



Programlanabilir lojik kontrolör (PLC) tabanlı iklim istasyonu için bitki su tüketimi hesap yazılımının geliştirilmesi

Development of crop water consumption calculation software for programmable logic controller (PLC) based climate station

Cafer GENÇOĞLAN¹ , Selçuk USTA² , Serpil GENÇOĞLAN¹ , Ekin ŞARLI³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 46040, Kahramanmaraş

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 65090, Van

³Devlet Su İşleri 67. Şube Müdürlüğü, 33430, Mersin

Sorumlu yazar (Corresponding author): S. Usta, e-posta (e-mail): susta@yyu.edu.tr

Yazar(lar) e-posta (Author e-mail): gencoglan@ksu.edu.tr, sgencoglan@ksu.edu.tr, ekin.sarli@gmail.com

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 01 Ağustos 2019
Düzeltilme tarihi 30 Ağustos 2019
Kabul tarihi 05 Eylül 2019

Anahtar Kelimeler:

CODESYS-ST
ET_o
ET_c
İklim istasyonu
Penman monteith

ÖZ

Bu çalışmada; bazı iklim parametrelerini kullanarak FAO 56 Penman Monteith yöntemine göre günlük Referans evapotranspirasyon (ET_o) miktarını hesaplayan, CODESYS-ST programlama dilinde bir iklim istasyonu yazılımının geliştirilmesi, bu yazılım kullanılarak mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin bitki su tüketiminin hesaplanması ve mevcut verilerle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma, Kahramanmaraş ilinde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2018 yılı günlük iklim verileri ile yürütülmüştür. Yazılım, PLC_PRG (PRG) programına ek olarak ET_ohesap (PRG), entegral (PRG) ve iklim_verileri (PRG) alt programlarından oluşturulmuştur. İklim istasyonu yazılımı kullanılarak günlük ET_o değerleri hesaplanmıştır. Bu ET_o değerleri, mısırın bitki büyüme katsayıları (k_c) ile çarpılarak mısırın günlük bitki su tüketimi (ET_c) belirlenmiş ve "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi" ile karşılaştırılmıştır. Yazılımla hesaplanan ET_c değerlerinin Rehberde verilen ET_c değerlerinden olan sapma miktarının bir ifadesi olarak OGMH %8.17, KOKH 0.55 olarak hesaplanmıştır. ET_o ve ET_c değerleri arasındaki ilişki ET_c= 2.1298ET_o-6.2876 (R²= 1) fonksiyonu ile ortaya koyulmuştur. Yazılımın Rehberle uyumlu olduğu, günlük ET_o ve ET_c hesaplamalarında kullanılabiliceği sonucuna varılmıştır.

ARTICLE INFO

Received 01 August 2019
Received in revised form 30 August 2019
Accepted 05 September 2019

Keywords:

CODESYS-ST
ET_o
ET_c
Climate station
Penman monteith

ABSTRACT

In this study; It is aimed to develop a climate station software in CODESYS-ST programming language which calculates daily Reference evapotranspiration (ET_o) amount according to FAO 56 Penman Monteith method by using some climate parameters, calculating crop water consumption of maize (*Zea mays* L.) using this software and comparing with the available data. The study was carried out with daily climate data of Kahramanmaraş Province in 2018 obtained from the General Directorate of Meteorology. The software is composed of ET_oaccount (PRG), integral (PRG) and climate_data (PRG) subprograms in addition to the PLC_PRG (PRG) program. Daily ET_o values were calculated using climate station software. Maize daily water consumption (ET_c) was obtained by multiplying ET_o values with maize crop coefficients (k_c) and compared with values of "Water Consumption Guide of the Irrigated Crops in Turkey". The values of MAPE and RMSE between ET_c values calculated with the software and ET_c values given in Guide were calculated as 8.17% and 0.55. The relationship between ET_o and ET_c values was determined as ET_c= 2.1298ET_o-6.2876 (R²= 1). It was concluded that the results of software was compatible with values of Guide and could be used for daily ET_o and ET_c calculations.

1. Giriş

Ülkemizin büyük bir bölümünün de içerisinde bulunduğu kurak-yarı kurak iklim bölgelerinde bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon), sulama ve su yönetimi konuları büyük bir öneme sahiptir. Küresel ısınmaya bağlı olarak gelişen iklim değişikliği ile su kaynaklarının gün geçtikçe azalması, buna karşın nüfusun ve dolayısıyla su talebinin gün geçtikçe daha da artması mevcut su kaynaklarının tasarruflu kullanılmasını ve geleceğe dönük su yönetimi planlamalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Tarım sektörü %70 oranla ülkemizde su tüketiminin en fazla olduğu sektördür. Bu sektörde su kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde kullanılmasını sağlamanın en doğru yolu, sulama programlaması yapılarak suyun bitkiye ne zaman ve ne miktarda verileceğinin belirlenmesidir. Bu nedenle, tarla koşullarında bitki su tüketimi ile ilgili kesin bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır (Burman ve Pochop 1994; Akpolat 2011).

Bitki su tüketimi lizimetre ile doğrudan ölçülebildiği gibi bitki, toprak ve iklim özelliklerine dayalı olarak çok sayıda ampirik yöntemle tahmin edilebilmektedir. Lizimetrenin ekstra zaman ve işgücü kullanımı gerektirmesi nedeniyle daha çok tahmin yöntemleri tercih edilmektedir. Bu bağlamda en çok kullanılan yaklaşım, önce referans bir bitki (çim) için su tüketimini (ET_0) tahmin etmek, sonra da bu değeri bitki büyüme katsayısı (k_c) ile düzelterek bitki su tüketimini (ET_c) elde etmektir (Doorenbos ve Pruitt 1977). Referans bitki su tüketimi (ET_0) tahmininde kullanılan yöntemlerinin en önemlileri; Penman Monteith, Pan Evaporation, Hargreaves, Kimberly Penman ve Blaney Criddle yöntemleridir. Tarla koşullarında ET_0 miktarını belirlemek amacıyla en çok tercih edilen yöntemin geliştirilmiş FAO 56 Penman Monteith olduğu belirtilmektedir (Çetin ve ark. 2014; Koç ve Güner 2005).

