



Ege Coğrafya Dergisi, 8 (1995), 141-186, İzmir
Aegean Geographical Journal, 8 (1995), 141-186, İzmir—TÜRKİYE

AÇIK HAVA ŞARTLARINDA BUHARLAŞMA ÜZERİNE YENİ BİR FORMÜL DENEMESİ*

Lütfi İhsan SEZER

ABSTRACT

A formula Experimentation on Evaporation under Open-air Conditions

In this study; firstly, the leading methods and/or formulas on the monthly potential evaporation are introduced and the calculation of evaporation methods are reviewed.

Secondly, L. TURC's formula which is applied in Türkiye in order to determine the evaporation could not give an exact results because of the fact that it contains structural errors and there is no any standart error which is less than 10 percent. For that reason, we try to give a new evaporation equation to establish on the potential evaporation. It is given an example to explain the new formula on the Malatya meteorological station.

Fortyone (41) meteorological stations which are made following data are taken into consideration:

Monthly mean wind speed (m/second), monthly mean temperature (°C), monthly mean pressure of air vapour (mb), monthly mean relative humidity, monthly mean cloudiness (in ten).

In addition to these the latitude degree of the meteorological stations, COOPER's declinatik ı degree, and ANGOT's global solar energy coming the upper atmosphere, PENMANN's ground radiation and RUSSEL's wind conductivity are considered.

These data are programmed in computer on the basis of quick basic programme.

* Bu çalışma, Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Coğrafya Bilim ve Uygulama Kolu ile Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi tarafından ortaklaşa düzenlenen Coğrafya Meslek Haftası'nda (20-24 Kasım 1991) bildiri olarak sunulmuştur.

This formula which is proposed as below:

$$E = \left[\left(\frac{H_b}{h_{fg}} \right) (1 - U) \right] F_s T \quad \{ ; F_s G \}$$

Where;

E : The amount of potential evaporation (mm/month),

$$\left[(H_b/h_{fg})(1-U) \right]$$

"The basic expression of the evaporation" is:

H_b : Heat consumed in the evaporation (Kcal/m²-month),

h_{fg} : Heat of evaporation (Kcal/kg),

U : Mean monthly relative humidity

$F_s T$: Season factor in the Türkiye's equation,

$F_s G$: Season factor in the global equation (Temperate Zone).

Lastly, following results are explained:

L. TURC formula which is applied as detail does not give standart error less than 10 percent in Türkiye. The calculations of the new formula give a standart error being less than 10 per cent "in the global equation" at the 48 of 54 meteorological stations. Standart error of TURC's formula is 14.7 percent at Manisa meteorological station which is given the best results. While according to new formula the best results are obtained with the 1.2 % standart error for Malatya and Elazığ, western part of Eastern Anatolia stations.

The best result revealed from the global equation is maintained as 9.2 % from the Çorum station which is situated northern part of Inner Anatolia. Totalling 648 monthly figures belonging to 54 meteorological station are calculated. According to these calculations made by Turc's formula the differencies between measured figures and calculated figures are less than 5 per cent on the basis of the results of 78 monthly figures. While the results of new formula give less than 5 pear cent different figures mentioned above for 232 monthly figures. These figures obtained by the application of new formula can be considered much more satisfactory than the L. TURC's formula.

As a result it can be say that the rightnees degree of the TURC's formula is about 9 percent for Türkiye. But proposed new formula these figures attain 91 percent and 65 per cent in the global equation.

Giriş

Genel atmosfer sirkülasyonu içerisinde belirli bir su kütesinin atmosfer ile yeryüzü arasında sürekli bir dolaşım halinde olduğu bilinmektedir. Bu olay esnasında "yağış" olarak yeryüzüne ulaşan suyun bir kısmı, akışa geçmeden önce buharlaşır. Bir kısmı ise yeryüzü ve yeraltında dolaşarak, akarsular halinde akış sırasında, göl veya denizlere kavuştuktan sonra göl ve deniz yüzeylerinden buharlaşır. Diğer bir kısmı da canlılarda birtakım hayat faaliyetlerinde bulunduktan sonra "terleme" ve diğer yollarla atmosfere geri döner. Bu nedendir ki, havada her an az veya çok miktarda su buharı bulunur. Bir başka sözle; havadaki su buharının asıl kaynağı, açık su yüzeylerinde ve zeminde meydana gelen "buharlaşma" ile özellikle bitkilerdeki "terleme" olmaktadır.

Coğrafi bakımdan önemli olan buharlaşma, açık hava (serbest atmosfer) şartları altında "suyun sıvı halden gaz haline" geçiş olayıdır. Bu şekildeki buharlaşmaya "fizikî buharlaşma / evaporasyon" adı verilmektedir. Buna, coğrafi bakımdan anlamlı olan bitkilerdeki "terleme/transpirasyon" olayı da eklenecek olduğunda, her iki olay birden "evapotranspirasyon" veya "fizyolojik buharlaşma" olarak adlandırılır. Gerek fizikî ve gerekse fizyolojik buharlaşma, olay sırasında yeterli suyun bulunup bulunmamasına göre ikiye ayrılmaktadır: Zeminde sürekli ve yeterli miktarda su bulunduğu durumda meydana gelebilecek maksimum fizikî buharlaşmaya "potansiyel buharlaşma" adı verilir. Herhangi bir anda zeminde mevcut olan suyun buharlaşması durumunda ise fizikî buharlaşma, "gerçek buharlaşma" adını almaktadır. Bitkilerin de var olduğu zeminde sürekli ve yeterli miktarda suyun bulunması durumunda oluşabilecek maksimum evapotranspirasyona "potansiyel evapotranspirasyon" adı verilmektedir. Buna karşılık, herhangi bir anda mevcut su üzerinden meydana gelebilecek evapotranspirasyon "gerçek evapotranspirasyon" olarak adlandırılmaktadır. Zeminde sürekli ve yeterli miktarda su bulunmadığı sürece "potansiyel evapotranspirasyon" değerleri "potansiyel evaporasyon" değerlerine ulaşamaz. Potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin potansiyel evaporasyon değerlerini aşması ise mümkün olamaz.

Üzerinde yaşadığımız, yaşamamız için gerekli içme ve kullanma sularını sağladığımız ve gerekli besin maddelerini ürettiğimiz; barınmak için yerleşme yerleri, ruhen ve bedenlen dinlenmek ve gezip görmek için turistik yerler olarak seçtiğimiz... alanlar, kısacası "coğrafi mekânlar" bütünü olan yeryüzünün "hidrolojik dolaşım" sırasında "buharlaşma" olayı ile nerede, ne zaman ve ne kadar su kaybettiğinin bilinmesi, bilinmiyor ise belirlenmesi, coğrafi mekândaki hayatın ve beşerî etkinliklerin "optimum seviye"de devamlılığının sağlanması bakımından son derece önemlidir.

Buharlaşma miktarı, bilindiği gibi doğada doğrudan doğruya ölçülemez. Bu nedenle ölçüm işlemi, örnekleme yoluyla meteoroloji ve su işleri (Türkiye'de Devlet Su İşleri) istasyonlarında "evaporimetre" ve/veya "evaporograf" ile yapılmaktadır. Türkiye gibi coğrafi özellikler bakımından zengin ve çevre unsurları kompleks bir yapıya sahip olan bir

ülkede ise 227'si büyük, 156'sı küçük klima istasyonu ve bunlara ek olarak 756 yağış istasyonu olmak üzere toplam 1139 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır ki, bunlardan sadece 57 kadarında "potansiyel buharlaşma" rasadı yapılabilmektedir (ŞEKİL 1). Bir başka sözle; "hidrolojik bilânço" nun gelirini temsil edebilen "yağış" miktarlarının ölçülebildiği 1139 istasyona karşılık, söz konusu bilânçonun giderini temsil edebilen "potansiyel buharlaşma" değerlerinin ölçülebildiği sadece 57 istasyon bulunmaktadır. Bu sayı ise gelirin ölçülebildiği istasyonların % 5'ini meydana getirmektedir. Söz konusu 57 meteoroloji istasyonunun 41 adedinin kıyı bölgelerimizde 16 adedinin ise kuraklığın çok daha büyük bir problem olarak karşımıza çıktığı iç bölgelerimizde yer aldığı, bölgelerarasındaki bu dengesizlik yanında bölgelerin kendi alanlarındaki dağılışlarının dahi dengesiz olduğu düşünülürse, 57 buharlaşma rasadı yapan istasyonun rasat sonuçları ile zengin bir iklim bahçesi durumunda bulunan Türkiye'nin hidrolojik dolaşım bakımından taşıdığı özelliklerin ortaya çıkarılmasında son derece yetersiz kalacağı açıktır. Bu nedenle, söz konusu yetersizliğin giderilebilmesi amacıyla, buharlaşma rasadı yapılan istasyonların sayısının artırılarak en azından yağış (gelir) rasadının yapıldığı toplam istasyon sayısı olan 1139'a çıkarılmasının gerekli olduğu kanaatindeyiz. Böylelikle hidrolojik dolaşım ile ilgili gelirler (yağış miktarları) ve giderler (buharlaşma miktarları) dengeli bir şekilde rasat edilmiş, veri noksanlıkları büyük ölçüde giderilmiş olacaktır. Ancak, buharlaşma rasadı yapan istasyonların sayıca artırılması, oldukça büyük harcamalar yapılmasını gerekli kılmaktadır. Evapotranspirasyon değerlerinin saptanabilmesi için gerekli deney düzeneklerinin kurulması ise söz konusu harcamaları birkaç misli arttıracaktır. Bu nedenle söz konusu ihtiyacın giderilmesi, yakın bir gelecek içinde mümkün görülmemektedir. Bu durumda, gereksinimi bir ölçüde giderme görevi "coğrafyacı"nın olmaktadır. Nitekim, Türkiye dışındaki ülkelerde söz konusu ihtiyacın giderilmesinin gerekli olduğu görüşünde olan araştırmacılar, matematiksel/istatistiksel yöntemlerle meteorolojik rasatlardan yararlanmak suretiyle "potansiyel buharlaşma" verilerinin elde edilebildiği çeşitli bağıntılar geliştirmişlerdir. Birçok araştırmacı ise "potansiyel buharlaşma" verilerinin "hatasız" veya "hata oranı çok az" olarak hesaplanmasındaki zorluk nedeniyle doğrudan "potansiyel evapotranspirasyon" değerlerinin tahmin edilmesi işlemine yönelmişlerdir.

Bugüne kadar bu konuda önerilmiş bulunan çok sayıda bağıntı (formül / denklem) bulunmaktadır ki, bu bağıntılar "yöntem" olarak genellikle biri *teorik* diğeri *ampirik* olmak üzere iki büyük grup altında toplanmaktadır (BAYAZIT, 1987, s: 45-47; GÜREL, 1975, s: 3-6; ARDEL ve diğ.leri, 1969, s: 176-181) :

Teorik yöntemler

Bunlar, aşağıdaki gibi üç alt gruba ayrılabilir:

Su dengesi yöntemi.— Bu yöntem özel bir su toplama yerine, bir drenaj havzasına veya göl ve hazne gibi bir su kütesine gelen ve çıkan toplam suyun denge durumunu kurmaya dayanmaktadır.

Enerji dengesi yöntemi.— Bu yöntem de su dengesi yöntemine benzer bir yöntemdir. Suyun sıcaklığına ihtiyaç duyulması nedeniyle bu yöntem de oldukça güçtür ve hata oranı "en iyi" şartlarda / bağıntıların elde edildiği alanlarda % 10-20 arasındadır. PENMAN ve BOWEN yöntemleri bu gruptandır.

Kütle transferi yöntemi.— Sınır tabakası teorisi ile turbülansın karışım uzunluğu ve turbülansla birlikte difüzyon kavramları da kullanılarak, su yüzeyinden havaya su moleküllerinin iletilmesi olayı için yapılan teorik analizler sonucunda, buharlaşma miktarını su yüzeyinden iki farklı yükseklikte ölçülen nem, sıcaklık ve rüzgâr hızı verilerine göre veren formüller bulunmaktadır. Bu yöntemde örnek olarak kısmen PENMAN ile THORNTHWAITE-HOLZMAN formülleri verilebilir.

Ampirik yöntemler

Bunları "DALTON kanununa dayanan formüller" ve genellikle "sıcaklık ve yükseltiyi esas alan formüller" olarak iki alt gruba ayırmak mümkündür. DALTON kanununa dayanan bağıntılar, buharlaşma miktarını su yüzeyinde ve havadaki buhar basınçlarının farkı ve rüzgâr hızı ile ifade etmektedirler ki, bunlara DALTON eşitliği ile MEYER formülü örnek olarak verilebilir. Bu gruba giren formüllerde hata genellikle % 30'un altındadır. Sıcaklık ve yükseltiyi esas alan formüller ise buharlaşmayı, potansiyel buharlaşmanın yükselti ve sıcaklığa bağlı değişimini ifade eden bir sabite veya katsayı yardımıyla belirlemektedirler. Bu formüllerin bazılarında rüzgâr etkisi de yansıtılmaya çalışılmıştır. Bunlara VISENTINI, J. LOUP ve kısmen L. TURC formülü örnek olarak verilebilir. Bu tip bağıntıların hatası ise genellikle % 25 ve daha büyüktür.

Güneş enerjisi ile ısınan yeryüzünde, sıcaklığın yaşamsal etkinliklere elverişli bir düzeyde tutulmasında bir çeşit "termostat" görevini üstlenmiş bulunan "su" yun özellikle "açık hava"da buharlaşması, son derece kompleks bir olaydır. Bu olay sırasında; bir yandan hayat kaynağı olan suyun yeryüzül bütününde sürekli olarak yenilenmesi ve olmayan yerlere hava hareketleriyle "yağış" halinde nakledilebilmesi için gerekli "subuharı" sağlanırken, diğer yandan buharlaşmanın aşırı olduğu, bir başka sözle "su buharının fazla üretildiği" coğrafi mekânlarda "kuraklık" problemiyle karşı karşıya kalınmaktadır. İşte bu çalışmada, bu son derece ilginç ve yaşamsal öneme sahip buharlaşmanın, özellikle Türkiye şartlarında buharlaşma rasatlarının henüz yapılamadığı meteoroloji istasyonlarındaki aylık tutarlarına ilişkin aylık tahminlerin genel olarak % 10 daha az bir standart hata ile belirlenebileceği matematiksel bir bağıntının kurulması amaçlanmış bulunmaktadır. Böylelikle, klimatolojik çalışmalarda hesaplanarak elde edilen buharlaşma değerlerine dayanılarak yapılacak yorumlardaki hata oranları da "en aza" indirilmiş olacaktır.

Buharlaşıma Üzerine Yeni Bir Bağıntı

Bu başlık altında, öncelikle buharlaşma bağıntılarında aranan başlıca özellikler üzerinde durulacak, daha sonra yeni bağıntının gerekçeleri belirtilerek, tanıtımı ve uygulaması yapılacaktır.

Buharlaşıma bağıntılarında aranan başlıca özellikler

Burada; tarafımızdan bilgisayardan da yararlanılarak yapılan çalışmalar sonunda belirlenen bağıntının tanıtımına geçmeden önce, bir buharlaşma bağıntısında aranan özelliklere değinmenin gerekli ve yerinde olacağı kanaatindeyiz. Söz konusu özelliklerin iki grup altında ele alınması mümkündür ki, bunlar:

Bağıntıda olaya neden olan faktörlere yer verilmiş olması,

Bağıntının matematiksel işlemler bakımından sade ve kolay uygulanabilir olması.

Bu özellikler, şu şekilde açıklanabilir:

Bağıntıda olaya neden olan faktörlere yer verilmiş olması

Olay, coğrafi mekândaki potansiyel buharlaşma olduğuna göre, buharlaşmayı etkileyen iklim eleman ve faktörlerinin bütünü veya önemli olanlarının birçoğunun söz konusu bağıntıda dikkate alınmış olması gerekir. Bu nedenle bağıntının ait olduğu olayı etkileyen iklim eleman ve faktörlerinin belirlenmesi, öncelik kazamaktadır. Kanaatimizce buharlaşma olayında baş rolü oynayan birbiri ile bağlantılı bir grup iklim eleman ve faktörü bulunmaktadır. Bunlar nem, sıcaklık/enerji, hava akımları, atmosfer basıncı, su kütlesi ve coğrafi zemin olarak belirtilebilir ve aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Nem.— Her şeyden önce, DALTON kanunu gereğince (BAYAZIT, 1987; s:47) buharlaşma miktarı ve hızı, subuharının atmosferde bulunan miktarına bağlıdır ve havanın buhar basıncı ile su yüzeyindeki buhar basıncı arasındaki fark ile doğru orantılı, nisbî nemle ise ters orantılıdır. Nisbî nem ne kadar az ise buharlaşma da o kadar çok olur. Bir başka sözle, havadaki su buharı açığı ne kadar çoksa buharlaşma da o kadar çok ve hızlı oluşur. Bu önemi nedeniyle, "nem" in etkisine yer vermeyen buharlaşma bağıntılarından sağlıklı ve objektif sonuçların alınması beklenemez.

