

Akdeniz bölgesi için en uygun Hargreaves-samani eşitliğinin belirlenmesi

Murat Cobaner^{1*}, Hatice Çıtakoğlu¹, Tefaruk Haktanır¹, FatmaYelkara²,

¹ Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri

² DSİ 12. Bölge Müdürlüğü, Kayseri

Makale Gönderme Tarihi: 08.10.2015

Makale Kabul Tarihi: 15.06.2016

Öz

Penman-Monteith formülü, referans (çim) evapotranspirasyon (ET0) değerlerinin hesaplanmasında tutarlı ve sağlıklı sonuçlar vermesi sebebiyle literatürde en çok kullanılan eşitliktir. Penman-Monteith formülünde referans evapotranspirasyon değerini etkileyen bağımsız değişkenler olarak solar radyasyon (Rs), hava sıcaklığı (T), rüzgâr hızı (U2), ve bağıl nem (RH) gibi meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Penman-Monteith eşitliğiyle evapotranspirasyon değerinin hesaplanmasının biraz karışık olmasından ve bu eşitliğin fazla sayıda tanımlayıcı meteorolojik veriye ihtiyaç duymasından dolayı, yeterli veri olmadığı durumlarda onun yerine Hargreaves-Samani eşitliği kullanılmaktadır. Bu çalışmada nem oranının yüksek olduğu Akdeniz Bölgesine ait 38 adet meteoroloji istasyonunda ölçülmüş maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum nem ve minimum nem verileri kullanılarak Hargreaves-Samani eşitliği kalibre edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum nem ve minimum nem verileriyle kalibre edilmiş eşitlikler ile elde edilen evapotranspirasyon değerlerinin Penman-Monteith formülü ile hesaplanan değerlere yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Akdeniz Bölgesindeki bitki su ihtiyacının kalibre edilmiş Hargreaves-Samani eşitliği ile hesaplanmasında maksimum sıcaklık verisinin diğer meteorolojik verilere kıyasla daha etkili olduğu görülmüştür

Anahtar Kelimeler: Referans evapotranspirasyon; kalibrasyon; Penman-Monteith; Hargreaves-Samani;

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Murat Cobaner. mcobaner@erciyes.edu.tr; Tel: (352) 207 66 66 (32329)

Giriş

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 (ET₀) standart bahçe çiminde oluşan evapotranspirasyon olup, diğer bitkilerin evapotranspirasyonu ET₀'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 (ET₀) hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Penman-Monteith eşitliğinde solar radyasyon (R_s), hava sıcaklığı (T), rüzgâr hızı (U₂), 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):

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

Bu denklemde, ET₀, referans evapotranspirasyonu (mm d⁻¹); R_n, bitki yüzeyinde net radyasyon (MJm⁻²d⁻¹); G, toprak ısı akısı (MJm⁻²d⁻¹); γ, sabit psikometrik (KPa°C⁻¹); T, günlük veya aylık maksimum veya minimum sıcaklık ortalaması (°C); U₂, 2 m yüksekliği rüzgâr hızı (m s⁻¹); e_s, ortalama doymuş buhar basıncı (KPa); e_a, gerçek buhar basıncı (KPa); Δ, doymuş buhar basıncı eğrisi eğimi (KPa°C⁻¹) dir.

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 km² olan ülkemizde yaklaşık 275 meteoroloji istasyonu bulunduğundan 2.850 km²'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 alsansal bitki su ihtiyacının sağlıklı olmayacağı aşikârdır. Bu sebepten dolayı, Hargreaves ve Samani (1985), referans evapotranspirasyon (ET₀) değerini sadece hava sıcaklığı ve radyasyona iliştiiren basit bir metot geliştirmiştir. Hargreaves-Samani denkleminin orijinali aşağıdaki gibidir:

$$ET_{0,har} = 0.0023 \times 0.408 \times R_a \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17.8 \right) \quad (2)$$

Burada, ET_{0,har}, Hargreaves-Samani eşitliği tarafından elde edilen ET₀ (mm/gün); R_a, extraterrestrial radyasyon (MJ/m²/gün); T_{max}, maksimum sıcaklık (°C); T_{min}, minimum sıcaklık (°C) dir.

