

Menemen Ovasında Referans Bitki Su İhtiyacı ve Ölçülen Solar Radyasyonun Zamansal Değişimi

Eser BORA¹ Mine TEKELİ² Merve ETÖZ¹

¹ **Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi, Menemen - İzmir / TURKEY**

² **Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara / TURKEY**

ÖZ: İklim değişikliğinin etkisiyle ortalama sıcaklıkların artması ve yağışların azalması beklenen ülkemizde, su kaynaklarındaki kısıtlamanın da artacağı öngörüsüyle, referans bitki su tüketimi ve bitki gelişimine doğrudan etkisi olan solar radyasyonun belirlenmesi ve zamansal değişiminin incelenmesi önem arz etmektedir. Çalışmada yarı kurak iklim özelliğine sahip Menemen Ovasında, günlük referans bitki su tüketimi ve solar radyasyonun zamansal değişimi incelenmiştir. Çalışma, 1965-2014 yıllarını kapsamaktadır. Bir çalışma yılı mevsimsel ve aylık olarak beş döneme (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar ve aylık) ayrılmıştır. Beş döneme ayrılan mevsimsel ve aylık referans bitki su tüketimi değerleri FAO Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanmıştır. Zamansal değişimleri, parametrik olmayan Mann-Kendall ve Mann-Whitney U test istatistikleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak referans bitki su tüketimi değerlerinde kış aylarında azalan, yaz aylarında artan trend olduğu diğer dönemlerde ise belirgin bir trend olmadığı serilerin durağan olduğu görülmüştür. Solar radyasyon değerlerinde ise, mevsimsel ve aylık bütün dönemlerde trendin artış yönündedir. Mevcut 50 yıllık gözlem değerleri, 1965-1990;1991-2014 yılları arasında anlamlı 25'er yıl olarak 2 gruba ayrılmış olup gruplar arasındaki ortalama ve standart sapmalarındaki değişim araştırılmıştır. Araştırma sonucunda solar radyasyon değerlerinin bütün dönemlerinde ortalama ve standart sapmalarının durağan olmadığı, referans bitki su tüketiminde ise yaz ve kış mevsimleri durağan olmayıp diğer dönemlerin durağan olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: FAO Penman-Monteith, referans bitki su tüketimi, solar radyasyon, Mann-Kendall, Mann-Whitney U.

Temporal Variations of Reference Evapotranspiration and Measured Solar Radiation in the Menemen Plain

ABSTRACT: Average temperature increase and rainfall decrease caused by the climate change is expected in Turkey. Determining solar radiation effect on plant growth and reference evapotranspiration and its temporal variations important. In this study, the daily reference evapotranspiration and temporal changes of solar radiation are researched in semi-arid Menemen Plain. The study covering the period between 1965 and 2014, divides every study year into five seasonal and monthly periods, (k1, k2, k3, and k5). Seasonal and monthly reference evapotranspiration values divided into five periods were calculated by FAO Penman-Monteith method. Temporal changes are analyzed with nonparametric Mann-Kendall and Mann-Whitney U test statistics. Consequently, It has been observed that the reference evapotranspiration values decrease in winter months, whereas increase in summer months and stable in other periods. It has been observed that the solar radiation values have an upward trend in seasonal and monthly periods. The present value of 50 years of observations are divided into two groups of 25 years as 1965-1989 and 1990-2014. Mean and standard deviation changes in the significant groups have been studied. The research concluded that the solar radiation have fluctuations in the mean and standard deviation in whole periods. Also the reference evapotranspiration has fluctuations in summer and winter periods, yet stable in the other periods.

Keywords: FAO Penman-Monteith, reference evapotranspiration, solar radiation, Mann-Kendall, Mann-Whitney U.

Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Eser BORA E-mail: eserbora85@gmail.com

GİRİŞ

Evapotranspirasyon, hem iklimsel hem de hidrolojik döngünün önemli bir bileşeni olup tarımsal, ekolojik ve hidrolojik alanlarda oldukça etken bir parametre olup atmosfere gelen solar radyasyonun yaklaşık beşte üçünü kullanır (Wang ve Dickinson, 2012), (Wild ve ark., 2013). Evapotranspirasyon enerji dengesine ek olarak su döngüsü için de önemlidir. Çünkü yeryüzüne düşen yağışın yaklaşık üçte ikisinden sorumludur (Baumgarter ve Reichel, 1975). Evapotranspirasyon, potansiyel evapotranspirasyon ve gerçek evapotranspirasyon olarak iki kısma ayrılır. Gerçek evapotranspirasyon; mevcut su, bitki türü, iklim, fizyolojik mekanizma gibi gerçek koşullar altında yüzeyden oluşan buharlaşmanın atmosfere su buharı olarak transfer edilen suyun miktarıdır. Potansiyel evapotranspirasyon, toprağı tam olarak örten üniform yükseklikte, kısa, yeşil ve hiçbir zaman su stresi bulunmayan bitkinin birim zamandaki su tüketimi olarak tanımlanmaktadır. Referans evapotranspirasyon ise referans olarak alınan bitkinin potansiyel evapotranspirasyonudur. (Allen ve ark., 1998). Referans evapotranspirasyon uzun dönem atmosferik buharlaşma talep trendinin belirlenmesinde uygun bir parametredir (Katerji ve Rana, 2011). Gerçek bitki su tüketimi ölçüm sistemleri (lizimetre) gerek iş gücü gerekse de maliyet açısından birtakım sıkıntılar oluşturduğundan birçok bölgede hesaplanamamaktadır. Gerçek bitki su tüketimi ölçümü yapılan bölgelerde ise de genellikle projeler kapsamında bitki katsayısının (kc) belirlenmesi amacıyla elde edilmiş kısa süreli veriler mevcuttur. Dolayısıyla uzun süreli atmosferik buharlaşma talep trendinin incelenmesinde referans bitki su tüketim değerleriyle araştırma yapılmaktadır. Meteorolojik etkenlerin değişkenliği, referans bitki su tüketiminin zamansal değişimini belirler (Vicente-Serrano ve ark., 2014).

