

256

BUHARLAŞMANIN
METEOROLOJİK DONELERLE HESAPLANMASI
(PENMAN METODU)

YAZAN

Şinasi ÇELENK
Tarımsal Meteoroloji ve İklim
Rasatları Dairesi Başkanı

1982 - ANKARA

G İ R İ Ş

Toprak ve su yüzeylerinden olan buharlaşma, su kaynaklarından faydalanma, onların yönetilmesi ve geliştirilmesinde çok önemli bir faktördür. Toprak ve su kaynakları teknolojisinin gelişimi, dağılımı ölçü ve kontrolü, geçen çeyrek asır boyunca önemli bir ilerleme kaydetti. Buna bağlı olarak, toprak yüzeyinden çıkan su buharının tarifi ve ölçme tekniği 1920 de Bowen tarafından vazedilen enerji balansı, 1930 da Thornthwait ve Holzman'ın aerodinamik çalışmaları ile büyük gelişmeler gösterdi.

Buharlaşma çalışmaları bir çok ilim sahalarında büyük önem taşır. Buharlaşma pek çok su problemlerinin çözümü için elzem olan malûmatın başlıcalarından bir tanesidir. Barajlar, su depoları, havuzlar, su bentleri, göl ve kanalların plânlanmasında güvenilir buharlaşma rasat ve analizlerine ihtiyaç vardır.

Memleketimizde bu ölçümler Class A Pan Amerikan tipi yuvarlak buharlaşma havuzları ile yapılmaktadır. Kış sezonu alet servisten kaldırıldığından yuvarlak buharlaşma havuzunun değerleri tam olmadığından teorik yoldan PENMAN metodu uygulanmıştır. Bugün mevcut metodlar içerisinde teorik esasları en kuvvetli olan bir methodtur. Toprak, bitki ve su yüzeyinin buharlaşmasına tesir eden atmosferdeki fiziki olaylar ve hava kütlelerinin hareketleri ile her zaman yakından ilgisi olan bu atmosferik faktörlerin (Sıcaklık, basınç, buhar basıncı, radyasyon, bulutluluk, nisbi rutubet, rüzgâr ve güneşlenme müddeti) bir çoğu PENMAN metodu hariç, diğer metodların hiç birinde doğrudan doğruya hesaba katılmamıştır.

Bitkilerin evapotranspirasyonu ile toplam su kaybı klimatolojik bakımdan önemli bir faktör olduğu genellikle bilinmektedir. Meteorolojik doneleri kullanılarak bir çok metodlarla evapotranspirasyon hesaplanır. Meteorolojik donelerinin tarifleri ve tesirleri yapılarak neticeye başarı ile gidilebilir. Buharlaşmanın fiziksel hareketinin hesaplanmasında bazı metodlarla karışıklık arz etmektedir. Bu gibi durumların doğru olarak cevaplandırılması için Mikroklima sahalarında ölçümleri tam olarak tesbit etmek ve hava sıcaklığında ölçülen Evapotranspirasyon arasında korelasyon, ampirik metodlarla düzeltmeler yapılmalıdır.

BUHARLAŞMA VE ÖZEL TERİMLERİN TANIMI

BUHARLAŞMA: Meteorolojide, genel olarak sıvı suyun, su buharı haline geçmesi şeklinde tarif olunur. Diğer bir tanımı ise; kaynama noktasının altındaki bir sıcaklıkta katı veya sıvı haldeki serbest bir su yüzeyinden su buharının çıkmasıdır. Bu oluşum havanın doymuş haline kadar devam eder. Mevcut su buharı, çeşitli faktörlerin etkisiyle tekrar yeryüzüne düşmektedirki, buna da Meteoroloji dilinde yoğunlaşma diyoruz.

Her ne kadar su molekülleri arasında atmosfere ve atmosferden de yeryüzündeki su moleküllerine doğru bir akım mevcut ise de buharlaşmanın hidrolojik tanımını, belirli orandaki su buharının atmosfere naklidir şeklinde yapacağız. Suda meydana gelen bu değişiklik bir enerji etkisi ile olabilir. 1 gram suyun buhar haline gelebilmesi için yaklaşık olarak 600 kaloriye ihtiyaç vardır.

Evapotranspirasyon: Mevcut atmosferik şartlar altında bitkilerde terleme ve topraktan buharlaşma yolu ile atmosfere intikal eden su buharının toplamıdır.

Potansiyel Evapotranspirasyon: Toprakta yeterli su bulunması halinde, topraktan ve bitkilerden müştereken buharlaşıp kaybolan muhtemel suyun maksimum miktarı.

Gerçek Evapotranspirasyon: Toprağın gerçek nem şartları altında, toprak ve bitki yüzeylerinden kaybolan su miktarı.

Evaporimetre: Buharlaşmayı ölçmek için kullanılan suyu ihtiva eden tank veya havuzdur.

Lizimetre: Toprak içerisine giden suyu ölçmek için kullanılan özel bir tipe nazir bir ölçme aletidir.

Atmometre: Atmometre ifadesi umumiyetle buharlaşma şiddetlerini ölçmek için ıslak bir yüzeyde kullanılan herhangi bir aleti temsil eder. (Pishe, Bellâni v.s.)

