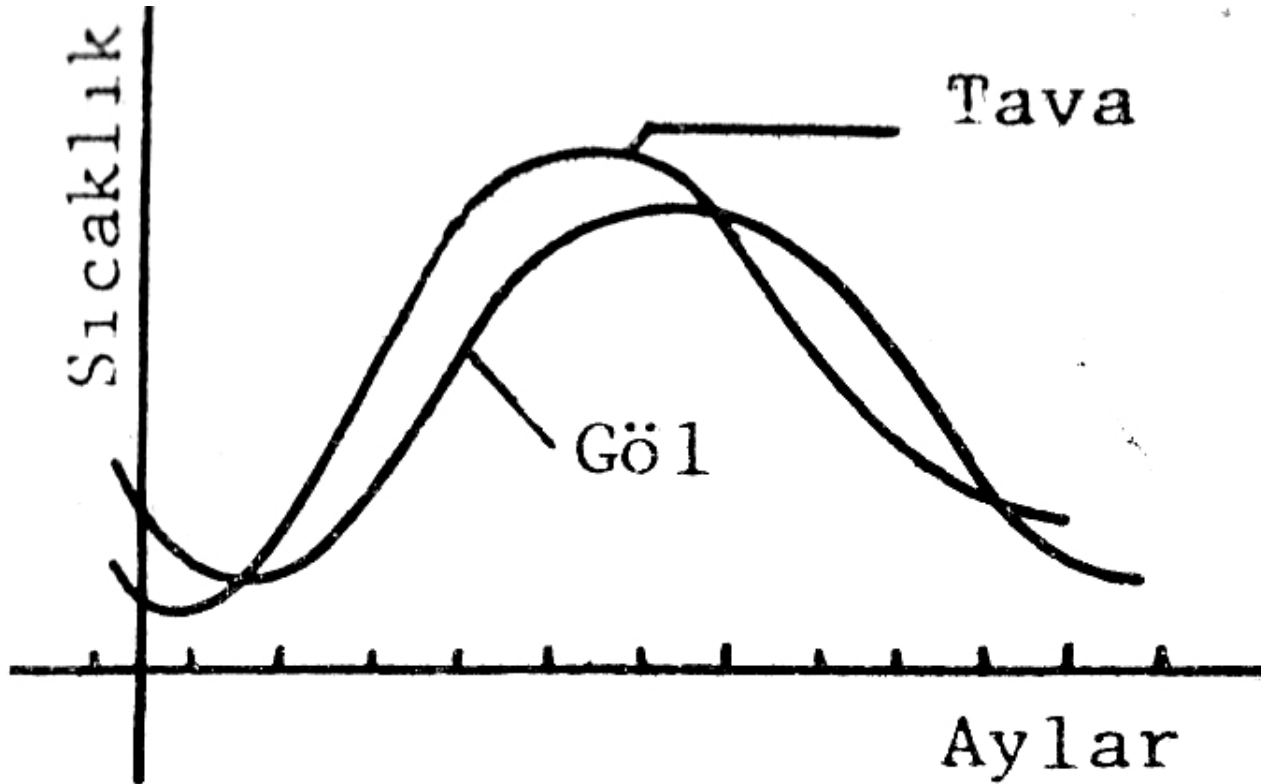
Zemin içinde
(b)



Yüzücü
(c)

Su Yüzeyinden Buharlaştırmanın Ölçülmesi

Serbest su yüzeyindeki buharlaştırma ile tavadaki buharlaştırma arasında bir katsayı vardır. Zemin üzerindeki buharlaştırma tavaları (a tipi) için bu katsayı yaklaşık olarak 0,7 alınabilir.



Zeminden Buharlaşma

- Su yüzeyinden buharlaşmaya benzer, ancak su moleküllerinin aşması gereken direnç daha büyüktür.
- Yeraltı suyu seviyesi yüksek ve zemin geirgense çok olur.
- Zemin geçirgenliği düşükse ve yeraltı suyu seviyesi zeminden 1,5 m ya da daha aşağıda ise ihmal edilebilecek kadar azalabilir.
- Çıplak zeminde, bitki örtüsü olan zeminden daha yüksektir.