ET_0 miktarını tahmin etmek amacıyla en yaygın kullanılan bilgisayar yazılımları DAILY ET (Hess 1996), DSS_ET (Bandyopadhyay ve ark. 2012), REF_ET (Allen 2015), CROPWAT (FAO 1992), ET_0 CALCULATOR (Raes 2012), IAM_ET₀ (Steduto ve Snyder 1998), ve ET0 (Gocic ve Trajkovic 2010) yazılımlarıdır. Bu yazılımların birçoğunda aylık ortalama iklim verileri kullanılarak, her ay için bir tane ortalama ET_0 değeri belirlenmektedir. Sulama programında ilgili ayın tüm günleri için aynı ortalama ET_0 değeri dikkate alınmaktadır. Oysaki hassas sulama programlarında, her bir güne ait gerçek zamanlı iklim verileri ile hesaplanan günlük ET_0 değerlerinin kullanılması gerekmektedir (Jensen ve ark. 1990). Bu çalışma kapsamında geliştirilen yazılım ile gerçek zamanlı günlük iklim parametreleri iklim istasyonuna ölçtürülebilmekte ve bu parametreler kullanılarak günlük ET_0 miktarları tahmin edilebilmektedir.

Bitki su tüketiminin tahmin edilmesinde, genellikle çok sayıda iklim parametresi içeren karmaşık eşitlikler kullanılmaktadır. Bu eşitliklerde ihtiyaç duyulan iklim parametrelerinin birçoğu ülkemizde sadece şehir merkezlerinde devamlı ve düzenli olarak ölçülebilmektedir. Buna karşın tarımsal üretim faaliyetleri daha çok yerel düzeydeki kırsal alanlarda yürütülmektedir. Yerel düzeyde iklim verilerini ölçmek için portatif iklim istasyonları kullanılabilmektedir. Ancak bu iklim istasyonlarının satış bedelleri üreticilerin satın alma gücünün çok üzerindedir. Bu nedenle, yerli imkânlarla oluşturulacak iklim istasyonlarına ve bunların işletilmesinde kullanılacak yazılımların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, PLC tabanlı bir iklim istasyonunun işletilmesinde kullanılabilecek ve iklim istasyonunun ölçtüğü

iklim parametrelerini kullanarak, FAO 56 Penman Monteith yöntemine göre gerçek zamanlı günlük ET_0 miktarlarını hesaplayabilecek bir iklim istasyonu yazılımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yazılımı test etmek amacıyla "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberinden" faydalanılmıştır (TAGEM 2016). Kahramanmaraş iline ait 2018 yılı günlük iklim verileri kullanılarak yazılımla hesaplanan ET_0 değerleri ile bu değerlere bağlı olarak mısır bitkisi için hesaplanan ET_c değerleri Su Tüketim Rehberiyle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, bitki su tüketiminin büyük bir öneme sahip olduğu kurak-yarı kurak iklim kuşağında yer alan Kahramanmaraş ilinde, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2018 yılı günlük iklim verileri ile yürütülmüştür. Kahramanmaraş ilinin rakımı 600 m olup, 37° 36' kuzey, 36° 55' doğu enlem ve boylamlarında bulunmaktadır. Ortalama hava sıcaklığı 16.9°C, oransal nem değeri %58.34, günlük güneşlenme süresi 6.77 saat gün⁻¹ ve yıllık toplam yağış miktarı 725.4 mm düzeyindedir (DMİ 2018).

PLC kontrollü iklim istasyonuna günlük iklim verilerini ölçtüren ve bu verileri kullanarak günlük ET_0 miktarını hesaplayabilen bir yazılım geliştirmek amacıyla, ilk olarak Eşitlik 1 ile verilen FAO 56 Penman Monteith yöntemi doğrultusunda Şekil 1'de verilen akış diyagramı oluşturulmuştur (ASCE-EWRI 2004; Pereira ve ark. 2015). Akış diyagramına uygun olarak CODESYS-ST programlama dilinde bir yazılım hazırlanmıştır. Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin günlük ET_c miktarlarını belirlemek amacıyla Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (1)$$

$$ET_c = ET_0 \cdot k_c \quad (2)$$

PLC kontrollü iklim istasyonunun sıcaklık (T) ve oransal nemi (R_H) 24 saatlik periyotlar halinde her saat başı, solar radyasyon (R_s) ve 2 m yükseklikteki rüzgâr hızını (U_2) ise her 30 dakikada bir ölçerek diziyeye ve SD karta kaydetmesi öngörülmüştür.

Yazılımın kullanılabilirliği Kahramanmaraş koşullarında yetiştirildiği varsayılan mısır (*Zea mays* L.) bitkisi üzerinde test edilmiştir. Yazılımla hesaplanan günlük ET_0 değerleri, mısırın bitki büyüme katsayıları (k_c) ile çarpılarak, mısırın günlük ET_c değerleri elde edilmiştir. Yazılımla hesaplanan ET_0 ve ET_c değerleri, "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberinde" Kahramanmaraş için verilen ET_0 ve ET_c değerleri ile karşılaştırılmıştır (TAGEM 2016). Rehberde belirtilen bitki su tüketimi değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Mısırın ekim tarihi 1 Nisan, hasat tarihi ise 6 Eylül olarak dikkate alınmıştır. Vejetasyon dönemi boyunca k_c katsayısının değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir (TAGEM 2016).