Sıcaklık / enerji.— Coğrafi enleme ve yükseltiye bağlı olarak farklı değerler alan sıcaklık, buharlaşma olayı ve bunun miktarı ile havadaki subuharı tutarını kontrol eden en önemli iklim eleman ve faktörlerinden birisidir. Suyun sıcaklığı arttıkça, su moleküllerinin öteleme ve dönme hareketleri ile hızları da artmakta, buna karşılık su kütlesindeki yüzeysel gerilim giderek azalmaktadır ve buharlaşma oldukça kolaylaşmaktadır. Su moleküllerinin hızlarının artırılabilmesi için ise enerjiye ihtiyaç vardır. Bir kilogram suyun buharlaşabilmesi için gerekli ısının suyun sıcaklığına bağlı olarak 539 (100°C'de)- 597 (0°C'de) kilokalori (Kcal) arasında değiştiği bilinmektedir. Bir başka sözle su, her sıcaklıkta buharlaşabilmektedir. Suyun

sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, o derece daha az enerji ile buharlaşma gerçekleşir. Güneşten doğrudan doğruya suya ulaşan enerji yanında hava akımlarıyla çevreden taşınan enerji de suyun buharlaşmasında oldukça etkin rol oynamaktadır. Solar enerji ve dolayısıyla sıcaklığın coğrafi enleme bağlı olması, buharlaşma miktarının da dolaylı olarak coğrafi enleme bağlılık göstermesine neden olmaktadır ki, bu nedenle buharlaşma miktarları genel olarak coğrafi enlem ile azalma göstermektedir. Kısacası; sıcaklık ve/veya enerjinin buharlaşma üzerindeki etkisinin belirtilmediği bağıntıların sonuçları da objektif olmaktan uzak kalacaktır.

Atmosfer basıncı.— Buharlaşma miktarı ve hızı atmosfer basıncına da bağlılık göstermektedir. Atmosfer basıncı ne kadar büyük ise buharlaşma da o kadar az ve yavaş gerçekleşir. Atmosfer basıncı ise hava sıcaklığının ve havadaki subuharı miktarının değişmesi ile birlikte değişme gösterir. Bunun yanında, havanın sıcaklığı ve subuharı miktarı sabit olduğunda, yükseldikçe hava tabakasının incilmesi nedeniyle hava basıncı azalır. Buna bağlı olarak da buharlaşma hızı ve dolayısıyla miktarı artar. BAYAZIT (1987, s: 45)'in verdiği bilgiye göre; atmosfer basıncının 76 cm Hg sütunundan 50 cm. Hg sütununa düşmesi, buharlaşmayı ancak % 20 kadar arttırmaktadır ki bu etki, diğerleri yanında önemsiz kalmaktadır. Bu oran ise yaklaşık olarak 3500 m kadarlık yükselti farkına karşılık gelmektedir. Bir başka sözle; ortalamada yaklaşık 175 m.lik bir yükselti artışına bağlı olarak buharlaşma, sadece % 1 oranında artmaktadır. Ortalamada 125 m kadarlık bir yükselti artışının 1°'lik coğrafi enlem artışına karşılık geldiği düşünülürse (SEZER, 1990; s: 129), diğer faktörler sabit olmak şartıyla 7° kadarlık coğrafi enlem artışının % 5 oranındaki buharlaşma azalmasına karşılık geldiği kestirilebilir. Belirtilen bu sayısal değerler, gerek atmosfer basıncının ve gerekse yükselti ve coğrafi enlemin buharlaşma üzerindeki birbirinden ve diğer iklim elemanı ve faktörlerinden bağımsız olarak yaptıkları etkilerin matematiksel bağıntılarda "daha pratik olması bakımından" ihmal edilebilecek kadar az olduğunu göstermektedir. Bu nedenle atmosfer basıncı ile birlikte yükselti ve coğrafi enlemin buharlaşma üzerindeki bağımsız etkilerine yer verilmemiş bir buharlaşma bağıntısının makul karşılanması mümkün görülmektedir.

Rüzgâr.— Öncelikle, çevrede depolanmış bulunan solar enerjiyi buharlaşmanın meydana geldiği diğer bir coğrafi mekâna taşınması bakımından oldukça önemli olan rüzgâr, en önemli iklim elemanlarından bir diğerini oluşturmaktadır. Yatay yönde hareketiyle buharlaşmayı artırıcı enerji nakli yanında, buharlaşan sudan hasil olan su buharının aynı akımlarla diğer alanlara nakli de büyük önem taşımaktadır. Bir başka sözle; rüzgârlar, bir yandan enerji taşıyarak diğer yandan da oluşan su buharını naklederek buharlaşmayı devam ettirmektedir. Ancak, buharlaşma miktarı rüzgârın taşıdığı enerji ve nem oranına bağlı olarak az veya çok olabilmektedir. Rüzgârların buharlaşma üzerinde belirtilen yatay yöndeki etkisi kadar dikey doğrultudaki etkisi de oldukça önemlidir. Çünkü; dikey yöndeki hava hareketleri, turbülanslı difüzyonla troposferin yeryüzüne yakın kesimleri ile üst kesimleri arasındaki gerek enerji ve gerekse nem alış-verişini arttırmak suretiyle de buharlaşmanın devamını sağladığı gibi, miktarı üzerinde de etkin

rol oynamaktadır. Aksi durumda, yani hava hareketi söz konusu olmadığında, oluşan subuharı ortamdan uzaklaşamayacağından havanın aktüel buhar basıncı sürekli artacak ve sonuçta "DALTON kanunu"nda ifade edilen havanın aktüel buhar basıncı ile su yüzeyindeki buhar basıncı arasındaki fark ortadan kalkacak ve buharlaşma sona erecektir. Bu ise "hidrolojik dolaşım motoru"nun durması demektir. Oysa, serbest atmosfer şartları altında böyle bir durumla karşılaşılması mümkün değildir. Bu nedenle, rüzgârların etkisinin yer almadığı buharlaşma bağıntıları da özellikle coğrafi bakımdan objektif kabul edilemezler.

Su kütlesinin özellikleri.— Serbest atmosfer şartlarına açık bulunan açık su yüzeylerindeki buharlaşma; su kütlesinin saflık oranı, yüzey genişliği, derinliği, kütleli büyüklüğü, sıcaklık derecesi, v.b.g. özelliklerine de bağlıdır. Su kütlesinde erimiş halde tuz bulunması, çözeltideki bileşenlerin konsantrasyon oranı arttığı ölçüde buharlaşmayı azaltır. Bir başka sözle; deniz suyundan olan buharlaşma, şehir suyundan olan buharlaşmaya nispeten çok daha az olacaktır. Deniz suyunda absorbe edilen enerjinin büyük bir kısmı, bir çözelti olan deniz suyunun ısınmasında kullanılmaktadır. Oysa, buharlaşma tavalarında kullanılan ve zaman zaman saflık oranı yüksek yağış suyunun da karıştığı şehir suyunda absorbe edilen enerjinin büyük bir kısmı, deniz suyundakinin aksine buharlaşmada kullanılmaktadır. Çünkü; tuzlu su gibi çözeltilerin belirli bir kaynama sıcaklığı olmadığı halde saf suyun (76 cm Hg sütunu şartı altında) kaynama sıcaklığı 100°C ile sabittir (ŞENVAR ve diğerleri 1980; s: 39). Meteoroloji istasyonlarında rasatların yapıldığı buharlaşma tavalarında meydana gelen buharlaşma tutarından bir miktar düşülmektedir. Ancak bu işlem, sular arasındaki saflık farkının giderilmesi amacıyla değil, farklı su kütleleri arasındaki ısınma süresi, hızı ve şeklinden kaynaklanan buharlaşma farkının giderilmesi amacıyla yapılmaktadır. Buharlaşma, su kütlelerinin yüzeylerinden film zarları halinde meydana geldiğinden, su kütlesinin atmosferle temas halinde bulunan yüzeyi ne kadar geniş ve derinliği ne kadar az (sığ) olursa, o kadar hızlı ve çok miktarda gerçekleşmektedir. Su kütlesine ilişkin bu özelliklerin belirlenmesi pratik olmadığından bugüne kadar önerilmiş bulunan bağıntılarda, 1 m²'lik bir yüzey alanına sahip olan maksimum 1 m³ kadarlık bir su kütlesinin sürekli var olduğunun kabulü ve diğer özelliklerinin ihmal edilmesi suretiyle sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır ki, bizce de pratik bakımdan uygun görülmektedir.

Coğrafi zeminin özellikleri.— Potansiyel evapotranspirasyon ve/veya gerçek evapotranspirasyon söz konusu olduğunda; yukarıda belirtilen iklim eleman ve faktörlerine ek olarak toprak tipi, toprak nemi, toprak sıcaklığı, toprak gözenekliliği ve bununla bağlantılı olarak topraktaki su ve hava dolaşımı, kapilarite, sızma ve yeraltı su seviyesi ile coğrafi mekânın bitki örtüsü ile örtülü olup-olması, zemin bitki örtüsü ile kaplı ise bitki türleri, bunların nem istekleri ve terleme özellikleri de zeminden olan buharlaşma üzerinde etkileri söz konusu olmaktadır. Ancak, bunlara ilişkin sayısal değerlerin elde edilmesi son derece güçtür. Bu nedenle söz konusu verilerin sadece bir bölümü, az sayıda zemin özelliği dikkate alınarak, çok özel

coğrafi mekân ve şartlarda kurulabilen deney düzenekleri yardımıyla belirlenebilmekte ve formüle edilebilmektedir.

Bağıntının matematiksel işlemler bakımından sade ve kolay uygulanabilir olması

Sadelikten kastedilen çok az sayıda parametre yardımıyla ve basit işlemlerle gerçek değerlerin hatasız tahmin edilmesidir. Bir başka sözle; meteoroloji istasyonlarında ölçümü yapılan buharlaşma değerlerinin, buharlaşma üzerinde etkili olan iklim eleman ve faktörlerinden sadece bir veya ikisi kullanılarak, hatasız veya çok az hata ile belirlenmesidir. Ancak, tahminlerin sade bir denklemle belirlenebilmesi için her şeyden önce buharlaşma olayı ve bu olayın meydana gelmekte olduğu coğrafi mekânın en azından fizyografik bakımdan sade olması gerekir. Oysa buharlaşma olayı, son derece komplekstir. Coğrafi mekânlar bütünü olan yeryüzünde ise fizyografik bakımdan sadelik gösteren alanlar son derece sınırlıdır. Üzerinde yaşadığımız Türkiye'nin yerçekimleri söz konusu olduğunda ise sadelikten çok engebelilikten söz edilir. Bu engebeliliğe bağlı olarak Türkiye'nin gerek bölgesel ve gerekse lokal iklimler bakımından zengin olduğu düşünülürse, bir yerin ikliminin belirlenmesinde yararlanılan buharlaşma tutarlarının özellikle Türkiye şartlarında sade bir denklem ile belirlenmesinin mümkün olacağı söylenemez. Bu belirleme işleminin Hollanda, Belçika, Batı Fransa, İtalya, Meksika plâtoları veya Arjantin "Pampalar"ında hüküm süren iklimatik şartlar altında saptanan ya da denenen "Türkiye şartlarına uyarlanmamış" bağıntılarla yapılması ise uygun görülmez. Bu nedenle Türkiye şartlarında, sade bir denklemle buharlaşma değerlerinin hatasız veya çok az hata ile belirlenmesi beklenemez.

Yeni buharlaşma bağıntısının gerekçeleri

Yukarıda belirtildiği üzere, özellikle iklimatik çeşitlilik bakımından oldukça zenginlik gösteren Türkiye'de bu zenginliğin belirmesinde çok önemli rol oynayan "buharlaşma" nın genellikle çok az hata ile belirlenebileceği bir bağıntıya ihtiyaç bulunmaktadır. Söz konusu ihtiyacın giderilmesinde kullanılabilir çok sayıda bağıntı bulunmakla birlikte, bunlar arasında Türkiye'nin coğrafi bölgeleri kapsamında olmak üzere, sıcak ve soğuk dönemler düzeyinde Türkiye şartlarına göre uyarlanmış sadece "bir" bağıntı / formül bulunmaktadır (ARDEL ve diğerleri, 1969 s: 176-179; DÖNMEZ, 1979, s:166-169). Bu bağıntının kuşkusuz 20 yılı aşkın bir zamandır Türkiye'de yapılan özellikle fizikî coğrafya çalışmalarında kullanılagelen aşağıdaki L. TURC formülü / bağıntısı olduğu bilinmektedir:

$$L = K (t + 2) \sqrt{[12.5 (T' + 11) + 25 (t_{n+1} - T)]} \sqrt{k} \quad (1).$$

Burada;
L : Buharlaşan su miktarı (mm/Ay),
K : Türkiye şartlarına göre uyarlanmış olan sıcaklık değişimleri ve yükselti ile ilgili bir katsayı (orijinal bağıntıda 0.188),
t : Buharlaşma miktarı bulunacak ayın ortalama sıcaklığı (°C),
T : Deniz seviyesine indirgenmiş yıllık ortalama sıcaklık (°C),
t_{n+1} : Buharlaşma miktarı bulunacak ayı izleyen ayın ortalama sıcaklığı (°C),
T : Yıllık ortalama sıcaklık (°C),
k : Bağıntının orijinalinde rüzgâr ile ilgili bir katsayı olup, "k= ((v/V)+0.5/1.5)" denkleminin çözümü ile elde edilir (burada; v Aylık ortalama rüzgâr hızı "m/sn"; V : Yıllık ortalama rüzgâr hızı "m/sn"; sayılar ise katsayılarıdır). Ancak, orijinal bağıntının Türkiye şartlarına uyarlanması sırasında "Türkiye'nin şiddetli rüzgârlara maruz olmadığı gerekçesiyle" ihmal edildiği belirtilmektedir (ARDEL ve diğerleri 1969, s: 171-178).
"√" Birinci karekök içi, global solar radyasyon ifadesi (cal/cm²),
Sayılar ise katsayılarıdır.

Yukarıda verilen L. TURC bağıntısı / formülü, Türkiye şartlarına uyarlanmış bulunan "tek bağıntı" olması nedeniyle, "yeni bağıntı için alternatif bağıntı" olarak seçilmiştir. 1969 yılından bugüne kadar "coğrafyacılara"ca konu ile ilgili ihtiyacın giderilmesi amacıyla kullanılmış bulunan L. TURC bağıntısının yapısı ve sonuçları üzerinde tarafımızdan yapılan incelemeler sonucunda; söz konusu bağıntının "önerildiği dönemin şartlarına göre" özenle Türkiye şartlarına uyarlanmış olmasına rağmen, klimatolojik çalışmalarda hatalı yorumlara neden olabilecek kadar büyük standart hata içermesi yanında, yapısal bakımdan da kullanılmasının özellikle günümüz şartlarında sakıncalı olduğu kanaatine varılmıştır. Bu durumla ilgili başlıca nedenlerin aşağıdaki gibi üç grup altında belirtilmesi mümkündür:

1. Her şeyden önce söz konusu bağıntı, Türkiye şartlarına uyarlanmamış şekliyle de olsa ortalama sıcaklığın "-2.0°C" eşit ve daha düşük olduğu aylara ilişkin buharlaşma tutarları hesaplanamamakta ve bu nedenle de bu ayların buharlaşma tutarları "sıfır" olarak kabul edilmektedir.

2. Birinci "karekök" içinde "global solar enerji" elde edilirken, buharlaşma miktarı bulunacak ay'a ait hiçbir veri kullanılmamaktadır. Bir başka sözle; bir sonraki ayda alınabilecek solar enerji saptanmakta ve buna dayanılarak, bir önceki ayda buharlaşabilecek su miktarı tahmin edilmektedir ki bu işlem, hangi nedene dayandırılırsa dayandırılınsın objektif sayılamayacağı gibi, tahmin yöntemleriyle de çelişkiye düşmektedir. Aynı şekilde; karekök içerisinde "solar enerji" belirlenirken, yıllık ortalama sıcaklık derecesi, "deniz seviyesine" indirgenmektedir. Böylelikle buharlaşma miktarı, "istasyon deniz seviyesinde olsa bir sonraki ayda alınabilecek solar enerji ile ne kadar buharlaşma meydana gelebilir?" sorusuna cevap aranarak elde edilmiş olmaktadır. Bu varsayımla belirlenen buharlaşma değeri, daha sonra hiçbir "düzeltme" işlemine tabi tutulmadan ait olduğu istasyonun gerçek konumundaki buharlaşma değeri olarak kullanılmakta ve

böyle yorumlanmaktadır ki, bu durum da önemli bir bilimsel sakınca oluşturmaktadır.

3. Türkiye bütününde buharlaşma rasadı yapılan meteoroloji istasyonlarının 41'inde L. TURC bağıntısı ile elde edilen buharlaşma değerlerinin ölçülen değerlerle karşılaştırılması suretiyle belirlenen standart hata (%) sonuçlarına göre; Doğu Anadolu bölgesinde % 100'ü (Malatya'da % 112.8), Güneydoğu Anadolu bölgesinde % 60'ı (Ceylanpınar'da % 60), İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde % 50'yi (Sivas'ta % 50.2; Kastamonu'da % 51.4), Karadeniz ve Marmara bölgelerinin kıyı kesimlerinde % 30'u ve hatta % 40'ı (Florya'da % 32.5; Rize'de 41.5) aşan ortalama yüzde hatalar görülmüştür. 41 istasyonun bütününe dikkate alındığında ise istasyonların % 67'sinde standart hatanın ampirik formüllerin sonuçlarında görülen % 25'lik alt sınırın çok üstünde olduğu ortaya çıkmıştır. Türkiye şartlarına coğrafî bölgeler kapsamında sıcak ve soğuk dönemler düzeyinde uyarlanmış bulunmasına rağmen bu kadar büyük sonuçların alınması oldukça dikkat çekicidir ve L. TURC bağıntısının sakıncalı yönlerinden bir diğerini işaret etmektedir.

Gerek orijinal L. TURC bağıntısı gerekse bu bağıntının Türkiye şartlarına uyarlanmış şeklinde gözlenen yapısal ve sonuçsal hatalardan da anlaşıldığı gibi, *birçok faktörün etkisi altında gerçekleşen kompleks buharlaşma olayının özellikle Türkiye şartlarında "bir-iki faktör" dikkate alınarak çok az hata ile belirlenmeye çalışılması mümkün görülmemektedir.* İşte bu nedendir ki, özellikle Türkiye'nin fizikî coğrafya şartlarına uygun olmak üzere, "en iyi şartlarda" (en iyi sonuçların elde edilebildiği, formüllerin belirlenmesinde esas alınan alanlarda) değil, genellikle % 10'dan daha az standart hata ile isabet kaydedebilecek "yeni bir buharlaşma" bağıntısının arayışı çalışmalarına yönelinmiştir.

