

T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ  
KOORDİNASYON BİRİMİ



**Türkiye Referans Evapotranspirasyon Değerlerinin Sıcaklığa Bağlı Olarak  
Tahmini İçin En Uygun Hargreaves–Samani Denkleminin Belirlenmesi**

**Proje No:**  
FBA-2014-4875

Proje Türü  
Normal Araştırma Projesi

**SONUÇ RAPORU**

**Proje Yürütücüsü:**  
Hatice ÇITAKOĞLU  
Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği

Araştırmacı  
Tefaruk HAKTANIR  
Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği

Kasım 2016  
KAYSERİ



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	4
ABSTRACT	4
1. GİRİŞ	5
2. MATERYAL VE METOT	9
3. MODELİN UYGULAMASI	10
4. SONUÇLAR	20
5. KAYNAKLAR	22

## ÖZET

Gıda ve Tarım Örgütü, referans verapotranspirasyonunun ( $ET_0$ ) tahmini için standart model olarak diğer metotlardan daha doğru olduğu için Penman–Monteith (FAO–56 PM) denklemini önermektedir. Bununla birlikte, Güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve bağıl nem gibi meteorolojik değişkenlerin ölçülmediği bölgelerde, yalnızca minimum ve maksimum hava sıcaklıklarını açıklayıcı değişkenler olarak ihtiyaç duyduğu için Hargreaves–Samani (HS) denklemine alternatif olarak başvurulmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle, Türkiye'deki 275 meteoroloji istasyonuna ait uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verilerine HS denklemi uygulanmıştır. Daha sonra, tüm istasyonlarda FAO–56 PM eşitliğinde verilen  $ET_0$  değerleri HS denkleminin katsayıları kullanılarak kalibre edilmiştir. Son olarak, Türkiye'deki yedi coğrafi bölgenin her birine, rüzgâr hızı açıklayıcı değişken olarak ilave edilerek HS denklemi modifiye edilmiştir.

**Anahtar Kelime:** Kalibrasyon, evapotranspirasyon, HS eşitliği, Penman–Monteith

## ABSTRACT

The Food and Agriculture Organization advocates the Penman–Monteith (FAO–56 PM) equation as the standard model for estimation of the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) because it is considered to have better accuracy. However, in regions where meteorological variables such as solar radiation, wind speed, and relative humidity are not gauged, the Hargreaves–Samani (HS) equation is resorted to as an alternative simply because it needs minimum and maximum air temperatures only as the explanatory variables. In this project, first, the HS equation is applied to the monthly means of measured temperature data recorded at 275 meteorology stations in Turkey. Next, the coefficients of the HS equation are calibrated using the  $ET_0$  values given by the FAO–56 PM equation at all these stations. Next, the HS equation is modified by adding the wind speed as an extra explanatory variable, separately in each one of seven geographical regions of Turkey, which is observed to yield smaller error statistics as compared to the original HS equation. It is concluded that for estimation of the  $ET_0$  in regions where meteorological measurements are scarce, the HS equation modified in a similar manner can be used with better precision.

**Key words:** calibration, evapotranspiration, HS equation, Penman–Monteith

## 1. GİRİŞ

Evapotranspirasyon (bitki su tüketimi), hidrolojik döngünün bir elemanıdır. Evapotranspirasyon, bitki yapraklarından olan terleme ile birlikte bitkilerin bulunduğu arazinin toprak yüzeyinden oluşan buharlaşmanın toplamı olarak tanımlanır. Su kaynaklarının planlanmasında ve yönetiminde, bitkinin su ihtiyacının hesaplanmasında gerektiği için, evapotranspirasyonun sağlıklı tahmininin yapılması oldukça önemlidir.

Referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) standart bahçe çiminde oluşan evapotranspirasyon olup, diğer bitkilerin evapotranspirasyonu  $ET_0$ 'a bağlı deterministik oranlar ile hesaplanmaktadır (Allen ve ark., 1998; Valiantzas, J. 2013). Allen ve ark. (1998) tarafından geliştirilen FAO-56 Penman-Monteith (PM) eşitliği referans evapotranspirasyonun ( $ET_0$ ) hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Penman-Monteith eşitliğinde solar radyasyon ( $R_s$ ), hava sıcaklığı ( $T$ ), rüzgâr hızı ( $U_2$ ), ve bağıl nem (RH) gibi meteorolojik veriler gerekmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde FAO-56 PM için yeterli veri bulunamadığından kullanılamamaktadır. FAO-56 PM eşitliği aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Allen ve ark. 1998):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

FAO-56 PM metodu için gerekli meteorolojik veriler Türkiye'de ve pek çok ülkede noktasal olarak sadece kısıtlı sayıdaki meteorolojik ölçüm istasyonlarında ölçüldüğünden, ülkenin genelinde bu verilerin temin edilmesi oldukça zordur. İzdüşüm alanı 783.562 km<sup>2</sup> olan ülkemizde yaklaşık 275 meteoroloji istasyonu bulunduğundan 2.850 km<sup>2</sup>'ye bir istasyon düşmektedir. Bitki su ihtiyacının belirlenmesi aşamasında bu kadar büyük bir alanın tek bir noktasal data tarafından temsil edilmesinin yetersiz olduğu ve meteorolojik veriler kullanarak hesaplanacak alansal bitki su ihtiyacının sağlıklı olmayacağı aşikârdır. Bu sebepten dolayı, Hargreaves ve Samani (1985), referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) değerini sadece hava sıcaklığı ve radyasyona ilişiren basit bir metot geliştirmiştir. Hargreaves-Samani denkleminin orijinali aşağıdaki gibidir:

$$ET_{0,har} = 0.408 \times K_H \times R_a \times (T_{max} - T_{min})^{e_H} \times \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + K_T \right) \quad (2)$$

Burada,  $ET_0$ , har, Hargreaves–Samani eşitliği tarafından elde edilen  $ET_0$  (mm/gün);  $R_a$ , extraterrestrial radyasyon ( $MJ/m^2/gün$ );  $T_{max}$ , maksimum sıcaklık ( $^{\circ}C$ );  $T_{min}$ , minimum sıcaklık ( $^{\circ}C$ ) dir.

Allen ve ark. (1998), FAO–56 PM formülü için yeterli giriş datası bulunmadığı durumlarda Hargreaves–Samani eşitlinin kullanılabilceğini belirtmiştir. Hargreaves–Samani eşitliğinin ise genellikle  $ET_0$ 'u gerçeğinden fazla değerlerde tahmin ettiği bilinmektedir (Trajkovic 2005). Bu sebepten dolayı son zamanlarda birkaç araştırmacı Hargreaves–Samani eşitliğinin doğruluğunu iyileştirmeye çalışmışlardır. Tablo 1’de 2000–2012 yılları arasında yapılan çalışmalara göre Hargreaves–Samani eşitliğindeki orijinal ve değiştirilmiş katsayıların değerleri verilmektedir.

**Tablo 1** 2000-2012 yılları arasında yapılan çalışmalara göre Hargreaves–Samani eşitliğindeki katsayıların değerleri.

Yazar		$K_H$	$e_H$	$K_T$	Çalışma Bölgesi
Hargreaves ve Samani (1985)		0.0023	0.5	17.8	
Samani (2000)		0.0135	---	---	
Xu ve Singh (2001)		0.0029	---	---	Kuzey-Doğu Ontario
Droogers ve Allen (2002)	1.Eşitlik	0.0030	0.4	20.0	Dünya
	2.Eşitlik	0.0025	---	16.8	
Vanderlinden ve ark. (2004)	Kıyı Bölgeler	0.0022	---	---	Güney İspanya
	İç Bölgeler	0.0030	---	---	
Martinez-Cob ve Tejero-Juste (2004)		0.0020	---	---	Zaragoza
Trajkovic (2007)		---	0.424	---	Batı Balkan
Sepaskhah ve Razzaghi (2009)		0.0026	---	---	İran
Subburayan ve ark. (2011)		---	0.653	---	Hindistan
Tabari ve Talaee (2011)	Kurak Bölgeler	0.0031	---	---	İran
	Soğuk Bölgeler	0.0028	---	---	
Mohawesh ve Talozı (2012)		0.6957	0.58	16.6	Ürdün