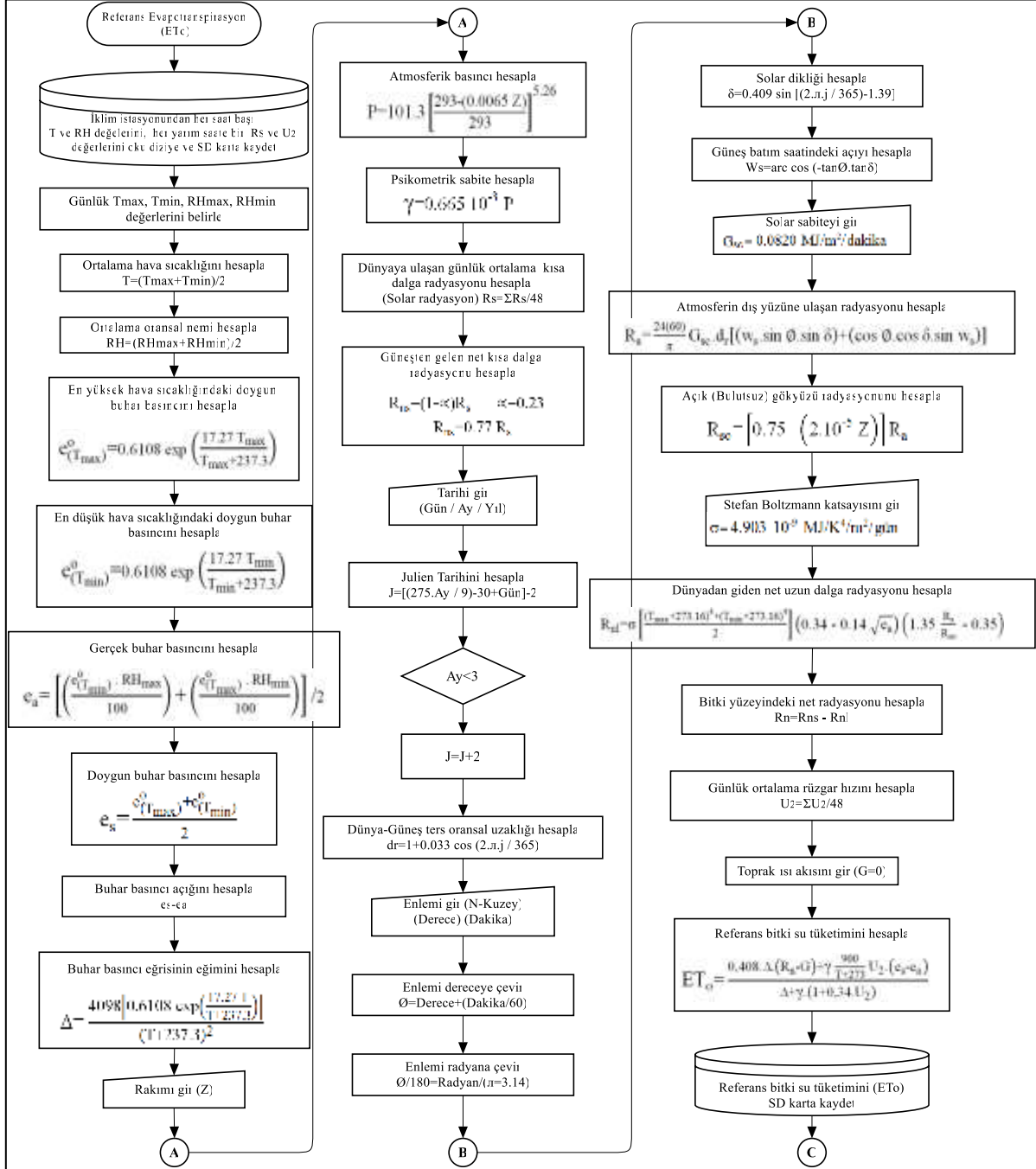
İklim istasyonu yazılımı ile hesaplanan $ET_{0_yazılım}$ ve $ET_{c_yazılım}$ değerlerinin Rehberde verilen ET_{0_rehber} ve ET_{c_rehber} değerlerinden olan sapmasının bir ifadesi olarak; mutlak hata (MH), ortalama mutlak hata (OMH), ortalama mutlak göreceli hata oranı (OMGH) ve karekök ortalama karesel hata miktarı (KOKH) dikkate alınmıştır. Bu hata miktarları Eşitlik 3, 4, 5 ve 6 kullanılarak belirlenmiştir (Ünver ve Gamgam 1999).

$$MH = |ET_{o_rehber} - ET_{o_yazılım}| \quad (3)$$

$$OMGH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|ET_{o_rehber} - ET_{o_yazılım}|}{ET_{o_rehber}} 100 \right) \quad (5)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ET_{o_rehber} - ET_{o_yazılım}| \quad (4)$$

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|ET_{o_rehber} - ET_{o_yazılım}|)^2} \quad (6)$$