BUHARLAŞMAYA TESİR EDEN FAKTÖRLER

- Sıcaklık
- Rüzgâr
- Atmosferik basınç
- Radyasyon
- Suyun kalitesi
- Buharlaşma yüzeyinin büyüklüğü
- Çevrenin durumu
- Dalgalı ve hareket halindeki su
- Tuz durumu
- Kirlenme

BUHARLAŞMAYI OLUŞTURAN FAKTÖRLER

- Topoğrafik şartlar
- Bulutluluk
- Buhar basıncı farkları

BUHARLAŞMA FAKTÖRLERİNİN KONTROLU

Buharlaşmanın değişik oranlarda vuku bulmasını muhtemel bazı Meteorolojik faktörlere, buharlaşmanın vukubulduğu sathın ve bazı arazi-nin durumuna bağlamak icabeder. Buharlaşmanın genel olarak serbest su yüzeyinden meydana geldiği ve diğer kaynaklardan husule gelen buharlaş-maya nisbetle yüksek bir oran gösterdiği kabul edilmektedir.

1- Meteorolojik Faktörler: Biz tabii buharlaşmayı bir enerji transferi diye göstersek bile buna amil olan en önemli faktör güneş sebebiyle olan buharlaşmayı da nazarı itibare almamız gerekecektir. Çünkü güneş enerjisi enerjilerin en büyüğüdür. Diğer taraftan rüzgâr tüneli tecrübeleri, su yüzeyinden vukubulan buharlaşmaların belirli sıcak-lıklarda rüzgâr sebebiyle daha da fazla arttığını göstermiştir. Aynı zamanda atmosferde bulunan su buharının yaptığı basıncın da etken bir rol oynayacağını unutmamak gerekir. Uzun bir süre içinde rüzgâr hızının %10 değişmesi halinde buharlaşmada vukubulacak olan değişim diğer Meteorolo-jik faktörlere bağlı olarak %1 ile %3 arasında olacaktır. Derin göllerde ısı depolanması, rüzgârdaki ani değişimler ve havanın sıcaklığı çok tesir-li faktörlerdendir.

Güneş radyasyonu, hava suhuneti, buhar basıncı, rüzgâr ve muhte-melen atmosfer basıncı nedenleriyle meydana gelecek olan buharlaşma mik-tarlarında farklılıklar beklenebilir. En önemli faktör olan güneş radyas-yonu, rasat yerinin bulunduğu enleme, mevsime, günün uzunluğuna ve gök yüzünün kapalılık derecesine göre buharlaşmada etken bir rol oynar.

2- Buharlaşan Sathın Tabii Durumu: Yağış yerçekimi prensibine uygun olarak yer yüzüne düşer. Bitkiler, binalar, caddeler vesair yerler potansiyel buharlaşmanın vuku bulacağı yerleri teşkil edecektir. Yağmur-lu günlerde buharlaşma az olur. Çünkü hava, rutubete fazlasıyla doymuş bir halde bulunacaktır. Bu halde ortam buhar kütlelerinin transferine uygun değildir.

Toprak, yağışla tamamen doymuş bir hale geldiğinde, etrafta bulunan su birikintileri ile aynı evsafa sayılır. Her iki kütlede de sath sıcaklığı aynıdır. Toprak zamanla kurumağa başlarken buharlaşma da artacaktır. Bu andaki sıcaklık, enerji dengesini sağlamak amacıyla artacaktır.

Kar sıcaklığının işba sıcaklığından yüksek; havadaki buhar basıncının kar yüzeyindeki nazaran az olduğu hallerde buharlaşma vukubulabilir. Kar yüzeyinden vuku bulacak olan buharlaşma ile su yüzeyinden vukubulacak buharlaşma arasındaki münasebette benzerlik azdır. Zira kar yüzeyindeki sıcaklığın azlığı sebebiyle buharlaşma birden olmaz. Çünkü kar ilk önce sıvı haline geçecektir. Kar sıcaklığı -1.1°C , işba sıcaklığı da -6.7°C iken aynı durumda bulunan su yüzeyindeki sıcaklığı $+21.1^{\circ}\text{C}$, işba sıcaklığı da $+21.1^{\circ}\text{C}$ civarında olur ki meydana gelecek buharlaşma kara nazaran 5 misli fazla olacaktır. Bu da karın aynı nisbette buharlaşma yapabilmesi için daha fazla ısı isteyeceğini ortaya koymaktadır. 0°C deki karın buharlaşabilmesi için en geç süblüstasyon ısısı 677 kalori/gr.lık olmalıdır.

$$\frac{I_{s1}}{0^{\circ}\text{C}} \quad \frac{L_v}{597.3} \quad + \quad \frac{L_f}{79.7} \quad = \quad \frac{L_s}{677.0} \quad \text{cal/gram.}$$

L_f = Gizli ısı

L_v = Buharlaşma ısısı

L_s = Süblüstasyon ısısı

NOT : Bu bilgiler "Smithsonian Meteorological Tables" adlı eserin 343 ncü sayfasından alınmıştır.

Mevcut faraziyelere göre kar yüzeyinden günde 5 mm.den fazla buharlaşma olamaz.

SU YÜZEYİNDEN VUKU BULAN BUHARLAŞMANIN HİDROLOJİK MUHASEBESİ

Buharlaşmanın doğrudan doğruya araziden ölçülmesi mümkün değildir. Su yüzeyinden vukubulan buhar transferinin tahmini ve mülahazası teknik metodlar vasıtasıyla yapılabilir. Buharlaşmanın en iyi hesabı şu formülle yapılabilir.

$$E = (S_1 - S_2) + I + P - O - Q_g$$

E = Buharlaşma

S = Depolama

S_1 = İlk depolama

S_2 = Sonraki depolama

I = Giren akım

O = Çıkan akım

Q_g = Sızıntı

P = Yağış

Formülde bulunan bütün elemanlar ölçülebilir. Hesaplama sonucu buharlaşma elde edilecektir. Bu formülün tatbiki her ne kadar kolay ise

de giren, çıkan akım ile su birikintilerindeki seviye değişimlerinin tesbitinde hatalardan mutlak surette kaçınmak gerekecektir. Sonra tesbit edilen sızıntılar vukubulan buharlaşmaya eşdeğerde veya ondan fazla ise bu formül bizi daima yanıltacaktır. Bu gibi hallerde bu formülün kullanıl-
ması doğru olacaktır.