Yeni buharlaşma bağıntısının tanıtımı

"Yeni buharlaşma bağıntısı", tarafımızdan hazırlanan bilgisayar programları ile çalışmalar sonucunda gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bağıntının gerçekleştirilmesinde; yıllar önce birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilip önerilmiş bulunan solar enerjiye ilişkin ANGOT tablosu, arz radyasyonuna ilişkin PENMAN bağıntısı ve rüzgâr enerji iletkenliğine ilişkin RUSSEL formüllerinden de "yardımcı bağıntılar" olarak yararlanılmış, Türkiye'de buharlaşma rasadı yapılan meteoroloji istasyonlarının (ÇİZELGE 1-a, b) 41'ine ait coğrafî enlem derecesi, ortalama rüzgâr hızı (m/sn), ortalama sıcaklık (°C), ortalama buhar basıncı (mb), ortalama nisbi nem (%) ve ortalama bulutluluk (o%) gibi buharlaşma üzerinde doğrudan ve/veya dolaylı olarak etkide bulunan en önemli iklim eleman ve faktörlerine ilişkin sayısal veriler kullanılmıştır. Tarafımızdan gerçekleştirilen söz konusu yeni buharlaşma bağıntısı, aşağıdaki gibidir:

$$E = \left[\left(\frac{H_b}{h_{fg}} \right) (1 - U) \right] F_s T \quad \{ ; F_s G \} \quad (2).$$

Bu bağıntıda;

- E : Aylık potansiyel buharlaşma (mm/Ay),
 H_b : Buharlaşmada kullanılan aylık ısıdır (Kcal/m²-Ay) ve aşağıdaki denklem ile belirlenmektedir:

$$H_b = [Q_{ag} (I_c (1 - 0.06) 10)] + [H_v \left(\frac{t}{t'} \right) 24] - [ER (10) (0.713)] [M_{dn}] \quad (3).$$

Q_{ag} : Atmosfer dışında yatay yüzeye ulaşan solar enerjidir. ANGOT tablolarından alınabileceği gibi, 35°-45° kuzey enlemleri için, ANGOT değerlerinden yararlanılarak tarafımızdan "lineer regresyon denklemleri" ile belirlenmiş ve ÇİZELGE 2'de verilmiş bulunan tahmin denklemleri ile de elde edilebilir (cal/cm²-gün/Ay; ANGOT değerleri için bkz: GÜREL, 1975, s: 8),

I_c : ANGOT değerleri ile Türkiye'de solar enerji rasadı yapılan istasyonların rasat sonuçlarından yararlanılarak, tarafımızdan yedi coğrafi bölge için ayrı ayrı olarak saptanmış bulunan berraklık oranına ilişkin tahmin denklemleri ile elde edilir (ÇİZELGE 3),

10 : Sabit sayıdır ve "cal/cm²" biriminin "Kcal/m²" birimine kısa yoldan çevrilmesinde kullanılır,

H_v : " α = 5 + 3.4 v " şeklindeki RUSSEL'in rüzgâr iletkenliğine ilişkin formülünü ifade etmektedir (α: Kcal/m²h°C olarak "m/sn" hızındaki (v) bir atmosfer havada ve 1° C'lik ısı farkında 1 m kalınlığındaki 1 m² lik yüzeyden geçen ısı miktarıdır). Bu denklem, "v ≥ 5 m/sn" hız için önerilmiş olmakla birlikte, doğrusal interpolasyon ve / veya ekstrapolasyon amacıyla önerilmiş olması, buna benzer başka bir basit denklemin bulunmaması gibi nedenlerle "yeni buharlaşma bağıntısı" nda kullanılmasında herhangi bir sakınca görülmemiştir (RUSSEL formülü için bkz: GIECK, 1982, Z13),

t : Aylık ortalama sıcaklık (°C),

t' : Yıllık ortalama sıcaklık (°C),

t/t' : RUSSEL formülü ile belirlenen iletkenlik değerinin hava sıcaklığına bağlı değişiminin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır,

24 : Günün saat karşılığıdır ve günlük tahmini toplam değer belirlenebilmesi için kullanılmıştır,

ER : PENMAN yönteminde arz radyasyonunun belirlenmesinde kullanılan aşağıdaki denklemi sembolize etmektedir (bkz: GÜREL, 1979; s:8):

$$RB = \sigma T_a^4 (0.47 - 0.077 \sqrt{e}) (0.20 + 0.80 \left(\frac{n}{D} \right)) \quad (4).$$

RB : Yerden olan radyasyon (cal/cm²-gün),

σ : LUMMER-PRINGSHEIM'e göre bir ışıyım katsayısı olup değeri, «1.1774 x 10⁻⁷» gram kalori/cm²-gün' dür.

T_a⁴ : Mutlak sıcaklığın dördüncü kuvvetini ifade etmektedir: (t+273.16)⁴.

" σT_a^4 " işlemi yerine; tarafımızdan belirlenmiş bulunan

" [- 28.375 + 0.19764 (Ta)]² " denklemi kullanılarak aynı sonuca ± 4 hata ile ulaşılması mümkün ise de ancak zorunlu haller (hesap makinasının kapasitesinin yetersiz olması gibi) dışında kullanılmamalıdır.

"PENMAN yöntemi" nde kullanılan yer radyasyonu bağıntısında "yer yüzeyi sıcaklığı" yerine "hava sıcaklığı" nın esas alınmış olmasının makul karşılanması gerektiği kanaatindeyiz. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilir:

Türkiye'deki bazı meteoroloji istasyonlarının hava sıcaklıkları ile 5 cm. derinlikteki toprak sıcaklıkları incelenmiş ve neticede; ortalama olarak toprak sıcaklıklarının hava sıcaklıklarından kış aylarında 1-2 °C , yaz aylarında ise 3-4 °C kadar daha büyük olduğu anlaşılmıştır. Termodinamik anlamda yer yüzeyi, siyah değil gri bir yüzey olarak kabul edilir. Bu nedenle yer yüzeyi, absorpsiyon gücüne bağlı olarak kendisine ulaşan solar enerjinin sadece bir bölümünü absorbe edecek, diğer bölümünü ise albedo gücüne bağlı olarak yansıtacaktır. KIRCHHOFF kanunu gereğince "ısı denge" mevcut olduğundan, belirli bir sıcaklıkta absorpsiyon katsayısı, yayma katsayısına eşit olacaktır (CERİT, 1976; s:6-127,128). Bu durumda şu sonuca ulaşılabilir: Toprak sıcaklığına göre belirlenecek yer radyasyonu tutarı, yerin absorpsiyon katsayısı ile indirgenerek düzeltilmelidir ("1- α " ile; α = albedo). Bu şekilde düzeltilme yapılarak belirlenecek yer radyasyonu değerinin ise hava sıcaklığına göre hesaplanacak tutara yaklaşık olacağı kuvvetle muhtemeldir.

e : "mm" olarak t har basıncı,

n/D : Nisbî güneşlenme süresidir. Ancak, Türkiye istasyonlarının çoğunluğunda güneşlenme süresine ilişkin rasat yapılamamaktadır. Bu nedenle güneşlenme süresinin ortalama bulutluluk değerlerinden hareketle aşağıdaki bağıntı ile elde edilmesi yolu tercih edilmiştir (Cl : bulutluluk değeri):

$$n/D = 1 - (Cl/10) \quad (5).$$

0.47 ; 0.077 ; 0.20 ve 0.80 sayıları, sabitlerdir.

0.713: Tarafımızdan yapılan araştırma ve incelemeler sonucunda; yer radyasyonunun gerçekleştiği sırada bu enerjinin bir bölümünün gerek hava ve gerekse buharlaşma tavaşı ile bunun altındaki tahta ızgara aracılığıyla suya nakledilebileceği kanaatine ulaşılmıştır. Bunun üzerine; ısınma ısıları bilinen keresteler ile demir ve hava'nın ısınma ısılarından hareketle yaptığımız hesaplamalar sonucunda yer radyasyonunun yaklaşık olarak 0.713'ünün buharlaşma tavaşındaki suyun buharlaşmasında kullanılamayacağı tahmin edilmiştir ki bu değer, buharlaşmada kullanılan ısının belirlenmesinde yer radyasyonunun katkısının ortaya çıkarılması amacıyla kullanılmıştır.

M_{dn} : Buharlaşma miktarı hesaplanacak ayın gün sayısıdır,
 h_{fg} : t°C sıcaklıkta suyun buharlaşma ısısı (Kcal/kg) olup, su sıcaklığı bilinmediği için "hava sıcaklığı" kullanılarak, bu konuda hazırlanmış tablolardan (CERİT, 1976; s: 6- 141) alınabileceği gibi, tarafımızdan hazırlanan tablolardan yararlanılarak belirlenmiş olan aşağıdaki tahmin (regresyon) denklemi ile de hesaplanabilir (t: aylık ortalama sıcaklık "°C"):

$$h_{fg} = 597.333 - 0.566 (t) \quad (6).$$

U : Nisbi (bağıl) nem (kesir olarak)'dir.
 $F_s T$: Türkiye şartlarına göre önerilen "yeni buharlaşma formülü" nün "Türkiye denklemi"nde kullanılan "aylık mevsim faktörü"nü sembolize etmektedir. Söz konusu mevsim faktörü değerleri, coğrafi bölgeler kapsamında olmak üzere; buharlaşma üzerinde etkili olan iklim eleman ve faktörlerinden ortalama sıcaklık, buhar basıncı ve rüzgâr hızı'na ilişkin değerlerden hareketle belirlenen ve ÇİZELGE 4'te bölgesel olarak verilen "doğrusal tahmin denklemleri" ile hesaplanmaktadır.

$F_s G$: Solar enerji ile birlikte arz radyasyonu değerlerinin bilinmesi ya da bölgesel / bölgesel / yöresel şartlara uygun denklemlerle saptanması şartıyla; özellikle "İlman Kuşak" istasyonlarının buharlaşma tutarlarının hesaplanabileceği şekilde genelleştirilmiş bulunan yeni buharlaşma formülünün "global denklem"indeki mevsim faktörünü sembolize etmekte ve semboller ile aşağıda, alfa-nümerik olarak ÇİZELGE 4/h'da verilen yedinci dereceden bir polinom ile belirlenmektedir:

$$F_s G = a + b(\delta) + c(\delta)^2 + d(\delta)^3 + e(\delta)^4 + f(\delta)^5 + g(\delta)^6 + h(\delta)^7 \quad (7).$$

Bu bağıntıda;

$F_s G$: Aylık mevsim faktörü,
 δ : Coğrafi enlem derecesi ile ay ortasına ait deklinasyon derecesi arasındaki fark (Φ : coğrafi enlem; d: deklinasyon olmak üzere; " $\delta = \Phi - d$ " dir),
a, b, c, d, e, f, g, h : Parametrelerdir.

$[(H_D/h_{fg})(1-U)]$: Buharlaşmanın temel ifadesidir. (8).

Yeni buharlaşma formülünün (Türkiye denkleminin) kullanımına ilişkin bir örnek uygulama

"Yeni buharlaşma formülü" ne ilişkin olarak yukarıdan beri yapılan açıklamalardan sonra burada, söz konusu formülün kullanımına açıklık ve kolaylık getirmek amacıyla bir örnek uygulama yapılması uygun görülmüştür.

Burada yapılacak uygulama için örnek olarak MALATYA meteoroloji istasyonu seçilmiştir. Bu seçimin nedeni, "bugüne kadar önerilmiş bulunan bağıntılarda en iyi şartlarda bile % 10'dan daha az standart hata ile kaydedilememiş olan isabetlerin, % 2'den de az standart hata ile sağlanabileceği" nin gösterilmek istenmesidir.

VERİLER :

Coğrafi bölge	: Doğu Anadolu Bölgesi
Meteoroloji istasyonu	: MALATYA
Coğrafi enlem (Φ)	: $38^{\circ}21' = 38.4^{\circ}$
Buharlaşma tutarı hesaplanacak ay ve gün sayısı (M_{dn})	: Ocak: 31 gün
Ortalama rüzgâr hızı (v)	: 0.8 m/sn
Ortalama sıcaklık (t)	: -0.9°C
Yıllık ortalama sıcaklık (t')	: 13.7°C
Ortalama buhar basıncı (e)	: 4.6 mb = 3.45 mm
Nisbi (bağıl) nem (U)	: 76 % = 0.76
Ortalama bulutluluk (Cl)	: 6.8 o%
Suyun ortalama albedo değeri (α)	: 0.06 (PENMAN yönteminde)

ÇÖZÜM :

I. Adım.— Malatya'nın enleminde atmosfer dışında yatay yüzeye ulaşan solar enerji hesaplanıyor (ÇİZELGE 2'de verilen OCAK ayı denklemi yardımıyla):

$$Q_{ag} = 904 - 13.65 \Phi = 904 - (13.65 \times 38.4) \approx 379.8 \text{ cal/cm}^2\text{-gün/Ay}$$

II. Adım.— Malatya için berraklık indeksi hesaplanıyor (ÇİZELGE 3' de verilen Doğu Anadolu bölgesi'ne ilişkin denklem yardımıyla):

$$I_c = 0.251 + 0.333 (1 - (Cl/10)) = 0.251 + 0.333 (1 - (6.8 / 10)) = 0.358$$

III. Adım.— Rüzgâr ile iletilebilecek saatlik enerji hesaplanıyor (RUSSEL formülü yardımıyla):

$$H_v = 5 + 3.4 (v) = 5 + 3.4 (0.8) = 7.72 \text{ Kcal / m}^2 \text{ h}^{\circ}\text{C}$$

IV. Adım.— Yer radyasyonu hesaplanıyor (PENMAN yöntemi yardımıyla):

$$RB = \sigma T_a^4 (0.47 - 0.077 \sqrt{e}) (0.20 + 0.80 \left(\frac{n}{D}\right))$$

$$\begin{aligned} T_a &= t + 273.16 = 272.26^\circ\text{K} \text{ (KELVIN derecesi)} \\ \sigma T_a^4 &= (1.1774 \times 10^{-7}) (272.26)^4 = 646.93 \\ n/D &= 1 - (CI / 10) = 1 - (6.8/10) = 1 - 0.68 = 0.32 \\ ER &= RB \end{aligned}$$

$$RB = \sigma T_a^4 (0.47 - 0.077 \sqrt{e}) (0.20 + 0.80 \left(\frac{n}{D}\right))$$

$$\begin{aligned} ER &= 646.93 (0.47 - 0.077 \sqrt{3.45}) (0.20 + 0.80 (0.32)) \\ ER &= 646.93(0.47 - 0.077 (1.86)) (0.20 + 0.456) \\ ER &= 646.93 (0.327) (0.456) = 646.93(0.149) \\ ER &= 96.39 \text{ cal / cm}^2\text{-gün / Ay} \end{aligned}$$

V. Adım.— Buharlaşmada kullanılan enerji (H_b) hesaplanıyor (bunun için yukarıda elde edilmiş olan Q_{ag} , I_c , suyun absorpsiyon katsayısı, H_v ve ER değerlerinin aşağıdaki bağıntıda ait oldukları yerlere kaydedilip gerekli hesaplamaların yapılması yeterli olacaktır):

$$H_b = [Q_{ag}(I_c (1 - 0.06) 10)] + [H_v \left(\frac{t}{t'}\right) 24] - [ER (10) (0.713)] [M_{dn}]$$

$$\begin{aligned} H_b &= [379.8 \times 0.358 \times 0.94 \times 10] [7.72(-0.9/13.7)24] [96.4 \times 10 \times 0.713] [31] \\ H_b &= [1278.1] + [7.72 (- 0.066) 24] - [687.3] [31] \\ H_b &= [1278.1 + (- 12.2) - 687.3] 31 \\ H_b &= (578.6) 31 = 17936.6 \text{ Kcal / m}^2\text{- Ay} \end{aligned}$$

VI. Adım.— Suyun buharlaşma ısı hesaplanıyor (bunun için aylık ortalama sıcaklığın aşağıdaki bağıntıda kendine ait yere kaydedilip gerekli işlemlerin yapılması yeterlidir):

$$\begin{aligned} H_{fg} &= 597.333 - 0.566 (t) = 597.333 - 0.566 (- 0.9) \\ H_{fg} &= 597.8 \text{ Kcal / kg} \end{aligned}$$

VII. Adım.— Malatya için Ocak Ayı'na ait mevsim faktörü ($F_s T$) hesaplanıyor (ÇİZELGE 4- f. yardımıyla):

$$\begin{aligned} F_s T &= 1.519 - 0.611 (t) = 1.519 - (0.611 (-0.9)) = 1.519 - (- 0.55) \\ F_s T &= 2.069 \end{aligned}$$

VIII. Adım.— MALATYA meteoroloji istasyonu için Ocak ayı potansiyel buharlaşma tutarı hesaplanıyor (bunun için yukarıda elde edilmiş olan H_b , H_{fg} ve $F_s T$ ile U (nisbi nem) değerlerinin aşağıda verilen "yeni buharlaşma formülü" nün "Türkiye denklemi" nde ait oldukları yerlere kaydedilip gerekli işlemlerin yapılması yeterli olacaktır):

$$E = \left[\left(\frac{H_b}{h_{fg}} \right) (1 - U) \right] F_s T$$

$$E = [(17936.6 / 597.8) (1 - 0.76)] 2.069$$

$$E = (30.00 \times 0.24) 2.069 = 7.2 \times 2.069$$

$$E = 14.897$$

$$E = 14.9 \text{ mm (Malatya'da Ocak ayı'na ait potansiyel buharlaşma tutarının ölçülen değeri ise 15.0 mm)'dir.}$$

Buraya kadar yapılan işlemlerden de anlaşıldığı gibi, "yeni buharlaşma formülü" ile potansiyel buharlaşma tutarına ilişkin hesaplar, sekiz aşamada yapılan basit işlemlerle tamamlanmıştır. Diğer ayların potansiyel buharlaşma tutarları da aynı işlemlerin sırasıyla yapılması sonucunda elde edilebilmektedir. Burada diğer aylar için işlemlerin tekrarlanması uygun olmayacağından bütün aylara ilişkin sonuçlar, karşılaştırmayı mümkün kılacak şekilde L. TURC bağıntısının sonuçları ve diğer sonuçlar ile birlikte ÇİZELGE 6 ve ŞEKİL 2'de verilmiştir.