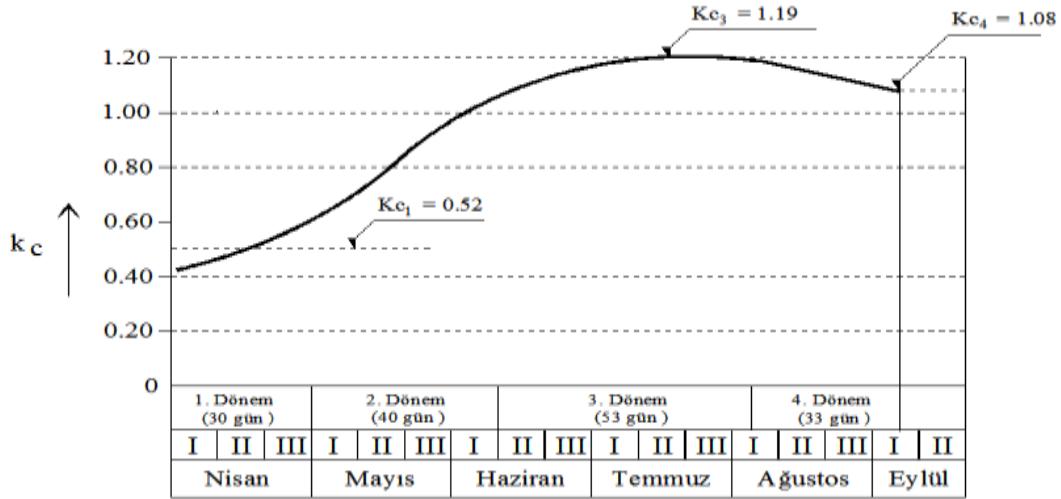
Şekil 1. İklim istasyonu yazılımı için oluşturulan akış diyagramı.

Figure 1. Flow chart for climate station software.

Çizelge 1. Kahramanmaraş için su tüketim rehberinde verilen referans evapotranspirasyon (ET_o) ve evapotranspirasyon (ET_c) değerleri.

Table 1. Reference evapotranspiration (ET_o) and evapotranspiration (ET_c) values given in the guide for Kahramanmaraş.

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Referans evapotranspirasyon (mm gün ⁻¹)	1.41	1.97	3.22	4.84	5.83	7.44	8.06	7.72	6.42	3.96	1.87	1.21
Evapotranspirasyon (mm gün ⁻¹)	-	-	-	1.74	3.90	7.45	8.52	6.60	-	-	-	-



Şekil 2. Kahramanmaraş koşullarında mısır bitkisinin k_c eğrisi.

Figure 2. k_c curve of maize under the Kahramanmaraş conditions.

$ET_{o_yazılım}$ ve $ET_{c_yazılım}$ değerlerinin doğruluk düzeylerini belirlemek amacıyla üç farklı kriter dikkate alınmıştır. Birinci kritere göre; OMGH değerleri %10'un altında ise yazılım "çok iyi", %10 ile %20 arasında ise "iyi", %20 ile %50 arasında ise "kabul edilebilir" ve %50'nin üzerinde ise "yanlış ve hatalı" olarak değerlendirilmiştir (Lewis 1982). İkinci kritere göre; OMGH değerleri %10'un altında ise yazılım "yüksek doğruluk" derecesinde, %10 ile %20 arasında ise "doğru" olarak değerlendirilmiştir (Witt ve Witt 1992). Üçüncü kritere göre ise; KOKH değerleri dikkate alınmıştır. Bu değerlerin sifıra yakınlığı, yazılımla hesaplanan $ET_{o_yazılım}$ ve $ET_{c_yazılım}$ değerlerinin kıstas olarak dikkate alınan ET_{o_rehber} ve ET_{c_rehber} değerlerine olan yakınlığını ifade etmektedir. KOKH değerleri ne kadar sifıra yakın ise yazılımın doğruluk düzeyi o kadar yüksek olmaktadır (Willmott 1982).

3. Bulgular ve Tartışma

Günlük hava sıcaklığı, oransal nem, solar radyasyon ve rüzgâr hızı parametrelerini iklim istasyonuna ölçtüren, bu parametreleri kullanarak günlük ET_o miktarını hesaplayan bir iklim istasyonu yazılımı hazırlanmıştır. Program Organizasyon Birimi (POU) altında PLC_PRG (PRG) ana programına ek olarak iklim_verileri (PRG), ET_o _hesap (PRG), entegral (PRG) alt programları ve write_sd_card (FB) fonksiyon bloğu yazılmıştır. İklim_verileri (PRG) programı altına tarih_donusum isimli bir aksiyon (action) tanımlanmıştır. WORD değişkeni olarak tanımlanan yıl (act_yıl), BYTE değişkeni olarak tanımlanan ay (act_mounth), gün (act_day), saat (act_hour), dakika (act_min) ve INT değişkeni olarak tanımlanan minimum sıcaklık (Min_Sic_S) ile maksimum sıcaklık (Max_Sic_S) bu aksiyon içerisinde STRING değişkenlere dönüştürülmüştür. Programların yerel (var) değişkenleri kendi içerisinde tanımlanmıştır.

Yazılım kapsamında hazırlanan iklim_verileri (PRG) ve entegral (PRG) programları sırasıyla Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilmiştir. Öncelikle iklim_verileri (PRG) programına ait yerel (var) değişkenleri tanımlanmıştır. Daha sonra CASE step OF komutu kullanılarak iklim istasyonunun iklim parametrelerini ölçmesi sağlanmış ve bu verilere bağlı olarak günlük ET_o hesaplatılmıştır. CASE deyiminin ii değişkeni 0 ile 40 arasında değişmiştir. ii=0 başlangıç aşamasında R_TRIG iklim_veri tetikleyicisi kullanılarak; hava sıcaklığı ve oransal nem