SU YÜZEYİNDEN VUKUBULAN BUHARLAŞMANIN ENERJİ YOLUYLA HESAPLANMASI

Buharlaşmanın enerji yoluyla hesaplanması tıpkı hidrolojik yolla yapılan hesaplama benzer. Bu metotta da şu formül yararlı olacaktır.

$$Q_s - Q_b - Q_r - Q_h - Q_e = Q_o - Q_v$$

- Q_s = Güneşten ve havadan gelen su yüzeyindeki kısa dalgalı radyasyon.
 Q_b = Atmosferde uzun dalgalı radyasyonun değişimi ile suyun bünyesinden vakii enerji kaybı.
 Q_r = Yansıyan kısa dalgalı radyasyon
 Q_e = Buharlaşma için kullanılan enerji
 Q_h = Kondüksiyon ile ısı transferi
 Q_o = Suyun bünyesindeki depolanan enerjinin artması.
 Q_v = Suyun bünyesine doğru net enerji adveksiyonu.

Bu formülde kullanılan enerjilerin hepsi de $cm^2 \cdot cal/gr.$ birimindedirler.

Bowen'de buharlaşmanın enerji yolu ile halledilmesi için şu formülü kullanmıştır.

$$E = \frac{Q_s - Q_r - Q_b - Q_v - Q_e}{H_v (1+R)}$$

- H_v = Buharlaşma gizli ısısı
 R = Kondüksiyon ile ısı kaybının buharlaşma ile olan ısı kaybına oranı (Bowen oranı).
 E = $cm.$ olarak buharlaşma miktarı suyun yoğunluğudur.

Burada tek bilinmeyen Bowen oranıdır ki o da şu formülle hesaplanır.

$$R = \frac{0.61 (T_g - T_a) P}{1000 (e_g - e_a)}$$

P = Atmosferik basınç

T_a = Hava sıcaklığı

T_g = Su sıcaklığı (T_w de alınabilir)

e_a = Havadaki buhar basıncı

e_g = T_g ile ilgili doymuş buhar basıncı

(e_g)_w değerleri "Smithsonon Meteorological Tables" adlı kitabın 351 nci sayfasından itibaren bulabiliriz. Bu değerler her anda bir °C derecesi için bile hesaplanmıştır.

Formülde kullanılan sıcaklıklar santigrat ve basınçlar da milibar cinsindedir.

Isı transferinin rasat veya hesap edilmesi kolay değildir. Formülde geçen Bowen oranı (sabite) bir çok münakaşalara yol açmıştır. Bowen atmosferdeki kararlılık için limit bir değer bulmuştur. Bu değer 0.58 ile 0.66 arasında oynamaktadır. Normal atmosferik şartlarda 0.61 değerinin kullanılması iyi neticeler vermiştir.

Pritchard ise yaptığı değerler sonunda bu değerlerin düz ve pürüzlü sathlar için 0.57 ile 0.66 arasında değiştiğini ispat etmiştir. Yıllık hesaplamalar için (R) sabitesinde bir değişiklik yapılması düşünülemez.

Bundan evvel belirtilen eşitliğin birinde (Q_v - Q_o) terimleri yaklaşık olarak hidrolojik hesaplama yolu ile de bulunabilir. Bunun hidrolojik hesaplamada şöyle belirtirsek;

$$S_2 - S_1 = I + P - O - O_g - E$$

Yoğunluktaki değişikliklerden sarfınazar ederek bütün terimleri cm³ cinsinden kullanabiliriz.

Her gram suyun enerji muhtevası onun hasıl ettiği Spesifik ısıdır. Spesifik ısayı ve diğerlerini birer birim olarak kabul ettiğimizde eşitliğimiz şu hale girer :

$$Q_v - Q_o = 1/A (IT_1 + PT_p - OT_o + O_g T_g - ET_E + S_1 T_1 - S_2 T_2)$$

Burada suhunetler santigrat, alanlar da cm^2 cinsinden olacağından nevice cm^2 kalori olarak bulunacaktır. Yağış sıcaklığı yerine ıslak termometre değeri alınabilir. Sızma suyunun sıcaklığı yerine de aşgari seviyedeki göl yüzü sıcaklığı alınır. T_g ise göl yüzeyi sıcaklığıdır.

SU YÜZEYİNDEN VUKUBULAN BUHARLAŞMADAKİ KÜTLE TRANSFERİ

Su yüzeyinden vukubulan buharlaşmadaki kütle transferi için Thorntwaite ve Holzman müşterek etüdüleri sonunda şu eşitliği elde etmişlerdir. Adyabatik olarak atmosferde rüzgâr hızının logaritmik dağılımı ve rutubetin dikey bir şekilde değişebilme düşüncesi bu formülün doğmasına sebep olmuştur.

$$E = \frac{833 k^2 (e_1 - e_2) v_2 - v_1}{(T + 459.4) \text{ Loge } \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^2}$$

- E = Saatlik buharlaşma (inç)
k = Van Karman'ın Sabitesi (0.4 olarak)
e = Buhar basıncı (inç, civalı barometreden)
v = Rüzgârın hızı (mil/saat)
T = Z_1 Z_2 seviyeleri arasındaki ortalama suhunet ($^{\circ}f$ olarak)
 Z_1 = Alt seviye
 Z_2 = Ust seviye

Buharlaşmayı izah etmek için bir çok atmosferik elemanların yanı sıra kütle transferini de içine alan sayısız formüller ortaya atılmıştır. Ancak bunlardan hangisi bünyemize ve şartlarımıza uyarsa o formül kullanılacaktır.