Allen ve ark. (1998), FAO-56 PM formülü için yeterli giriş datası bulunmadığı durumlarda Hargreaves-Samani eşitlinin kullanılabilirliğini belirtmiştir. Hargreaves-Samani eşitliğinin ise genellikle ET₀'u geçeceğinden fazla değerlerde tahmin ettiği bilinmektedir (Trajkovic 2005). Bu sebepten dolayı son zamanlarda birkaç araştırmacı Hargreaves-Samani eşitliğinin doğruluğunu iyileştirmeye çalışmışlardır. Örneğin, 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 ET₀ değerlerinin FAO-56 PM formülü ile hesaplanan ET₀ 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 ET₀ değerlerinin, FAO-56 PM formülü ile hesaplanan ET₀ değerlerine yakın olduğu belirtilmiştir. Fakat yaz ayları için tahmin edilen ET₀ 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 (ET₀) 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 ET₀ değerleri ile FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen ET₀ 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 ET₀

değeri olmadığında kalibrasyon eşitliğinde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Eric (2014) Güney Afrika'daki dört meteoroloji istasyonuna ait rüzgâr hızı verilerini kullanarak Hargreaves-Samani eşitliğini kalibre etmiştir. Rüzgâr hızlı kalibrasyon eşitliğinin kullanışlı olduğunu ve FAO-56 PM eşitliğine göre daha az işlem adımı gerektirdiğini belirtmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) Akdeniz Bölgesindeki 38 adet meteoroloji istasyonuna ait uzun dönem ortalama günlük maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, rüzgâr hızı ve maksimum nem değerleri kullanılmıştır. Bu coğrafik alan 120.000 km²lik genişliğiyle Türkiye'nin toplam yüzölçümünün yaklaşık %15'ini kapsamaktadır. Bu bölgede kullanılan istasyonların yükseklikleri 5–1552 m arasında değişmektedir. Kayıtlı en yüksek sıcaklık 46.7°C olup Mut istasyonu, en düşük sıcaklık ise -33.5°C olup Göksün istasyonuna aittir. Çalışmada kullanılan 38 adet meteoroloji istasyonunun konumları Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmada, aşağıdaki 3, 4, 5 ve 6 nolu eşitliklerdeki a ve b katsayılarının incelenen coğrafik bölge için uygun değerleri 1975–2010 yılları arasındaki kaydedilmiş meteorolojik veriler kullanılarak Excel Çözücü yardımıyla hesaplanmıştır.

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

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

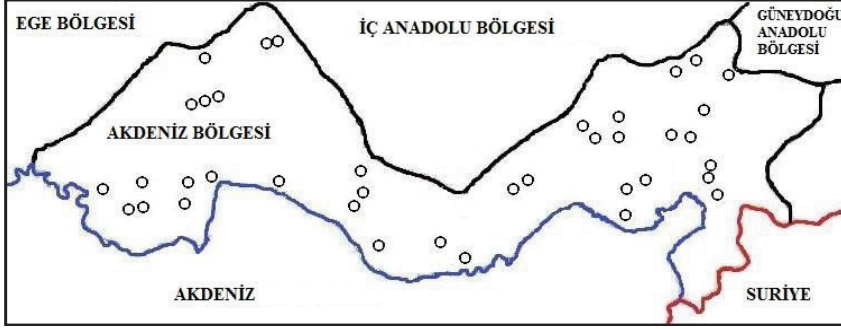
$$ET_{0-PM} = (a + b \times RH_{\max})ET_{0,har} \quad (5)$$

$$ET_{0-PM} = (a + b \times RH_{\min})ET_{0,har} \quad (6)$$

Excel Çözücü, benzetim çözümleme 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 kullanılabileceği değerler için kısıtlamalar getirilebilmekte ve bu kısıtlamalar, hedef hücre

formülünü etkileyen başka hücelere de uygulanabilmektedir [Excel-help].



Şekil 1. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının konumu

Excel Çözücü, benzetim çözümleme 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 kullanılabileceği değerler için kısıtlamalar getirilebilmekte ve bu kısıtlamalar, hedef hücre formülünü etkileyen başka hücelere de uygulanabilmektedir [Excel-help].

Uygulama ve Başarımlar

Akdeniz Bölgesi için uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, maksimum nem, minimum nem ve rüzgâr hızı değerleri kullanılarak, 38 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 maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum nem ve minimum nem 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 (7), (8) ve (9) nolu ifadelerle tanımlanmaktadır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ET_{0KH} - ET_{0,PM})^2} \quad (7)$$

$$OMRH = \frac{1}{n} \left| 100 \times \frac{ET_{0KH} - ET_{0,PM}}{ET_{0,PM}} \right| \quad (8)$$

$$OMH = \frac{1}{n} |ET_{0KH} - ET_{0,PM}| \quad (9)$$

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

Çalışmada kullanılan meteorolojik verilerin istatistik parametreleri *Tablo 1*'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.