parametrelerinin saatlik olarak ölçüleceği öngörülmüştür. Sensörün her saatin 59.dakikasının 10.saniyesinde çıkış vermesi planlanmıştır. Sensör çıkış verdiğinde CASE deyimii ii= 10 adımına yönlendirilmiştir. Bu adımda tarih_donusum isimli aksiyon (action) kullanılarak ölçüm tarihi STRING değişkene dönüştürülmüş ve hava sıcaklığı verisine "Sicaklik", oransal nem verisine "Oran_Nem" değişkeni atanmıştır. R_TRIG_oku tetikleyicisi kullanılarak, saatlik ölçülen hava sıcaklığı ve oransal nem verileri günün 23. saatinin 59. dakikasının 58. saniyesinde büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. CASE deyimii, ii= 20 adımına yönlendirilerek ortalama hava sıcaklığı (Ort_T) ve ortalama oransal nem Ort_RH değerleri hesaplanmıştır. iklim_verileri (PRG) alt programının devamı olarak hazırlanan ET_o _hesap (PRG) alt programı ile günlük ET_o miktarı belirlenmiştir. Tüm veriler sıfırlanarak CASE deyimii ii= 30 adımına yönlendirilmiştir. Bu adımda gün, ay, yıl, maksimum hava sıcaklığı ve minimum hava sıcaklığı string değerleri aralarına noktalı virgül koyularak, tarih_donusum isimli aksiyon vasıtasıyla birleştirilmiş ve CASE deyimii ii= 40 adımına yönlendirilmiştir. Bu adımda veriler write_sd_card (FB) fonksiyon blok yazılımı yardımıyla SD karta kaydedilmiş ve CASE deyimii ii= 0 adımına yönlendirilmiştir. Günlük toplam solar radyasyon (INTEGRAL_Rs) ve günlük toplam rüzgâr hızı değerlerini (INTEGRAL_Ruz_Hiz) ölçmek amacıyla entegral (PRG) alt programı hazırlanmıştır.

Geliştirilen iklim istasyonu yazılımı ve 2018 yılı günlük iklim verileri kullanılarak, mısır bitkisinin vejetasyon dönemi (Nisan-Ağustos) boyunca günlük ET_o ve ET_c miktarları belirlenmiştir. Elde edilen ET_o ve ET_c değerleri ile iklim verilerinin aylık ortalama değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Yazılımla hesaplanan günlük ET_o ve ET_c değerleri, Su Tüketim Rehberinde Kahramanmaraş için verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. ET_o ve ET_c değerlerinin aylık değişimleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Yazılımla hesaplanan ET_o değerlerinin Rehberde verilen ET_o değerlerinden olan sapmasının bir ifadesi olarak; OMH 1.30 mm gün⁻¹, OMGH oranı %19.28 ve KOKH değeri 1.19 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. ET_c değerleri için yapılan karşılaştırmaya göre ise OMH 0.48 mm gün⁻¹, OMGH oranı %8.17 ve KOKH değeri 0.55 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Mısırın mevsimlik su tüketimi yazılımla 854.55 mm, Rehber verilerine göre ise 856 mm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. İklim_verileri (PRG) alt programı.**Table 2.** Climate_data (PRG) sub program.