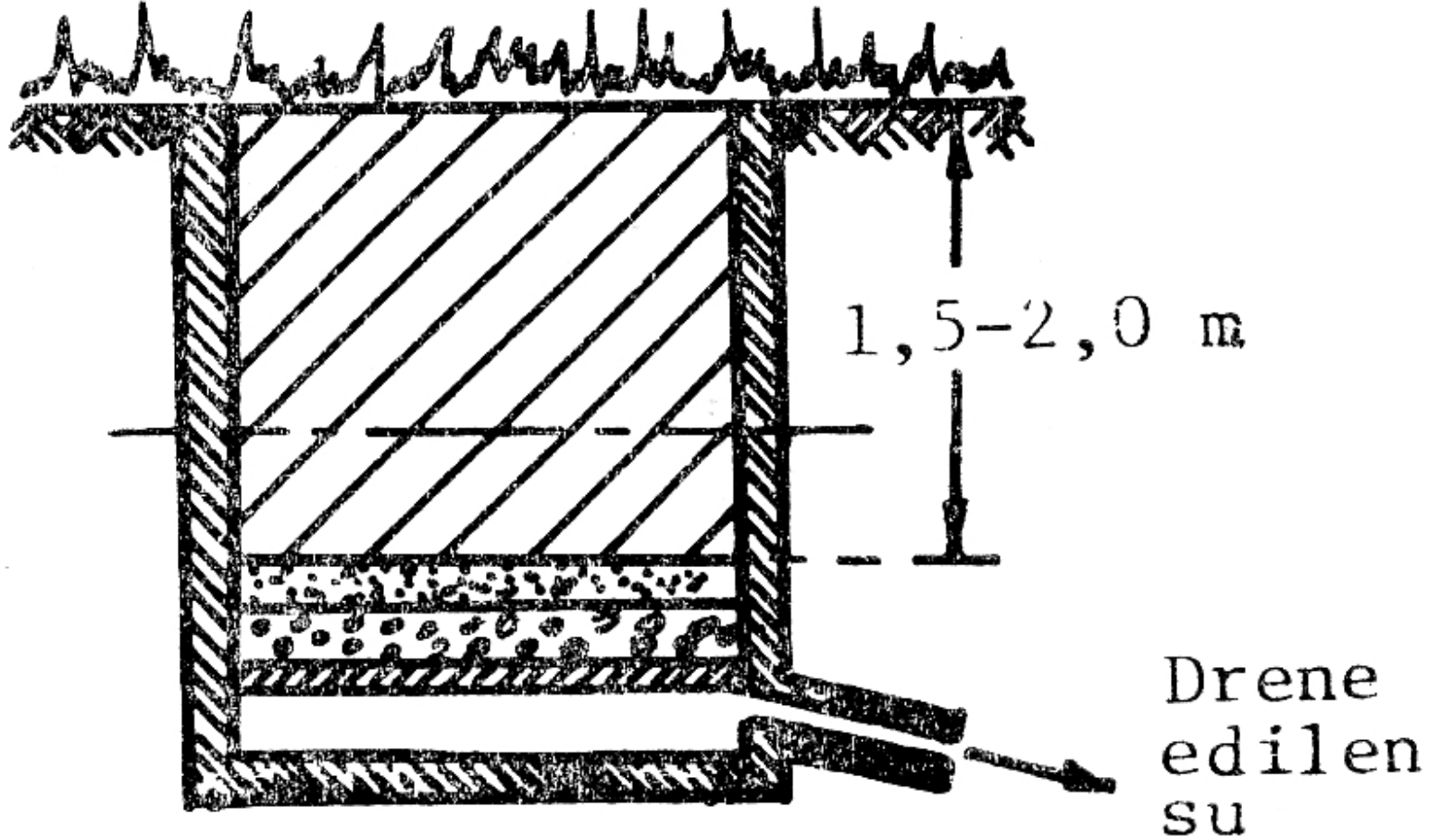
Zeminden Buharlaşmanın Ölçülmesi

- Lizimetre denilen aletle ölçülür.
- Lizimetre üzerinden su dengesi hesabı yapılarak buharlaşma bulunur.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Yağış} & & \text{Buharlaşma} & & \text{Su muhtevastındaki} & & \\ \text{ } & & \text{ } & & \text{değişim} & & \\ \underbrace{P} & + & \underbrace{Q_G} & = & \underbrace{E} & + & \underbrace{Q_Ç} & + & \underbrace{\Delta