Referans bitki su tüketimi ayrıca sulama programlarının hazırlanmasında en önemli parametre olan bitki katsayısı (kc) değerlerinin belirlenmesi için oldukça önemlidir. Sulama programlarının hazırlanması amacıyla hesaplanan gerçek bitki su tüketimi değerleri, incelenen

bölgede referans bitki su tüketimi değerleri olmadan anlam teşkil etmez. Çünkü bitki katsayısı (kc) değerleri, bitki evapotranspirasyonu ile referans evapotranspirasyon değerlerinin oransal eşitliği ile elde edilir. Bitki katsayısı değerleri, gerçek bitki su tüketimi ölçüm sistemleri her bölgede mevcut olmadığından, bitkinin bulunduğu meteorolojik parametreler ve fenolojik gözlem raporu kullanılarak FAO 56'da belirlenen çeşitli eşitliklere göre hesaplanabilir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için de uzun yıllar ortalama minimum nem değerinin %45 ve uzun yıllar ortalama rüzgar hızı değerleri 2 m/s olması beklenir (Allen ve ark., 1998). Mevcut verilerin belirlenen ortalama değerlerin altında ve üstünde olması kc hesabının güvenilirliğinin değişmesine neden olur. Her ne kadar ortalama değerler istenilen şartları sağlasa da, bitki katsayısı değerleri için gerçek bitki su tüketimi hesaplanmadan çok sağlıklı sonuçlar elde edilemez.

Referans bitki su tüketim trendinin belirlenmesi kuraklık çalışmaları için de gereklidir. Son zamanlarda kuraklık üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan bazı indeksler referans bitki su tüketimi değerleriyle elde edilmektedir. UNESCO kuraklık indeksi, Thornthwaite kuraklık indeksi, Reconnaissance kuraklık indeksi, referans bitki su tüketimine bağlı sonuç veren kuraklık indekslerinin bazılarıdır (Allen ve ark., 1998), (Ahani ve ark., 2012). Referans evapotranspirasyon değişkenliğine etki eden faktörler; sıcaklık, nem, rüzgar ve radyasyon olarak nitelendirilir.

Bitki gelişimine etkisinde önemli bir parametre olan solar radyasyon değeri, referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Referans bitki su tüketimi hesaplarında toplam güneş radyasyonu; evaporasyon, evapotranspirasyon, toprak ısı akıları ve fotosentez gibi önemli olayları kontrol eden en önemli bileşenlerden biridir (Rosenberg ve ark., 1983). IPCC 5. Değerlendirme raporunda oluşturulan senaryo gruplarının iklim değişikliğinin incelenmesinde güncel bir yaklaşım olan radyasyon değerlerine bağlı oluşturulması, Temsili Konsatrasyon Rotaları (RCP) ile yeni iklim

değişikliği senaryolarında radyo aktif zorlama seviyelerine göre meteorolojik parametrelerin olası değişkenlikleri belirlenmiştir. Yeni iklim değişikliği senaryo gruplarının radyo aktif zorlama seviyelerine göre belirlenmesi ise solar radyasyon değerlerinin zamansal trendinin araştırılmasında etken bir unsurdur (Anonymous, 2013). Yapılan bazı çalışmalarda, Brazilyanın Kuzeydoğu Bölgesinde yapılan bir araştırmada 1948-2009 yılları arasında solar radyasyonun trend analizi incelenmiştir. Araştırma sonucunda solar radyasyonun azalış trendinde olduğu belirtilmiştir (Silva ve ark., 2010). İspanya da yapılan başka bir çalışmada 1985-2010 yılları arasında global ve difüz radyasyonun zamansal değişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda global radyasyon değerleri oldukça yüksek bir artış gözlemlenmiş olup difüz radyasyonda ise 1991 ve 1992 yıllarındaki volkanik patlamanın etkisiyle artış meydana gelmiştir. 1991-1992 yılları dışındaki zamanlarda difüz radyasyon trendinde azalma görülmüştür (A. Sanchez-Lorenzo ve ark., 2013).

Akdeniz bölgesinde yapılan birçok çalışmada mekânsal ve geçici yağış değişkenliğinden dolayı iklim değişikliğinin ve kentselleşmenin artması, referans bitki su tüketimi trendinde etkisi olduğu anlaşılmıştır (Lionello, 2012). İspanya, Romanya, ve İran da yapılan araştırmalarda referans bitki su tüketimi trendinde artış gözlemlenmiştir (Vicente-Serrano ve ark., 2014), (Croitoru ve ark., 2013), (Tabari ve ark., 2011). Fakat Hindistan ve Çin ülkelerinde yapılan araştırmalarda ise sıcaklık trendlerinde artış olsa dahi, referans bitki su tüketimi trendinde azalış olduğu belirtilmiştir. Azalmaya etki eden faktörlerde nisbi nem, radyasyon ve rüzgar hızı parametrelerinin etkili olduğu vurgulanmıştır (Xu ve ark., 2006; Wang ve ark., 2007; Bandyopadhyay ve ark., 2009). Ülkemizde Güney Doğu Anadolu Bölgesinde yapılan çalışmada ise referans evapotranspirasyon değerlerine bağlı Reconnaissance Drought Index

(RDI) kuraklık indeksi ile kuraklık analizi yapılmıştır. Sonuç olarak bölgede aşırı ve hafif kuraklığın egemen olduğu ve referans evapotranspirasyon trendinde artan eğilim olduğu görülmüştür (Anlı, 2014).

Bu çalışmada, 1965 ile 2014 yılları arasında, Menemen Ovasındaki ölçülen solar radyasyon değerlerinin yanı sıra referans bitki su tüketimi değerleri FAO-Penman-Monteith yöntemiyle incelenmiştir. Gözlem istasyonunda bulunan değerlerin trend analizine ek olarak, mevcut 50 yıllık veri setinin 2 ayrı çalışma grubu oluşturularak (1965-1990, 1991-2014), aralarındaki ortalama ve standart sapmalarındaki değişimler, mevsimsel, aylık olarak referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon parametreleri için araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Araştırma alanı, İzmir Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğünde bulunan Menemen Meteoroloji İstasyonunun bulunduğu bölgedir. Mülkiyeti MGM, işletmesi Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezine ait AWOS (Otomatik Hava Gözlem İstasyonu), 38°36' K enlemi, 27°04' D boylamında deniz seviyesinden 10 m yükseklikte yer almaktadır. İstasyondaki meteorolojik ölçümler, 24 saat sürekli veri elde edebilme özelliğine sahip AWOS otomatik meteorolojik gözlem sistemi ile yapılmaktadır. 1954 yılından beri ölçüm yapılan Menemen Meteoroloji istasyonunda, 2007 yılına kadar rasat parkından ölçüm yapılmış olup 2007 yılından itibaren otomatik meteorolojik gözlem sistemi ile ölçümler yapılmaktadır. 2007 yılına kadar ortalama rüzgar hızı 2 m de ölçülmekteyken otomatik gözlem sistemi ile rüzgar hızı 10 m de ölçülmektedir. Araştırmaya 1965 yılından itibaren başlanma nedeni ise solar radyasyon ölçümlerinin bu yıldan itibaren alınmaya başlanmış olmasıdır.