Değişken tanımlama	
VAR	
(*Saatlik iklim verilerini okuma tetikleyicisi*) R_TRIG_iklim_veri: R_TRIG; (*Günlük iklim verilerini sıralama tetikleyicisi*) R_TRIG_oku: R_TRIG; step:BYTE; (*CASE deyimi adım değişkeni*) Ort_T: INT; (*Günlük ortalama hava sıcaklığı*) Ort_RH: INT; (*Günlük ortalama oransal nem*) p: BYTE:=0; t: BYTE:=0; (*Dizin değişkenleri*) yedek: INT; (*Yedeklenen veri*) WriteData : write_sd_card; (*SD karta yazdırılan veri*) DataToSend: STRING(30); (*SD karta gönderilen veri*) act_year: STRING(4); (*Yıl*) act_month: STRING(2); (*Ay*) act_day: STRING(2); (*Gün*) act_hour: STRING(2); (*Saat*) act_min: STRING(2); (*Dakika*) Min_Sic_S: STRING(4); (*Min. hava sıcaklığı*) Max_Sic_S: STRING(4); (*Max. hava sıcaklığı*) (*İklim verilerinin yazıldığı dosyanın ismi*) FileName_write: STRING(80); es: REAL; (*Doğgun buhar basıncı*) ea: REAL; (*Gerçek buhar basıncı*) esmin: REAL; (*Min. sıcaklıktaki buhar basıncı*)	esmax: REAL; (*Max. sıcaklıktaki buhar basıncı*) D: REAL; (*Buhar basıncı eğrisinin eğimi*) VPD: REAL; (*Buhar basıncı açığı*) enlem: REAL:=37.60; (*Enlem*) fi: REAL; (*Enlemin radyan cinsinden değeri*) J: INT; (*Julien tarihi*) dr: REAL; (*Dünya-güneş ters oransal uzaklık*) tau: REAL; (*Solar diklik*) ws: REAL; (*Güneş batım saatindeki açı*) RS: REAL; (*Solar radyasyon*) Ra: REAL; (*Extraterrestrial radyasyon*) Gsc: REAL:=0.0820; (*Solar sabite*) Rso: REAL; (*Bulutsuz gökyüzü radyasyonu*) alfa: REAL:=0.23; (*Albedo*) z: REAL:=600; (*Rakım*) Rns: REAL; (*Güneşten gelen net kısa dalga radyasyon*) Rnl: REAL; (*Yerküreden giden net uzun dalga radyasyon*) Rn: REAL; (*Bitki yüzeyindeki net radyasyon*) G: REAL:=0; (*Topraktaki ısı akısı*) Psb: REAL; (*Pisikometrik sabite*) u2: REAL; (*2m yükseklikteki rüzgâr hızı*) Pa: REAL; (*Atmosferik basınç*) ETo: REAL; (*Referans evapotranspirasyon*)
END_VAR	
VAR CONSTANT	
CRLF: STRING := '\$R\$N'; (* New line *) SEMIKOLON : STRING(1) := ',';	
END_VAR	
CODESYS-ST kodlama	
CASE step OF 0: (*İklim verileri her saat başı diziyeye yazılır*) R_TRIG_iklim_veri(CLK:=(saat.MIN_ACT=59 AND saat.SEC_ACT=10) , Q=>); IF R_TRIG_iklim_veri.Q THEN step:=10; END_IF R_TRIG_oku(CLK:=(saat.HOUR_ACT=23 AND saat.MIN_ACT=59 AND saat.SEC_ACT=58) , Q=>); IF R_TRIG_oku.Q THEN step:=20; END_IF 10: (*Saatlik iklim verilerini diziyeye atıyor*) tarih_donusum; ET0_1[J].T[saat.HOUR_ACT]:=Siclik; ET0_1[J].RH[saat.HOUR_ACT]:=Oran_Nem; step:=0; 20: (*24 saatlik iklim verilerini sıralıyor*) tarih_donusum; FOR p:=0 TO 23 BY 1 DO ET0_1[J].YedekDiziT[p]:=ET0_1[J].T[p]; ET0_1[J].YedekDiziRH[p]:=ET0_1[J].RH[p]; END_FOR	(*)24 saatlik sıcaklık değerlerini sıralıyor*) FOR p:=0 TO 23 BY 1 DO FOR t:=0 TO 23 BY 1 DO IF ET0_1[J].YedekDiziT[p]<ET0_1[J].YedekDiziT[t] THEN yedek:=ET0_1[J].YedekDiziT[t]; ET0_1[J].YedekDiziT[p]:=ET0_1[J].YedekDiziT[t]; ET0_1[J].YedekDiziT[p]:=yedek; END_IF END_FOR yedek:=0; (*)24 saatlik oransal nem değerlerini sıralıyor*) FOR p:=0 TO 23 BY 1 DO FOR t:=0 TO 23 BY 1 DO IF ET0_1[J].YedekDiziRH[p]<ET0_1[J].YedekDiziRH[t] THEN yedek:=ET0_1[J].YedekDiziRH[t]; ET0_1[J].YedekDiziRH[p]:=ET0_1[J].YedekDiziRH[t]; ET0_1[J].YedekDiziRH[p]:=yedek; END_IF END_FOR END_FOR
Ort_T:=(ET0_1[J].YedekDiziT[0]+ET0_1[J].YedekDiziT[23])/2; Ort_RH:=(ET0_1[J].YedekDiziRH[0]+ET0_1[J].YedekDiziRH[23])/2; esmin:=0.6108*EXP((17.27*ET0_1[J].YedekDiziT[0])/(ET0_1[J].YedekDiziT[0]+237.3)); esmax:=0.6108*EXP((17.27*ET0_1[J].YedekDiziT[23])/(ET0_1[J].YedekDiziT[23]+237.3)); es:=(esmin+esmax)/2; D:=4098*(0.6108*EXP((17.27*Ort_T)/(Ort_T+237.3)))/(EXPT((Ort_T+237.3),2)); ea:=(esmin*ET0_1[J].YedekDiziRH[23]/100)+(esmax*ET0_1[J].YedekDiziRH[0]/100)/2;	(*)
VPD:=es-ea; fi:=3.14*enlem/180; dr:=1+0.033*COS(2*3.14*J/365); tau:=0.409*SIN(2*3.14*J/365-1.39);	ws:=ACOS(-TAN(fi)*TAN(tau)); RS:=0.0864*INTEGRAL_Rs.OUT/48;
Ra:=(24*(60)/3.14)*Gsc*dr*(ws*SIN(fi)*SIN(tau)+COS(fi)*COS(tau)*SIN(ws));	(*)
Rso:=(0.75+0.0002*z)*Ra;	Rns:=(1-alfa)*RS;
Rnl:=0.00000004903*((EXPT((273.16+ET0_1[J].YedekDiziT[23]),4)+EXPT((273.16+ ET0_1[J].YedekDiziT[0]),4))/2)*(0.34-0.14*SQRT(ea))*(1.35*RS/Rso-0.35);	(*)

Çizelge 2 (devamı). İklim_verileri (PRG) alt programı.

Table 2 (continued). Climate_data (PRG) sub program.

Rn:=Rns-Rnl; Pa:=101.3*EXPT((293-0.0065*z)/293.5.26);	⑩	Psb:=0.000665*Pa; u2:=INTEGRAL_Ruz_Hiz.OUT/48;	⑪
ETo:=(0.408*D*(Rn-G)+(Psb*900*u2/(Ort_T+273))*(es-ea))/(D+Psb*(1+0.34*u2));			⑫
reset1:=TRUE; step:=30; 30: (*Verileri SD karta gönderiyor*) reset1:=FALSE; tarih_donusum; DataToSend := CONCAT(act_day, '-'); DataToSend := CONCAT(DataToSend, act_month); DataToSend := CONCAT(DataToSend, '-'); DataToSend := CONCAT(DataToSend, act_year);	⑬	DataToSend := CONCAT(DataToSend, SEMIKOLON); DataToSend := CONCAT(DataToSend, Min_Sic_S); DataToSend := CONCAT(DataToSend, SEMIKOLON); DataToSend := CONCAT(DataToSend, Max_Sic_S); DataToSend := CONCAT(DataToSend, SEMIKOLON); DataToSend := CONCAT(DataToSend, GDG_S); DataToSend := CONCAT(DataToSend, CRLF); fileName_write:='sdcard/Min_Max.csv'; step := 40;	⑭
40: (*Verileri SD karta yazdırıyor*) WriteData(enable:=TRUE, sFileName:=fileName_write, strData:= DataToSend);			⑮
IF WriteData.done AND NOT WriteData.error THEN WriteData(enable:= FALSE); DataToSend:=''; step:=0;	⑯	ELSE step:=40; END_IF END_CASE	⑰

Çizelge 3. Entegral (PRG) alt programı.

Table 3. Integral (PRG) sub program.