D} \\ \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\ \text{Eklenen su} & & \text{Drene olan su} & & & & & & \end{array}$$

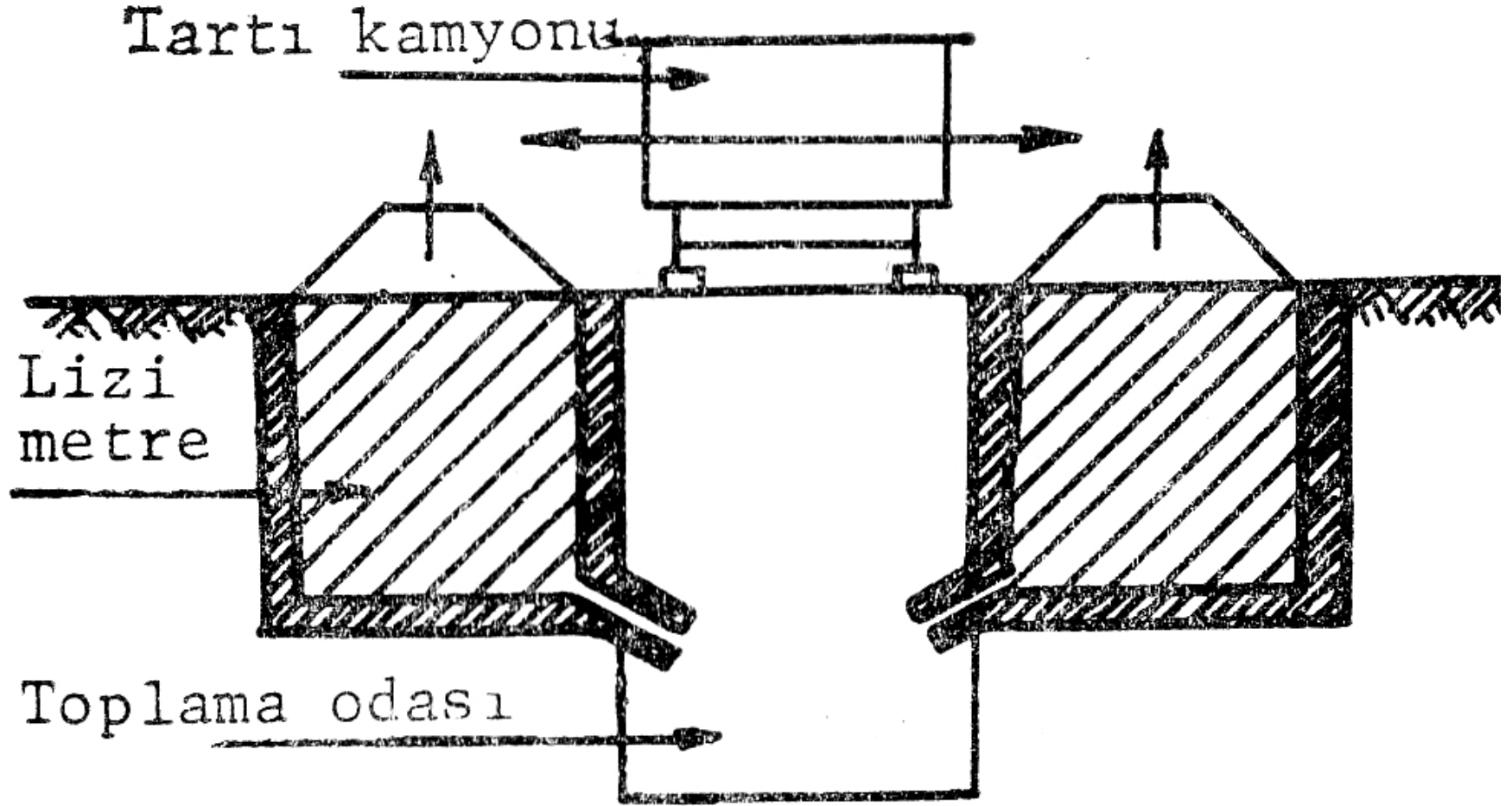
- İki çeşit lizimetre vardır:
 - Tartılamayan (ΔD bulunamaz)
 - Tartılabilen (ΔD bulunabilir)
- Lizimetrelerin alanı en az 1 m² ve derinliği en az 1,5-2 m olmalıdır. Eğimli yerler lizimetreler için uygun değildir.