ÇİZELGE 6'ya ilişkin açıklamalara geçmeden önce burada; "yeni buharlaşma formülü" ile deneme hesaplarının yapılması sırasında gözlenen oldukça dikkati çekici bulduğumuz "potansiyel evapotranspirasyon" la ilgili bir konu üzerinde durulmasında yarar görmekteyiz.

Yeni buharlaşma formülü ile deneme hesapları yapılması sırasında söz konusu formülün "buharlaşma'nın temel ifadesi" olarak belirtilen ve aşağıda verilen bölümüne ilişkin sonuçların THORNTHWAITTE'in düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon değerlerine genellikle yakınlık gösterdiği saptanmıştır.

$$\left[\left(\frac{H_b}{h_{fg}} \right) (1 - U) \right] \Rightarrow \{ \sim = PE \} \quad (9).$$

Bu gözlem üzerine; "potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin potansiyel buharlaşma değerlerini aşamayacağı gerçeği"nden hareketle, potansiyel evapotranspirasyon değerleri THORNTHWAITTE yöntemine göre belirlenmiş olarak elde bulunan 44 meteoroloji istasyonunun sonuçları, yukarıda verilmiş olan denklemin sonuçları ile aynı istasyonların ölçülmüş buharlaşma tutarları karşılaştırmaya tabi tutulmuş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. THORNTHWAITTE'in düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon değerleri, 44 meteoroloji istasyonunun 17 sinde (% 38.6) ölçülen buharlaşma

değerlerini DALTON kanununa aykırı olarak aştığı belirlenmiştir. Söz konusu istasyonlar, THORNTHWAITE "PE" değerlerinin fazlalık gösterdiği aylarla birlikte ÇİZELGE 5'de verilmiştir.

2. THORNTHWAITE yöntemine göre istasyonların "karasallık / denizellik" bakımından taşıdıkları özellikler de potansiyel evapotranspirasyon değerlerinden hareketle belirlendiğinden istasyonlar, bu bakımdan da dördüncü harflere göre karşılaştırmaya tabi tutulmuşlardır. THORNTHWAITE yöntemine göre, karasallık / denizellik özelliklerinin ÇİZELGE 5-a'da verilen sembolik harflerle ifade edildikleri hatırlanır ve ÇİZELGE 5-b'de verilen istasyonların THORNTHWAITE yöntemine göre dördüncü harflerinin "b₃" olarak elde edilmiş oldukları düşünülürse yukarıda belirtilen düşünceleri kuvvetlendirici nitelikte ilginç sonuçlara ulaşılması mümkün görülmektedir.

3. Yukarıda belirtilen somut hatalardan THORNTHWAITE yöntemiyle elde edilen potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin özellikle Türkiye şartlarında ve sıcak dönemde küçümsenemeyecek ölçüde hatalar içerdiği ve/veya içerebileceği anlaşılmaktadır. 57 meteoroloji istasyonunun verileri kullanılarak elde edilen en önemli sonuç, THORNTHWAITE yönteminin Güneydoğu Anadolu ve kısmen İç Anadolu Bölgesi dışında kalan meteoroloji istasyonlarına uygulanarak saptanacak iklim tiplerinin ihtiyatla karşılanması gerektiğidir.

4. Tarafımızdan geliştirilmiş bulunan "yeni buharlaşma formülü" nün "buharlaşmanın temel ifadesi" bölümünün THORNTHWAITE'in potansiyel evapotranspirasyon değerlerine yakınlık gösteren sonuçları ise bütünüyle ölçülen potansiyel buharlaşma tutarlarından daha küçük olarak elde edilmektedir. THORNTHWAITE'in potansiyel evapotranspirasyon değerlerinde ortaya çıkan hatalar da dikkate alınmak suretiyle yeni buharlaşma formülünün "buharlaşmanın temel ifadesi" bölümüne ait sonuçların THORNTHWAITE yönteminin Türkiye şartlarına göre uyarlanması amacıyla kullanılabilmesi mümkün görülmektedir. Bu amaç için aşağıda verilen denklemle, ölçülen buharlaşma tutarlarından hareketle "potansiyel evapotranspirasyon" (PE) tutarlarının hesaplanabileceği belirtilebilir:

$$PE = \frac{E}{F_s T} \quad \text{veya} \quad PE = \frac{E}{F_s G} \quad (10).$$

MALATYA ile ilgili olarak hazırlanmış bulunan ÇİZELGE 6. ile ŞEKİL 2'nin incelenmesi durumunda şu sonuçlara ulaşılabilmektedir:

1. Ölçülen değerlerin yıl içindeki gidişi bakımından söz konusu bağıntular karşılaştırıldığında; L. TURC sonuçlarının yıl içindeki gidişinde aşırı ölçüde istikrarsızlık, buna karşılık yeni buharlaşma formülü ile elde edilen sonuçlarının yıl içindeki gidişinde ölçülen değerlerle paralellik gözlenmektedir. L. TURC bağıntısının sonuçlarında gözlenen sözkonusu

istikrarsızlık, kanaatimizce iki nedene dayanmaktadır: Bunlardan birincisi, negatif değerler alması nedeniyle aşırı sıçramalar gösterebilen sıcaklığın esas alınmış olması; ikincisi ise katsayı olarak bölgesel düzeyde gerçekleri yansıtabilme gücü zayıf olan aritmetik ortalamaların kullanılmasıdır. Oysa yeni buharlaşma formülünde katsayılar, mevsim faktörü olarak **oldukça duyarlı denklemlerle** belirlendiğinden gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

2. Ölçülen değerler ile tahminleri arasındaki farklar dikkate alındığında yukarıda yapılan açıklamalar, daha çok kuvvet kazanmaktadır. L.TURC bağıntısı ile elde edilen sonuçların yıl içinde gösterdiği fark genliği %1 - %300 arasında değişmektedir. Buna karşılık, yeni buharlaşma formülünün sonuçlarında ortaya çıkan fark genliği % 0 - % 3.5 arasında sınırlı kalmaktadır. Söz konusu farklardan kaynaklanan standart hata değerleri ise L. TURC bağıntısına göre % 112.8, yeni buharlaşma formülüne göre % 1.2 kadardır.

3. THORNTHWAITE yöntemiyle belirlenmiş olan potansiyel evapotranspirasyon değerleri ile yeni buharlaşma formülünde buharlaşmanın temel ifadesi" olarak tanımlanan bölüme ilişkin sonuçların karşılaştırılması durumunda ise daha önce belirtildiği gibi, değerler arasındaki yakınlık açıkça görülmektedir. Söz konusu yakınlık, özellikle Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında THORNTHWAITE değerlerinin daha büyük olarak ortaya çıkmasıyla farklılaşır da bunun, nedenini THORNTHWAITE yönteminin daha önce belirtilmiş bulunan "sıcak dönemde hatalı sonuç verme eğilimi" ne bağlanabilir. Bu örnekte yeni buharlaşma formülü ile elde edilen söz konusu değerlerin, THORNTHWAITE yönteminin özellikle Türkiye şartlarına uyarlanması amacıyla kullanılabilmesinin mümkün olduğu açıkça görülebilmektedir (ÇİZELGE 6).

Yeni buharlaşma formülü ile elde edilen sonuçların L. TURC bağıntısı ile elde edilen sonuçlardan çok daha az hata içerdiğini gösteren örnekler çoğaltılabilirse de, 53 istasyona ait çizelge, şekil ve bunlara ilişkin açıklamalar, sayfa sayısının oldukça artmasına neden olacaktır. Bu nedenle, örneklerin artırılması yerine yeni buharlaşma formülü ile belirlenen potansiyel buharlaşma tutarlarının L. TURC bağıntısı ile elde edilen miktarların ölçülen değerlere göre istasyonlar seviyesinde, bölgesel düzeyde ve Türkiye bütününde karşılaştırılmasıyla elde edilen bulguların yorumlanmasına geçilmesinin çok daha uygun olacağı kanaatindeyiz.

Yeni buharlaşma bağıntısına ilişkin başlıca bulgular

Tarafımızdan "Microsoft Quick Basic" programlama dili ile hazırlanan "bilgisayar programı" ile Türkiye şartlarında buharlaşma rasadı yapılan meteoroloji istasyonlarından 41'ine ait (ÇİZELGE 1) aylık ortalama rüzgâr hızı (m/sn), sıcaklık (°C), aktüel buhar basıncı (mb), nisbi (bağıl) nem (%) ve bulutluluk oranları (o%) gibi "Ortalama ve Ekstrem Kıymetler Meteoroloji Bülteni, 1974" den alınan rasat sonuçları ile

coğrafi enlem ve COOPER formülü ile (KILIÇ ve ÖZTÜRK, 1980, s: 18) belirlenmiş olan ay ortasına karşılık gelen deklinasyon derecelerinden (global denklemde) yararlanılarak kurulmuş bulunan "model" ile gerçekleştirilen "yeni buharlaşma formülü", buharlaşma rasadı yapılan 57 meteoroloji istasyonunun 54'ünde (Dalaman, Konuklar ve Malya istasyonlarının rüzgâr verileri elde edilememiştir) L. TURC bağıntısının sonuçlarıyla karşılaştırılarak test edilmiştir. Tahminlerin doğruluğunun veya isabet derecesinin belirlenmesinde ise istatistik' te yaygın olarak kullanıldığı bilinen ve aşağıda verilen standart hata formülü'nden yararlanılmıştır (standart hata, gerçek değerlerle tahminler arasındaki farkların kareli ortalamasıdır):

$$S_{y.x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y')^2}{n}} \quad (11).$$

Bu bağıntıda;

- $S_{y.x}$: Tahminin (mutlak) standart hatası,
 Y : Gerçek (ölçülen) değer (ölçülen buharlaşma tutarı gibi),
 Y' : Tahmin değer (hesaplanan buharlaşma tutarı gibi),
 n : Örnek büyüklüğü veya terim sayısı (ay sayısı gibi),
 Σ : Toplam işareti'dir.

Yukarıda verilen formül ile elde edilecek olan "mutlak standart hata" yanıltıcı değerlendirmelere neden olabileceğinden, söz konusu bağıntı, mutlak farklarla değil yüzde farklarla kullanılmıştır .

Konu ile ilgili olarak ÇİZELGE 1, 7, 8 ile ŞEKİL 3 - 8 düzenlenmiştir. Söz konusu çizelgelerde "yeni buharlaşma formülü"nü "global denklemi"ne ait sonuçlara da yer verilmiştir. Bu durumun başlıca iki nedeni bulunmaktadır: Bunlardan birincisi, önerdiğimiz yeni buharlaşma formülünün bir ölçüde kendisi ile kontrole tabi tutulması, bir başka sözle yeni buharlaşma formülüne otokontrol imkânının sağlanmasıdır. Böylelikle; bir yandan yeni formülün başarı gücü ortaya çıkarılmış olunacak, diğer yandan da genelleştirilmiş bağıntıda ortaya çıkabilecek standart hata yükselmesi saptanabilecektir. İkincisi ise söz konusu denklemin özellikle "İlman Kuşak" için önerilmesinden önce, Türkiye bütününde ölçülen değerlere göre başarı oranının diğer bir ifade ile "güvenilirlik derecesi" nin ortaya çıkarılmasıdır. Böylelikle de yeni bağıntıyı denemek ya da kullanmak isteyebilecek araştırmacılara kullanmak istedikleri bağıntıya ne kadar güvenebilecekleri konusunda bir fikir verilmiş olacaktır.

Yukarıda numaraları belirtilen çizelge ve şekillerin incelenmesi durumunda aşağıda kısaca belirtilen sonuçlara ulaşılır:

1. L. TURC formülü Türkiye şartlarına uyarlanırken sadece 25 kadar meteoroloji istasyonu dikkate alınmıştır. Uyarlamada dikkate alınacak istasyonlar belirlenirken İç Anadolu bölgesinin "Yukarı ve Orta Kızılırmak bölümleri" ile coğrafi bölge sınırlarına yakın meteoroloji istasyonları, rasat süreleri gözetenmeden ihmal edilmiş, gerekçesi ise belirtilmemiştir (ARDEL ve diğerleri, 1969). Oysa, tarafımızdan geliştirilmiş bulunan yeni buharlaşma bağıntısının kurulmasında; "Türkiye'nin oldukça zengin bir iklim bahçesi olduğu" düşüncesinden hareketle, Türkiye'de buharlaşma rasadı yapılan istasyonların 41'i (% 72) dikkate alınmıştır. Geri kalan istasyonlardan 3'ü "rüzgâr" verileri bulunmadığından, ihmal edilmiştir. Diğer 13 istasyon ise genellikle birbirine yakın istasyonlardan özellikle rasat süresi daha kısa olanlardır ve "yeni buharlaşma formülü" nün bütün formüller en iyi / en küçük standart hatalı sonuçları ancak bağıntının kurulmasında dikkate alınan istasyonlarda / en iyi şartlarda vereceği düşüncesinden hareketle, "en kötü şartlardaki/bağıntının kurulmasında ihmal edilen istasyonlardaki hata oranının belirlenmesi amacıyla" ihmal edilmişlerdir (ÇİZELGE 1/a-b).

2. L. TURC formülünün ortalama en başarılı olduğu coğrafi bölge, ortalama olarak % 29.7 standart hata ile Marmara bölgesidir. Oysa bu değer, yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye denklemi" nin ortalama en başarısız olduğu Akdeniz bölgesinin % 21.4 kadarlık standart hata değerinden bile daha büyüktür. Coğrafi bölge ortalamaları için % 25'lik standart hata değeri (bugüne kadar önerilen bu tür ampirik formüllerin en iyi şartlarda / bağıntıların kurulmasında dikkate alınan istasyonlarda elde edilen sonuçların en küçük ortalama standart hatası) kabul sınırı olarak alınacak olursa, L. TURC formülünün coğrafi bölgelerimizin hiçbirinde kullanılamayacağı ortaya çıkar. Buna karşılık yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye şartlarına uygun denklemi", coğrafi bölgelerimizin bütünü için uygun olduğu görülmektedir (ÇİZELGE 7/a-b ; ŞEKİL 3).

3. L. TURC formülü ile 54 meteoroloji istasyonu içerisinde en iyi sonuç alınan istasyon, % 14.7 ortalama standart hata ile Manisa'dır. Bu standart hata değeri ise yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye şartlarına uygun denklemi" (-ne göre ise % 8.8'dir)'nin Ege bölgesi için belirlenen % 14.8 kadarlık ortalama standart hata değeri ile hemen hemen eşdeğerdedir (ÇİZELGE 7-a; ŞEKİL 3-5).

4. L. TURC formülü'ne göre istasyonların hiçbirinde % 10'dan daha düşük standart hata içeren isabet kaydedilememiştir. Buna karşılık yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye şartlarına uygun denklemi" ne göre istasyonların genel şartlarda % 48 'inde en iyi şartlarda ise % 61'inde "global denklemi" ne göre ise % 2'sinde % 10'dan daha küçük standart hata içeren sonuçlar alınabilmiştir. Yeni buharlaşma bağıntısının "Ilıman Kuşak" için genelleştirilmiş "global denklemi" ile bile % 10'dan daha küçük standart hata (Çorum % 9.2) ile isabet kaydedilmiş olması, son derece dikkat çekicidir (ÇİZELGE 7/a-b ; ŞEKİL 6/a-c).

5. 54 meteoroloji istasyonunun "L. TURC formülü" ne göre % 85'inde, yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye şartlarına uygun denklemi" ne göre % 19'unda, yeni buharlaşma bağıntısının "global denklemi" ne göre ise % 59'unda ortalama standart hata değerleri % 20 ve daha büyüktür (ÇİZELGE 7/a-b; ŞEKİL 6/a-c).

6. Türkiye'de buharlaşma rasadı yapılan meteoroloji istasyonlarının 54'ü için toplam olarak 648 aylık sonuç (54 x 12 = 648) elde edilmiştir. Bu toplam sonuç sayısına göre mutlak fark değeri % 5'in altında olan sonuç sayısı; L. TURC formülü'ne göre 78, yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye şartlarına uygun denklemi" ne göre 232, yeni buharlaşma bağıntısının "global denklemi" ne göre ise 114 kadardır (ŞEKİL 7/a-c).

7. L. TURC formülü ile alınan en olumsuz sonucun ortalama standart hatası % 112.8 (Malatya)' dir. Buna karşılık yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye denklemi" ile alınan en olumsuz sonucun standart hatası % 54.9 (İzmit) ve "global denklem" ile alınan en olumsuz sonucun standart hatası ise % 54.3 (Etimesgut)'tür. L. TURC formülünün sonuçlarına göre ortalama standart hatanın % 50 ve daha büyük olma ihtimali % 17 kadardır. Buna karşılık yeni buharlaşma bağıntısının her iki denkleme göre ortalama standart hatanın % 50 ve daha büyük olma ihtimali sadece % 2'dir (ŞEKİL 6/a-c).