Çizelge 1. Menemen Meteoroloji İstasyonu (1954-2014).
Table 1. Menemen Meteorology Station (1954-2014).

Menemen 1954-2014	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Yıllık
Toplam Yağış Ort. Total precipitation (mm)	37,40	74,40	108,40	90,10	74,20	61,50	42,30	27,20	6,70	2,50	2,80	12,50	540,00
Ortalama Sıcaklık Aver. Temp. (°C)	17,50	12,90	9,70	7,80	8,80	11,00	15,00	20,00	24,70	27,00	26,40	22,30	16,90
Ortalama nem Aver. Humidity (%)	60,30	64,30	67,40	65,80	63,20	61,70	58,90	55,30	48,50	46,70	48,40	54,50	57,90
Ort. Rüzgar Hızı Aver. Wind Speed (m/sn) (2m)	2,31	2,50	3,51	3,30	3,40	3,00	2,71	2,47	2,50	2,40	2,610	2,20	2,74
Minimum nem Ort. Min. Humidity (%)	48,70	48,40	46,60	44,00	43,90	39,50	35,50	36,20	35,50	37,70	46,60	47,50	42,50
Top. Güneşlenme Süresi Hours of sunshine (saat)	7,30	5,40	3,90	4,10	4,90	6,20	7,20	9,20	10,70	11,40	11,00	9,40	7,50
Ort. Solar Rad-yasyon / Aver. Solar. Radiation (Mj/m ²)	12,47	8,52	6,26	7,33	10,03	14,35	22,45	24,83	24,63	22,02	18,02	12,47	15,76

Çalışmada, referans bitki su tüketimi değerleri FAO Penman-Monteith yöntemine göre günlük olarak hesaplanmıştır. Çizelge 1’de verilen solar radyasyon değerleri istasyondan ölçülen değerlerdir. FAO Penman-Monteith eşitliği ile solar radyasyon ve diğer gerekli meteorolojik parametreleri kullanarak gerek net radyasyon gerekse de referans bitki su tüketimi değerleri hesaplanabilmektedir. FAO tarafından geliştirilen Cropwatt 8 modeli ile referans bitki su tüketimi ve net radyasyon değerleri; aylık maksimum ve minimum sıcaklık, aylık bağıl nem, aylık rüzgar hızı ve aylık güneşlenme süresi parametrelerini kullanarak solar radyasyon değeri olmadan da yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Menemen Meteoroloji İstasyonunda gerekli bütün meteorolojik parametreler mevcut olduğundan FAO Penman-Monteith eşitliği ile Cropwatt 8 modeli arasındaki referans bitki su tüketimi sonuçlarının karşılaştırılabilir olanağı olmuştur.

FAO PENMAN-MONTEITH YÖNTEMİ

Referans bitki su tüketimi değerleri FAO 56 metoduna göre çim yüzeyi için meteorolojik parametreler dikkate alınarak hesaplanmıştır (Allen ve ark., 1998; 2006).

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (2.1)$$

Eşitlikte;

- ET₀ : Referans evapotranspirasyon (mm gün⁻¹),
- R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹),
- G : Toprak ısı akışı yoğunluğu (MJ m⁻² gün⁻¹),
- T : 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı (°C),
- U₂ : 2 m yükseklikte rüzgar hızı (m s⁻¹),
- e_s : Doymuş buhar basıncı (kPa),
- e_a : Gerçek buhar basıncı (kPa),
- e_s-e_a : Doymuş buhar basıncı açığı (kPa),
- Δ : Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹),
- γ : Psikrometrik sabit (kPa °C⁻¹)

Net radyasyon hesaplamasında, Penman-Monteith yöntemi içerisinde yer alan eşitlikler kullanılmıştır. Hesaplama; R_s, T ve e_a parametreleri günlük olarak Allen ve ark., (1998)’de belirtilen yöntemler ile hesaplanmıştır. Toprak ısı akışı olan G değeri, günlük hesaplamalar için 0 kabul edilebilir (Allen ve ark., 1998).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2.2)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (2.3)$$

Albedo değeri α , referans bitki için 0,23 olarak alınmıştır (Allen ve ark., 1998).

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] \left(0.34 - 0.14(e_a)^{1/2} \right) \left(\frac{1.35R_s}{R_{so} - 0.35} \right) \quad (2.4)$$

$$R_{so} = \left(0.75 + 2 \times 10^{-5} z \right) R_a \quad (2.5)$$

Eşitliklerde;

- R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$),
- R_n : Net gelen kısa dalga boylu radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$),
- R_{nl} : Net giden uzun dalga boylu radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$),
- α : Albedo,
- σ : Stefan-Boltzman sabiti,
- e_a : Gerçek buhar basıncı (kPa),
- R_s : Gelen güneş radyasyonunu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$),
- R_{so} : Açık havadaki güneş radyasyonunu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$),

SHAPIRO-WİLK SINAMASI

Shapiro-Wilk sınaması parametrik olmayan istatistik sınaması olup normallik sınamaları arasında bulunmaktadır (Shapiro ve Wilk, 1965). Normal dağılıma uygunluk testi ile kuraklık indislerinin kullanımı ve meteorolojik olarak risk faktörlerinin belirlenmesinde fayda sağlanmaktadır.

$$\left(\alpha_1, \dots, \alpha_n \right) = \frac{m^T V^{-1}}{\left(m^T V^{-1} V^{-1} m \right)^{1/2}} \quad (2.6)$$

- α_n : Sabit normal dağılım değerleri
- V : Sıra istatistikleri için kovaryans matrisidir.

$$m = \left(m_1, \dots, m_n \right)^T \quad (2.7)$$

m_1, \dots, m_n : standart normal dağılımdan örneklem olarak bulunmuş bağımsız ve aynı dağılım gösteren rassal değişkenlerin sıra istatistiklerinin beklenen değerleridir.

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \bar{x} \right)^2} \quad (2.8)$$

$x_{(i)}$: Küçükten büyüğe doğru sıralanmış seri \bar{x} = veri seti ortalaması

H_0 : %95 güvenle popülasyon normal dağılıma uygun, p -değeri $> 0,05$ ise H_0 hipotezi kabul.