Tartılamayan Lizimetre



Muslu, 1993

Tartılabilen Lizimetre



Muslu, 1993

Terleme (Transpirasyon)

- Bitkilerin bünyelerindeki suyu atmosfere su buharı olarak vermeleri olayıdır.
- Buharlaşmayı etkileyen meteorolojik değişkenler, terlemeyi de etkiler.
- Gece saatlerinde olmaz.

Terlemeyi Etkileyen Fiziksel Faktörler

- Yeraltı suyu seviyesi
- Zeminin nem muhtevası
- Bitkinin yetişme zamanı
- Bitkinin yaprak miktarı ve özellikleri

Evapotranspirasyon

- Buharlaşıma ile terlemenin toplamıdır.
- Zeminden atmosfere doğru olan toplam su kaybıdır.

$$\text{Evapotranspirasyon} = \text{Buharlaşıma} + \text{Terleme}$$

Potansiyel ve Gerçek Evapotranspirasyon

!!! VAROLMAYAN SU KAYBEDİLEMEZ !!!

- Yeterli zemin nemi varsa (zemin nemi su kaybı için sınırlayıcı değilse), mevcut koşullarda olabilecek evapotranspirasyona potansiyel evapotranspirasyon denir.
- Gerçek evapotranspirasyon yeterli zemin nemi yoksa, potansiyel evapotranspirasyondan daha düşük olabilir.

Mühendislik Hidrolojisinde Buharlaşma Tahminleri

- İki-adımlı tahmin yaklaşımı kullanılır:

Adım 1: Su kısıtlılığının olmadığı ve iyi tanımlanmış bir yüzey de uygun bir 'standart oran' tahmin edilir.

Adım 2: Su kısıtlılığı ve farklı bitki türleri için standart orana yaklaşık düzeltme yapılır.

$$\text{Buharlaşma (E)} = (\text{Bitki/toprak bağımlı Faktörler}) \times (\text{Standart Oran})$$

- Standart Buharlaşma Oranı, meteorolojik değişkenlerin kayıtlarında çevre yüzey örtüsü (değişebilir) etkisinin ihmal edildiği kurgusal, idealleştirilmiş oranlardır.

Buharlaşma Tahminleri

- Standart Oranlar:

Potansiyel Buharlaşma, E_o : *Mevcut meteorolojik şartlar altında kurgulanmış bir geniş alanlı açık su yüzeyinden birim zaman, birim alandan buharlaşan su miktarıdır.*

Referans Bitki Buharlaşması, E_{RC} : *0.12 m sabit yükseklikli, 0.23 yüzey yansım oranlı, ve 69 s/m yüzey direnci ile tanımlanmış çim bitkisi yüzeyinden olan buharlaşma oranıdır.*

$E_{iyi-sulanmış\ gerçek} = K_{CO} \cdot E_{RC}$; K_{CO} potansiyel bitki büyüme katsayısı

$E_{gerçek} = K(Q) \cdot K_{CO} \cdot E_{RC}$; $K(Q)$ bitki kök derinliğindeki toprak nem miktarı katsayısı