CODESYS-ST kodlama			
saat(EN := TRUE); IF saat.HOUR_ACT>=0 AND saat.HOUR_ACT<=23 AND saat.MIN_ACT>=0 AND saat.MIN_ACT<=30 AND saat.SEC_ACT>=0 AND saat.SEC_ACT<=56 THEN			①
INTEGRAL_Rs(IN:=Solar_R , TM:=1000 , RESET:=reset1 , OUT=> , OVERFLOW=>);	②	INTEGRAL_Ruz_Hiz(IN:=RuzgarHiz, TM:=1000 , RESET:=reset1 , OUT=> , OVERFLOW=>);	③
END_IF			④

Çizelge 4. Referans evapotranspirasyon (ET_o), evapotranspirasyon (ET_c) ve iklim verilerinin aylık ortalamaları.

Table 4. Monthly average of reference evapotranspiration (ET_o), evapotranspiration (ET_c) and climate data.

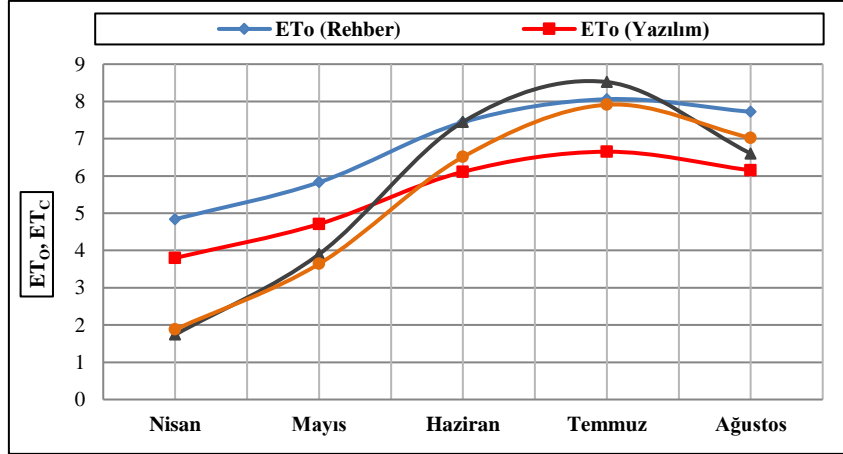
Aylar	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
Hava sıcaklığı (°C)	18.77	22.22	26.16	29.40	30.07
Oransal nem (%)	45.90	51.42	47.50	43.95	41.37
2 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m s ⁻¹)	1.03	1.12	1.56	1.73	1.55
Solar radyasyon (MJ m ⁻² gün ⁻¹)	17.90	21.30	24.70	24.40	22.70
Referans evapotranspirasyon (mm gün ⁻¹)	3.80	4.71	6.11	6.65	6.15
Bitki büyüme katsayısı	0.50	0.77	1.07	1.19	1.14
Evapotranspirasyon (mm gün ⁻¹)	1.88	3.64	6.51	7.91	7.02

Yazılımla hesaplanan ET_o değerleri için elde edilen OMGH değeri (%19.28) dikkate alınarak birinci kritere göre; yazılımın "iyi", ikinci kritere göre ise "doğru" sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. ET_c değerleri için elde edilen OMGH değeri (%8.17) dikkate alınarak birinci kritere göre; yazılımın "çok iyi" sınıfında yer aldığı, ikinci kritere göre ise "yüksek doğruluk" derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Üçüncü kritere göre ise, KOKH değerlerinin (1.19-0.55) sifra yakınlık dereceleri dikkate alındığında yazılımın doğruluk düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir.

Rehberde, ET_o değerleri iklim verilerinin aylık uzun yıllar ortalamaları kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ise 2018 yılı günlük iklim verileri ile belirlenmiştir. Tek yıllık iklim verileri uzun yıllar ortalaması iklim verilerine göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle, yazılımla hesaplanan ET_o değerleri için belirlenen hata miktarları, ET_c değerleri için belirlenen hata miktarlarından daha büyük elde edilmiştir.

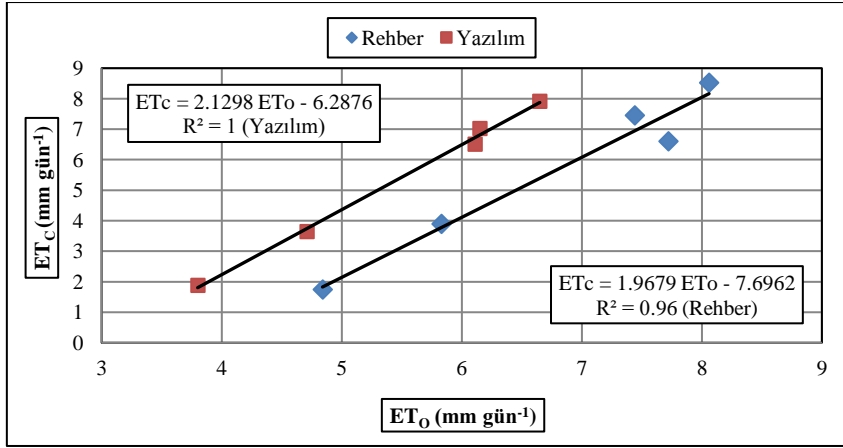
Yazılımla hesaplanan ET_c değerlerindeki değişimin %100'ü (R²= 1) yazılımla hesaplanan ET_o değerleri ile açıklanabilmektedir. Rehberden alınan ET_c değerlerindeki değişimin ise %96'sı (R²= 0.96) Rehberdeki ET_o değerleri ile açıklanabilmektedir. Yazılımla hesaplanan değerlerin ilişki düzeyi daha yüksek elde edilmiştir (Şekil 4).