Droogers ve Allen (2002), Hargreaves–Samani katsayılarını bütün dünya için yeniden kalibre etmiştir. Fakat dünya için orijinal katsayılar yeni katsayılardan daha başarılıdır. Subburayan ve ark. (2011) Hindistan’a ait 22 yıllık veri setinin ilk 14 yılını model geliştirmede, son 8 yılını ise modeli doğrulamak amacıyla kullanmış ve Hargreaves–Samani denkleminde maksimum – minimum sıcaklıklar arasındaki farkın üstel kısmını 0.653 e modifiye etmiştir. Son zamanlarda sadece hava sıcaklığına bağlı olarak geliştirilen eşitlikler bitki su ihtiyacının belirlenmesinde başarılı olmuşlardır. Diğer meteorolojik verilerin etkisini göstermek amacıyla birkaç araştırmacı ise Hargreaves–Samani eşitliğini diğer meteorolojik verilerle ilişkilendirerek yeni eşitlikler geliştirmişlerdir. Örneğin, Droogers ve Allen (2002), yağmur

verilerini kullanarak bütün dünya için Hargreaves–Samani eşitliğini modifiye etmiş ve modifiye Hargreaves–Samani eşitliği ile elde ettikleri  $ET_0$  değerlerinin FAO-56 PM formülü ile hesaplanan  $ET_0$  değerlerine daha yakın olduğunu belirtmişlerdir. Farmer ve ark. (2011), Droogers ve Allen (2002) gibi Hargreaves–Samani eşitliğini 1970-1975 yıllarına ait günlük yağmur verilerini kullanarak modifiye etmiş ve bunun doğruluğunu, 1976-1980 yıllarına ait günlük meteorolojik verileri kullanarak bölgesel–mevsimsel olarak test etmişlerdir. Modifiye Hargreaves–Samani eşitliği ile tahmin edilen  $ET_0$  değerlerinin, FAO-56 PM formülü ile hesaplanan  $ET_0$  değerlerine yakın olduğu belirtilmiştir. Fakat yaz ayları için tahmin edilen  $ET_0$  değerlerinin diğerleri kadar başarılı olmadığını belirtmişlerdir. Ravazzani ve ark. (2012), Yukarı Po Nehri (İtalya) Havzası ve Rhone Nehri (İsviçre) Havzasındaki 51 meteorolojik istasyonun kotlarını kullanarak Hargreaves–Samani eşitliğini kalibre etmişler ve doğruluğunu test etmişlerdir. Günlük referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) değerlerinin tahmininde Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) değerlerinde belirgin bir azalma olduğunu belirtmişlerdir. Yeni eşitliğin hidrolojik modelleme uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilceğini ifade etmişlerdir. Shahidian ve ark. (2013) California ve Bolivia bölgeleri için Hargreaves–Samani eşitliği ile elde edilen  $ET_0$  değerleri ile FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen  $ET_0$  değerleri arasındaki korelasyonun yanıltıcı ve zayıf olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ortalama aylık rüzgâr hızı, yağmur ve kot verilerini kullanarak Hargreaves–Samani eşitliğini kalibre etmişlerdir. Rüzgâr hızlı kalibrasyon eşitliğinin sulama döneminde kullanılabilceğini, yağmur ve kot verilerinin ise yakın meteoroloji istasyonlarda referans  $ET_0$  değeri olmadığına kalibrasyon eşitliğinde kullanılabilceğini ifade etmişlerdir. Eric (2014) Güney Afrika'daki dört meteoroloji istasyonuna ait rüzgâr hızı verilerini kullanarak Hargreaves–Samani eşitliğini kalibre etmiştir. Rüzgar hızlı kalibrasyon eşitliğinin kullanışlı olduğunu ve FAO–56 PM eşitliğine göre daha az işlem adımı gerektirdiğini belirtmiştir.

Bu çalışmanın ana amacı, Türkiye'deki yedi coğrafi bölgenin aylık ortalama  $ET_0$ 'sının tahmin edilmesi için modifiye HS denkleminin katsayıları için uygun büyüklüklerin hesaplanmasıdır. Yedi farklı iklim bölgesi, Türkiye'nin Anadolu ve Balkanlar bölgesinin her yerine yayılmıştır. Kuzeydoğudaki Marmara Bölgesi, soğuk kışları ile yılın her mevsiminde yağış yapan Balkanlar'daki iklimine benzer bir iklime sahiptir. Batıdaki Ege Bölgesi, kıyı bölgelerinde Akdeniz kıyılarına benzeyen hafif bir iklime sahip olmakla birlikte, iç kısımlara doğru kara iklimine sahiptir. Güneydeki Akdeniz Bölgesi, yıl boyunca önemli orografik yağış alan

Yunanistan ve İtalya gibi tipik bir ılıman iklime sahiptir. Akdeniz Bölgesinin üst sınırı, çoğunlukla kıyı şeridine paralel uzanan Toros Dağının zirveleriyle çizilmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, sıcak ve kuru yazlar ve soğuk kışlar genel ortalama yağış miktarından daha az etkiye sahiptir. Doğu Anadolu Bölgesi hem Toroslar hem de Karadeniz Dağları'nın uzantılarıyla kaplı dağlık bir alandır ve sıcak ama kısa yazlar, çok sert yağışlı, uzun süreli kışlar, karlar çok yüksektir. Karadeniz Bölgesi, çoğunlukla orografik olan Türkiye ortalamasından daha yüksek bir yağış almaktadır ve Akdeniz Bölgesi ile biraz benzer bir iklime sahiptir. Yedinci bölge olan İç Anadolu Bölgesi, ortalama Türkiye'ye kıyasla çok daha düşük yağış almaktadır, çünkü Karadeniz Dağları çoğunlukla kuzeyde Karadeniz kıyısına paralel uzanan Toros dağları çoğunlukla Türkiye'nin kıyı şeridine paralel uzanmaktadır. Güneydeki Akdeniz, içeriye rutubet yüklü bulutların içeri girmesini engellemektedir. Bu bölgede, sıcak ve çoğunlukla kuru yazlar ve soğuk kışlar ile kıtasal iklim hâkimdir.

Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde turunçgillerden muz tarlalarına, fıstık ekim alanlarına, çay tarlalarına vb. her türlü çeşitli tarımsal faaliyetler giderek artan bir oranda yerini almaktadır. Türkiye'de Güneydoğu Anadolu Projesi gibi büyük ölçekli sulama projelerinin bazıları hali hazırda tamamlanmış ve faaliyete geçmiş, bazıları inşaatları halen hızlı bir şekilde devam etmektedir. Türkiye'nin, tarımsal ürünler bakımından kendi kendine yeten az sayıdaki ülkeden biridir. Son yıllarda çeşitli bitkiler birçok ülkeye ihraç edilmektedir. Kısacası, bu yedi bölgedeki sulama suyu gereksinimlerinin ve dolayısıyla ekili arazilerden gelen buharlaşma suyunun doğru bir şekilde tahmin edilmesi, Türkiye için son derece önemli bir konudur.

Yukarıdaki paragraflarda özetlenen çalışmaların amacı, spesifik bir coğrafi alanın yerel koşullarına uygun değiştirilmiş HS formülünün katsayıları için uygun büyüklüklerin hesaplanmasıdır. Bu kalibre HS denklemleri, verileri kullanılan bölgeler için olup, Türkiye gibi farklı coğrafi bölgelerde ve meteorolojik koşullarda geçerli olmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'deki yedi coğrafi bölgenin her birine en uygun katsayılarının büyüklüklerini Türkiye'nin her bir istasyonunda ölçülen ilgili meteorolojik verileri kullanarak HS denkleminin  $ET_0$  tahmin kabiliyetini geliştirmek ve FAO—56 PM denkleminin verdiği  $ET_0$  değerini mümkün olduğunca eşleştirmektir. Dahası, yukarıda özetlendiği gibi, benzer tema üzerine yapılan pek çok çalışma  $K_H$  katsayısını kalibre etmeye çalışırken, diğer ikisini de Hargreaves ve Samani tarafından verilen orijinal büyüklüklerini koruyarak sağlamaya çalışmıştır. Çalışmamızda, bu üç parametrenin kalibrasyonunu mümkün olan tüm