8. Alınan 648 aylık sonuçlara göre; ölçülen değerlerden mutlak farkların % 50 ve daha büyük olma ihtimali, L. TURC formülü ile elde edilen tahmini buharlaşma tutarlarında % 15'tir. Buna karşılık yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye şartlarına uygun denklemi" ile belirlenen tahmini aylık buharlaşma tutarlarında % 3, "global denklemi" ile elde edilen tahmini değerlerde ise % 4 kadardır (ŞEKİL 7/a-c).

9. Türkiye bütününde (54 istasyon) ölçülen değerlere göre; L. TURC formülünün yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye şartlarına uygun denklemi" karşısındaki başarısı % 9, "global denklemi" karşısındaki başarısı ise % 35 kadardır. Bir başka sözle; Türkiye denkleminin L. TURC formülü karşısındaki başarısı % 91, global denklemin L. TURC formülü karşısındaki başarısı ise % 65 olarak saptanmıştır. Orta Kuşak ölçüsünde geliştirilmiş bulunan global denklemin Türkiye şartlarına uygun denklemi karşısındaki başarısı ise % 15 olarak belirlenmiştir.

10. Yeni buharlaşma bağıntısının Türkiye şartlarına uygun denklemi ile 54 meteoroloji istasyonundan beşinde L. TURC formülünün sonuçlarına nispeten daha büyük ortalama standart hata içeren sonuçlar da alınmıştır. Söz konusu istasyonlar, Marmara bölgesinden Florya ve İzmit, Ege bölgesinden Muğla Akdeniz bölgesinden Adana ve Dört Yol'dur (ÇİZELGE 8). Yeni buharlaşma bağıntısının Türkiye şartlarına uygun denkleminde ortaya çıkan bu durumun birbiri ile bağlantılı başlıca iki nedeni bulunmaktadır. Bunlar, lokal klima farklılıkları ve yeni bağıntıdaki mevsim faktörlerinin belirlenmesinde yararlanılan denklemler' dir:

Daha önce belirtildiği gibi, Türkiye lokal iklim çeşitliliği bakımından oldukça zengindir. Bu nedenle aynı coğrafi bölge içerisinde yer alan

istasyonlar mesafe olarak birbirlerine yakın olsalar bile aynı istasyonların hava kütleleri karşısındaki coğrafi konumları farklı olabilmektedir. Buna bağlı olarak da istasyonlar, iklim bakımından lokal ve/veya mikro düzeyde farklılık göstermektedirler. Bu özellikler ise doğal olarak meteorolojik rasatlara farklı sayısal değerler halinde yansımaktadır. Matematiksel ve istatistiksel eşitlikler sayısal değerler üzerine kurulduğundan, standart hatasız veya standart hatası çok düşük tahminlerin elde edilebilmesi, ancak lokal iklim farklılıklarını sayısal olarak en iyi şekilde yansıtabilecek **"en uygun denklemin saptanmış olmasıyla mümkündür"**. Tarafımızdan geliştirilip önerilen yeni buharlaşma bağıntısının Türkiye denklemi'ne ilişkin olarak, bölgesel düzeyde aylık mevsim faktörlerinin belirlenmesinde yararlanılabilecek denklemlerin saptanabilmesi amacıyla bilinen **interpolasyon ve ekstrapolasyon denklemlerinden "doğrusal denklemler"** ile **"çeşitli derecelerden (2-7) polinomial denklemler"** her ay için ayrı ayrı olmak üzere standart hataları ile karşılaştırılarak denenmiştir. Sonuçta; en iyi tahminlerin "derecesi bölgeden bölgeye ve aydan aya 2 nci dereceden 5 nci dereceye kadar değişme gösteren polinomial denklemlerle" elde edilebileceği saptanmıştır. Araştırmacıların polinomial denklem çözümlerindeki güçlüklerle karşılaşmalarını sağlamak amacıyla, söz konusu mevsim faktörlerinin belirlenmesinde polinomlara göre biraz daha büyük standart hatalı tahminlerin elde edildiği "doğrusal denklemler" tercih edilmiştir. Kısacası; mevsim faktörlerinin tahmininde kullanılmak üzere, lokal iklim farklılıklarını daha iyi yansıtan "oldukça güç çözülen çeşitli dereceden polinomlar" yerine "elektronik hesaplayıcı veya bilgisayar kullanılmadan kolaylıkla çözülebilen doğrusal denklemler" uygun görülmüştür. Denklem seçiminin önemini vurgulamak amacıyla örnek olarak düzenlenen ŞEKİL 8/a-b incelendiğinde; Ege bölgesi için Mayıs ayına ait mevsim faktörünün doğrusal bir denklemle değil, beşinci dereceden bir polinom ile hemen hemen yok denecek kadar az bir hata ile belirlenebileceği kolaylıkla anlaşılabilir. Kısacası; söz konusu istasyonlarda standart hatası büyük sonuçların elde edilmesi, Türkiye denklemine ilişkin mevsim faktörlerinin lokal iklim farklılıklarını yansıtabilecek en uygun denklemler olan "çözümü ancak gelişmiş hesap makineleri ve/veya bilgisayarlarla mümkün olabilecek polinomlarla" değil "doğrusal tahmin denklemleri" (ki; ortalamalara nispeten çok daha iyi sonuçlar veren oldukça duyarlı denklemlerdir) ile saptanmış olmasından kaynaklanmaktadır. Durum böyle olmakla birlikte; İzmit, Muğla ve Dörtöyöl yörelerinde bulunan meteoroloji istasyonlarının potansiyel buharlaşma tutarlarının tahmin edilmesinde gerek L. TURC formülünden ve gerekse yeni buharlaşma bağıntısının Türkiye denkleminden daha küçük standart hatalı sonuçlar veren yeni buharlaşma bağıntısının **"global denklemi"** nden de yararlanılabileceği söylenebilir (ÇİZELGE 8). Bu durumda yeni buharlaşma bağıntısına ait iki denklemin Türkiye şartlarındaki ortak başarısının % 96 olduğu, buna karşılık L. TURC formülü'nün başarısının % 4 ile sınırlı kaldığı belirtilebilir.

Sonuçlar

1. Yeni buharlaşma bağıntısının aşağıda verilmiş bulunan "buharlaşma'nın temel ifadesi" bölümüne ilişkin sayısal sonuçların, THORNTHWAITE yöntemi ile belirlenen "düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon" tutarlarının özellikle "Türkiye şartlarına uyarlanması amacıyla yapılacak deneme çalışmalarında" yararlanılabilecek bir nitelik taşıdığı saptanmış ve "bilimsel çalışmalarda gelişmenin sağlanmasına katkıda bulunmak amacıyla" bu konuya ilgi duyan araştırmacıların bilgilendirilmesi uygun görülmüştür:

$$\left[\left(\frac{H_b}{h_{fg}} \right) (1 - U) \right] \Rightarrow \{ \sim = PE \}$$

2. Yeni buharlaşma bağıntısının özellikle "Türkiye şartlarına uygun denklemi" ile bugüne kadar buharlaşma üzerine önerilmiş bulunan diğer bağıntıların "en iyi şartlarda" içerdikleri "% 10 kadarlık hata" değerinden "çok daha az standart hata içeren" sonuçların alındığı saptanmış ve "genel olarak % 48 olasılıkla % 10' dan daha az bir standart hata ile Türkiye şartlarında isabet kaydedilebileceği" kanıtlanmıştır. Yeni buharlaşma bağıntısının söz konusu Türkiye denklemi'nin Türkiye şartlarına oldukça ayrıntılı bir şekilde uyarlanmış olduğu bilinen L. TURC formülü'ne nispeten % 91 oranında daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

3. Yeni buharlaşma bağıntısının Orta Kuşak için genelleştirilmiş "global denklemi" nin Türkiye şartlarında % 2 olasılıkla da olsa % 10' dan daha az bir standart hata içeren sonuçlar verdiği ve Türkiye şartlarında L. TURC formülü'ne nispeten % 65 oranında daha başarılı olduğu saptanmıştır. Söz konusu "global denklemin" Türkiye gibi iklim çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir ülkede göstermiş olduğu başarıdan, "solar enerji ve yer radyasyonuna ilişkin verilerin bilinmesi şartıyla Orta Kuşak istasyonlarının potansiyel buharlaşma tutarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla güvenle kullanılabileceği anlaşılmıştır.

4. Türkiye şartlarına oldukça ayrıntılı bir şekilde uyarlanmış olan L. TURC formülü de dahil olmak üzere, bugüne kadar potansiyel buharlaşma tutarlarının tahmini üzerine önerilmiş bulunan ortalama katsayılar içeren bütün matematiksel bağıntıların, en azından yeni bağıntının "mevsim faktörü denklemleri" kadar yüksek duyarlılığa sahip denklemlerle "Türkiye şartlarına uyarlanmadıkça", yeni buharlaşma bağıntısının sonuçları kadar "iyi sonuç veremeyecekleri" belirlenmiştir.

5. Günümüzdeki "bilimsel ve teknik" gelişmeden yararlanmak suretiyle sonuçların "çok daha kısa sürede" alınabilmesi amacıyla, "basic programlama" dilinde bir "bilgisayar programı" hazırlanmıştır. Bu

program ile meteoroloji istasyonlarının aylık ortalama olarak; rüzgâr hızı (m/sn), sıcaklık (°C), buhar basıncı (mb), nisbi nem (yüzde olarak), bulutluluk (onda olarak) değerleri ile coğrafi enlem derece ve dakikaları, eğim dereceleri, güneş azimut açıları ve L. TURC formülü'nde kullanılan aylık katsayıları veri olarak girilmek suretiyle herhangi bir meteoroloji istasyonunun yeni buharlaşma bağıntısına göre aylık potansiyel buharlaşma tutarlarına ek olarak; "o istasyon için atmosfer dışında ve yeryüzünde yatay yüzeye ulaşan global, direkt ve dağılmış solar enerji; yamaçlara (kuzey hariç) ulaşan solar enerji; absorbe edilen enerji; yamaçlarda ve yatay yüzeylerde yer radyasyonu ve enerji bilançosu; berraklık indeksi; teorik ve bulutluluğa göre gerçek güneşlenme süreleri; THONTHWAITE yönteminin Türkiye şartlarına uyarlanmasında yararlanılabilecek potansiyel evapotranspirasyon; günlük ortalama potansiyel buharlaşma, rüzgâr ile nakledilen enerji, güneş ışınlarının geliş açıları, güneş öğlesinde maksimum direkt solar enerji alan yüzey eğimi, gün içinde maksimum direkt güneş enerjisi alan optimum yüzey eğimi, buharlaşma ısı; su yüzeyinde doymuş buhar basıncı; yıllık termik anomali değerleri" gibi coğrafyacıların çalışmalarında ihtiyaç duyduğu oldukça önemli sayısal veriler de hesaplanabilmekte ve yazdırılabilmektedir. Bunlara ek olarak, yeni bağıntının kurulmasında alternatif formül olarak dikkate alınan L. TURC formülü'ne göre potansiyel buharlaşma tutarları da kullanıcılara bir karşılaştırma imkânı sağlanması amacıyla hesaplatırılıp yazdırılabilmektedir (SEZER, 1994).

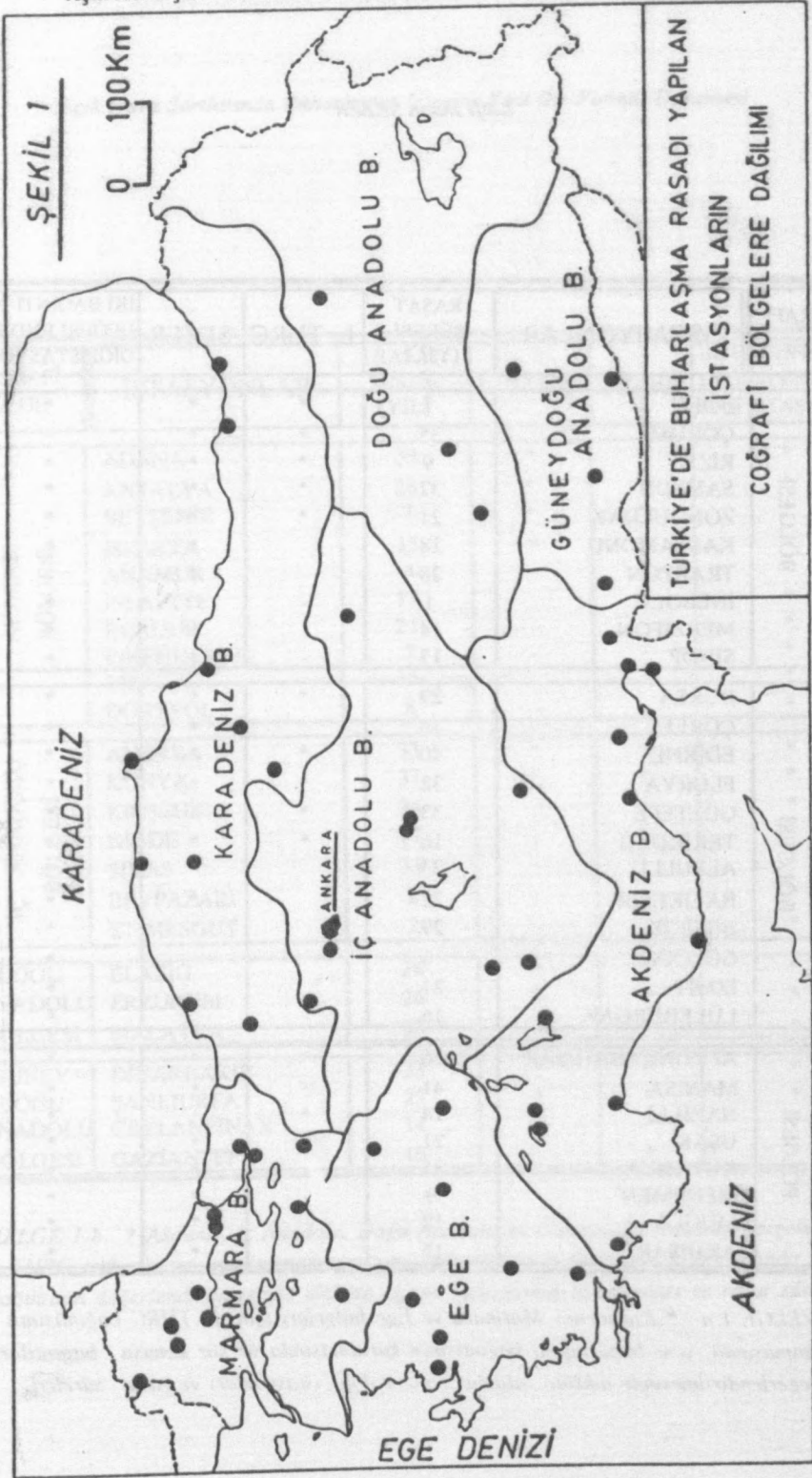
Kaynaklar

- ARDEL A. - KURTER, A. - DÖNMEZ, Y. 1969. *Klimatoloji Tatbikatı*. İstanbul Üniversitesi Yay. No.1223, Edebiyat Fak. Coğrafya Enst. Yay. No.40, s: 173-183, İstanbul
- ATAGÜNDÜZ, G., 1979. *Termodinamik*. Ege Üniversitesi Kimya Fak. Yay. No.1, s:21-190, İzmir
- BAYAZIT, M., 1987. *Hidroloji*. (Genişletilmiş Dördüncü Baskı). İstanbul Teknik Üniv. Küt. S:1346, s:43-61, İstanbul
- CERİT, A.M. ve diğerleri, 1976. *Makina Mühendisliği El Kitabı*. C:1, 6. Bölüm "Termodinamik ve ısı iletimi", TMMOB Yay, No.100, s: 6:1-158, Ankara
- DÖNMEZ, Y., 1979. *Umumî Klimatoloji ve İklim Çalışmaları*. İstanbul Üniv. Yay. No.2506, Coğrafya Enst. Yay. No.102, s:165-173, İstanbul
- ERİNÇ, S., 1969. *Klimatoloji v. Metodları*. (Genişletilmiş İkinci Baskı). İstanbul Üniv. Coğrafya Enst. Yay. No.35, İstanbul
- GIECK, K., 1982. *Mühendislik Formülleri*. (Tercüme: E. Yaşar ALIÇLI). Güven Yayıncılık ve TİC.AŞ. Ankara
- GÜMAN, S., 1957. "Türkiye İklimi, Evapotranspirasyon-Hidrolojik Bilanço, İklim Bölgeleri". *Meteoroloji Klavuzu* Devlet Meteoroloji İşl. Umum Md Yay C:III, Nisan 1956-Mart 1957, S:22-25, s:67-120, Ankara

- GÜREL, A.H., 1975. *Buharlaştırma ve Terleme*. Devlet Meteoroloji İşl. Genel. Md. Yay. E.A.No.78-Tekser Atöl. (A.250) 8.75, Ankara
- GÜRTAN, K., 1982. *İstatistik ve Araştırma Metodları*. (İktisat ve İş İdaresine Tatbikatı). (Genişletilmiş Beşinci Baskı). İstanbul Üniv. İşletme İkt. Enst. Yay. 56, s:493-606, İstanbul
- KILIÇ, A. - ÖZTÜRK, A., 1983. *Güneş Enerjisi*. s:12-98, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul
- OTMAN, R., 1979. *Fizik* (Lise I). İnkılâp ve Aka Kitabevleri, s:81, 110-115,127-133,147-165,190-198, İstanbul
- SEZER, L. İ., 1990. "Türkiye'de ortalama yıllık sıcaklık farkının dağılışı ve kontinentalite derecesi üzerine yeni bir formül". *Ege Coğrafya Derg.* S:5, s:110-159, İzmir
- SEZER, L. İ., 1994. *Irse.Exe / Irse.Mac*. (İnsolasyon, Radyasyon ve SEZER Evaporasyon). (Yayınlanmamış IBM/PC—DOS ve Apple Macintosh Bilgisayar Programı). Bornova
- ŞENVAR, C. ve diğeri, 1980. *Kimya* (Lise III). (Dördüncü Basılış). Modern Matematik ve Fen Kitapları.123, s:72-76, 121-122, 128-154, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul

METEOROLOJİ BÜLTENİ:

Ortalama Ve Ekstrem Kıymetler Meteoroloji Bülteni, 1974. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Md. Yay. Ankara



Lütfi İhsan SEZER

COĞRAFI BÖLGE	İSTASYONLAR	RASAT SÜRESİ (YIL)	L. TURC	SEZER	İKİ BAĞINTI'NIN DEĞERLENDİRİLDİĞİ İSTASYONL
KARADENİZ BÖLGESİ	BOLU	7	*	*	*
	ÇORUM	35	*	*	*
	RİZE	9	*	*	*
	SAMSUN	32	*	*	*
	ZONGULDAK	21	*	*	*
	KASTAMONU	28		*	*
	TRABZON	28		*	*
	İNEBOLU	1			*
	MERZİFON	14	-	-	*
	SİNOP	13	-	-	*
MARMARA BÖLGESİ	BURSA	29	*	*	*
	ÇORLU	18	*	*	*
	EDİRNE	40	*	*	*
	FLORYA	32	*	*	*
	GÖZTEPE	33	*	*	*
	TEKİRDAĞ	16	*	*	*
	ALPULLU	23		*	*
	BALIKESİR	22		*	*
	BİLECİK	29		*	*
	GÖLCÜK	6			*
	İZMİT	21			*
	LÜLEBURGAZ	16	-	-	*
EGE BÖLGESİ	AFYONKARAHİSAR	36	*	*	*
	MANISA	41	*	*	*
	NAZİLLİ	14	*	*	*
	UŞAK	21	*	*	*
	KÜTAHYA	35		*	*
	MENEMEN	9		*	*
	MUĞLA	12		*	*
	AKHISAR	15	-	*	*

ÇİZELGE 14 * Karadeniz, Marmara ve Ege bölgeleri için; L. TURC bağıntısının uyarlanması, yeni buharlaşma bağıntısının kurulmasında ve söz konusu bağıntıların değerlendirilmesinde dikkate alınan meteoroloji istasyonları ve rasat süreleri.