BUHARLAŞMANIN, HAVUZLAR VE DİĞER İLGİLİ METEOROLOJİK BİLGİLER VASİTASIYLA TAHMİNİ

Buharlaşma havuzu, buharlaşmanın tayini hususunda kullanılan en belli başlı bir rasat aletidir. Uzun zemandan beri de kullanılmaktadır.

1- BUHARLAŞMA HAVUZLARI: Belli başlı üç türlü buharlaşma havuzu vardır.

- Toprağa gömülü havuzlar
- Şamandıralı buharlaşma havuzları
- Satıha kurulan buharlaşma havuzları

Buñların kuruluş şekilleri başka başkadır. Güneş radyasyonu havuzdaki suya tesir edeceği gibi onu kuşatan maddeye de tesir edecek ve bizi yanıltabilecektir. Bu mülâhazalar nedeniyle bazı tip havuzlar bu aksaklığı önlemek maksadıyla toprağa gömülmüşlerdir. Bazılarıda toprak üzerine kurulmuşlardır. Bu tipler toprak üzerine yapılmış ağaç ızgaralara monte edilmiştir. Standart olarak kabul edilen Class-A tipi buharlaşma havuzları bahsi geçen tahta ızgaralar üzerine galvanizli sacdan yapılmış bir şekilde tesis edilmişlerdir. Ayrıca rüzgâr etkenini ölçmek için yanında 30 cm. yüksekliğindeki bir sabit anemometre vardır.

2- HAVUZ BUHARLAŞMASI VE METEOROLOJİK FAKTÖRLER: Buharlaşma havuzları rasatları ile meteorolojik faktörler arasında sıkı bir ilişki vardır. Aşağıya çıkarılan maddeler maksadımızı yeter derecede ifade edecektir.

- a) Bu mevzuu ile ilgili bilgileri genişletmek
- b) Kış aylarındaki donlu günlerde ve bilhessa şiddetli yağışlar nedeniyle havuzun taşıdığı anlardaki ölçülemeyen buharlaşma miktarları tahmin ederek doldurmak.
- c) Buharlaşma rasatlarının yapıldığı yerlerde bile meteorolojik faktörler yardımıyla zahiri değerler elde etmek.
- d) Rasat değerlerinin doğruluğunu kontrol ederek o yeri temsil kabiliyetini araştırmak.
- e) Göl ve havuz buharlaşmaları arasında bir münasebetin var olup olmadığını bulmak.

Her türlü sıcaklık rasatları mevsim şartlarına ve coğrafik durumlara tabi olmaktadır. Havuz buharlaşması bazı meteorolojik faktörler yardımıyla hesaplanabilmektedir.

Su sıcaklığı rasatları, buharlaşma miktarını hesaplama yönünden elzemdir. Şimdi de suyun bünyesinde depolanan ısıнын değişiminden ve havuz cidarlarının vereceği kondüksiyon ısısından da sarfınazar edersen bu durum Penman tarafından şu eşitlik halinde gösterilmiştir :

$$E = \frac{1}{\Delta + \gamma(Q_m \Delta + \gamma E_a)}$$

Δ Havuz suhuneti ile ona muadil doymuş buhar basıncı değerlerinin noktalanması neticesinde bulunacak eğrinin meyli,

E_a Su suhunetinin havuz suhunetine eşit olduğu kabul edilerek verilen ampirik kütle transfer eşitliğindeki buharlaşma.

Q_m Net radyant enerji mübadelesi

γ Bowen oranıdır.

$$\gamma = R \frac{(e_s - e_a)}{(T_s - T_a)}$$

Penman çok sayıdaki istasyonların rasatlarını tatbik ederek bunu grafiki korelasyon şeklinde tatbiki kolay bir halde gösterilmiştir.

Bowen oranının Class-A tipi buharlaşma havuzları için teorik değerinin takriben 1.5 veya 2 katı kadar olduğunu gene Penman bulmuştur. Class-A tipi buharlaşma havuzları için, buharlaşma değerlerini hesap etmek istersek grafiki korelasyondan faydalanmamız gerekecektir.

Ancak vukuu muhtemel hatalardan kaçınmak için her bölgeye ait değerleri kontrol etmek yerinde olacaktır. Bu münasêbeti hazırlamak için kullanılacak malûmat şunlar olacaktır :

- a) Günlük ortalama hava sıcaklığı
- b) Günlük ortalama işba sıcaklığı
- c) Günlük olarak rüzgâr hızı
- d) Günlük buharlaşma miktarı
- e) Günlük ortalama buhar basıncı farkı

İlk önce günlük ortalama hava sıcaklığı ile aynı güne ait ortalama buhar basıncı farkı karışıklı olarak gün gün noktalanır. Her noktanın üzerine o noktanın ifade ettiği işba sıcaklığı yazılır. Sonra da eş değerli noktalar birleştirilerek günlük ortalama işba sıcaklık eğrileri bulunur. Bu işlemden sonra elimizde bulunan hakiki rasat değerlerini kullanacağız. T_a , T_d ve E_a değerlerinin karşılaştırılması neticesinde rüzgâr eğrileri elde edilir. Aynı münasebetin sol üst köşesinde bulunan grafik havuz buharlaşmasını bulmak içindir. Buradan da büyük grafikten göl buharlaşmasına geçilebilir.