Buharlaşma Tahminleri

Su dengesi (sürekliplik denklemi):

$$P = \lambda E - R_{yuzey} - R_{yeraltı} - \Delta S$$

Enerji dengesi:

$$R_n = H + \lambda E + G + P$$

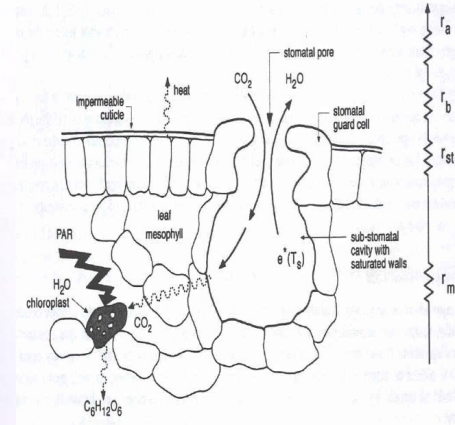
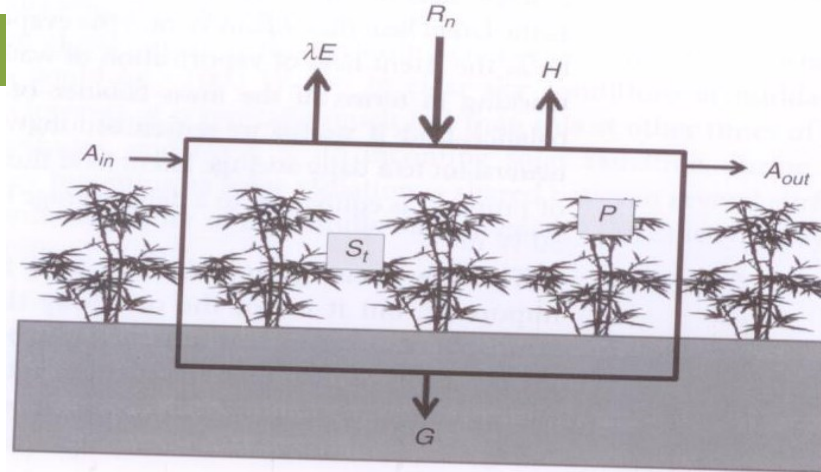
Hissedilebilir ısı akışı:

$$H = \frac{T_s - T_r}{r_a} \rho c_p$$

Buharlaşma ısı akışı:

$$\lambda E = \left(\frac{e^*(T_s) - e_r}{r_s + r_a} \right) \frac{\rho c_p}{\gamma}$$

R_n , net radyasyon; G , toprak ısı akışı



r_a : hava-mekanik direnç (s/m) (5-20 s/m)

r_s : bitki yüzey direnci (s/m) (50-150 s/m)

r_a, r_s : yüzey pürüzlülük uzunluğu (z_o) ile ters orantılıdır.

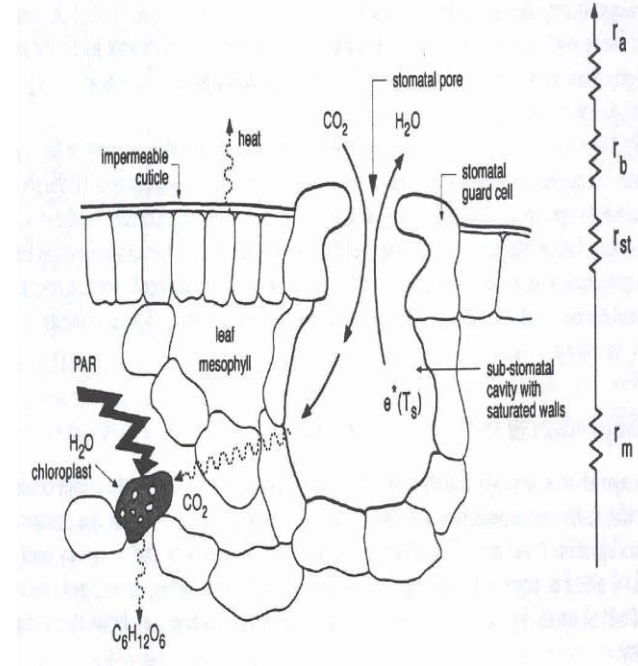
Buharlaşma Tahminleri

Enerji denge denklemi ve ısı akışları bir arada kullanılarak potansiyel ET hesaplamak için Penman-Monteith modeli elde edilmiştir:

$$ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\left(\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right)}$$