Açık Hava Şartlarında Buharlaştırma Üzerine Yeni Bir Formül Denemesi

COĞRAFI BÖLGE	İSTASYONLAR	RASAT SÜRESİ (YIL)	L. TURC	SEZER	İKİ BAĞINTI 'NİN DEĞERLENDİRİLDİĞİ İSTASYONL
AKDENİZ BÖLGESİ	ADANA	39	*	*	*
	ANTALYA	26	*	*	*
	BEYŞEHİR	7	*	*	*
	ISPARTA	35	*	*	*
	ANAMUR	4	-	*	*
	İSLAHIYE	13	-	*	*
	BURDUR	21	-	-	*
	İSKENDERUN	7	-	-	*
	MERSİN	15	-	-	*
DÖRTYOL	8	-	-	*	
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	ANKARA	33	*	*	*
	KONYA	37	*	*	*
	KIRŞEHİR	34	-	*	*
	NİĞDE	27	-	*	*
	SİVAS	33	-	*	*
	BEYPAZARI	2	-	-	*
ETİMESGUT	2	-	-	*	
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	ELAZIG	28	*	*	*
	ERZURUM	26	*	*	*
	MALATYA	32	-	*	*
GÜNEY-DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	DİYARBAKIR	33	*	*	*
	ŞANLIURFA	23	*	*	*
	CEYLANPINAR	14	-	*	*
	GAZİANTEP	15	-	*	*

ÇİZELGE 1-b. * Akdeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri için; L. TURC bağıntısının uyarlanmasında, yeni buharlaştırma bağıntısının kurulmasında ve iki bağıntının değerlendirilmesinde dikkate alınan meteoroloji istasyonları ve rasat süreleri.

AYLAR	DENKLEMLER
OCAK	$Q_{ag} = 904 - 13.65 \Phi$
ŞUBAT	$Q_{ag} = 1052 - 12.85 \Phi$
MART	$Q_{ag} = 979 - 7.90 \Phi$
NİSAN	$Q_{ag} = 981 - 3.35 \Phi$
MAYIS	$Q_{ag} = 894 + 0.90 \Phi$
HAZİRAN	$Q_{ag} = 893 + 2.70 \Phi$
TEMMUZ	$Q_{ag} = 883 + 1.45 \Phi$
AĞUSTOS	$Q_{ag} = 931 - 2.20 \Phi$
EYLÜL	$Q_{ag} = 993 - 6.85 \Phi$
EKİM	$Q_{ag} = 952 - 10.60 \Phi$
KASIM	$Q_{ag} = 935 - 13.45 \Phi$
ARALIK	$Q_{ag} = 880 - 14.05 \Phi$

ÇİZELGE 2. ANGOT solar enerji tablosuna göre, atmosfer dışında yatay yüzeyeulaşan aylık ortalama global solar enerji tahmin denklemleri
($cal/cm^2-gün$; Q_{ag} : enerji ; Φ : coğrafi enlem; 35-45°N enlemleri için geçerlidir).

COĞRAFİ BÖLGELER	TAHMİN DENKLEMLERİ
KARADENİZ BÖLGESİ	$I_c = 0.075 + 0.710 (1 - CI/10)$
MARMARA BÖLGESİ	$I_c = 0.164 + 0.443 (1 - CI/10)$
EGE BÖLGESİ	$I_c = 0.213 + 0.351 (1 - CI/10)$
AKDENİZ BÖLGESİ	$I_c = 0.193 + 0.425 (1 - CI/10)$
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	$I_c = 0.238 + 0.370 (1 - CI/10)$
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	$I_c = 0.251 + 0.333 (1 - CI/10)$
GÜNEYDOĞU ANADOLU B.	$I_c = 0.211 + 0.370 (1 - CI/10)$

ÇİZELGE 3. Coğrafi bölgelerin berraklık indekslerine ilişkin tahmin denklemleri
(I_c : berraklık indeksi ; CI : % bulutluluk)

KARADENİZ BÖLGESİ		
AYLAR	DENKLEMLER	
OCAK	$F_sT = 7.021$	$+ 0.340 \quad t$
ŞUBAT	$F_sT = 2.290$	$+ 0.336 \quad t$
MART	$F_sT = - 1.366$	$+ 0.591 \quad e$
NİSAN	$F_sT = 0.199$	$+ 0.196 \quad e$
MAYIS	$F_sT = 0.717$	$+ 0.076 \quad e$
HAZİRAN	$F_sT = - 0.0006544$	$+ 0.072 \quad t$
TEMMUZ	$F_sT = - 1.945$	$+ 0.162 \quad t$
AĞUSTOS	$F_sT = - 1.741$	$+ 0.162 \quad t$
EYLÜL	$F_sT = - 1.721$	$+ 0.207 \quad t$
EKİM	$F_sT = - 0.176$	$+ 0.214 \quad t$
KASIM	$F_sT = - 0.047$	$+ 0.524 \quad e$
ARALIK	$F_sT = 4.640$	$- 0.826 \quad e$

ÇİZELGE 4-a. "Karadeniz bölgesi"ne ilişkin aylık mevsim faktörü tahmin denklemleri (F_sT : mevsim faktörü ; t : ortalama sıcaklık "°C" ; e : ortalama buhar basıncı "mb").

MARMARA BÖLGESİ		
AYLAR	DENKLEMLER	
OCAK	$F_sT = 7.436$	$- 0.276 \quad v$
ŞUBAT	$F_sT = 1.845$	$+ 0.315 \quad t$
MART	$F_sT = 4.305$	$- 0.233 \quad e$
NİSAN	$F_sT = - 1.289$	$+ 0.274 \quad t$
MAYIS	$F_sT = 3.557$	$- 0.133 \quad e$
HAZİRAN	$F_sT = 3.766$	$- 0.130 \quad e$
TEMMUZ	$F_sT = 3.162$	$- 0.072 \quad e$
AĞUSTOS	$F_sT = 1.602$	$+ 0.175 \quad v$
EYLÜL	$F_sT = - 1.188$	$+ 0.191 \quad t$
EKİM	$F_sT = 1.291$	$+ 0.145 \quad t$
KASIM	$F_sT = 6.210$	$- 0.427 \quad v$
ARALIK	$F_sT = 17.200$	$- 1.070 \quad e$

ÇİZELGE 4-b "Marmara bölgesi"ne ilişkin aylık mevsim faktörü tahmin denklemleri (F_sT : mevsim faktörü ; t : ortalama sıcaklık "°C" ; e : ortalama buhar basıncı "mb" ; v : ortalama rüzgâr hızı "m/sn").

EGE BÖLGESİ	
AYLAR	DENKLEMLER
OCAK	$F_sT = 3.440 + 0.511 v$
ŞUBAT	$F_sT = 1.240 + 0.538 v$
MART	$F_sT = 1.370 + 0.233 v$
NİSAN	$F_sT = 1.258 + 0.270 v$
MAYIS	$F_sT = 1.234 + 0.287 v$
HAZİRAN	$F_sT = 1.286 + 0.209 v$
TEMMUZ	$F_sT = 1.355 + 0.220 v$
AĞUSTOS	$F_sT = 1.461 + 0.271 v$
EYLÜL	$F_sT = 1.839 + 0.231 v$
EKİM	$F_sT = 2.612 + 0.175 v$
KASIM	$F_sT = 2.728 + 0.761 v$
ARALIK	$F_sT = 4.471 + 0.713 v$

ÇİZELGE 4-c "Ege bölgesi"ne ilişkin aylık mevsim faktörü tahmin denklemleri
(F_sT mevsim faktörü ; v : ortalama rüzgâr hızı "m/sn").

AKDENİZ BÖLGESİ	
AYLAR	DENKLEMLER
OCAK	$F_sT = 0.563 + 0.528 e$
ŞUBAT	$F_sT = 0.774 + 0.727 v$
MART	$F_sT = 1.774 + 0.480 v$
NİSAN	$F_sT = 1.448 + 0.051 e$
MAYIS	$F_sT = 2.046 - 0.059 v$
HAZİRAN	$F_sT = 0.485 + 0.057 t$
TEMMUZ	$F_sT = - 0.346 + 0.090 t$
AĞUSTOS	$F_sT = - 1.564 + 1.440 t$
EYLÜL	$F_sT = 0.670 + 0.076 t$
EKİM	$F_sT = 1.385 + 0.098 t$
KASIM	$F_sT = 0.912 + 0.295 e$
ARALIK	$F_sT = 2.207 + 0.378 e$

ÇİZELGE 4-d "Akdeniz bölgesi"ne ilişkin aylık mevsim faktörü tahmin denklemleri
(F_sT mevsim faktörü , t ortalama sıcaklık "°C" , e : ortalama buhar basıncı "mb";
 v ortalama rüzgâr hızı "m/sn").

Açık Hava Şartlarında Buharlaşma Üzerine Yeni Bir Formül Denemesi

İÇ ANADOLU BÖLGESİ	
AYLAR	DENKLEMLER
OCAK	$F_sT = 2.776 + 0.281 v$
SUBAT	$F_sT = 2.456 - 0.248 t$
MART	$F_sT = 1.764 + 0.056 t$
NİSAN	$F_sT = 2.717 - 0.123 e$
MAYIS	$F_sT = 1.618 + 0.047 v$
HAZİRAN	$F_sT = 1.397 + 0.062 v$
TEMMUZ	$F_sT = 1.476 - 0.096 v$
AĞUSTOS	$F_sT = 1.018 + 0.089 e$
EYLÜL	$F_sT = 1.971 + 0.045 v$
EKİM	$F_sT = 5.147 - 0.309 e$
KASIM	$F_sT = 5.049 - 0.205 e$
ARALIK	$F_sT = 4.896 - 0.076 v$

ÇİZELGE 4-e. "İç Anadolu bölgesi"ne ilişkin aylık mevsim faktörü tahmin denklemleri
(F_sT : mevsim faktörü ; t : ortalama sıcaklık "°C"; e : ortalama buhar basıncı "mb"
 v : ortalama rüzgâr hızı "m/sn").

DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	
AYLAR	DENKLEMLER
OCAK	$F_sT = 1.519 - 0.611 t$
SUBAT	$F_sT = 1.357 + 0.008475 t$
MART	$F_sT = 1.278 + 0.031 t$
NİSAN	$F_sT = 1.706 - 0.125 v$
MAYIS	$F_sT = 0.932 + 0.054 e$
HAZİRAN	$F_sT = 1.298 + 0.064 v$
TEMMUZ	$F_sT = 1.600 + 0.046 v$
AĞUSTOS	$F_sT = 4.152 - 0.227 e$
EYLÜL	$F_sT = 3.735 - 0.201 e$
EKİM	$F_sT = 3.223 - 0.051 t$
KASIM	$F_sT = 2.080 + 0.740 v$
ARALIK	$F_sT = 4.608 - 0.892 t$

ÇİZELGE 4-f "Doğu Anadolu bölgesi"ne ilişkin aylık mevsim faktörü tahmin denklemleri
(F_sT : mevsim faktörü ; t : ortalama sıcaklık "°C" ; e : ortalama buhar basıncı "mb"
 v : ortalama rüzgâr hızı "m/sn").

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ	
AYLAR	DENKLEMLER
OCAK	$F_sT = 4.263 - 0.193 t$
ŞUBAT	$F_sT = 0.615 + 0.694 v$
MART	$F_sT = 2.738 - 0.082 e$
NİSAN	$F_sT = 2.070 - 0.018 e$
MAYIS	$F_sT = 1.228 + 0.032 t$
HAZİRAN	$F_sT = 0.702 + 0.048 t$
TEMMUZ	$F_sT = 0.419 + 0.064 t$
AĞUSTOS	$F_sT = 1.423 + 0.415 v$
EYLÜL	$F_sT = 1.995 + 0.302 v$
EKİM	$F_sT = 0.290 + 0.479 v$
KASIM	$F_sT = 2.641 + 0.655 v$
ARALIK	$F_sT = 1.071 + 1.934 v$

ÇİZELGE 4-g. "Güneydoğu Anadolu bölgesi"ne ilişkin aylık mevsim faktörü tahmin denklemleri (F_sT : mevsim faktörü ; t : ortalama sıcaklık "°C"; e : ortalama buhar basıncı"mb" ; v : ortalama rüzgâr hızı "m/sn").

GLOBAL MEVSİM FAKTÖRÜ DENKLEMİ (F_sG) ve PARAMETRELERİ			
$F_sG = a + b (\delta) + c (\delta)^2 + d (\delta)^3 + e (\delta)^4 + f (\delta)^5 + g (\delta)^6 + h (\delta)^7$			
PARAMETRE		ÜSSEL	DESİMAL
a	=	0.13080 x 10 ²	= 13.08
b	= -	0.01881 x 10 ²	= - 1.881
c	=	0.00101 x 10 ²	= 0.101
d	= -	8.994 x 10 ⁻⁴	= - 0.0008994
e	= -	1.0356 x 10 ⁻⁴	= - 0.00010356
f	=	4.0553 x 10 ⁻⁶	= 0.0000040553
g	= -	5.8751 x 10 ⁻⁸	= - 0.000000058751
h	=	3.087 x 10 ⁻¹⁰	= 0.0000000003087

ÇİZELGE 4-h. Global mevsim faktörü denklemi ve bu denklemde yer alan parametrelerin nümerik karşılıkları (F_sG : mevsim faktörü ; δ : Coğrafi enlem derecesi ile ay ortasına ait deklinasyon derecesi arasındaki farktır " $\delta = \Phi \{enlem\} - d \{deklınasyon\}$ "dir).

İSTASYONLAR	A Y L A R	AY SAYISI
ADANA	VI, VII, VIII	3
BOLU	V, VI, VII, VIII, IX, X	6
BURSA	V, VI	2
DÖRTYOL	V, VI, VII, VIII, IX, X	6
EDİRNE	V, VI	2
GÖZTEPE	V, VI, VII, VIII	4
İSKENDERUN	V, VI, VII, VIII, IX	5
İZMİT	V, VI, VII, VIII, IX, X, XI	7
KASTAMONU	V, VI, VII, VIII	4
MERSİN	V, VI, VII, VIII, IX	5
NAZİLLİ	V, VI	2
RİZE	V, VI, VII, VIII, IX, X	6
SAMSUN	V, VI, VII, VIII, IX, X	6
SİNOP	V, VI, VII, VIII, IX, X	6
TEKİRDAĞ	V, VI, VII	3
TRABZON	V, VI, VII, VIII, IX, X	6
ZONGULDAK	V, VI, VII, VIII, IX, X	6

ÇİZELGE 5. Türkiye'de THORNTHWAITE yöntemine göre düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin ölçülen buharlaşma değerlerini aştığı istasyonlar ve aylar.