H_a : %95 güvenle popülasyon normal dağılıma uygun değildir, p -değeri $< 0,05$

MANN-KENDALL TESTİ

Mann-Kendall testi parametrik olmayan bir test olup serinin normal dağılıma uygun olup olmadığı önemli değildir (Yu ve ark., 1993). Ayrıca Dünya Meteoroloji Örgütü meteorolojik trend analizinde Mann-Kendall testini önermektedir (Anonymous, 1998; Xu ve ark., 2006). Bu testte zamana göre sıralanmış x_1, \dots, x_n gözlemleri, H_0 hipotezine göre zamandan bağımsız ve benzer dağılmış rastgele değişkenlerdir. H_1 hipotezine göre ise ($k \neq j$) olmak üzere tüm ($k, j \leq n$) için seride x_j ve x_k değerlerinin dağılımı benzer değildir. Seride lineer bir trend bulunmaktadır. Test istatistiği aşağıdaki eşitliklerinden hesaplanır ve asimptotik olarak normal dağılıma sahiptir. Mann-Kendall testi ile trend analizinin yapılmasına, mevcut veri setinin, artan ya da azalan eğilim durumu veya durağan olduğuna karar verilir.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

x_j ve x_k sırasıyla j ve k yıllarındaki gözlenen değerleri, n ise toplam yıl sayısını ifade etmektedir. S 'nin varyansı ise aşağıdaki eşitliğinden elde edilir.

$$\text{Var}(s) = \frac{\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5) \right]}{18} \quad (2.10)$$

Burada, t herhangi bir bağ durumundaki benzer x 'lerin sayısını, \sum_t değeri ise bütün bağ durumları üzerinden alınan toplamı göstermektedir. $n > 10$ olması durumunda standart normal değişken Z ,

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{eger } S > 0 \\ 0 & \text{eger } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{eger } S < 0 \end{cases} \text{ eşitliğinden çıkartılır (2.11).}$$

Hesaplanan S değeri pozitif ise artan, negatif ise azalan bir trendin olduğunu gösterir. Eğer p değeri $|Z| \leq Z_{p/2}$ ise H_0 hipotezi kabul edilir (Partal ve Kahya, 2006; Modarres ve da silva, 2007). Bu araştırmada $p=0,05^*$ anlamlılık düzeyi esas alınmıştır. H_0 : p -değeri $> 0,05^*$ (durağan); H_a : p -değeri $< 0,05$ (trend var).

MANN-WHITNEY U (WILCOXON-MANN-WHITNEY) TESTİ

Mann-Whitney U testi, niceliksel ölçekli gözlemleri verilen iki örneklemin aynı dağılımdan gelip gelmediğini incelemek için kullanılan parametrik olmayan testtir (Mann ve Whitney, 1947). Bu testte, değerlere sıra dönüşümü uygulanması ve ortalamalar yerine ortancalar karşılaştırılır. Mann-Whitney U testi ile mevcut veri seti 2 grup şeklinde incelenerek gruplar arasındaki ortalama ve standart sapmalarında değişim olup olmadığı belirlenir.

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} \quad (2.12)$$

R_1 : Birinci örnekteki değerlerin sıraları toplamını;

R_2 : İkinci örnekteki değerlerin sıraları toplamını verir.

n_1 = Birinci örnekteki gözlem sayısı, n_2 = ikinci örnekteki gözlem sayısı.

Bulunan U_1 ve U_2 değerlerinden küçüğü hazırlanmış olan U-istatistiği anlamlılık tablosunda kullanılır.

$$Z = (U - m_u) / \sigma_u \quad (\text{Test istatistiği}) \quad (2.13)$$

$$m_u = n_1 * n_2 / 2 \quad (\text{U İstatistiğinin ortalaması}) \quad (2.14)$$

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (\text{U İstatistiğinin standart sapması}) \quad (2.15)$$

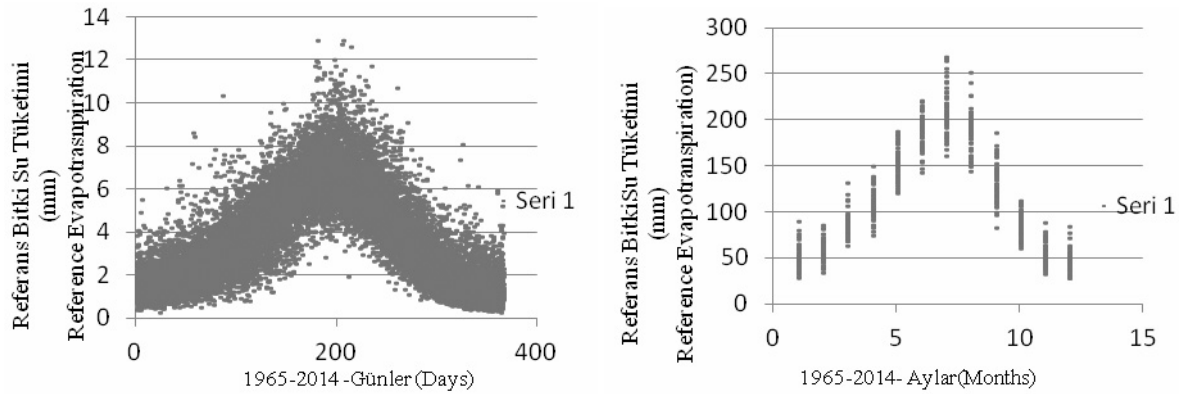
Elde edilen Z değeri, $p=0,05^*$ anlamlılık düzeyinde karşılaştırılır.

H_0 = Gözlemlenen iki seri aynı kümeden gelmektedir.