Penman-Monteith aerodinamik direncin tanımlanabildiği hertürlü nemli ve bitki ile kaplı yüzeylerden gerçekleşen potansiyel evapotranspirasyonu vermektedir.

$r_s = 0$, acık su yüzeylerinden olan potansiyel buharlaşma (Penman).



Buharlaşma tahminleri

- Aerodinamik direnç (r_a), toprak, su yada bitki içindeki su buharı yada hissedilebilir ısı kaynağı ve meteorolojik ölçümlerim yapıldığı hemen üstündeki bir atmosfer seviyesi arasında ki deşimleri tanımlar.
- CH (Değişim) = $1/r_a$

- Aşağıdakilere bağlı olarak değişir:

$$r_a = 4.72 \ln(z_m/z_o)/1+0.53U$$

- rüzgar hızı
- yüzeyin pürüzlülüğü
- eğer mevcut ise bitki uzunluğu

Buharlaşma tahminleri

- **Standart buharlaşma oranı:** Referans bitki buharlaşması (ET_{RC})

(0.12 m sabit yükseklikli, 0.23 yüzey yansım oranlı, ve 69 s/m yüzey direnci ile tanımlanmış çim bitkisi yüzeyinden olan buharlaşma)

Penman Monteith denkleminde iyi sulanmış çim bitkisi için aerodinamik değerler yerine konulduğunda aşağıdaki referans bitki ET denklemi elde edilir:

$$ET_{RC} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

$$r_s=69, r_a= 208/U$$

- Penman Monteith denkleminde (referans yada potansiyel oran) birinci terim (radyasyon) ikinci terimin (nem kısıtlığı) yaklaşık olarak dört katı daha büyüktür.
- Buna göre, Priestly-Taylor yaklaşık, sayısal tamamen enerji-temelli bir denklem elde etmiştir.

Buharlaşma tahminleri

- $ET_{ref} = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left(\frac{R_n - G}{\lambda} \right)$

$\alpha = 1.74$ (**Kurak B6lgeler**) (RH < %60 en kurak ay)

$\alpha = 1.26$ (**Sulak B6lgeler**)

- Penman Monteith denklemindeki her iki terimin sıcaklık ile sayısal bir ilişki vardır:
Daha y6ksek radyasyon ==> daha y6ksek sıcaklık
Daha y6sek sıcaklık ==> daha y6ksek su buharı kısıtlığı
- Sıcaklık ile radyasyon arasında potansiyel ET hesabı için sayısal bir ilişki kullanılır. Hargreaves, Blaney Criddle, Thornthwaite sıcaklığı temel alan potansiyel ET tahmin denklemleri elde etmişlerdir.

$$ET_{ref} = 0.0023 \frac{R_a}{\lambda} \sqrt{(T_{maks} - T_{min})} (T_{ort} + 17.8) \text{ Hargreaves Denklemi}$$

Buharlaşma tahminleri

- Blaney Criddle (sıcaklık-temelli potansiyel ET):

$$ET_{ref} = p (1.8T_{ort} + 32)/100$$

p= aylık gündüz saatleri (yılın yüzdelik dilimi olarak)

T_{ort} = aylık ortalama sıcaklık

Table 1 Time-averaged single crop coefficients, and basal crop coefficients for w climates, for use with ET_o