kombinasyonlarda incelenmiştir; birincisi, üçten yalnızca birini değiştirmek orijinal değerlerini koruyarak, ikincisi, ikisini de üçünü orijinalinde olduğu gibi değiştirmek. Değeri ve üçüncüsü, HS yamacının  $ET_0$  değerlerini Türkiye'nin yedi bölgesinden herhangi birinde daha iyi bir doğrulukla tahmin etmesini sağlamak için üç katsayıyı da değiştirmektir. Ayrıca, güvenilir rüzgâr hızı verilerinin bulunduğu meteoroloji istasyonları için rüzgâr hızını ek bir bağımsız değişken olarak dâhil ederek,  $ET_0$  tahmini kapasitesinde daha da gelişme imkânı sağlamaktır. HS denkleminin iyileştirilmesi için rüzgâr hızının katkısı, HS denklemi tarafından verilen değere, rüzgâr hızıyla ilgili olacak ek bir katsayı ile doğrusal regresyon ile çarpılarak dikkate alınacaktır; bu yaklaşım, herhangi bir benzer çalışmalar yoktur.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu projede Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Türkiye'deki yaklaşık 275 meteorolojik istasyona ait en az ölçüm uzunluğu 20 yıl olan uzun dönem (1974–2010) ortalama günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar, solar radyasyon, nispi nem ve rüzgar hızı değerleri kullanılmıştır. Türkiye, iz düşüm olarak yüz ölçümü 783.562 km<sup>2</sup> olup 36° – 42° kuzey enlemleri, 26°–45° doğu boylamları arasında yer alır. Buna bağlı olarak; Türkiye dört mevsimin belirgin olarak yaşandığı ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer almaktadır. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanışı ve yeryüzü şekillerinin çeşitlilik göstermesi, farklı özellikte iklim tiplerinin doğmasına yol açmıştır. Yurdumuzun kıyı bölgelerinde denizlerin etkisiyle daha ılıman iklim özellikleri görülür. Kuzey Anadolu Dağları ve Toros sıradağları deniz etkilerinin iç kesimlere girmesini engeller. Bu yüzden yurdumuzun iç kesimlerinde karasal iklim özellikleri görülür. Dünya ölçüsünde yapılan iklim tasniflerinde kullanılan ölçütler esas alınarak, ülkemizde şu iklim tipleri ayırt edilebilir (Atalay 1997): 1. Karasal İklim (a, b, c, d), 2. Akdeniz İklimi, 3. Marmara (geçiş) İklimi, 4. Karadeniz iklimi'dir. Bu gibi etkilerden dolayı Türkiye genelindeki sıcaklığın değişim aralığı oldukça büyüktür. Ölçülmüş anlık en düşük sıcaklık –42.80°C ile Ağrı'da, anlık en yüksek sıcaklık ise +48.6°C ile Cizre'de ölçülmüştür. Türkiye'nin 1971–2000 yılları arası yıllık ortalama sıcaklığı 12.8°C dir. Aynı periyottaki yıllık toplam yağış miktarı ise 642,8 mm olup yılda ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m<sup>3</sup>'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmektedir. Yani gelen suyu yaklaşık %55'i buharlaşma ve terleme (Evapotranspirasyon) ile kaybolmaktadır. Hargreaves–Samani eşitliğinin yeniden düzenlenmesi aşamasında

kullanılacak uzun yıllar ortalama verileri olan meteoroloji istasyonlarının konumları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Projede kullanılacak meteoroloji istasyonlarının Türkiye genelindeki dağılımı.

Çalışmada, öncelikle 2 nolu eşitlikteki  $e_H$ ,  $K_H$  ve  $K_T$ , daha sonra aşağıdaki 3 ve 4 nolu eşitliklerdeki a ve b katsayılarının incelenen coğrafik bölge için uygun değerleri 1975–2010 yılları arasındaki kaydedilmiş meteorolojik veriler kullanılarak *Excel Çözücü* yardımıyla hesaplanmıştır.

$$ET_{0-PM} = a + b \times ET_{0,har} \quad (3)$$

$$ET_{0-PM} = (a + b \times W_s) \times ET_{0,har} \quad (4)$$

Excel Çözücü, benzetim çözümlene araçları denilen komut takımının bir parçasıdır. Çözücü hedef hücre adı verilen bir hücredeki formülün en uygun değerini bulmak için kullanılmaktadır. Çözücü hedef hücredeki formülle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkisi bulunan bir hücre grubuyla birlikte çalışır. Çözücünün model içinde kullanabileceği değerler için kısıtlamalar getirilebilmekte ve bu kısıtlamalar, hedef hücre formülünü etkileyen başka hücrelere de uygulanabilmektedir [Excel-help].

### 3. MODELİN UYGULAMASI

Türkiye için uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, maksimum nem, minimum nem ve rüzgâr hızı değerleri kullanılarak, 275 adet istasyonun her birinde FAO-56 PM ifadesi ile referans evapotranspirasyon ( $ET_{0-PM}$ ) değerleri hesaplanmıştır.

Takiben, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve extraterrestrial radyasyon değerleri kullanılarak aynı istasyonlar için Hargreaves–Samani denklemi ile  $ET_0$  değerleri tahmin edilmiştir. Ayrıca, uzun yıllar ortalama rüzgar hızı değerleri kullanılarak Hargreaves–Samani denklemi kalibre edilmiştir. Modellerin karşılaştırılmasında Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Rölatif Hata (OMRH) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) istatistikleri dikkate alınmıştır. KOKH, OMRH ve OMH eşitlikleri aşağıdaki (5), (6) ve (7) nolu ifadelerle tanımlanmaktadır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ET_{0KH} - ET_{0,PM})^2} \quad (5)$$

$$OMRH = \frac{1}{n} \left| 100 \times \frac{ET_{0KH} - ET_{0,PM}}{ET_{0,PM}} \right| \quad (6)$$

$$OMH = \frac{1}{n} |ET_{0KH} - ET_{0,PM}| \quad (7)$$

Burada,  $n$ , toplam örnek sayısı,  $ET_{0,PM}$ , referans evapotranspirasyon,  $ET_{0-KH}$ , kalibre edilmiş Hargreaves–Samani denkleminde elde edilen referans evapotranspirasyon değerleridir.

Çalışmada kullanılan meteorolojik verilerin istatistik parametreleri Tablo 2–3’de verildiği gibidir. Tablodan da görüleceği üzere bölgeye ait eğitim ve test verileri benzer özellik göstermektedir. Fakat basınlık katsayısı incelendiği zaman, rüzgâr hızının ve minimum rölatif nemin daha sivri olduğu ve normal dağılımdan uzaklaştığı görülmektedir. Minimum sıcaklık değerleri incelendiğinde değişim katsayısının diğer değişkenlere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu da minimum sıcaklık etkisinin ortalamadan uzaklaştığını ve daha değişken olduğunu ifade etmektedir. Minimum nem ve rüzgâr hızı incelendiğinde bunların diğer değişkenlere göre daha çarpık olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Kıyı Bölgelere ait meteorolojik verilerin uzun yıllar ortalamalarına ait istatistikler

		<b>Değişkenler</b>	<b>X<sub>ort</sub></b>	<b>S<sub>x</sub></b>	<b>C<sub>v</sub></b>	<b>C<sub>sx</sub></b>	<b>C<sub>k</sub></b>	<b>X<sub>mak</sub></b>	<b>X<sub>min</sub></b>
Akdeniz Bölgesi	Maksimum Sıcaklık	32.29	7.71	0.24	-0.36	-0.84	46.7	12.5	
	Minimum Sıcaklık	0.86	10.41	12.12	-0.64	0.42	20.6	-33.5	
	Ortalama Sıcaklık	16.35	7.95	0.49	-0.25	-0.79	30.2	-3.8	
	Maksimum Nem	73.84	7.49	0.10	-0.43	-0.39	90.1	53.8	
	Minimum Nem	7.92	5.62	0.71	1.27	2.63	38.0	0.0	
	Rüzgar Hızı	2.03	0.79	0.39	1.39	2.70	5.6	0.7	
Karadeniz Bölgesi	Maksimum Sıcaklık	31.04	6.95	0.22	-0.48	-0.37	45.1	10.3	
	Minimum Sıcaklık	-3.04	10.17	-3.34	-0.53	-0.18	17.0	-30.8	
	Ortalama Sıcaklık	12.32	7.15	0.58	-0.14	-0.97	25.1	-6.4	
	Maksimum Nem	78.77	5.90	0.08	-0.08	-0.66	94.1	64.2	
	Minimum Nem	14.61	9.51	0.65	0.85	0.12	44.0	0.0	
	Rüzgar Hızı	1.88	0.79	0.42	1.18	2.53	5.4	0.4	
Marmara Bölgesi	Maksimum Sıcaklık	31.14	7.43	0.24	-0.25	-1.01	45.4	11.6	
	Minimum Sıcaklık	-2.18	9.06	-4.17	-0.24	-0.71	15.0	-27.8	
	Ortalama Sıcaklık	13.30	7.08	0.53	0.02	-1.20	26.8	-4.0	
	Maksimum Nem	81.89	5.64	0.07	-1.32	2.68	91.7	56.0	
	Minimum Nem	16.94	7.77	0.46	0.35	-0.18	40.0	0.0	
	Rüzgar Hızı	2.37	1.14	0.48	1.40	2.62	7.40	0.6	
Ege Bölgesi	Maksimum Sıcaklık	31.98	7.75	0.24	-0.19	-1.08	45.7	14.2	
	Minimum Sıcaklık	-0.66	9.03	-13.62	-0.28	-0.32	18.5	-24.6	
	Ortalama Sıcaklık	15.29	7.66	0.50	-0.02	-1.08	28.7	0.0	
	Maksimum Nem	76.03	7.48	0.10	-0.56	-0.45	89.6	54.3	
	Minimum Nem	11.43	6.52	0.57	0.75	0.27	35.0	1.0	
	Rüzgar Hızı	2.13	0.75	0.35	0.78	0.53	4.8	0.6	