H_a = Gözlemlenen iki seri aynı kümeden gelmemektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

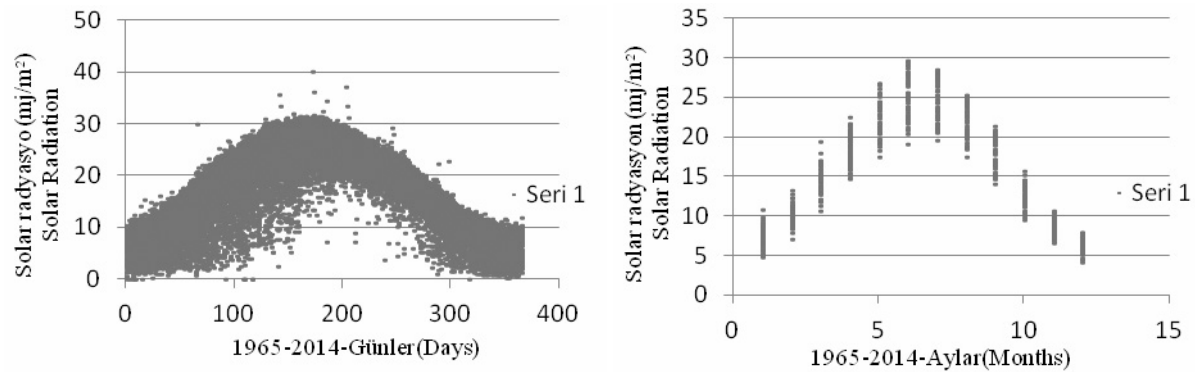
Çalışma, Ege Bölgesinde bulunan Menemen Ovasında, son 50 yıllık gözlem sonuçları değerlendirilerek referans bitki su tüketimi değerleri, FAO Penman-Monteith yöntemine göre günlük ve aylık olarak elde edilmiştir (Şekil 1). En yüksek ET_0 değeri 12,911 mm/gün ile 25.07.1989 tarihinde, en düşük ET_0 değeri ise 0,24863 mm/gün ile 24.01.2006 tarihinde görülmüştür. Solar radyasyon değerleri de günlük ve aylık olarak hesaplanmıştır (Şekil 2). FAO yöntemine göre bulunan günlük referans bitki su tüketimi değerleri, Cropwat 8 modeli ile karşılaştırılmıştır. Cropwat 8 modelinde; maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, nem, rüzgar ve güneşlenme süresi parametreleri dikkate alınarak günlük referans bitki su tüketimi hesabı yapılmaktadır. Modelde solar radyasyon değeri istasyonun bulunduğu enlem ve boylama göre belirlenmektedir. FAO Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanan günlük referans bitki su tüketimi değerleri ile cropwat 8 modeli ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış korelasyon katsayısı (r^2) 0,93, hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ise 0,005671 bulunmuştur. Aylık Referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerleri arasında da korelasyon katsayısı (r^2) 0,69, (r) 0,83 bulunmuştur (Şekil 3).



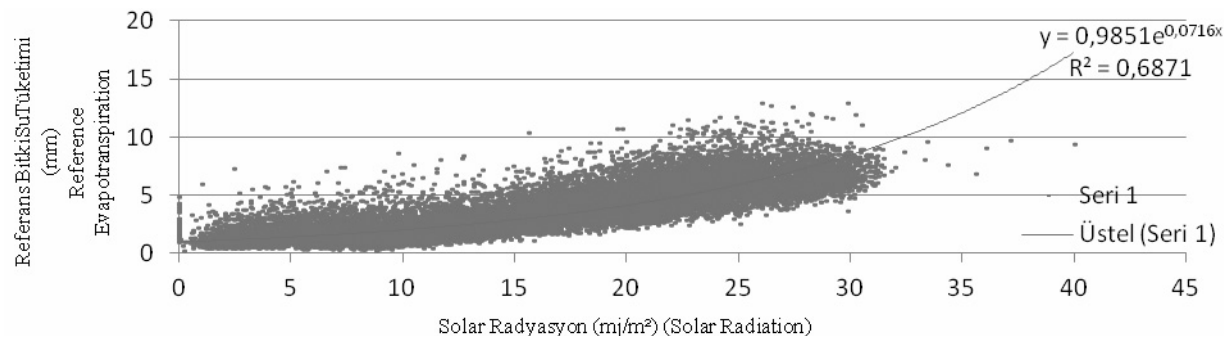
Şekil 1. 1965-2014 yılları arası ortalama günlük ve aylık Menemen Ovası referans bitki su tüketimi değerleri (mm).
Figure 1. Average daily and monthly reference evapotranspiration values of Menemen Plain between 1965 and 2014.

Çizelge 2. Menemen Ovası, meteorolojik parametrelerin örnek istatistiği.
Tablo 2. Sample statistics of meteorological parameters in Menemen Plain.

İstatistiksel değerler Statistical values	Ref. ET (mm/gün)	Ort. T (°C)	Mak. T (°C)	Min. T (°C)	Bağıl Nem (%)	Solar Rad. (Mj/m ² gün)
Ortalama (X_{ort})	3,704	17,02	23,06	11,43	57,90	15,84
Standart Sapma (S_x)	2,151	7,68	8,72	6,36	16,10	7,61
Varyans (S_x^2)	4,628	59,07	76,18	40,51	257,63	58,05
Değişkenlik Katsayısı (C_{vx})	0,580	0,45	0,38	0,56	0,28	0,48
Medyan	3,280	16,80	23,20	11,50	58,60	15,70



Şekil 2. 1965-2014 yılları arası ortalama günlük ve aylık Menemen Ovası solar radyasyon değerleri (mj/m²).
Figure 2. Average daily and monthly solar radiation values of Menemen Plain between 1965 and 2014.



Şekil 3. Aylık referans bitki su tüketimi ile solar radyasyon arasındaki korelasyon.
Figure 3. Correlation between monthly evapotranspiration and solar radiation.

Çalışmada, zamansal değişimi incelenen referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerleri mevsimsel ve aylık olarak k1 (Aralık-Şubat), k2 (Mart-Mayıs), k3 (Haziran-Ağustos), k4 (Eylül-Ekim) ve k5 (Ocak-Aralık) periyotlarında normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Normal dağılımın uygunluğu, referans evapotranspirasyona bağlı hesaplama yapan UNESCO ve Reconnaissance meteorolojik kuraklık indekslerinin kullanımına olanak sağlamaktadır. Sonuç olarak referans evapotranspirasyon normal dağılıma uygun çıkmış olup bölgenin referans evapotranspirasyona bağlı kuraklık çalışması yapılabileceği öngörülmektedir. Normal dağılım testi için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre; referans bitki su tüketimi değerleri için k2 döneminin ve k5 dönemindeki mart ayının logaritmik dönüşümü yapılarak bütün dönemler normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Solar radyasyon değerlerinde ise mevsimsel dönemlerin hiçbirinde logaritmik dönüşümlere rağmen normal dağılıma uygunluk bulunmazken, aylık periyotların çoğu normal dağılıma uygundur (Çizelge 3 ve 4).

Referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerlerinin mevsimsel; k1, k2, k3, k4 ve aylık (k5) dönemleri için zamansal değişimi Mann-

Kendall istatistik testi ile araştırılmıştır (Çizelge 5). Sonuç olarak, referans bitki su tüketimi değerlerinde kış aylarında azalma eğilimi yaz aylarında ise artış eğilimi görülmüş olup diğer dönemlerde seri durağandır (Şekil 4). Solar radyasyon değerlerinde ise bütün dönemlerde belirgin bir artış eğilimi görülmüştür (Şekil 5). Referans bitki su tüketimi ve solar radyasyonun değişimine etki edebilecek diğer meteorolojik parametrelerin zamansal değişiminde ise, ortalama sıcaklık değerlerinde sadece yaz aylarında artış eğilimi, diğer dönemlerde durağanlık olduğu; ortalama nem değerlerinde, sonbahar, kış ve aylık periyotlarda artış, diğer dönemlerde de durağanlık olduğu; ortalama rüzgar hızı değerlerinde, bütün dönemlerde azalma eğilimi ve ortalama güneşlenme süresi değerlerinin ise, bütün dönemlerde durağanlığın devam ettiği gözlemlenmiştir. Referans bitki su tüketimi değerinin kış mevsiminde azalış eğilimi olmasında, kış mevsiminde rüzgar hızı değerlerinin azalış trendinde olması büyük etkindir. Rüzgar hızı, referans bitki su tüketimi değerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bunun yanı sıra kış mevsiminde sıcaklık değerlerinin durağan ve nem değerlerinin artış trendinde olması durumu, kış aylarında solar radyasyon değerleri artış eğilimi gösterse de referans bitki su tüketimi değerleri azalış eğilimindedir.

Çizelge 3. Referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerlerinin mevsimsel dönemlere göre Shapiro-Wilk normal dağılımı $p=0,05^*$ anlam düzeyindeki test istatistiği sonuçları.

Table 3. Shapiro-Wilk normal distribution $p=0,05^*$ significance level statistics results of reference evapotranspiration and solar radiation seasonal values.

Dönem (Period)	$ET_0(p\text{-değeri})$ (p-value)	R_s (p-değeri) (p-value)	Kritik değer (Critic value)
k1	0,295	0,012	0,05*
k2	0,180	0,001	0,05*
k3	0,470	<0,0001	0,05*
k4	0,088	0,005	0,05*

* $H_0:p\text{-değeri}>0,05$; $H_a:p\text{-değeri}<0,05$; $H_0:p\text{-value}>0,05$; $H_a:p\text{-value}<0,05$.

Çizelge 4. Referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerlerinin aylık (k5) dönemlere göre Shapiro-Wilk normal dağılımı $p=0,05$ anlam düzeyindeki test istatistiği sonuçları.

Table 4. Shapiro-Wilk normal distribution $p=0,05$ significance level statistics results of reference evapotranspiration and solar radiation monthly (k5) values*.

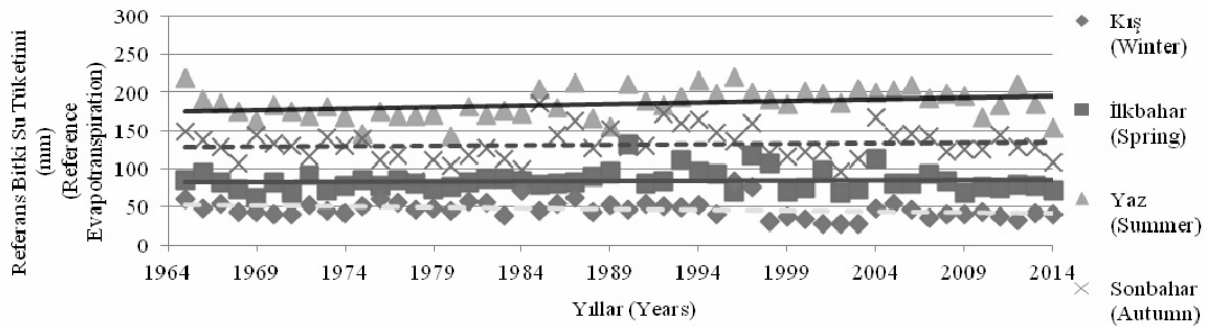
Aylar (Months)	Ocak (Jan)	Şubat (Feb)	Mart (Mar)	Nisan (Apr)	Mayıs (May)	Haziran (Jun)	Temmuz (July)	Ağustos (Aug)	Eylül (Sep)	Ekim (Oct)	Kasım (Nov)	Aralık (Dec)
ET_0	0,14	0,43	0,07	0,52	0,54	0,68	0,17	0,07	0,90	0,13	0,20	0,54
R_s	0,78	0,58	0,53	0,35	0,06	0,03	0,01	0,03	0,04	0,19	0,86	0,63

* $H_0:p\text{-değeri}>0,05$; $H_a:p\text{-değeri}<0,05$; $H_0:p\text{-value}>0,05$; $H_a:p\text{-value}<0,05$.

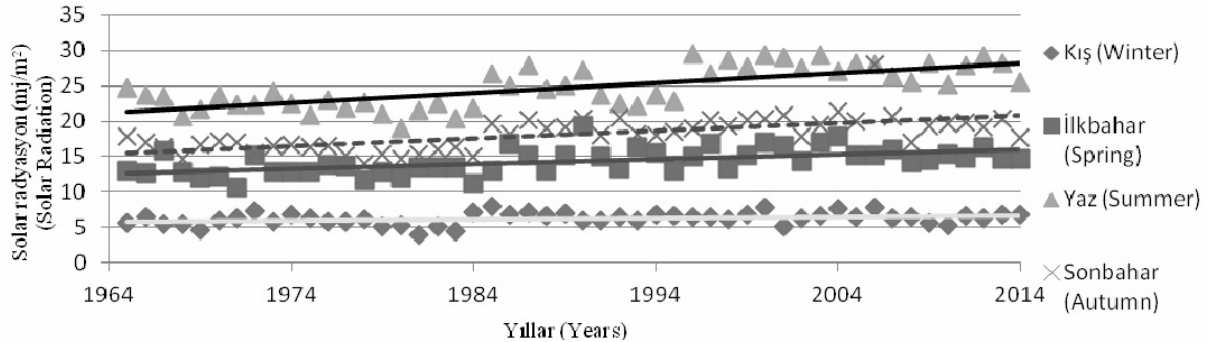
Çizelge 5. Referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerlerinin zamansal değişimi*.
Table 5. Temporal variations of reference evapotranspiration and solar radiation*.