"PE" NUN ÜÇ YAZ AYINA NİSBET İNDİSLERİ'NİN SINIFLARI							
a'	b'4	b'3	b'2	b'1	c'2	c'1	d'
DENİZEL			GEÇİŞ		KARASAL		

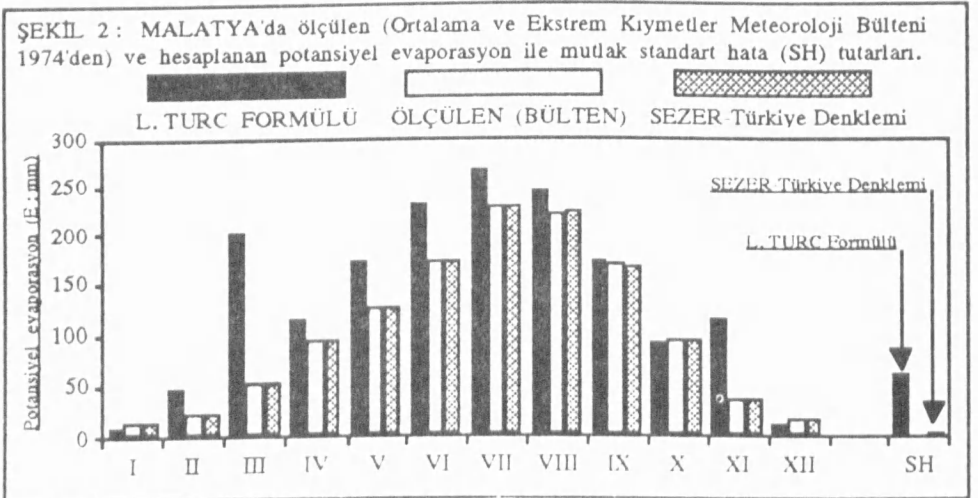
ÇİZELGE 5-a. Türkiye'de THORNTHWAITE yöntemine göre potansiyel evapotranspirasyonun üç yaz ayına nisbet indislerine ilişkin sınıflar.

THORNTHWAITE'e göre 4 ncü harfleri "b'3" olan istasyonlar			
Afyonkarahisar	Akhisar	Akşehir	Ankara
Aydın	Balıkesir	Bolu	Burdur
Bursa	Çanakkale	Çorlu	Çorum
Edirne	Eskişehir	Isparta	İzmir
İslâhiye	Kastamonu	Kayseri	Kepsut
Kırşehir	Konya	Kütahya	Lüleburgaz
Manisa	Muğla	Nazilli	Niğde
Odemiş	Sivas	Tekirdağ	Uşak
Van	-	-	-

ÇİZELGE 5-b. THORNTHWAITE yöntemine göre, Türkiye'de dördüncü harfleri "b'3" olan istasyonlar

Aylar	P. EVAPORASYON			P.EVAPOTR.		% FARKLAR	
	Ölçülen	Turc	Sezer- T.	T.waite	Sezer	Turc	Sezer-T.
I	15.0	9.6	14.9	0.0	7.2	36.0	0.7
II	20.6	47.1	20.9	3.4	15.3	-128.6	1.5
III	51.6	200.5	50.7	14.8	34.4	-288.6	1.7
IV	93.6	113.8	93.2	49.5	61.9	-21.6	0.4
V	124.6	172.3	124.1	94.7	86.2	-38.3	0.4
VI	169.7	229.4	169.4	136.8	122.1	-35.2	0.2
VII	227.1	266.6	227.2	176.4	136.5	-17.4	0.0
VIII	220.9	244.3	222.0	167.0	119.4	-10.6	-0.5
IX	167.2	171.1	166.1	109.4	83.6	-2.3	0.7
X	93.5	92.0	92.7	56.7	38.2	1.6	0.9
XI	35.6	113.1	35.5	18.6	13.3	-217.1	0.3
XII	16.3	12.0	16.8	1.7	5.6	26.4	-3.1
YILLIK	1235.7	1671.8	1233.5	829.0	723.7	Ort. % 112.8 St. hata	Ort. % 1.2 St. hata

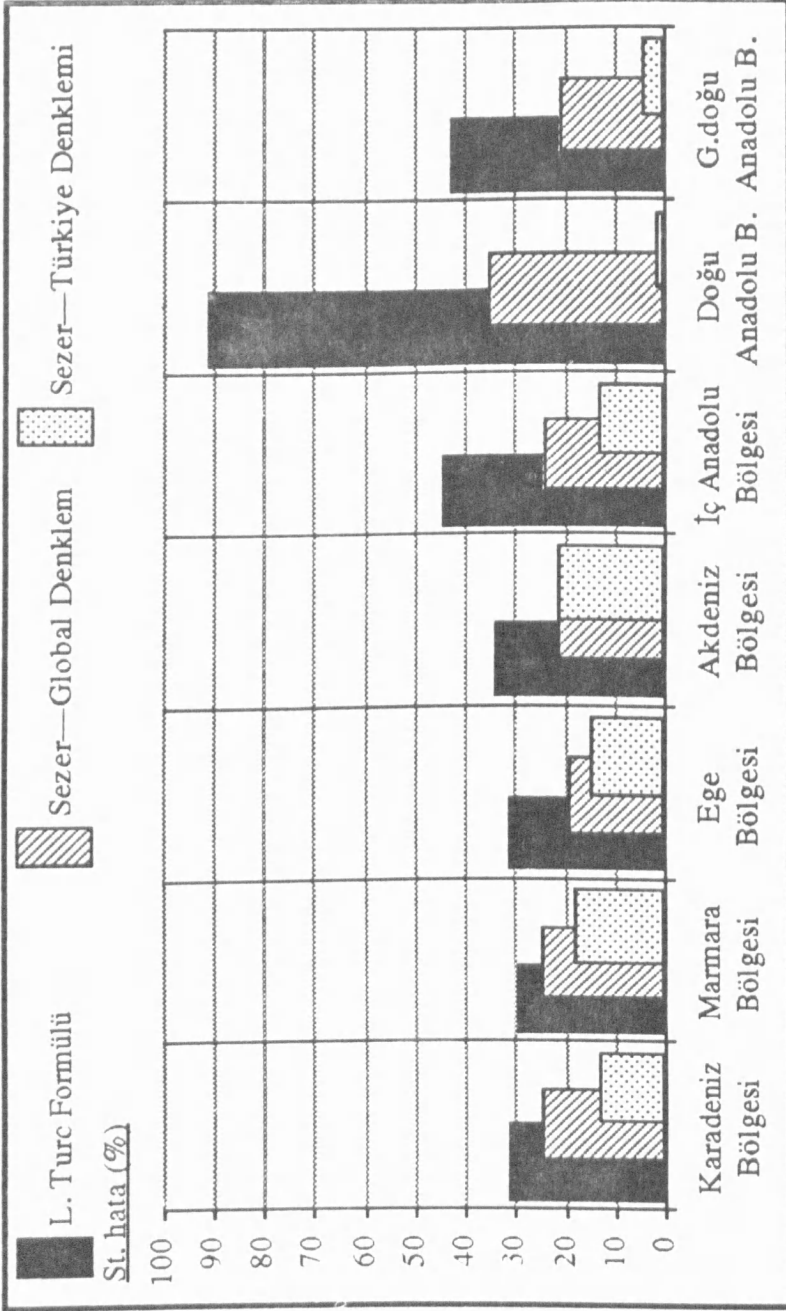
ÇİZELGE 6. Malatya'da yeni buharlaşma formülünün Türkiye için önerilen denklemine ilişkin sonuçların ölçülen potansiyel buharlaşma, L. TURC'ün buharlaşma ve THORNTHWAITE'in potansiyel evapotranspirasyon (PE) değerleriyle karşılaştırılması.



Açık Hava Şartlarında Buharlaştırma Üzerine Yeni Bir Formül Denemesi

İSTASYONLAR	L. TURC	İSEZER-TÜRKİYE	İSEZER-GLOBAL
KARADENİZ BÖLGESİ			
BOLU	40.0	8.2	13.8
ÇORUM	30.2	5.5	9.2
RİZE	41.5	10.3	28.8
SAMSUN	21.1	7.5	25.3
ZONGULDAK	18.5	12.4	27.5
KASTAMONU	51.4	12.9	32.3
TRABZON	19.9	8.4	23.6
İNEBOLU	43.0	36.5	45.4
MERZİFON	26.8	16.6	17.6
SINOP	22.7	13.9	26.9
MARMARA BÖLGESİ			
BURSA	23.5	8.1	25.8
ÇORLU	26.5	8.3	18.1
EDİRNE	24.5	8.2	15.5
FLORYA	32.5	41.1	32.6
GÖZTEPE	16.9	9.3	17.6
TEKİRDAĞ	26.0	7.9	21.5
ALPULLU	48.2	9.5	13.0
BALIKESİR	27.9	17.6	37.4
BİLECİK	26.2	11.1	21.7
GÖLCÜK	19.7	13.7	30.1
İZMİT	49.7	54.9	24.6
LÜLEBURGAZ	35.1	31.1	39.8
EGE BÖLGESİ			
AFYON.	22.2	16.2	10.7
MANİSA	14.7	8.8	20.1
NAZİLLİ	26.4	7.0	10.9
UŞAK	24.6	15.8	31.9
KÜTAHYA	26.7	7.4	11.7
MENEMEN	36.8	12.8	38.8
MUĞLA	21.4	41.7	15.1
AKHİSAR	77.7	9.5	14.8

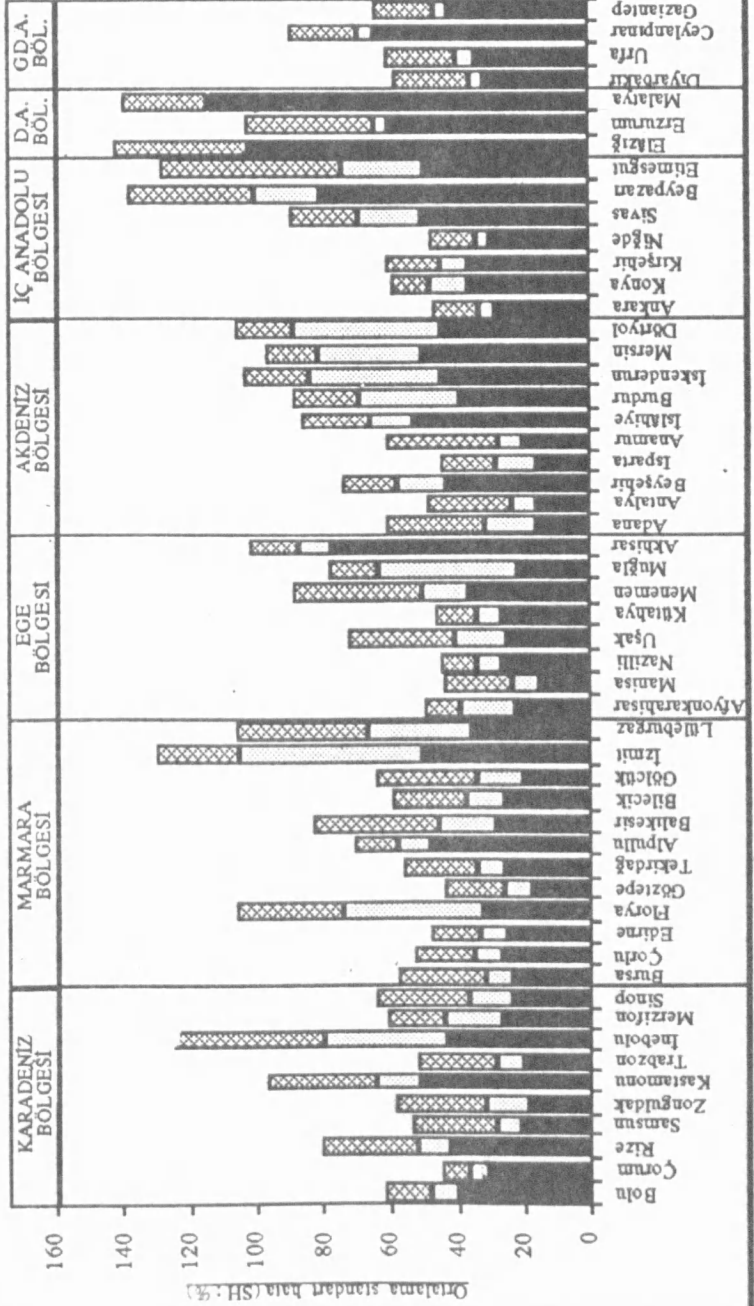
ÇİZELGE 7-a. Karadeniz, Marmara ve Ege bölgesi istasyonlarında L. TURC ve yeni buharlaştırma formülünün (TÜRKİYE ve GLOBAL denklemlerinin) sonuçlarına ilişkin ortalama (%) standart hata değerleri



ŞEKİL 3. L. TURC ve yeni buharlaşma formüllerinin (TÜRKİYE ve GLOBAL denklemlerinin) Türkiye'nin coğrafi bölgelerinde ortalama standart hata değerleri (%).

ŞEKİL 4 : Türkiye'nin coğrafi bölgelerine göre; istasyonların L. TURC, SEZER, SEZER-Türkiye ve SEZER-Global denklemleri ile hesaplanan potansiyel evaporasyon tutarları (mm) ile bu tutarlara ilişkin mutlak standart hata (SH : mm) değerleri.

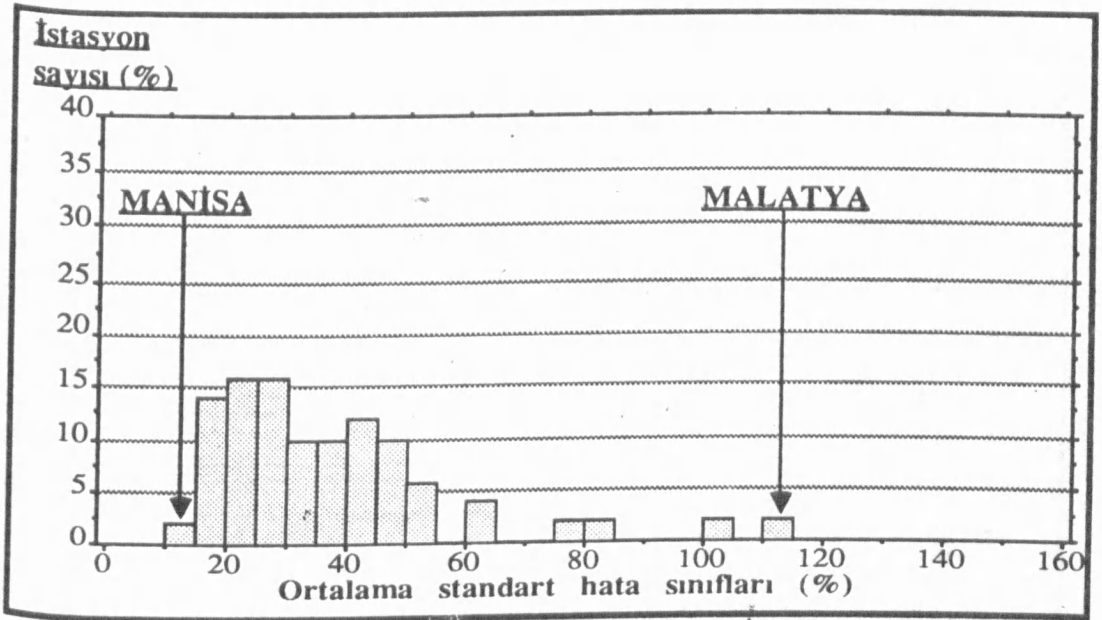
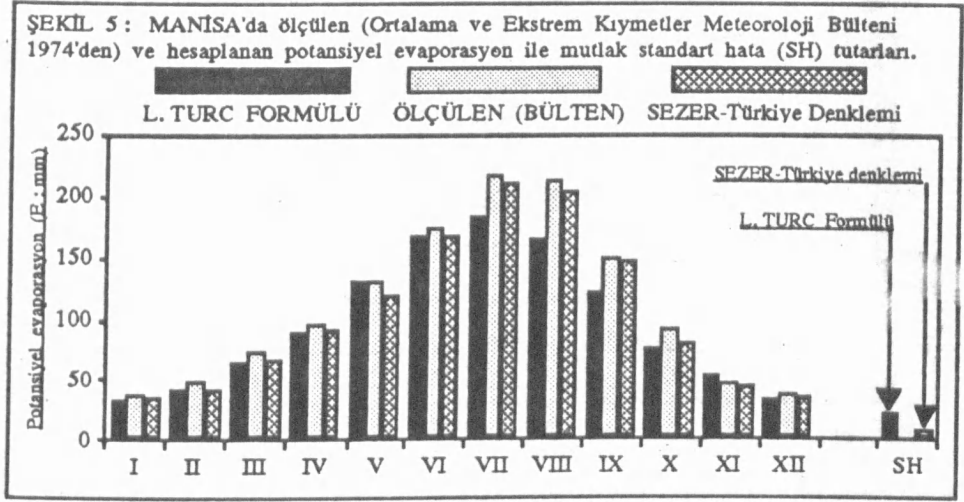
L. TURC FORMÜLÜ SEZER-Türkiye Denklemi SEZER-Global Denklemi



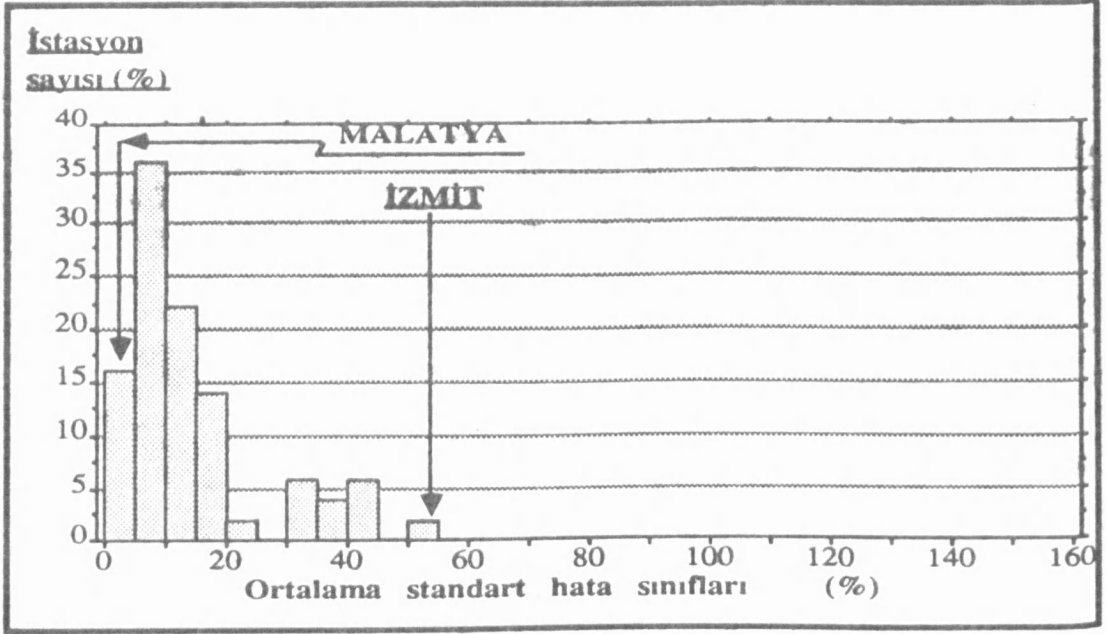
ISTASYONLAR L. TURC SEZER-TÜRKİYE SEZER-GLOBAL			
AKDENİZ BÖLGESİ			
ADANA	15.7	15.9	29.7
ANTALYA	16.1	7.0	25.6
BEYŞEHİR	43.1	14.2	16.7
ISPARTA	16.0	11.5	16.4
ANAMUR	20.0	7.4	33.1
İSLAHİYE	52.8	12.8	20.5
BURDUR	38.5	30.3	20.4
İSKENDERUN	45.0	38.8	19.7
MERSİN	49.8	31.5	14.9
DÖRTYOL	43.9	44.2	17.9
İÇ ANADOLU BÖLGESİ			
ANKARA	28.6	4.3	14.0
KONYA	35.9	11.4	12.3
KIRŞEHİR	36.1	7.9	17.0
NİĞDE	30.0	4.1	14.1
SIVAS	50.2	19.3	20.3
BEYPAZARI	81.0	19.4	36.9
ETİMESGUT	49.2	24.5	54.3
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ			
ELAZIĞ	100.5	1.2	40.4
ERZURUM	60.1	3.6	39.4
MALATYA	112.8	1.2	25.4
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ			
DIYARBAKIR	30.9	4.2	22.9
ŞANLIURFA	34.1	5.0	22.3
CEYLANPINAR	64.0	4.5	21.0
GAZİANTEP	42.1	3.9	17.4

ÇİZELGE 7-b. Akdeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesi istasyonlarında L. TURC ve yeni buharlaşma formülünün (TÜRKİYE ve GLOBAL denklemlerinin) sonuçlarına ilişkin ortalama (%) standart hata değerleri.