Akdeniz bölgesi için en uygun Hargreaves-samani eşitliğinin belirlenmesi

Minimum sıcaklık değerleri incelendiğinde uzaklaştığını ve daha değişken olduğunu ifade değişim katsayısının diğer değişkenlere göre etmektedir. Minimum nem ve rüzgâr hızı daha büyük olduğu görülmektedir. Bu da incelendiğinde bunların diğer değişkenlere göre minimum sıcaklık etkisinin ortalamadan daha çarpık olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Meteorolojik verilerin uzun yıllar ortalamalarına ait istatistikler

	DEĞİŞKENLER	X _{ORT}	C _V	C _{SS}	C _K	X _{MAK}	X _{MIN}
EĞİTME	T _{MAX}	32.411	0.236	-0.37	-0.83	46.7	12.5
	T _{MIN}	1.065	9.833	-0.69	0.55	20.6	-33.5
	T _{ORT}	16.521	0.480	-0.27	-0.74	30.2	-3.8
	W _S	2.016	0.402	1.44	2.72	5.6	0.7
	RH _{MAX}	73.788	0.102	-0.41	-0.40	90.1	53.8
	RH _{MIN}	7.771	0.722	1.28	2.80	38.0	0.0
TEST	T _{MAX}	30.840	0.264	-0.24	-0.97	15.7	29.3
	T _{MIN}	-1.560	-6.038	-0.08	-0.98	-18.5	33.8
	T _{ORT}	14.360	0.558	0.03	-1.18	1.7	26.6
	W _S	2.253	0.212	0.54	-0.50	1.6	1.8
	RH _{MAX}	74.450	0.092	-0.72	-0.08	58.2	26.3
	RH _{MIN}	9.639	0.579	1.32	1.55	2.0	24.0

C_V:değişim katsayısı, C_{SS}:çarpıklık katsayısı, C_K: basıklık katsayısı.

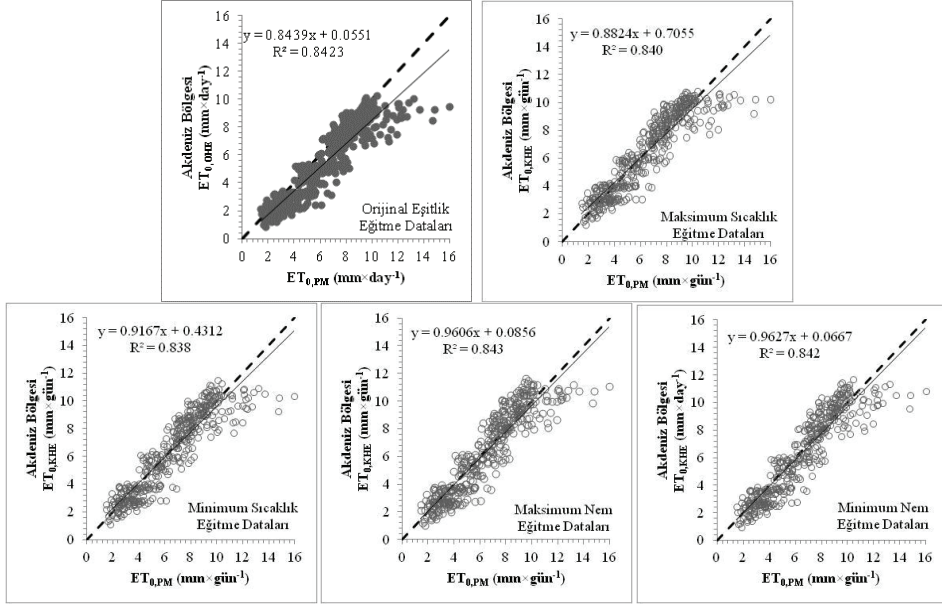
Sonuçlar ve Tartışma

İlk olarak, 3, 4, 5 ve 6 nolu ifadelerdeki a ve b değerleri Excel-çözücü yardımıyla Akdeniz Bölgesi için kalibre edilmiştir. Bu aşamada maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum nem ve minimum nem verileri kullanılarak dört farklı kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. *Tablo 2*'de orijinal Hargreaves-Samani denklemi ve 4 farklı kalibrasyon ve bu kalibrasyonlara ait OMH, OMRH ve KOKH değerleri verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere en düşük OMH,