Dönemler (Periods)	Kendall-Tau	P-değeri (p-value)	Değişim (Variation)
ET₀ (Referans Bitki Su Tüketimi / Reference Evapotranspiration)			
k1	-0,243	<0,0001	-
k2	0,050	0,366	durağan
k3	0,203	<0,0001	+
k4	-0,011	0,845	durağan
aylık (k5) (Monthly)	0,003	0,926	durağan
Rs (Solar Radyasyon / Solar Radiation)			
k1	0,152	0,006	+
k2	0,203	<0,0001	+
k3	0,459	<0,0001	+
k4	0,161	0,004	+
aylık (k5) (Monthly)	0,103	0,0001	+

*H₀:p-değeri>0,05; H_a:p-değeri<0,05; H₀:p-value>0,05; H_a:p-value<0,05.



Şekil 4. Mevsimsel referans bitki su tüketiminin zamansal değişimi.
Figure 4. Temporal variations of seasonal reference evapotranspiration.



Şekil 5. Mevsimsel solar radyasyonun zamansal değişimi.
Figure 5. Temporal variations of seasonal solar radiation.

İklim değişikliği senaryoları üretilirken referans dönem olarak kullanılan 1960-1990 ve 1970-2000 dönemleri gelecek yüzyıl için meydana gelebilecek meteorolojik değişkenleri tahmin etmek amacıyla IPCC raporlarında kullanılmakta olup özellikle IPCC 5. Değerlendirme raporunda (RCP) radyasyon değerlerine bağlı senaryo grupları oluşturulmuştur (Anonymous, 2013). Bu çalışmada

da referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerlerinin, mevsimsel ve aylık dönemlerinde mevcut veri seti olan 1965-2014 yılları, 1965-1990 ve 1991-2014 olarak 25'er yıllık 2 çalışma grubuna ayrılmış ve çalışma gruplarının aynı kümeden gelip gelmediği parametrik olmayan Mann-Whitney U (Wilcoxon-Mann-Whitney) testi ile incelenmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerlerinin k1,k2,k3,k4 ve k5 dönemleri için 1965-1990 ile 1991-2014 yılları arasındaki değişimin Mann-Whitney U test sonuçları.

Table 6. Mann-Whitney U test results of reference evapotranspiration and solar radiation values in the period of k1, k2, k3, k4 and k5 between 1965-1990 and 1991-2014.

Dönemler (Periods)	Rs (<i>p</i> -değeri) (p-value)	Rs (<i>p</i> -değeri) (p-value)	Kritik değer (Critic value)
k1	<0,0001	0,012	0,05*
k2	0,452	0,001	0,05*
k3	<0,0001	<0,0001	0,05*
k4	0,620	0,005	0,05*
k5	0,722	<0,0001	0,05*

*Mann-Whitney U testine göre $p\text{-value} > 0,05$ H_0 hipotezi kabul edilmektedir.

*According to Mann-Whitney U Test, $p\text{-value} > 0,05$ H_0 hypothesis accepted.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli raporlarında (Anonymous, 2013), iklim değişikliği senaryoları için referans kabul edilen (1960-1990) periyodu, sonraki yıllar için olası meteorolojik değişkenlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. 1990 yılından sonraki süreçte özellikle sanayinin global olarak gelişim göstermesi, atmosferdeki sera gazı miktarını arttırmıştır. Bu durum birçok meteorolojik parametrenin değişmesine yol açıp bazı bölgelerde, kuraklık şiddeti artmıştır.

Bu çalışmada, mevcut 50 yıllık gözlem sonuçları, (1965-1990;1991-2014) olarak 2 döneme ayrılarak belirlenen yıllar arasında, referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon parametrelerinin ortalama ve standart sapmalarında istatistiksel açıdan farklılık olup olmadığı Mann-Whitney U testi ile incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, Referans bitki su tüketimi değerlerinin Yaz ve Kış dönemlerinde aynı kümeden gelmediği, ortalama ve standart sapmalarında istatistiksel açıdan farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Solar radyasyon değerlerinde ise belirlenen 2 dönem arasında bütün dönemlerin ortalama ve standart sapmalarında istatistiksel açıdan farklılık olduğu görülmüştür. Ayrıca, referans bitki su tüketimi ve solar radyasyon değerlerinin 50 yıllık süreç içerisindeki trendi Mann-Kendall testi ile araştırılmıştır. Test istatistiğinin sonuçlarına göre, referans bitki su tüketimi değerlerinde yaz aylarında artış trendi kış aylarında azalış trendi olup diğer dönemlerde ise durağanlık olduğu

görülmüştür. Solar radyasyon değerlerinde ise mevsimsel ve aylık bütün dönemlerinde belirgin bir artış trendi görülmüştür. Bu durum, bölgede iklim değişikliği etkisi olduğu anlamına gelebilir. Yıllar bazında 2 gruba ayrılmış olan parametrelerin ortalama ve standart sapmalarındaki farklılık ve trend analizi sonuçlarının, mevsimsel ve aylık dönemlerde benzerlik göstermiştir ve bu durum, çalışma yapılan bölgenin, incelenen parametreler açısından iklim değişikliğinin bir göstergesi olduğunu akla getirmektedir. Çalışmada ayrıca, mevcut meteorolojik parametreler ve fenolojik gözlemler dikkate alınarak, FAO standartlarına göre bitki katsayısının (kc) hesaplanmasının sağlıklı olup olmadığı da araştırılmıştır. Fenolojik gözlemler ve meteorolojik parametrelere göre bitki katsayısının hesaplanması için FAO standartlarıncı, uzun yıllar minimum nem ortalaması %45 uzun yıllar ortalama rüzgar hızı değerinin 2 m/s olması beklenmektedir. Menemen Ovası için belirlenen sonuçlarda minimum nem ortalaması %43 uzun yıllar rüzgar hızı ortalaması 2,7 m/s olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla ortalama rüzgar hızı değeri beklenen değerin oldukça üstünde olup meteorolojik parametrelere bağlı bitki katsayısının hesaplanması sağlıklı olmayabilir ve bunun için toprak su dengesi veya enerji dengesi yöntemleriyle gerçek bitki su tüketiminin belirlenmesi sağlıklı sulama programlarının oluşturulması için önem arz etmektedir. Solar radyasyon ölçümü yapılmayan istasyonlarda referans bitki su tüketimini hesaplamak için yaygın olarak kullanılan cropwat 8 modeli de bu