BUHARLAŞMA HAVUZU KAT SAYILARI

Göllerden ve serbest su yüzeylerinden vuku bulacak olan buharlaşmaları tahmin etmek evvelce bahsettiğimiz buharlaşmadaki kütle transferi ve hidrolojik hesaplama metodlarını kullanabiliriz. Bu metodlar her ne kadar projelere doğrudan doğruya tatbik edilmezlerse de su sıcaklığı ile birlikte bir fikir vermek bakımından kullanılabilir. Projelere tatbik edebilmek için istasyonlara ait buharlaşma havuzu kat sayılarını senelik olarak hesap etmek gerekecektir. Bir buharlaşma havuzunun, buharlaşma kat sayısı şöyle hesap edilir :

$$\text{Buharlaşma Katsayısı} = \frac{\text{Yıllık göl buharlaşması}}{\text{Yıllık havuz buharlaşması}}$$

İstisnai haller hariç tutulursa, havuz buharlaşmaları gölünküme nazaran daima fazla çıkmaktadır. Bir çok istasyonda yapılan denemeler bu kat sayısının ortalama değerinin 0.708 olduğunu göstermiştir. (Class-A tipi için). Bu değer azami ve asgari değerlerle mukayese edildiğinde, \pm %12 kadar bir fark göstermektedir.

METODLAR

1. FİZİKSEL ANALİZ METODU

Bu kısımda, birçok metodlar kullanılır, fakat tarla şartlarına en uygun ve pratik olanı PENMAN tarafından izah edilen metod tatbik edilmiştir. Bu metod enerji balansı ve aerodinamik formülün kombine edilmesiyle yüzeydeki ölçümlerinin zorluğunu bertaraf etmek ve açık su yüzey buharlaşmasının tahminlerini verir. Ampirik faktörler, İngiltere'de yapılan ölçümlere göre Penman tarafından potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinde kullanılmış olup, mevsimlik çeşitler için bu faktörler tadil edilmiştir. Kısa yeşil nebatların hepsi için aynı olup, toprak rutubeti için bir limit faktörü olmayıp daima 1 den küçüktür. Ölçüm devamınca güneşin parlaklığı, rüzgârın akışı, hava sıcaklığı, nisbi rutubet v.s. gibi malûmatlar hesap ameliyesi için lüzumludur. Ancak su yüzey buharlaşması için Penman'ın formülünden istifade edilmiştir.

2. AMPİRİK METODLAR

Bir çok sayıda formüller geliştirilmiş olup, bu formüllerden sadece üç tanesi kullanılmıştır.

a) THORNTHWAIT FORMULÜ

Bu metodla potansiyel evapotranspirasyonu hesaplanmasında, gün uzunluğu ve ortalama hava sıcaklığının logaritmik fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu metodla kuzey ve orta Amerika'da birçok çalışmalar yapılmıştır.

$$\text{Thorntwaite formülü} : E = 16 I_a \left(\frac{10 t}{I} \right) a$$

E = Evapotranspirasyon mm. olarak.

t = Aylık ortalama sıcaklık

I = Yıllık sıcaklık indisi

i = Aylık sıcaklık indisi

$$i = \left(\frac{t}{5} \right) 1.514$$

$$a = 6.75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} I + 0.49$$

Neticede bulunan (E) buharlaşma değerleri enlem derecelerine göre güneşlenme müddetlerinin tahsis faktörleri ile çarpılır. (La)

b) BLANEY - CRIDDLE FORMULU

Bu metod Thornthwaite formülüne benzer. Yalnız gün uzunluğu ve hava sıcaklıkları kullanılmaktadır. Fakat bitkinin ekim mevsimine göre değişen farklı bitki faktörleri ilâve edilmiştir. Bu formül, Amerika'nın batı, güney ve kuzey bölgelerinde bitkinin gelişme devrelerine göre geliştirilerek ticarî bakımından sulama durumlarında tatbik edilmiştir. Bundan dolayı günlük sulama tahminlerinde bu formül çok kullanılmaktadır. Kaliforniya bölgesinde yonca için büyüme devresinde aylık bitki faktörleri bulundu. Tesbit edilen bitki faktörü yaz mevsiminde maksimum 1.10, kış mevsiminde minimum değer ise 0.65, ortalama yıllık bitki faktörü ise 0.80 dir. Bu durum her bitki türüne göre ayrı ayrı tesbit edilmiştir.

Blaney - CRIDDLE formülün metrik sistemde ifadesi şöyledir.

$$U = K_p \frac{45.7 t + 813}{100}$$

U = Aylık su ihtiyacı mm.

t = Aylık ortalama sıcaklık, °C

p = Aylık gündüz saatlerinin senelik gündüz saatlerine oranı

f = Herhangi bir ay için su ihtiyacı faktörü

$$F = \frac{t \times f}{100}$$

k = Bitki türüne göre aylık sabite

F = Bitkinin büyüme mevsiminde aylık su ihtiyacı faktörü

K = Bitkinin büyüme ve sulama periyodunda su istihlak faktörü

Not : (K) faktörü genellikle 0.80 ilâ 0.85 arasındadır.

c) MAKING FORMULU

Bu metod daha önceki iki metoddan tamamen farklıdır. Daha ziyade hava sıcaklığı ve radyasyon rasat malûmatlarına ağırlık vermektedir. (Buharlaşma için radyasyon enerjisine ve yüksek hava sıcaklığına ihtiyaç vardır.) Bu formül Hollanda'da Lesimetre ölçülerine dayanarak bitkinin gelişme devresindeki toprak rutubeti şartlarında geliştirilmiştir.