Crop	Single K _c		
	K _{cini}	K _{cmid}	K _{cend}
Small vegetables	0.7	1.05	0.95
Vegetables—roots	0.5	1.10	0.95
Vegetables—legumes	0.4	1.15	0.55
Vegetables—solanum family	0.4	1.15	0.80
Vegetables—cucumber family	0.4	1.00	0.80
Fiber crops	0.35	1.15	0.70
Oil crops	0.35	1.15	0.30
Cereals	0.3	1.15	0.4
Forages	0.60	1.15	1.10
Sugar cane	0.40	1.25	0.75
Grapes and berries	0.30	1.00	0.50
Fruit trees	0.60	0.95	0.75
Bare soil			
Wet	1.00	1.20	1.20
Dry	0.15	0.15	0.15
Wetlands	0.60	1.20	0.60
Open water			
< 2 m depth or in subhumid clim. or tropics	—	1.05	1.05
> 5 m depth, clear	—	0.75	1.25

(After Ref. 1.)

- Farklı bitki türleri ve yüzeyler için ET değerleri referans ET nin bitki katsayısı ile çarpılması suretiyle hesaplanır.
- ET kayıplarının farklı atmosferik koşullara bağlı bölgelerde gerçekleşen ET değerlerinin karşılaştırılmasına imkan tanır. Bu yöntem yardımıyla farklı coğrafya ve meteorolojik koşullar altında referans bitkinin ET kayıpları kıyaslanabilir olacaktır.
- Sulama alanlarında sulama suyu ihtiyacı hesabı için uluslararası geçerliliği olan bir yöntemdir.

Buharlaşma lümleri

- Buharlaşma tavaları (US Weather Bureau A Sınıfı): galvaniz demir, 122 cm çap, 25.4 cm derinlik, ve 20 cm derinliğe kadar su doldurulur, günlük lmler
- Su derinliği yada miktarı ölçülür

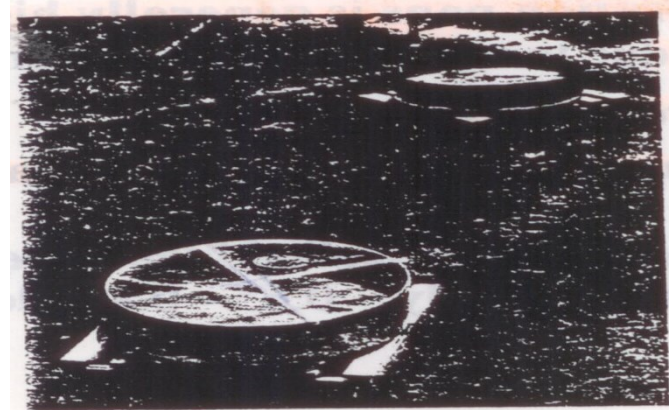


FIGURE 4.3.1 U.S. Weather Bureau Class A evaporation pans with screen in the foreground, and without screen in the background.

- Tava buharlaşma fiziği ve gllerden yada referans bitkiden buharlaşma arasında benzerlik olduğu varsayılır.
- Temsili olmayan enerji dengesinden dolayı tava buharlaşmaları genelde gl yada bitkilerden olan buharlaşmadan daha fazladır:
 - *galvaniz demirin alt ve kenarlarından ısı iletimi*
 - *daha sıcak havadan serin su yüzeyine ilave enerji taşınımı*

Tava Buharlaşması

- Bu farklılıklar, tava buharlaşma değerlerini bir düzeltme katsayısı (tava katsayıları) ile düzeltilerek ET_{ref} değerleri elde edilebilir.
- Düzeltme katsayısı 0.3 ila 1.0 arasında değişmektedir. Söz konusu değişim:
 - *rüzgar hızına,*
 - *nisbi neme ve*
 - *fetch mesafesine* (*bitki yada toprak ile kaplı fetch mesafesi; nemli bir bitki çevresi kuru bir toprak alanından daha iyidir*) *bağlıdır.*
 - $k_p(crop) < k_p(toprak) < 1$
- Orta seviye nisbi nem (40-70), orta şiddette rüzgar hızında (2-5 m/sn) ve 0-10 m fetch uzunluğu arasında bitki fetch li k_p yaklaşık 0.65 değerini almaktadır.

$$ET_{ref} = k_p E_{tava}$$