**Tablo 3.** Karasal Bölgelere ait meteorolojik verilerin uzun yıllar ortalamalarına ait istatistikler

		<b>Değişkenler</b>	<b>X<sub>ort</sub></b>	<b>S<sub>x</sub></b>	<b>C<sub>v</sub></b>	<b>C<sub>sx</sub></b>	<b>C<sub>k</sub></b>	<b>X<sub>mak</sub></b>	<b>X<sub>min</sub></b>
İç Anadolu Bölgesi	Maksimum Sıcaklık	29.10	7.85	0.27	-0.28	-1.13	42.5	12.4	
	Minimum Sıcaklık	-9.32	11.58	-1.24	-0.26	-1.19	10.2	-34.2	
	Ortalama Sıcaklık	10.59	8.26	0.78	0.00	-1.33	25.3	-6.2	
	Maksimum Nem	77.78	7.37	0.09	-0.60	-0.39	90.7	53.8	
	Minimum Nem	9.90	6.41	0.65	1.35	2.80	44.0	0.0	
	Rüzgar Hızı	2.22	0.69	0.31	0.05	-0.26	4.2	0.5	
Doğu Anadolu Bölgesi	Maksimum Sıcaklık	27.26	9.55	0.35	-0.2	-1.08	46.3	7.6	
	Minimum Sıcaklık	-9.82	13.45	-1.37	-0.31	-0.97	16.0	-42.8	
	Ortalama Sıcaklık	9.82	10.21	1.04	-0.02	-1.07	31.0	-11.3	
	Maksimum Nem	71.97	11.23	0.16	-0.93	0.18	90.7	36.0	
	Minimum Nem	10.07	7.21	0.72	1.14	1.18	40.0	0.0	
	Rüzgâr Hızı	1.78	0.72	0.40	1.54	4.99	5.9	0.4	
Güney-Doğu Anadolu Bölgesi	Maksimum Sıcaklık	33.71	9.04	0.27	-0.29	-1.15	48.6	15.2	
	Minimum Sıcaklık	-0.06	9.95	-165.8	0.00	-0.89	18.4	-24.0	
	Ortalama Sıcaklık	16.99	9.50	0.56	0.11	-1.38	34.4	1.6	
	Maksimum Nem	65.66	13.99	0.21	-0.50	-0.84	87.6	35.3	
	Minimum Nem	7.65	5.74	0.75	1.01	0.45	26.0	0.0	
	Rüzgâr Hızı	1.79	0.78	0.44	1.46	2.13	4.5	0.5	

X<sub>ort</sub>: aritmetik ortalama, S<sub>x</sub>: Standart Sapma, C<sub>v</sub>: varyasyon katsayısı, C<sub>sx</sub>: çarpıklık katsayısı, C<sub>k</sub>: basıklık katsayısı

Değişik HS denklemlerinin düzeltilmiş  $K_H$ ,  $e_H$  ve  $K_T$  katsayıları ile tüm kombinasyonlar için orijinal ve modifiye HS denklemlerinin performans ölçümleri (MAE, mm gün<sup>-1</sup>, MARE,% ve RMSE, mm gün<sup>-1</sup>) Tablo 4–11 verilmiştir. Tablolarda görüleceği üzere ilk olarak, orijinal HS eşitliği oldukça yüksek MARE değerlerine (yaklaşık% 20-25) sahip yedi bölgenin  $ET_0$ 'sini tahmin etmektedir.  $K_H$ ,  $e_H$  ve  $K_T$  katsayılarının (1-7 kombinasyonları) büyüklüklerini değiştiren kombinasyonlar için, HS denkleminin bütün katsayılarını değiştiren kombinasyon 7, en küçük RMSE istatistiğine sahip en iyi kombinasyon sonucudur. RMSE, çoğu benzer çalışmada üstünlüğün önemli bir ölçütü olan regresyon tahminlerinin standart hatası olarak bilinmektedir. Çalışmamızdaki MARE değerleri çoğunlukla RMSE değerlerine paraleldir. Orijinal ve modifiye HS denklemlerinin rüzgâr hızını (WS–HS ve WS–MHS, sırasıyla 8 ve 9 kombinasyonları) dâhil edilmesiyle kalibre edilmiş HS denkleminin doğruluğunu artmıştır. En iyi tahminler, rüzgâr hızı (WS–MHS) dâhil olmak üzere HS denkleminin üç katsayısının da kalibrasyonuna izin veren dokuzuncu kombinasyondan elde edilmiştir (Denklem 4). İkinci en iyi tahmin sonuçları, kıyı bölgelerinde rüzgâr hızı verileri (WS–HS) içeren orijinal HS denkleminde elde edilmiştir. Üç kalibre edilmiş katsayıya sahip ancak WS'yi içermeyen HS denklemleri, Türkiye'nin iç bölgeleri için en iyi ikinci tahmini vermiştir. Tablo 4–10'ten de anlaşılacağı üzere HS denkleminin katsayılarının kalibrasyonu MARE istatistiklerini% 5 oranında azaltmaktadır. Rüzgâr hızını ekleyerek modifiye HS denkleminin kalibrasyonuna ek olarak, MARE istatistiklerini neredeyse% 10 oranında azaltmaktadır.

**Tablo 4.** Akdeniz Bölgesi için değiştirilmiş Hargreaves–Samani denklemlerinin, FAO–56 PM denklemleri tarafından verilen  $ET_0$  değerlerine ilişkin performans istatistikleri.

Kombinasyonlar	$K_H$	$e_H$	$K_T$	Eğitme Verileri			Test Verileri		
				OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)	MAE (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
<b>Orij.</b>	0.0023	0.5	17.8	1.12	20.71	1.39	1.09	22.10	1.34
<b>1</b>	0.0023	0.487	17.8	1.02	20.01	1.23	1.21	23.56	1.43
<b>2</b>	0.0022	0.5	17.8	1.02	20.02	1.23	1.21	23.54	1.43
<b>3</b>	0.0023	0.5	16.874	1.04	20.26	1.25	1.27	24.53	1.49
<b>4</b>	0.0023	0.331	45.458	0.87	16.44	1.07	1.06	20.76	1.26
<b>5</b>	0.0038	0.34	17.8	1.02	20.06	1.22	1.25	24.12	1.46
<b>6</b>	0.0012	0.5	51.551	0.90	17.01	1.11	1.03	20.09	1.24
<b>7</b>	0.0051	-0.067	95.102	0.81	15.24	1.02	1.04	20.46	1.23
<b>8*</b>		0.518 <sup>a</sup>	0.216 <sup>b</sup>	0.80	17.16	0.97	0.75	16.23	0.98
<b>9*</b>		0.628 <sup>a</sup>	0.180 <sup>b</sup>	0.62	11.62	0.81	0.58	11.11	0.77

**Tablo 5.** Marmara Bölgesi için değiştirilmiş Hargreaves–Samani denklemlerinin, FAO–56 PM denklemi tarafından verilen  $ET_0$  değerlerine ilişkin performans istatistikleri.