3. METEOROLOJİK ÖLÇÜMLERE AİT KORRELASYONLARLA İLGİLİ METODLAR

A. SU YÜZEYİ

a) BUHARLAŞMA TANKI

Klimatoloji istasyonlarında tesis edilmiş olan standart tipli İngiliz buharlaşma tankı ile günlük su kaybı ölçülür. Bu buharlaşma tankı 100 X 180 Cm. eb'adında ve 60 Cm. derinliğinde, iç kısmı siyah boya ile boyanmış ve toprağın dışında 6 Cm. kalmak suretiyle tamamen toprağa gömülmüştür.

b) BUHARLAŞMA HAVUZU

Günlük su kaybını Amerikan Class A Pan tipi buharlaşma havuzu ile ölçülür. Bu buharlaşma havuzu galvanizli demir saçtan olup, 120 cm. çapında 25 cm. derinliğinde, ağaç plâtfomu üzerine kurulur. Havuz etrafında ve altında hava sirkülasyonu temin edilir.

Her iki buharlaşma havuzunda açık su yüzeyindeki su kaybı mikrometre ile ölçülür. Havuzdaki su seviyesi 4 cm. üzerinde dalgakıranlarla tesbit edilir.

c) PIŞ EVAPORİMETRESİ

Bu buharlaşma aletinin esası, taksimatlı cam tüp ve içinde damıtık su ile dolu olarak siperdeki buharlaşma ölçümleri yapılır. Tüpün alt diskinde beyaz filitreli kâğıt günlük olarak değiştirilir. Piş evaporimetresi ile standart siper içinde rasat yapılır.

B. GÜNEŞ RADYASYONU

Güneşten gelen, gök yüzündeki mevcut toplam kısa dalga radyasyonu ve aktinografların kalibrasyonu için Solarimetre ile günlük ölçümleri yapılması gereklidir.

4. GRAVİMETRİK METODU İLE TOPRAK RUTUBETİNİN TAYİNİ

Bu bölümde ise, çeşitli topraktan alınan numunelerle, toprağın ihtiva ettiği rutubeti ile bitkinin kök bölgesine kadar ölçümleri yapılması lâzımdır. 30 - 210 cm. arasında yapılan numune alma neticesinde, rutubetin arttığı görülmüştür. Toprak rutubeti kurak bölgelere ve toprağın yapısına ve kök derinliğine göre yaptığımız tecrübelerle göre değişik şekillerde olduğu görülmüştür.

PENMAN METODU: İngiltere'de Penman tarafından 1948-1956 yılları arasında geliştirilmiş ve tatbikat safhasına konulmuştur. Bugün mevcut metodlar içerisinde teorik esasları en kuvvetli olan bir metottur. Tatbikatı kolay ve bol meteorolojik donelerine yer verilmiştir. Sıcaklık, basınç, buhar basıncı, radyasyon, bulutluluk, nisbi rutubet, rüzgâr, güneşlenme müddeti v.s. gibi verilere ihtiyaç gösterdiğinden neticalere daha emin ve güvenilir değerlerle gidilebilir.

Toprak bitki ve su yüzeyinin buharlaşmasına tesir eden atmosferdeki fiziki olaylar ve hava kütlelerinin hareketiyle her zaman yakından ilgisi olan bu atmosferik faktörlerin bir çoğu, PENMAN metodu hariç, diğer metodların hiç birinde doğrudan doğruya hesaba katılmamıştır.

Türkiye şartlarında bu metodun kullanılmasını tercih ve tavsiye etmemizin nedeni, meteorolojik faktörlere yer verilmesinden ve bunların tatbikçileri olmamızdan ileri geliyor.

$$\text{PENMAN FORMULÜ : } E = \frac{\Delta/\gamma H + E_a}{\Delta/\gamma + 1}$$

$$\Delta = \frac{\gamma E}{dT} , \frac{mb}{C}$$

γ : Psychrometric sabite (Muayyen ventilasyon neticesinde tahmin edilir.)

W : İşba noktasında doymuş buhar basıncı

ρ : Havanın gerçek buhar basıncı

A : Bir sabite $6.6 \times 10^{-4} (1+0.00115 T_w)$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$

P : Barometrik basınç

T_a : Hava sıcaklığı

T_w : Islak termometre sıcaklığı

E_a : 24 saat içerisinde 2 metredeki rüzgârın buharlaştırma gücü

$$E_a = (e_a - e_d) f (U) \text{ mm./gün}$$

e_a : Günlük ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı

e_d : Günlük ortalama hava sıcaklığındaki günlük ortalama buhar basıncı.

$f(U)$: Rüzgâr hızının bir fonksiyondur.

$$F(U) = 0.35 \left(0.5 + \frac{U}{100} \right) \text{ Penman'a göre (mil/gün)}$$

$$F(U) = (0.1315 + 1.643 \times 10^{-3}U) \text{ Thahala göre, (km/gün)}$$

$$e_d = p; p = \frac{R_H \times a}{100} \quad (R_H, \text{ nisbi rutubet})$$

NET RADYASYON (H)

Kısa ve uzun dalga radyasyon olmak üzere iki kısımda mütalâa edilir.

a) Kısa dalga radyasyonu (R_s)

Albedoya göre :

$$R_s = R_A \cdot a, \text{ veya } R_s - RS = R_A (1 \times a)$$

R_A : Gelen kısa dalga radyasyonu

R_s : Giden kısa dalga radyasyonu

a : Albedo

Güneşlenme Müddetine Göre :

$$R_s = R_A (0.10 + 0.55 n/N)$$

n = Güneşlenme müddetlerinin gerçek saatleri

N = Mümkün olan güneşlenme müddetlerinin gün uzunluğu

Bulutluluğa Göre :

$$R_s = R_A (0.799 - 0.039 c)$$

C : Bulutluluk

b) Uzun dalga Radyasyonu (R_L)