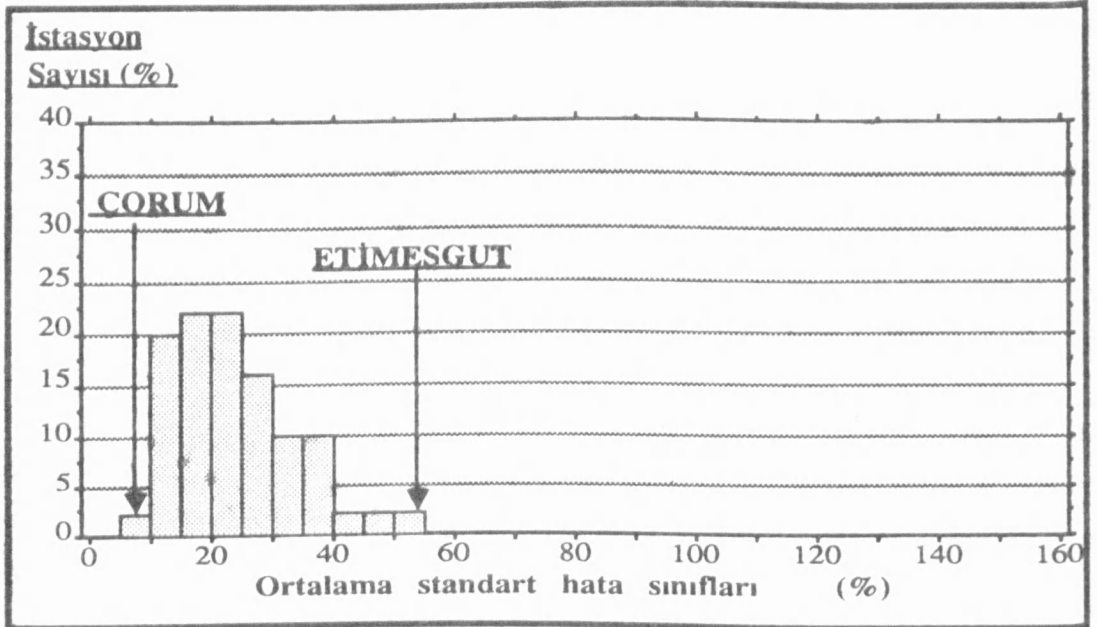
Açık Hava Şartlarında Buharlaşma Üzerine Yeni Bir Formül Denemesi



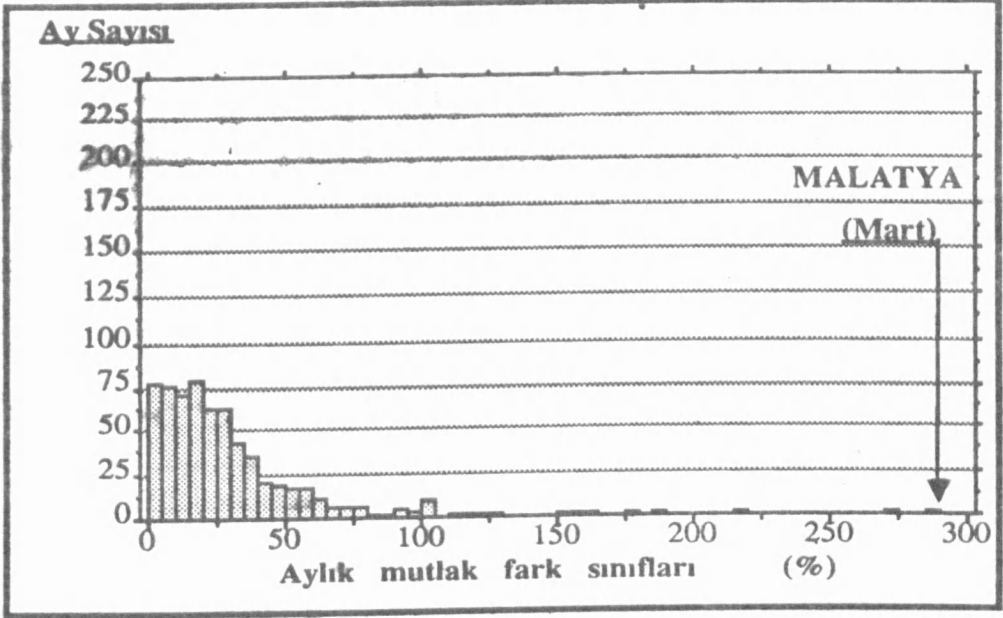
ŞEKİL 6-a. "L. TURC formülü" nün sonuçlarına göre meteoroloji istasyonlarının (54) ortalama standart hata (%) değerleri bakımından nisbi dağılımı (nisbi frekans histogramı).



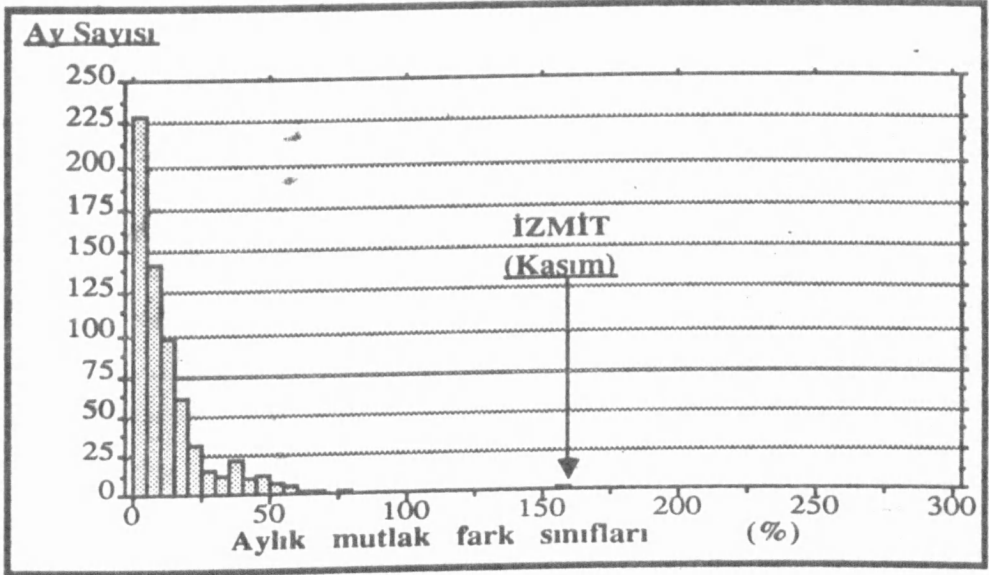
ŞEKİL 6-b. Yeni buharlaşma bağıntısının "Türkiye denklemi" nin sonuçlarına göre meteoroloji istasyonlarının (54) ortalama standart hata (%) değerleri bakımından nisbi dağılımı (nisbi frekans histogramı).



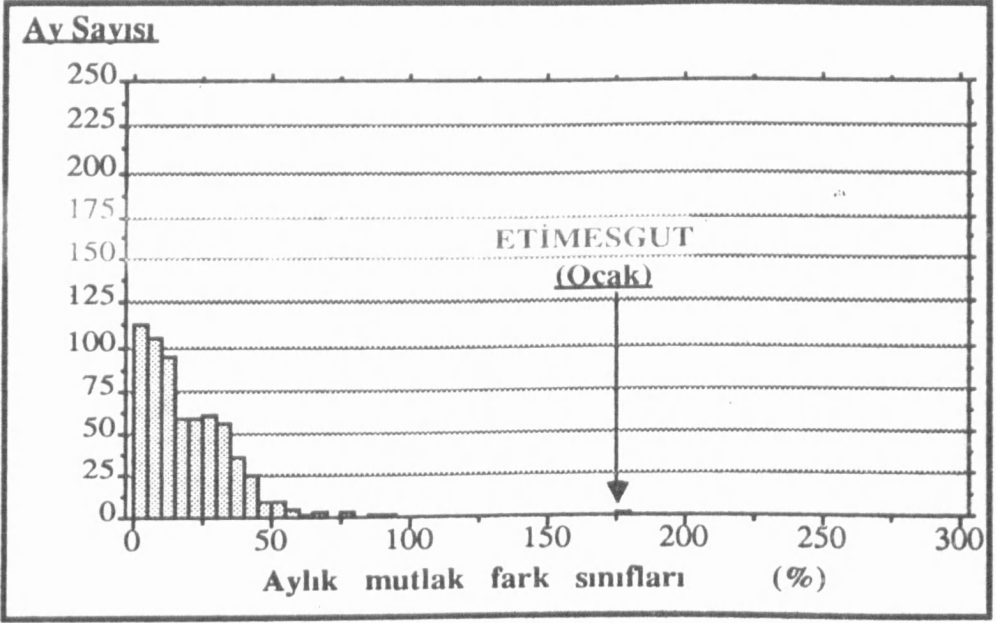
ŞEKİL 6-c. Yeni buharlaşma bağıntısının "global denklemi" nin sonuçlarına göre meteoroloji istasyonlarının (54) ortalama standart hata (%) değerleri bakımından nisbi dağılımı (nisbi frekans histogramı).



ŞEKİL 7-a. L. TURC formülü ile Türkiye'de buharlaşma rasadı yapılan istasyonların 54'ünde alınan tahmini aylık sonuçlar ile ölçülen aylık değerler arasındaki mutlak yüzde (%) farklara ilişkin mutlak frekans histogramı (toplam frekans: $54 \times 12 = 648$).



ŞEKİL 7-b. Yeni buharlaşma formülünün TÜRKİYE denklemi ile Türkiye'de buharlaşma rasadı yapılan istasyonların 54'ünde alınan tahmini aylık sonuçlar ile ölçülen aylık değerler arasındaki mutlak yüzde (%) farklara ilişkin frekans histogramı (toplam frekans: $54 \times 12 = 648$).

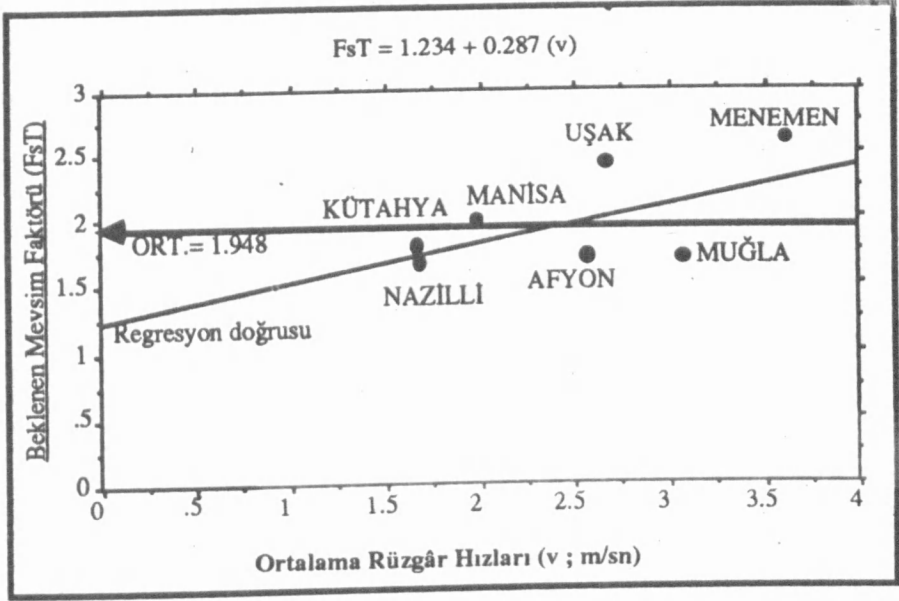


ŞEKİL 7-c. Yeni buharlaşma formülü'nün GLOBAL denklemi ile Türkiye'de buharlaşma rasadı yapılan istasyonların 54'ünde alınan tahmini aylık sonuçlar ile ölçülen aylık değerler arasındaki mutlak yüzde (%) farklara ilişkin frekans histogramı (toplam frekans: $54 \times 12 = 648$).

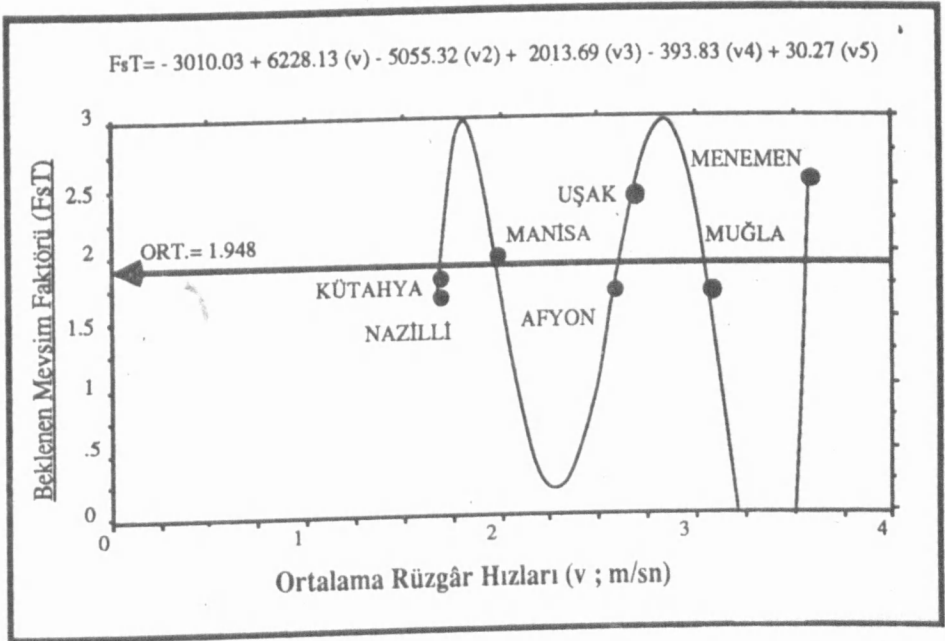
İSTASYONLAR	STANDART HATA (%)		
	L. TURC	SEZER-TÜRKİYE	SEZER-GLOBAL
FLORYA	32.5	41.1	32.6
İZMIT	49.7	54.9	24.6
MUĞLA	21.4	41.7	15.1
ADANA	15.7	15.9	29.7
DÖRTYOL	43.9	44.2	17.9

ÇİZELGE 8. Yeni buharlaşma bağıntısının Türkiye denklemi ile L. TURC formülünün sonuçlarına göre daha büyük standart hatalı sonuçlar alınan istasyonların standart hata (%) değerleri bakımından karşılaştırılması.

Açık Hava Şartlarında Buharlaştırma Üzerine Yeni Bir Formül Denemesi



ŞEKİL 8/a. Ege bölgesinde Mayıs ayı mevsim faktörünün belirlenmesinde yararlanılan "doğrusal regresyon denklemi", istasyonların beklenen F_sT değerleri bakımından tahmin doğrusuna olan uzaklıkları, F_sT değerlerinin bölge ortalaması ile tahmin doğrusu arasındaki farklılık (ortalama, "OK" ile gösterilmiştir).



ŞEKİL 8/b. Ege bölgesinde Mayıs ayına ait mevsim faktörünün tahmin edilmesinde yararlanılması gereken "beşinci dereceden polinomial denklem", istasyonların "beklenen F_sT değerleri" bakımından tahmin eğrisine olan uzaklıkları, F_sT değerlerinin bölge ortalaması ile tahmin eğrisi arasındaki farklılık (ortalama "OK" ile gösterilmiştir).