Kombinasyonlar	$K_H$	$e_H$	$K_T$	Eğitme Verileri			Test Verileri		
				OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)	MAE (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
<b>Orij.</b>	0.0023	0.5	17.8	1.48	27.72	1.78	1.20	24.95	1.42
<b>1</b>	0.0025	0.5	17.8	1.46	27.20	1.76	1.14	25.03	1.34
<b>2</b>	0.0025	0.5	17.8	1.46	27.20	1.76	1.31	25.76	1.61
<b>3</b>	0.0023	0.5	22.056	1.43	26.11	1.73	1.35	25.44	1.69
<b>4</b>	0.0023	0.334	50	1.24	22.43	1.53	1.02	19.53	1.29
<b>5</b>	0.0011	0.737	17.8	1.46	27.09	1.75	1.31	26.03	1.59
<b>6</b>	0.0011	0.5	62.98	1.23	22.04	1.51	1.02	19.72	1.31
<b>7</b>	0.0029	0.152	84.012	1.19	21.19	1.48	0.92	17.99	1.17
<b>8*</b>		0.447 <sup>a</sup>	0.247 <sup>b</sup>	1.17	23.21	1.38	1.01	22.81	1.15
<b>9*</b>		0.475 <sup>a</sup>	0.228 <sup>b</sup>	0.84	15.51	1.03	0.65	13.52	0.78

**Tablo 6.** Ege Bölgesi için değiştirilmiş Hargreaves–Samani denklemlerinin, FAO–56 PM denklemi tarafından verilen  $ET_0$  değerlerine ilişkin performans istatistikleri.

Kombinasyonlar	$K_H$	$e_H$	$K_T$	Eğitme Verileri			Test Verileri		
				OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)	MAE (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
<b>Orij.</b>	0.0023	0.5	17.8	1.15	21.17	1.39	1.14	24.70	1.44
<b>1</b>	0.0023	0.511	17.8	1.16	20.92	1.39	1.24	26.07	1.57
<b>2</b>	0.0024	0.5	17.8	1.17	20.88	1.40	1.26	26.35	1.60
<b>3</b>	0.0023	0.5	19.074	1.14	20.47	1.37	1.21	25.35	1.53
<b>4</b>	0.0023	0.093	138.42	0.92	15.37	1.20	1.00	21.49	1.33
<b>5</b>	0.0091	0.109	17.8	1.13	20.53	1.36	1.22	26.00	1.55
<b>6</b>	0.0012	0.5	56.842	0.97	16.20	1.25	1.00	20.63	1.34
<b>7</b>	0.0065	-0.106	87.655	0.89	14.77	1.19	0.90	19.03	1.17
<b>8*</b>		0.581 <sup>a</sup>	0.192 <sup>b</sup>	0.95	19.28	1.11	0.89	20.88	1.00
<b>9*</b>		0.603 <sup>a</sup>	0.194 <sup>b</sup>	0.65	11.52	0.83	0.58	11.99	0.72

**Tablo 7.** Karadeniz Bölgesi için değiştirilmiş Hargreaves–Samani denklemlerinin, FAO–56 PM denklemi tarafından verilen  $ET_0$  değerlerine ilişkin performans istatistikleri.

Kombinasyonlar	$K_H$	$e_H$	$K_T$	Eğitme Verileri			Test Verileri		
				OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)	MAE (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
<b>Orij.</b>	0.0023	0.5	17.8	1.18	24.96	1.47	1.23	24.96	1.56
<b>1</b>	0.0023	0.51	17.8	1.19	24.85	1.48	1.26	24.97	1.60
<b>2</b>	0.0024	0.5	17.8	1.19	24.90	1.48	1.26	24.99	1.60
<b>3</b>	0.0023	0.5	18.773	1.18	24.48	1.46	1.24	24.43	1.57
<b>4</b>	0.0023	0.373	36.991	1.04	20.96	1.32	1.02	19.56	1.38
<b>5</b>	0.001	0.727	17.8	1.15	24.29	1.45	1.26	24.91	1.61
<b>6</b>	0.0013	0.5	44.05	1.00	20.30	1.29	1.02	19.33	1.39
<b>7</b>	0.0023	0.5	17.8	1.18	24.96	1.47	1.23	24.96	1.56
<b>8*</b>		0.420 <sup>a</sup>	0.301 <sup>b</sup>	1.06	23.51	1.25	0.99	22.97	1.22
<b>9*</b>		0.510 <sup>a</sup>	0.260 <sup>b</sup>	0.79	16.46	0.99	0.73	15.75	0.98

**Tablo 8.** İç Anadolu Bölgesi için değiştirilmiş Hargreaves–Samani denklemlerinin, FAO–56 PM denklemi tarafından verilen  $ET_0$  değerlerine ilişkin performans istatistikleri.

Kombinasyonlar	$K_H$	$e_H$	$K_T$	Eğitme Verileri			Test Verileri		
				OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)	MAE (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
<b>Orij.</b>	0.0023	0.5	17.8	1.18	24.15	1.38	1.20	23.43	1.47
<b>1</b>	0.0023	0.526	17.8	1.14	22.80	1.35	1.18	22.05	1.37
<b>2</b>	0.0024	0.5	17.8	1.14	23.12	1.34	1.18	22.50	1.39
<b>3</b>	0.0023	0.5	20.843	1.07	21.30	1.28	1.11	20.61	1.30
<b>4</b>	0.0023	0.138	114.442	0.80	15.14	1.02	0.79	13.64	1.02
<b>5</b>	0.0001	1.354	17.8	1.00	20.03	1.23	0.89	17.36	1.12
<b>6</b>	0.0007	0.5	94.637	0.79	15.01	1.02	0.78	13.32	0.99
<b>7</b>	0.0013	0.386	82.019	0.80	15.07	1.01	0.76	13.16	0.98
<b>8*</b>		0.597 <sup>a</sup>	0.191 <sup>b</sup>	1.01	21.85	1.15	1.16	22.74	1.32
<b>9*</b>		0.555 <sup>a</sup>	0.185 <sup>b</sup>	0.60	11.54	0.72	0.65	12.22	0.80

**Tablo 9.** Doğu Anadolu Bölgesi için değiştirilmiş Hargreaves–Samani denklemlerinin, FAO–56 PM denklemi tarafından verilen  $ET_0$  değerlerine ilişkin performans istatistikleri.

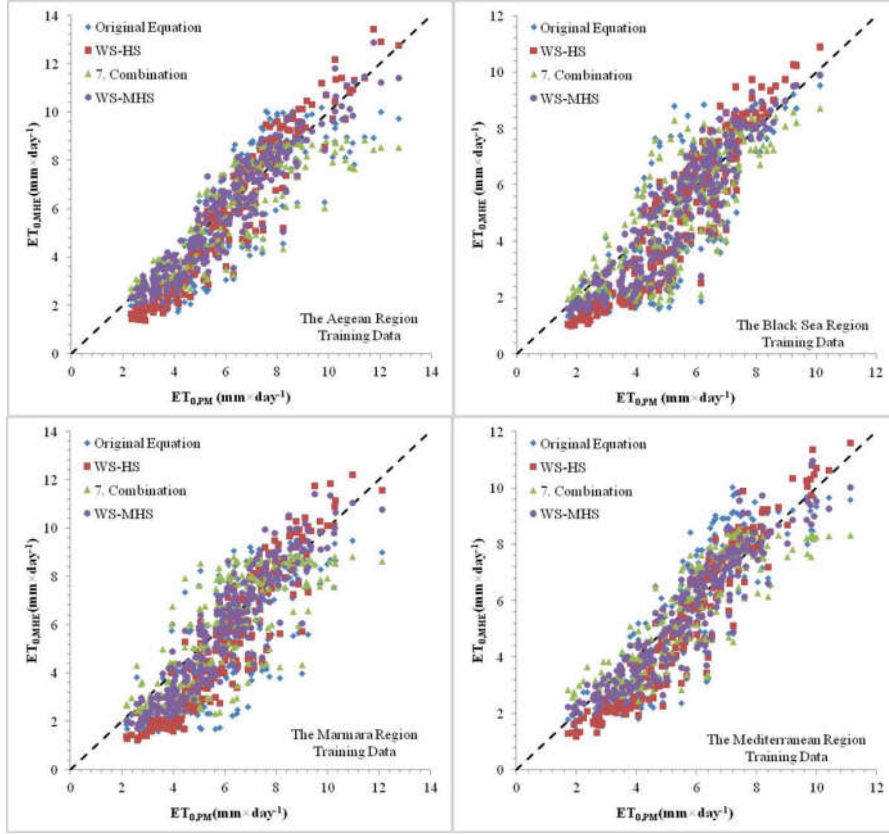
Kombinasyonlar	$K_H$	$e_H$	$K_T$	Eğitme Verileri			Test Verileri		
				OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)	MAE (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
<b>Orij.</b>	0.0023	0.5	17.8	0.94	21.82	1.21	0.72	17.19	0.90
<b>1</b>	0.0023	0.466	17.8	0.86	22.34	1.03	0.60	18.22	0.69
<b>2</b>	0.002	0.5	17.8	0.86	22.20	1.02	0.59	18.03	0.68
<b>3</b>	0.0023	0.5	15.43	0.94	24.07	1.14	0.70	20.35	0.80
<b>4</b>	0.0023	0.213	67.991	0.53	12.49	0.68	0.54	14.81	0.59
<b>5</b>	0.0002	1.107	17.8	0.79	19.85	0.96	0.52	14.95	0.61
<b>6</b>	0.001	0.5	54.952	0.55	12.71	0.68	0.50	13.79	0.58
<b>7</b>	0.0022	0.267	55.438	0.53	12.17	0.69	0.49	13.13	0.55
<b>8*</b>		0.545 <sup>a</sup>	0.184 <sup>b</sup>	0.76	22.06	0.88	0.72	22.04	0.80
<b>9*</b>		0.684 <sup>a</sup>	0.178 <sup>b</sup>	0.41	10.08	0.52	0.49	12.37	0.55

**Tablo 10.** Güneydoğu Anadolu Bölgesi için değiştirilmiş Hargreaves–Samani denklemlerinin, FAO–56 PM denklemi tarafından verilen  $ET_0$  değerlerine ilişkin performans istatistikleri.