Bulutluluğa Göre :

$$R_L = \sigma T^4 (0.56 - 0.078 \sqrt{ed}) (1. - 0.11 C)$$

T^* : Hava sıcaklığı, $^{\circ}K$

e_d : Hava sıcaklığındaki günlük ortalama buhar basıncı

c : Bulutluluk (havanın kapalılık durumu)

σT^4 : Bolzmann sabitesi, 1.17×10^{-7} cal.cm.⁻² gün⁻¹

Güneşlenme Müddetine Göre :

$$R_L = \sigma T^4 (0.56 - 0.09 \sqrt{e_d}) (0.10 + 0.90 \frac{n}{N})$$

e_d : Hava sıcaklığındaki günlük ortalama buhar basıncı

n : Güneşlenme müddetlerinin gerçek saatleri

N : Mümkün olan güneşlenme saatlerinin gün uzunluğu
(enlem derecesine göre bulunur)

Net radyasyon değeri aşağıdaki şekilde hesap edilir.

$$H = R_g - R_L \text{ cal/cm}^2/\text{gün}$$

Neticeyi mm. cinsinden bulmak için net radyasyon değeri (H) 58.8 miktarı ile bölünür.

Not: Bir mm. suyu buharlaştırmak için verilmesi lâzım gelen kalori miktarı 58.8 dir.

Radyasyon rasatları olmadığı hallerde net radyasyonu hesap etmek için aşağıdaki metodlar kullanılabilir. Bu metodlar CAMPPELLSTOKS SUNSHINE RECORDER rasatlarından istifade edilerek elde edilmiştir.

I) Dr.G.STANHİL FORMULU : (Bulutluluğa ve güneşlenmeye göre)

$$S_i = R_A (0.799 - 0.039c) \text{ ve } S_i = R_A (0.487 + 0.312 \frac{n}{N})$$

S_i : Giden kısa dalga radyasyonu

n : Parlak güneş ışınlarının gerçek saatleri

N : Mümkün olan güneşlenme saatleri (enlemlere göre hesaplanır)

c : Bulutluluk

R_A : Genel kısa dalga radyasyonu

2). MONTEITH FORMÜLÜ :

$$H = (1-a) S_1 - 0.21 \sqrt{T^4 \frac{S_1}{S_1'}}$$

S_1 : Gelen kısa dalga radyasyonu

S_1' : Gelen kısa dalga radyasyonu muhtemel maksimum değeri

a : Albedo (0.20 ilâ 0.25 arasında değişir)

c : 0 olduğu zaman $S_1' = S_1$ dir.

3) FITZPATRICK - STERN FORMÜLÜ :

$$S_1 = R_A (0.373 + 0.386 \frac{n}{N})$$

$$L = \sqrt{T^4 (0.352 - 0.049 \sqrt{R_A H_E}) (0.3 + 0.7 \frac{n}{N})}$$

Muson iklimi hüküm süren bölgelerde bu formül kullanılabilir.

PENMAN FORMÜLÜNÜN UYGULANMASI

Penman Formülü :
$$E = \frac{\Delta/\gamma H + E_a}{\Delta/\gamma + 1}$$

Formülü uygulanırken şu yol takip edildi. Radyasyon değerleri mevcut olmadığından, Ampirik formüller kullanıldı. Yukarıda Penman metodu anlatılırken etraflı şekilde izahları verilen radyasyon hesaplarının güneşlenmeye göre olan formülleri tercih edildi.

Uygulama şekli aşağıdaki gibidir :

$$E_a = (e_a - e_d) f(u)$$

$$f(u) = 0.35 (0.5 + \frac{u}{100}),$$

$$H = R_a - R_L$$

$$R_a = R_A (0.18 + 0.55 \frac{n}{N})$$

$$R_L = T^4 (0.56 - 0.09 \sqrt{e_d}) (0.10 + 0.90 \frac{n}{N})$$

ET : için

$$H = R_a (1-r) (0.18 + 0.55 \frac{n}{N}) - \sqrt{T^4 (0.56 - 0.09 \sqrt{e_d})}$$

$$(0.10 + \frac{0.9 n}{N})$$

e_o ve e_d değerleri mb. cinsinden olup, mm.ye çevrilir.
u rüzgâr değeri 2 metredeki rüzgârı temsil eder ve birimi mil/gün olarak alınır.

e_a , $\sqrt{T^4}$, R_A gibi değerler hesaplanırken SMITHSONIAN METEOROLOGICAL TABLES kitabından istifade edilir.

Formül Ankara için uygulandı ve 1970 senesine ait değerler bir tablo halinde verildi.

Tablo I.de Meteorolojik faktörlerle Penman metodu uygulandı ve Ankara 1970 yılına ait günlük buharlaşma değerleri bulundu. Aradaki korelasyon kat sayısı ($\gamma = 0.96$) çok yüksek olduğu görülmüştür.

Mukayese bakımından Tablo II de aynı yıllara ait (Class A pan) yuvarlak buharlaşma havuzu günlük değerleri verilmiştir.

FENYAN METODU İLE EUHARLAŞMA NETİCELERİ (mm.)