Yazılımla Kahramanmaraş koşullarında mısırın mevsimlik su tüketimi 854.55 mm olarak elde edilmiştir. Benzer iklim koşullarına sahip bazı yörelerde mısır için yürütülen çalışmalarda elde edilen mevsimlik su tüketimi değerleri; Uçak ve ark. (2010), tarafından 2008-2009 yılları arasında Adana koşullarında 771.2 mm; Kırnak ve ark. (2003), tarafından 1999-2000 yılları arasında Harran Ovası koşullarında 1320 mm; Gençoğlan ve Yazar (1996), tarafından Çukurova koşullarında 999 mm olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen mevsimlik su tüketimi miktarı ile söz konusu araştırmacıların elde ettikleri değerler arasında paralellik bulunmaktadır.



Şekil 3. ET₀ ve ET_c değerlerinin aylık değişim grafikleri.

Figure 3. Monthly graphs of ET₀ and ET_c values.



Şekil 4. ET_c ve ET₀ değerleri arasındaki istatistikî ilişki düzeyi.

Figure 4. Statistical relationship between ET_c and ET₀ values.

4. Sonuç

Bu çalışmada; günlük ET₀ hesabında ihtiyaç duyulan iklim parametrelerin ölçülmesinde kullanılacak PLC tabanlı iklim istasyonunun kontrol edilmesini sağlayan ve bu iklim istasyonunun ölçtüğü iklim verilerini kullanarak FAO 56 Penman Monteith yöntemine göre ET₀ miktarını hesaplayan bir iklim istasyonu yazılımı geliştirilmiştir.

Kahramanmaraş koşullarında yazılımla hesaplanan ET₀ değerlerinin, "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberinde" verilen değerlerden olan sapma miktarının bir ifadesi olarak, OMGH %19.28 ve KOKH 1.19 olarak belirlenmiştir. Mısır için yazılımla hesaplanan ET_c değerlerinin, Rehberde verilen değerlerden olan sapma miktarının bir ifadesi olarak, OMGH %8.17 ve KOKH 0.55 olarak belirlenmiştir.

Yazılımla hesaplanan ET₀ ve ET_c değerleri arasındaki uyum %100 (R²= 1), Su Tüketim Rehberinde Kahramanmaraş için verilen ET₀ ve ET_c değerleri arasındaki uyum ise %96 (R²= 0.96) olarak belirlenmiştir. Yazılımın genel olarak Rehberle uyumlu olduğu, günlük ET₀ ve ET_c tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Akpolat A (2011) Mikrometeorolojik ve lizimetre yöntemleriyle belirlenen buğday bitki su tüketimlerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Allen RG (2015) REF-ET: Reference Evapotranspiration Calculation Software for FAO and ASCE Standardized Equations. User Manuel, University of Idaho.
- TAGEM (2016) Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- ASCE-EWRI (2004) The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee Report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, USA.
- Bandyopadhyay A, Bhadra A, Swarnakar RK, Raghuwanshi NS, Singh R (2012) Estimation of reference ET₀ using a user-friendly decision support system: DSS_ET. Agricultural and Forest Meteorology 154-155: 19-29.
- Burman RD, Pochop LO (1994) Evaporation, evapotranspiration and climatic data. Development in Atmospheric Science, Elsevier, The Netherlands 22: 278.

- Çetin Ö, Köksal ES, Yıldırım YE, Özyayın KA (2014) Türkiye’de su tüketim rehberi çalışmaları kapsamında bitki su tüketimi ve bitki katsayılarının elde edilmesi. 12. Kültürteknik Sempozyumu Cilt 2, Tekirdağ, s. 40-45.
- DMİ (2018) Kahramanmaraş İli 1930-2018 yılları arası aylık ortalama iklim verileri ve 2018 yılı günlük iklim verileri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- Doorenbos J, Pruitt WO (1977) Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, Rome.
- FAO (1992) CROPWAT-A Computer Program for Irrigation Planning and Management, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46, Rome.
- Gençoğlan C, Yazar A (1996) Kısıntılı su uygulamalarının mısır verimine ve su kullanım randımanına etkileri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 23(1999): 233-241.
- Gocic M, Trajkovic S (2010) Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather Data. Computers and Electronics in Agriculture 71: 158-162.
- Hess TM (1996) Potential Evapotranspiration [DAILY ET]. Silsoe College, UK.
- Jensen ME, Burman RD, Allen RG (1990) Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Eng. Practice No: 70, ASCE, USA.
- Kırnak H, Gençoğlan C, Deđirmenci H (2003) Harran Ovası koşullarında kısıntılı sulamanın II. ürün mısır verimine ve bitki gelişimine etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 34(2): 117-123.
- Koç AC, Güner Ü (2005) Mevcut sulama projelerinin FAO kriterleriyle yeniden değerlendirilmesi: Tavas Ovası örneği. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9: 93-106.
- Lewis Colin D (1982) Industrial and Business Forecasting Methods. Butterworths Publishing, London.
- Pereira LS, Allen RG, Smith M, Raes DA (2015) Crop evapotranspiration estimation with FAO 56: Past and future. Agricultural Water Management 147: 4-20.
- Raes D (2012) Reference Manual-ET_c Calculator. Food and Agriculture Organization of the United Nations Land and Water Division, Paper 37.
- Steduto P, Snyder RL (1998) IAM_ET_c software program and user's guide. Options Méditerranéennes: Série B Etudes et Recherches 20: 1-64.
- Uçak AB, Deđirmenci H, Gençoğlan C, Uçan K, Aykanat S, Karaca ÖF (2010) Mısır bitkisinde farklı gelişme dönemlerinde su stresinin verime etkisi. I. Ulusal Tarımsal Yapılar ve Sulama Sempozyumu Cilt 2, Kahramanmaraş, s. 777-789.
- Ünver Ö, Gangam H (1999) Uygulamalı İstatistik Yöntemler. Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Willmott CJ (1982) Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society 63: 1309-1313.
- Witt SF, Witt CA (1992) Modeling and Forecasting Demand in Tourism. Academic Press, London.