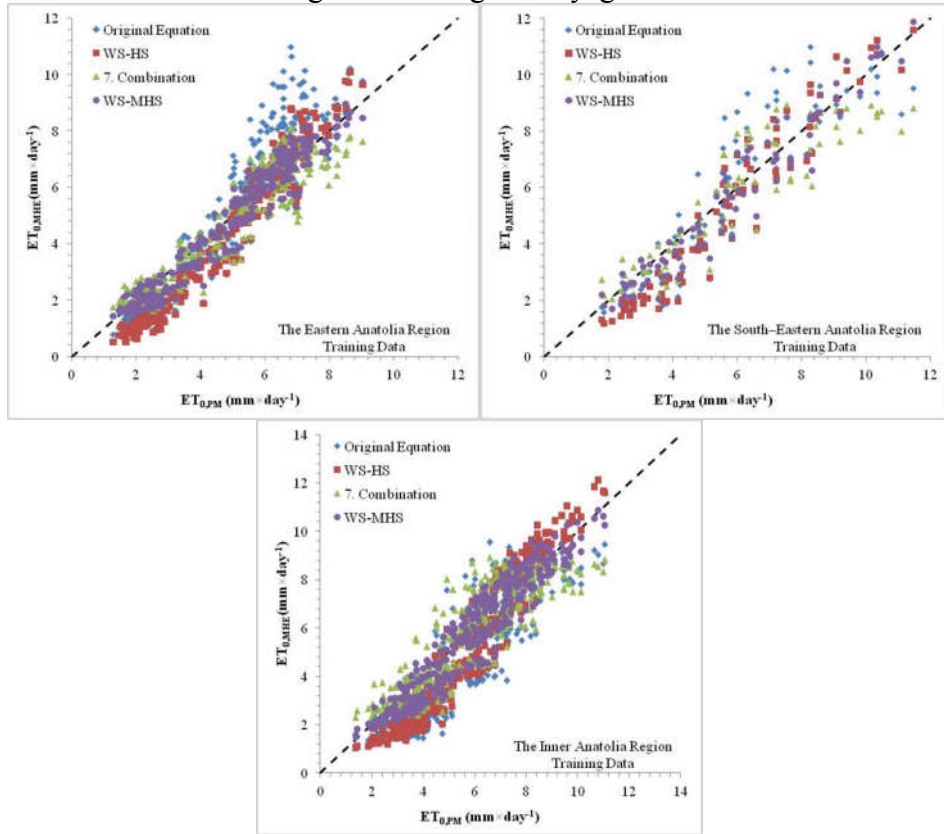
Güneydoğu Anadolu Bölgesi									
Kombinasyonlar	$K_H$	$e_H$	$K_T$	Eğitme Verileri			Test Verileri		
				OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)	MAE (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
<b>Orij.</b>	0.0023	0.5	17.8	1.03	19.14	1.32	0.89	17.10	1.09
<b>1</b>	0.0023	0.484	17.8	1.04	19.64	1.26	0.68	14.56	0.86
<b>2</b>	0.0022	0.5	17.8	1.04	19.61	1.27	0.68	14.57	0.86
<b>3</b>	0.0023	0.5	16.357	1.05	20.07	1.29	0.77	15.95	0.95
<b>4</b>	0.0023	0.308	51.364	0.92	16.59	1.14	0.61	13.18	0.77
<b>5</b>	0.0026	0.462	17.8	1.03	19.13	1.30	0.87	16.78	1.07
<b>6</b>	0.0014	0.5	37.853	0.94	16.79	1.17	0.60	12.62	0.77
<b>7</b>	0.0147	-0.306	74.04	0.85	14.74	1.09	0.56	12.84	0.70
<b>8*</b>		0.560 <sup>a</sup>	0.178 <sup>b</sup>	0.86	19.05	1.00	0.69	16.91	0.81
<b>9*</b>		0.612 <sup>a</sup>	0.199 <sup>b</sup>	0.55	10.82	0.70	0.47	9.82	0.58



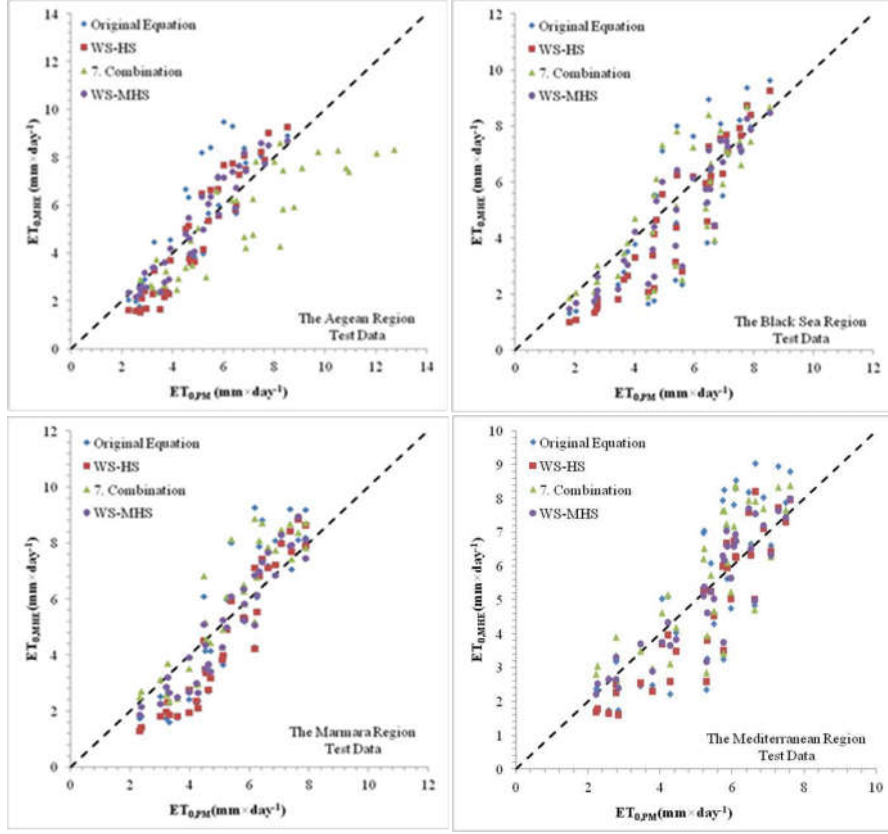
Şekil 2 ve 3, Türkiye'nin her bir bölgesi için kalibrasyon prosedürünün eğitim istasyonları için orijinal ve modifiye HS denklemleri ile hesaplanan FAO-56 PM denklemi ile hesaplanan  $ET_0$  değerlerinin dağılım diyagramlarını göstermektedir. Özgün HS denklemi, Anadolu'nun tüm bölgelerinde 2.0 mm / gün ile 6 mm / gün arasındaki küçük  $ET_0$  değerlerini hafife alıyor ve Doğu Anadolu Bölgesi için yüksek  $ET_0$  değerlerini 6 mm / günün üstünde tahmin etmektedir. Dağılım grafiklerinden, orijinal HS denklem sonuçlarının tam çizginin etrafında büyük bir dağılım gösterdiği (kesikli çizgi) görülmektedir. Rüzgar hızını ekleyerek orijinal HS denkleminin kalibrasyonundan sonra dağılım grafikleri, özellikle iç bölgeler için kesik çizgiye daha yakın hale gelmiştir. Sadece HS denkleminin katsayılarının ayarlanması özellikle iç bölgelerde ve kıyı bölgelerinde düşük tahmin etme kabiliyetini geliştirmiştir. Ayrıca dağılım grafiklerinden hem orijinal hem de modifiye HS denklemleri için rüzgar hızı verisinin dâhil edilmesiyle kalibrasyon eşitliğinin FAO-56 PM değerlerine daha yakın tahmin yaptığı görülmektedir. Saçılma noktaları özellikle sahil bölgelerinde ve kısmen iç bölgeler için kesik çizgiye çok daha yakındır. Modifiye HS denkleminin güvenilirliğini kontrol etmek için, yedi bölgede rassal olarak seçilen 21 hava istasyonu toplamı kullanılmıştır. Doğrulama verileri için orijinal ve modifiye HS denklemlerinin sonuçları da Tablo 4-10'te karşılaştırılmış ve dağılım grafikleri Şekil 4 ve 5'da gösterilmiştir. Genel olarak, değiştirilmiş HS denklemi tahminleri tam hat denklemine (kesik çizgi) daha yakındır. Rüzgar hızı verilerinin eklenmesiyle düzeltilmiş katsayılara ve kalibrasyona sahip modifiye HS eşitliği MARE istatistiklerini Akdeniz için% 11, Marmara için% 13, Ege için% 12, Karadeniz için% 15,% 12'lik İç Anadolu ve Doğu Anadolu'da,% 9'u Güneydoğu Anadolu Bölgesi elde edilmiştir.