çalışmada araştırılmış ve FAO-Penman-Monteith eşitliği ile solar radyasyon ve diğer gerekli bütün meteorolojik parametreler kullanılarak hesaplanan referans bitki su tüketimi ile aralarındaki ilişki belirlenmiştir. Korelasyon katsayısı (r^2) 0,93, hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ise 0,005671 bulunmuştur. FAO Penman-Monteith yöntemi ile birçok meteorolojik parametre kullanılarak referans evapotranspirasyon hesabı yapılmakta ve birçok araştırmada kullanılmaktadır. Solar radyasyon değeri kullanılmadan cropwat 8 modeli ile hesaplanan referans evapotranspirasyon değerleri, FAO Penman-Monteith yöntemi ile hesaplanan değerlere çok yakın olup aralarında yüksek korelasyon bulunmuştur. Hesaplama en güvenilir yöntem FAO Penman-Monteith yöntemi olsa da cropwat 8 modeli de çok yakın sonuçlar vermiştir. Hesaplanan referans bitki su tüketimi değerlerinin normal dağılıma uygun sonuç

vermektedir. Bu durum, referans bitki su tüketimine bağlı olarak hesaplanan kuraklık indisleri (UNESCO, RDI, SPEI., gibi), bölge için analiz edilebilir. Küresel iklim değişikliği etkisi altında olan ülkemizin, yüzyıl içerisinde sıcaklıklarda belirgin artış ve toplam yağışlardaki azalma ile kurak ve şiddetli kurak dönemlerinin yaşanması beklenmektedir. Bu nedenle, bölgelerin ayrı ayrı kuraklık paternini oluşturularak olası en kötü koşullara karşı hazırlıklı olmalıyız.

TEŞEKKÜR

Çalışmamda yardımlarını esirgemeyen, ODTÜ İstatistik Bölümünde çalışmalarına devam eden Prof. Dr. Murat TÜRKEŞ'e ve Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik Hidroloji ve Su Kaynakları Ana Bilim Dalı öğretim üyesi Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Ahani, H., M. Kherad, M. R. Kousari, L. van Roosmalen, R. Aryanfar, and M. Hosseini Seyyed. 2012. Non-parametric trend analysis of the aridity index for three large arid and semi-arid basins in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. In: United Nations FAO Irrigation and Drainage Paper 56 FAO, Rome, Italy
- Allen, R. G., W. O. Pruitt, J. L. Wright, T. A. Howell, F. Ventura, R. Snyder, D. Itenfisu, P. Steduto, J. Berengena, J. B. Yrisarry, M. Smith, L. S. Pereira, D. Raes, A. Perrier, I. Alves, I. Walter, and R. Elliot. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET₀ by the FAO56 Penman- Monteith method. *Agric. Water Manage.* 81: 1–22.
- Anonymous. 1998. Analyzing Long Time Series of Hydrological Data with Respect to Climate Variability. World Meteorological Organization (WMO): 1-12 (WCAP-3, WMO/TD-No: 224). Switzerland.
- Anonymous. 2013. Climate Change. The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- A. Sanchez-Lorenzo, J. Calbo, and M. Wild. 2013. Global ve diffuse solar radiation in Spain: Building a homogeneous dataset and assessing their trends. *Global and Planetary Change* 100: 343-352.
- Anlı, A. S. 2014. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin Zamansal Değişimi ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) Yöntemiyle Meteorolojik Kuraklık Analizi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 20: 248-260.
- Bandyopadhyay, B., A. Bhadra, N. S. Raghuvnshi, R. Singh. 2009. Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India. *Journal of Hydrologic Engineering*. 14 (5): 508-515.
- Baumgartner, W. C., and E. Reichel. 1975. The world water balance. Mean Annual Global, Continental and Marine Precipitation Elsevier, Amsterdam.
- Croitoru, A. E., A. Piticar, C. S. Dragota, and D. C. Burada. 2013. Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. *Global and Planetary Change* 111: 127-132.
- Katerji, N., and G. Rana. 2011. Crop reference evapotranspiration: a discussion of the concept, analysis of the process and validation. *Water Resource Management* 25: 1581–1600.
- Lionello, P. 2012. The Climate of the Mediterranean Region, From the past to the future. Elsevier, Amsterdam, NETHERLANDS. ISBN: 9780124160422.502 pp.
- Mann, H. B., and D. R. Whitney. 1947. "On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other". *Annals of Mathematical Statistics*, C.18: 50-60.

- Modarres, R., and V. P. R. da Silva. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *J. Arid Environ.* 70, 344-355.
- Partal, T., E. Kahya. 2006. Türkiye'deki yağış verilerinin trend Analizi. *Hydrological Process.* 20: 2011-2026.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B. Werma. 1983. *Microclimate - The biological environment.* p. 44-45. Wiley, New York,
- Shapiro, S. S., and M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591-611.
- Tabari, H., S. Marofi, A. Amini, P. H. Talee, and K. Mohammadi. 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 128-136.
- Silva, V. P. R., R. A. Silva, E. P. Cavalcanti, C. C. Braga, P. V. Azevedo, V. P. Singh, E. R. R. Pereira. 2010. Trends in solar radiation in NCEP/NCAR database and measurements in northeastern Brazil. *Solar Energy.* 84 (10): 1852-1862.
- Vicente-Serrano, S., C. Azorin-Molina, A. Sanchez-Lorenzo, J. Revuelto, J. Lopez-Moreno, J. Gonzalez-Hidalgo, E. Moran-Tejeda, and F. Espejo. 2014. Reference Evapotranspiration Variability and Trends in Spain, 1961-2011. *Global and Planetary Change*, 26-40.
- Wang, K., and R. E. Dickinson. 2012. A review of global terrestrial evapotranspiration: observation, modeling, climatology, and climatic variability. *Rev. Geophys.* 50. <http://dx.doi.org/10.1029/2011RG000373>.
- Wang, Y., T. Jiang, O. Bothe, and K. Fraedrich. 2007. Changes of pan evaporation and reference evaporation in the Yangtze River basin. *Theoretical and Applied Climatology* 90: 13-23.
- Wild, M., D. Folini, C. Schär, N. Loeb, E. G. Dutton, G. König-Langlo. 2013. The global energy balance from a surface perspective. *Climate Dynamics* 40: 3107-3134.
- Xu, C.Y., L. B. Gong, T. Jiang, D. L. Chen. 2006. Decreasing reference evapotranspiration in a warming climate – a case of Chang Jiang (Yangtze) River catchment during 1970-2000. *Advances in Atmospheric Sciences* 23 (4): 513-520.
- Yu, Y.S., Zou, S., Whittemore, D. 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology* 150 (1): 61-80.