İstasyon İsmi : Ankara-1970

Sıra- No	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0.6	1.1	1.1	3.4	4.7	2.7	7.0	7.5	4.8	1.9	0.8	0.5
2	1.6	1.0	0.8	3.6	5.4	3.1	7.2	6.6	4.4	2.4	1.0	0.6
3	0.5	0.8	0.9	2.6	4.6	4.9	6.4	6.7	3.8	2.3	1.1	0.5
4	0.7	0.7	2.1	3.6	4.3	6.1	7.2	7.1	4.1	2.7	1.2	0.4
5	0.7	1.1	2.5	2.2	1.4	6.0	7.5	6.8	4.7	2.0	1.1	0.5
6	0.5	1.5	1.6	3.0	3.7	6.4	7.4	5.8	4.1	1.5	1.4	0.5
7	0.8	1.5	2.1	2.6	3.8	6.2	8.4	6.4	4.5	1.4	1.0	0.5
8	0.7	1.2	2.3	3.7	3.0	6.3	7.9	6.1	4.5	2.1	0.8	0.3
9	0.5	0.6	2.2	4.5	4.8	6.7	5.5	6.3	4.6	2.4	0.9	0.4
10	0.6	1.2	1.5	4.5	4.9	7.0	4.9	6.4	4.4	2.1	1.0	0.5
11	0.7	1.1	1.9	4.2	5.6	6.7	5.2	6.1	4.9	3.3	0.6	0.6
12	0.5	1.2	1.9	5.1	6.8	5.8	7.3	6.6	4.9	2.6	0.7	0.6
13	0.6	1.0	1.7	2.5	6.3	6.5	7.2	5.8	4.0	1.8	0.8	0.2
14	1.1	1.1	1.8	3.6	4.4	6.4	7.1	5.7	4.2	1.9	0.7	0.3
15	0.7	1.4	3.0	4.4	4.3	6.5	7.1	6.2	4.7	2.0	0.7	0.3
16	0.8	1.9	3.0	3.7	5.0	6.2	7.0	6.2	4.9	2.3	0.8	0.5
17	1.1	1.3	3.3	2.4	4.2	7.2	6.7	6.9	4.7	2.4	0.9	0.4
18	0.4	0.9	1.1	1.8	5.3	7.2	7.5	6.4	6.4	2.4	0.7	0.3
19	0.6	0.9	1.6	1.9	3.5	6.4	6.8	6.8	4.3	2.9	0.8	0.6
20	0.5	1.1	1.8	3.6	4.9	5.1	6.0	6.8	4.2	2.2	0.9	0.1
21	0.9	0.7	1.9	3.9	3.9	5.6	7.8	6.7	4.2	2.4	0.9	0.3
22	0.8	0.9	1.4	4.5	4.4	3.2	7.9	6.4	3.4	2.9	0.9	0.4
23	0.7	0.9	2.0	4.3	6.6	5.2	8.0	6.2	2.3	2.5	1.4	0.7
24	0.7	1.3	2.3	4.5	4.4	6.5	8.1	6.5	3.6	1.9	0.9	0.4
25	1.0	0.9	2.6	4.9	3.2	6.5	7.6	6.1	3.7	1.0	0.8	0.5
26	1.2	1.1	3.0	4.2	3.6	5.9	6.8	5.7	3.5	1.1	1.2	0.4
27	0.4	1.9	3.5	5.0	4.1	6.8	6.1	3.2	3.1	1.1	1.3	0.5
28	0.6	1.0	3.2	5.0	5.1	5.6	6.2	4.7	1.8	1.6	0.9	0.3
29	0.7	x	2.7	5.0	4.0	6.4	6.0	5.3	1.8	1.7	0.8	0.4
30	0.4	x	1.4	4.8	4.4	6.9	6.6	5.5	2.5	1.3	0.7	0.5
31	0.5	x	1.5	x	5.4	x	7.6	5.6	x	1.6	x	0.8
Yekün.	22.1	31.3	54.3	113.2	140.6	178.0	216.5	191.1	119.0	63.7	27.7	13.8

REFERANSLAR

1. Meteoroloji BilgisiProf.Dr.Umaran E.Çölaşan
2. Tatbiki Klimatoloji ve
Türkiyenin İklim ŞartlarıProf.Dr.Sırrı Eriñç
3. Genel Meteoroloji Refi Tarıkâhya
4. Hidrometeoroloji I Şinasi Çelenk
5. Hidrometeoroloji II Şinasi Çelenk
6. Kültür Teknik II Prof.Dr.Osman Tekinel
7. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin
Meteorolojik yönünden
Kuraklığının incelenmesi Şinasi Çelenk
8. Buharlaşma ve Metodları Şinasi Çelenk - Ali H.Gürel
9. Kar Hidrolojisi Şinasi Çelenk
10. Çay bölgesinin yağış
şiddeti ve sıcaklık rejimi Şinasi Çelenk
11. Hydrometeorology Practice WMO Yayını
12. Hydrometeorology J.P. Bruce
13. İstatistik Metodlarla
Yağış Tahminleri Şinasi Çelenk
14. Kar Hidrolojisine Sun'ı
peyklere uygulanması Çev. Şinasi Çelenk
15. Türkiye'nin Kar ve Rüzgâr yükü Şinasi Çelenk
16. Türkiye'nin Yağış Rejimi Şinasi Çelenk
17. Türkiye'nin Kuraklık Etüdü Şinasi Çelenk
18. Potansiyel Evapotranspirasyonu Çev.Şinasi Çelenk
Meteorolojik malûmatlarla
hesaplanması
19. Yonca'da Aktüel ve Potansiyel
Evapotranspirasyonu Çev.Şinasi Çelenk
20. Evaporasyon and Evapotranspiration. Dr.Hadas and Dr.Fuehes
21. Physical Climatology H.Landsberg
22. Evaporation (Penman Metodu)
Uluslararası WMO Meteoroloji
Kurs Notları Şinasi Çelenk
23. Evaporation in Israel Dr.G.Stanhill
24. Irrigation Water Requirements Technical Research