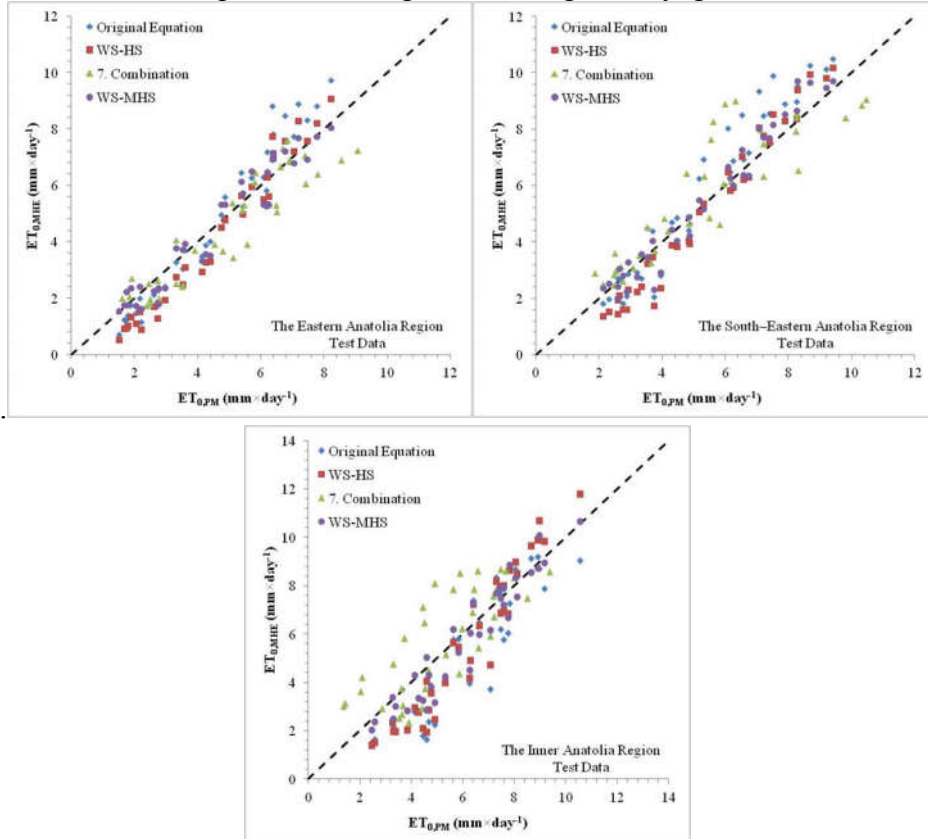
Şekil 2. Türkiye kıyı bölgeleri için orijinal ve modifiye HS denklemleri ile hesaplanan  $ET_0$  değerlerinin dağılım diyagramı.



Şekil 3. Türkiye iç bölgeleri için orijinal ve modifiye HS denklemleri ile hesaplanan  $ET_0$  değerlerinin dağılım diyagramı.



Şekil 4. Türkiye kıyı bölgelerinde modifiye HS denklemlerinin güvenilirliğini kontrol ederek hesaplanan  $ET_0$  değerlerinin dağılım diyagramı.



Şekil 5. Türkiye'nin iç bölgesi için modifiye HS denklemlerinin güvenilirliğini kontrol ederek hesaplanan  $ET_0$  değerlerinin dağılım diyagramı.

#### 4. SONUÇLAR

Burada, Türkiye'nin iklim bölgesinde daha iyi ET0 tahmini sağlamak amacıyla orijinal HS denkleminin üç katsayısı 7 kombinasyonla değiştirilmiştir. Sonuçlar, RMSE hata kriterine göre Karadeniz hariç HS denkleminin modifikasyonu için en iyi kombinasyonun orijinal HS denkleminin katsayılarının üçünün birden değiştirilmesi sonucunda elde edildiğini göstermektedir. Karadeniz bölgesinde ise eH katsayısının orijinal büyüklüğünü koruyarak diğer iki katsayının modifiye edilmesi ile en iyi tahmin elde edilmiştir. Denklemin doğruluğunu artırmak amacıyla, rüzgâr hızı HS denkleminin tahmin kabiliyetini önemli ölçüde geliştiren Eşitlik (15) ile HS denklemine bir açıklayıcı değişken olarak sunulmuştur.

Tüm kombinasyonların sonuçları karşılaştırıldığında, Türkiye'nin yedi bölgesi için en iyi tahminler, dokuzuncu kombinasyondan elde edilir. Dokuzuncu kombinasyon, açıklayıcı değişken olarak rüzgâr hızı ilave edilmiş HS denkleminin her üç katsayısının modifiye edilmesidir. Rüzgâr hızının etkisi, Eşitlik (15) kullanılarak ikinci bir adım olarak dikkate alınır. Eşitlik (15) de modifiye HS denklemi tarafından verilen ET0'ı, iki katsayı önceden regresyon ile belirlenen doğrusal bir denklem ile hesaplanan başka bir katsayı ile çarpılmasıdır. İkinci en iyi tahmin sonuçları, kıyı bölgelerinde rüzgâr hızının eklendiği orijinal HS denklemi ile elde edilmiştir. Rüzgâr hızı, tüm bölgeler için benzer istatistiksel parametrelere sahip olmakla birlikte, kıyı bölgelerindeki ET0 tahminleri karasal iklime sahip olan iç bölgelere göre rüzgâr hızından daha çok etkilenmektedir. Sonuçlar, modifiye HS denkleminin MAE ve RMSE istatistikleri orijinal HS denkleminde daha fazla azalttığını göstermektedir. HS denkleminin katsayılarının kalibrasyonu, MARE istatistiklerini ortalama% 5 oranında azaltmıştır. Buna ek olarak, modifiye HS denkleminin rüzgâr hızı verileri ile kalibrasyonu, MARE istatistiklerini yaklaşık% 10 oranında azaltmıştır. HS denkleminin üç katsayısının uygun büyüklükleri, dünyanın diğer bölgelerinde de benzer bir analizle hesaplanmıştır. Ampirik denklemlerin geçerliliğinin sadece geliştirilen bölgelerde ve mevcut veriler aralıklarında meşru olduğu unutulmamalıdır.

FAO-56 PM denkleminin sağladığı sonuçları çalışma boyunca referans değer olarak almış olmamıza rağmen, bunun bazı durumlarda yetersiz olabilecek bir hesaplama modeli olduğunun hala akılda tutulması gerekir. Ayrıca, FAO-56 PM denkleminin bazı işlem adımlarını daha önceden hesaplanmış olmasına rağmen bazı terimleri belirsizlik içermektedir. Dolayısıyla HS denklemini veya doğal lizimetre ölçümlerine dayalı başka herhangi bir modeli doğal olarak geliştirmeye çalışmak daha güvenilir olacaktır.

## **TEŐEKKÖRLER**

Bu alıŐma Erciyes Üniwersitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiŐtir. Proje Numarası: FBA-2014-4875. Yazarlar, maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verileri için aylık ortalama değerlerin temini için Türkiye Devlet Meteoroloji İŐleri BaŐkanlıęına (MGM) teŐekkür etmek istiyoruz.