OMRH ve KOKH (sırası ile 0.849 mm, % 14.8 ve 1.143 mm) değerleri maksimum sıcaklık kalibrasyonu sonucunda elde edilmiştir. Orijinal Hargreaves-Samani denkleminin ve dört farklı kalibrasyonun saçılma diyagramı Şekil 2'de sunulmaktadır. Bu şekilden de görüleceği üzere bütün kalibrasyon denklemleri ile elde edilen sonuçlar FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen referans evapotranspirasyon değerlerine (ET_0_{PM}) yakın sonuçlar vermiştir.

Tablo 2. Modellerin eğitime verileri için OMH, OMRH ve KOKH değerleri

Eşitlikler	a	b	OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
Orijinal Eşitlik	---	---	1.103	18.52	2.179
T _{max}	1.564	-0.0113	0.849	14.76	1.143
T _{min}	1.180	-0.0054	0.885	15.16	1.171
RH _{max}	0.927	0.0030	0.923	15.99	1.190
RH _{min}	1.133	0.0011	0.924	15.96	1.197



*ET_{0,OHG}, orijinal Hargreaves-Samani denklemi ile elde edilen evapotranspirasyon değerleri
 **ET_{0,KHE}, kalibre edilmiş Hargreaves-Samani denklemi ile elde edilen evapotranspirasyon değerleri

Şekil 2. Eğitime verileri için orijinal denklem ile farklı kalibrasyon metodlarından elde edilen ET₀'ların saçılma diyagramları.

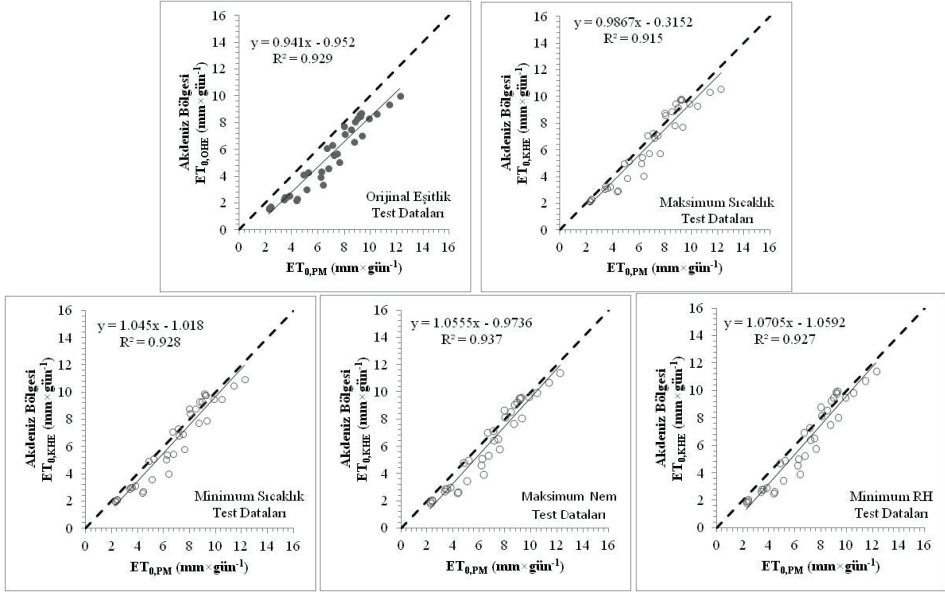
Çalışmanın ikinci aşamasında kalibrasyon eşitliklerinin güvenilirliğinin kontrolü için 1975-2010 yılları arasında elde edilen Akdeniz Bölgesindeki üç meteoroloji istasyonuna (Antalya, Burdur, Isparta) ait uzun yıllar ortalama meteorolojik verileri kullanılmıştır.