## 5. KAYNAKLAR

- Adeboye, O.B., Osunbitan, J.A., Adekalu, K.O., Okunade, D.A., 2009. Evaluation of FAO-56 Penman Monteith and Temperature Based Models in Estimating Reference Evapotranspiration. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript number 1291. Volume XI.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
- Amatya, D. M., Skaggs, R.W., and Gregory, J .D., 1995. Comparison of methods for estimating Ref-ET. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 121(6), 427-435.
- Citakoglu H., Cobaner M., Haktanir T., Kisi O., 2014. Estimation of Monthly Mean Reference Evapotranspiration In Turkey. *Water Resources Management*, 28, 99-113.
- Cobaner M., 2013. Reference Evapotranspiration Based On Class A Pan Evaporation Via Wavelet Regression Technique. *Irrigation Science*, 2, 119-134.
- Cobaner, M., 2011. Evapotranspiration estimation by two different neuro-fuzzy inference systems. *Journal of Hydrology*, 398(3-4), 292-302.
- Droogers, P., and Allen, R.G. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data condition. *J. Irrig. Drain. Syst.*, 16(1), 33-45.
- Ecker, J., ve Kupferschmid, M., *Introduction to Operations Research*, John Wiley and Sons Ltd, New York, 1991.
- Excel-Help, <http://office.microsoft.com/tr-tr/excel-help/HP005198368.aspx>
- Fooladmand H.R., Haghghat M., 2007. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ETo based on Penman-Monteith Method. *Irrigation and Drainage*, 56: 439-449.
- Fooladmand, H., R., Zandilak, H., Ravanani, M., H., 2008. Comparison of different types of HS equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54(3), 321-330.
- Gocic, M., Trajkovic, S. 2011. Service-oriented approach for modeling and estimating reference evapotranspiration. *Computers and Electronics in Agriculture* 79, 153-158
- Gocic, M., Trajkovic, S., 2010. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. *Computers and Electronics in Agriculture* 71 (2), 158-162.
- Hargreaves GH, Samani ZA 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature, *Applied Engrg. In Agric.*, 1(2): 96-99.
- Hosseinzadeh Talae, P., 2014. Performance evaluation of modified versions of HS equation across a wide range of Iranian climates, *Meteorol Atmos Phys*, DOI 10.1007/s00703-014-0333-5.
- Jensen, D.T, Hargreaves, G.H., Temesgen, B., Allan, R.G., 1997. Computation of ET0 under nonideal condition. *J Irrig Drain Eng.* 123(5):394-400.
- Jones, J. W. & Ritchie, J. T. 1990. *Crop growth models. Management of Farm Irrigation Systems* (ed. by G. J. Hoffman, T. A. Howel & K. H. Solomon), 63-89. ASAE Monograph no.9, ASAE, St Joseph, Michigan, USA.

- Kashyap, P.S. and Panda, R.K., 2001. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management*, 50, 9-25.
- Kisi, O., 2008. The potential of different ANN techniques in evapotranspiration modelling, *Hydrological Processes*, 22(14), 2449–2460.
- Lasdon, L., Plummer, J., Warren, A., "Nonlinear Programming," in M. Avriel and B.Golany (eds.), *Mathematical Programming for Industrial Engineers*, Chapter 6, pp. 385-485, Marcel Dekker, New York, 1996.
- Lasdon, L.S., and Waren, A.D., 1978. "Generalized Reduced Gradient Software for Linearly and Nonlinearly Constrained Problems," in *Design and Implementation of Optimization Software*, H. J. Greenberg (ed.), Sitjhoff and Noordhoff.
- Lasdon, L.S., Waren, A.D., Jain, A., Ratner, M., 1978. Design and Testing of a Generalized Reduced Gradient Code for Nonlinear Programming, *ACM Transactions on Mathematical Software*, 4(1), 34-50.
- Lee, K., 2015. Improving the correlation between incoming solar radiation and sunshine hour using DTR. *International Journal of Climatology*, 10.1002/joc.3983, 35: 361-374.
- Lu, J.B., Sun, G., McNulty, S.G., and Amatya, D.M., 2005. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States, *American Water Resources Association*, 41(3), 621–633.
- Martinez-Cob and Tejero-Juste, 2004. A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ET<sub>0</sub> estimation equation in semiarid region. *Agric. Water Manage.*, 64(3),251-264.
- Mohawesh, O.E., Talozzi, S.A., 2012. Comparison of Hargreaves and FAO56 equations for estimating monthly evapotranspiration for semi-arid and arid environments, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(3): 321–334.
- Patel, J., Patel H., C., Bhatt, 2014. Modified HS equation for Accurate Estimation of Evapotranspiration of Diverse Climate Locations in India, *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, DOI 10.1007/s40011-014-0314-y.
- Peel, M. C. and Finlayson, B. L. and McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633-1644.
- Ravazzani, G., Corbari, C.S., Morella, P., Gianoli, Mancini, M., 2012. Modified HS Equation for the Assessment of Reference Evapotranspiration in Alpine River Basins, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 137(7): 592–599.
- Saeed, M., 1986. The estimation of evapotranspiration by some equations under hot and arid conditions. *Transaction American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 29: 434–438.
- Samani, Z., 2000. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *J.Irrig. Drain. Eng.*, 129(5), 360-370.
- Sepaskhah, A., R., ve Razzaghi, F., 2009. Evaluation of the adjusted Thornthwaite and HS methods for estimation of daily evapotranspiration in a semi-arid region of Iran, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55 (1): 51-66.
- Shahidian Sh, Serralheiro R, Serrano J, Teixeira J, Haie N, Santos F, (2012) Hargreaves and other reduced-set methods for calculating evapotranspiration. In: Irmak A (ed)

- Evapotranspiration: remote sensing and modelling. InTech, pp 50–80. ISBN 978-953-307-808-3.
- Shiri, J., Nazemi, A. H., Sadraddini, A. A., Landaras, G., Kisi, O., Fard, A. F., Marti, P., 2014. Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran, *Computers and Electronics in Agriculture* 108, 230–241.
- Smith M., 1993. CLIMWAT for CROPWAT: a climatic database for irrigation planning and management. FAO irrigation and drainage paper 49. FAO, Rome
- Subburayan, S., Murugappan, A., Mohan, S., 2011: Modified HS equation for Estimation of ET<sub>0</sub> in a Hot and Humid Location in Tamilnadu State, India. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(1), 592-600.
- Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., 2011. Local Calibration of the Hargreaves and Priestley-Taylor Equations for Estimating Reference Evapotranspiration in Arid and Cold Climates of Iran Based on the Penman-Monteith Model, *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(10): 837-845.
- Temesgen B., Allen R.G., Jensen D.T., 1999. Adjusting temperature parameters to reflect well-water conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125: 26–33.
- Trajkovic, S., 2005. Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *J.Irrig. Drain. Eng.*, 133(4), 316-323.
- Trajkovic, S., 2007, Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *J.Irrig. Drain. Eng.*, 133(1), 38-42.
- Trajkovic, S., and Kolakovic, S., 2009. “Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration.” *Hydrol. Res.*, 40(1), 45–52
- Turc, L., 1961. Evaluation des besoins en eau d’irrigation, évapotranspiration potentielle, formulation simplifiée et mise à jour. *Ann. Agronomiques* 12, 13–49.
- Turkes, M. 1999. Vulnerability of Turkey to Desertification With Respect to Precipitation and Aridity Conditions. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23(5), 363 – 380.
- Valiantzas, J. D. 2013. “Simple ET<sub>0</sub> forms of Penman’s equation without wind and/or humidity data. I: Theoretical development.” *J. Irrig. Drain. Eng.*, 139(1), 1–8.
- Vanderlinden, K., Giraldez, J.V., and Van Meirvenne, M., 2004. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in southern Spain. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 130(3), 184-191.
- World Meteorological Organization (WMO). 1976. Guide to Hydrological Practices, Volume-I: Hydrology - From Measurement to Hydrological Information, WMO No. 168.
- World Meteorological Organization (WMO). 2008. Guide to Hydrological Practices, Volume-I: Hydrology - From Measurement to Hydrological Information, 6 th edn. WMO No. 168.
- Xu, C.-Y., and Singh, V.P., 2001: Evaluation and generalization of temperature-based method for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 15(2), 305-319.
- Xu, C-Y and Singh, V.P., 2002. Cross-comparison of mass-transfer, radiation and temperature based evaporation models. *Water Resources Management* 16, 197-219