Orijinal Hargreaves-Samani denklemi ile kalibrasyon eşitliklerinin karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Modellerin test verileri için OMH, OMRH ve KOKH değerleri

Eşiklikler	a	b	OMH (mm)	OMRH (%)	KOKH (mm)
Orijinal Eşitlik	---	---	1.347	22.96	1.526
T _{max}	1.564	-0.0113	0.704	10.56	0.904
T _{min}	1.180	-0.0054	0.760	12.49	0.930
RH _{max}	0.927	0.0030	0.758	13.68	0.965
RH _{min}	1.133	0.0011	0.841	14.86	1.017

Akdeniz bölgesi için en uygun Hargreaves-samani eşitliğinin belirlenmesi



* $ET_{0,OH}$, orijinal Hargreaves-Samani denklemi ile elde edilen evapotranspirasyon değerleri

** $ET_{0,KHE}$, kalibre edilmiş Hargreaves-Samani denklemi ile elde edilen evapotranspirasyon değerleri

Şekil 3. Test verileri için orijinal denklem ile farklı kalibrasyon metotlarından elde edilen ET_0 'ların saçılma diyagramları..

Bu tablodan görüleceği üzere en düşük OMRH, KOKH değerleri maksimum sıcaklıklı kalibrasyon denkleminde elde edilmiştir. Akdeniz Bölgesine ait test istasyonları için Şekil 3'de verilen kalibrasyon eşitliklerine ait saçılma diyagramlarından görüleceği üzere, bütün kalibrasyon denklemleri ile elde edilen ET_0 değerleri, FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen referans evapotranspirasyon değerlerine (ET_{0-PM}) yakın boyutlardadır (Şekil 3). Bütün kalibrasyon denklemleri FAO 56 PM değerlerine yakın sonuçlar vermesine rağmen en düşük OMR, OMRH ve KOKH (sırası ile 0.704 mm, %10.56, 0.904 mm) değerleri maksimum sıcaklık ile elde edilen kalibrasyon eşitliğinden sağlanmıştır.

Dünya tarım örgütü (FAO) tarafından, referans evapotranspirasyon (ET_0) değerinin hesaplanmasında diğer metotlara göre daha sağlıklı ve tutarlı neticeler vermesi sebebiyle, Penman-Monteith formülünün referans model

olabileceği belirtilmiştir. Sadece maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklıkla bağlı olduğu için, Hargreaves-Samani eşitliğinin ise kolaylığından dolayı kullanımı yaygındır. Akdeniz Bölgesi gibi nemin yüksek olduğu bölgelerde evapotranspirasyon değerlerinin tahmininde, ölçümü kolay olan sıcaklık ve nem verilerinin etkilerini belirlemek amacıyla kalibrasyon eşitliklerinde maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum nem ve minimum nem değişkenleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum nem ve minimum nem verileriyle kalibre edilmiş eşitlikler ile elde edilen evapotranspirasyon değerlerinin referans evapotranspirasyon değerlerine (ET_{0-PM}) yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Fakat, maksimum sıcaklık ile elde edilen evapotranspirasyon değerlerinin diğer veriler ile elde edilen evapotranspirasyon değerlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Kalibrasyon denklemlerinin

güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla Akdeniz Bölgesindeki üç farklı meteorolojik istasyonda yeni eşitlikler uygulanmış, bunlarda tahmin edilen referans evapotranspirasyon değerlerinin FAO-56 Penman-Monteith metodu ile hesaplanan değerlere çok yakın boyutlarda olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, Akdeniz Bölgesi gibi nemli bölgelerde bitki su ihtiyaçlarının hesaplanmasında sadece sıcaklık verilerini kullanarak tahmin yapılabileceği görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda Türkiye'nin diğer coğrafi bölgeleri için benzer işlemler yapılacaktır. Bölgesel ve Türkiye geneli için sıcaklık ve neme bağlı olarak Orijinal Hargreaves-Samani eşitliği kalibre edilerek ET_0 değerlerinin daha sağlıklı tahmin edilmesi sağlanacaktır. Türkiye'deki diğer coğrafi bölgelerin iklim özellikleri göz önüne alınarak diğer meteorolojik verilerle yeni kalibrasyon eşitlikleri geliştirilebilir.

Teşekkür

Akdeniz Bölgesine ait uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, maksimum nem, minimum nem ve rüzgâr hızı değerlerinin temininde Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ve FBA-2014-4875 nolu proje için Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Allen R.G, Smith M, Perrier A, Pereira L.S. (1994). An update for the calculation of reference evapotranspiration, *ICID Bulletin* **43**(2), 35–92.
- 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.
- 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, *Journal of Irrigation and Drainage Systems*, **16**(1), 33-45.
- Farmer, W., Strzepek, K., Schlosser, C.A., Droogers, P., and Gao, X., (2011). A Method for Calculating Reference Evapotranspiration on

Daily Time Scales, *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change*, **195**, 1-25.

- Kişi, Ö., (2008). The potential of different ANN techniques in evapotranspiration modelling, *Hydrological Processes*, **22**(14), 2449–2460.
- Kra, E., (2014). FAO-56 Penman-Monteith Daily ET_0 from Linear Regression Calibrated Hargreaves Equation with Wind Terms in Tropics with Limited Data, *International Journal of Agronomy*, **2014**, 1-9.
- Ravazzani, G., Corbari, C., Morella, S., Gianoli, P., and Mancini, M., (2012). Modified Hargreaves-Samani Equation for the Assessment of Reference Evapotranspiration in Alpine River Basins, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, **138**, 592-599.
- Shahidian, S., Serralheiro, R. P., Serrano, J., and Teixeira, J. L., (2013). Parametric calibration of the Hargreaves-Samani equation for use at new locations, *Hydrological Processes*, **27**, 605–616.
- Trajkovic, S., (2005). Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, **133**(4), 316-323.
- Valiantzas, J. (2013). Simplified Reference Evapotranspiration Formula Using an Empirical Impact Factor for Penman's Aerodynamic Term, *Journal of Hydrologic Engineering*, **18**(1), 108–114.

Determination of optimum Hargreaves-Samani equation for Mediterranean region

Extended abstract

Penman-Monteith equation is the most commonly used model in the literature for estimation of reference (grass) evapotranspiration (ET_0) because of the fact that it gives more accurate and consistent estimates. Despite its higher accuracy potential, Penman-Monteith equation requires quite a few meteorological quantities as explanatory variables affecting the value of evapotranspiration such as solar radiation, air temperature, wind velocity, and relative humidity. Because it needs so many meteorological variables and partly due to its cumbersome analytical form, the Penman-Monteith (PM) equation is not easily applicable for all cases for calculating the reference evapotranspiration, and therefore the Hargreaves-Samani (HS) equation is necessarily used instead of it for regions at which the pertinent meteorological data may not be available.

Originally, the HS equation was developed for semiarid environments, therefore, its results are less accurate as compared to the FAO-56 PM formula for different climate conditions. For this reason, many researchers tried to calibrate the HS equation based on the FAO-56 PM with different methods. Generally, the main approach for the calibration of the HS equation is linear regression with PM ET_0 or lysimeter values. . Alternatively, some researchers were calibrated the HS equation by adjusting the constant values of the HS equation. In addition to these methods, different numerous attempts were done for improving the estimation capability of the HS equation with the help of additional climatic variables such as wind speed (WS), relative humidity (RH). Various studies have shown that this method overestimates ET_0 in warm humid areas.

In this study, first, Hargreaves-Samani equation is calibrated using maximum temperature, minimum temperature, maximum humidity and minimum humidity data measured at 38 stations in the highly humid Mediterranean Region of Turkey. Using the monthly average values of the relevant meteorological variables and $ET_{0,PM}$ values over the period: 1975–2010 were used for the calibration (training phase) and validation (testing phase) of the HS equation. With the help of Excel Solver, suitable

magnitudes for a and b coefficients of the HS equation for different meteorological variables (RH_{max} , RH_{min} , T_{max} and T_{min}) were computed based on the ET_0 values computed by the FAO-56 PM equation. The predictive abilities of the HS equation calibration in such manner were quantitatively evaluated by the common test statistics.

For reliability assessment of calibrated HS equations, 3 weather stations data were used for regions. The results of the original and calibrated HS equations data were compared. A reduction in the mean absolute relative error (MARE), root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) statistics are obtained with calibrated HS equations. The scatter diagram of the FAO-56 PM equation versus original and calibrated HS equations show that the calibrated HS equations estimates are closer to the exact line (1:1 line). The calibrated HS equation reduces the MARE statistics almost 3% and 10% for the training and testing data sets, respectively. The best estimations obtained from calibration with the maximum temperature, which provided the smallest values of MAE (0.849 and 0.704 mm), MARE (14.76 and 10.56%) and RMSE (1.143 and 0.904 mm) according to training and testing datasets, respectively.

In conclusion, it is observed that the calculated evapotranspiration values using calibrated Hargreaves-Samani equation are close to those calculated by Penman-Monteith equation. The maximum temperatures are observed to be more effective than the other meteorological variables on the evapotranspiration values calculated by the calibrated Hargreaves-Samani equation for crop water requirements in the Mediterranean Region.

Keywords: Reference evapotranspiration, calibration, Penman-Monteith, Hargreaves-Samani.

mühendislik dergisi

