



Tarım Bilimleri Dergisi  
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:  
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:  
www.agri.ankara.edu.tr/journal

## Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin ( $ET_0$ ) Zamansal Değişimi ve $RDI$ (Keşif Kuraklık İndeksi) Yöntemiyle Meteorolojik Kuraklık Analizi

Alper Serdar ANLI<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

### ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

DOI: 10.1501/Tarimbil\_0000001284

Sorumlu Yazar: Alper Serdar ANLI, E-mail: asanli@agri.ankara.edu.tr, Tel: +90 (312) 596 17 45

Geliş Tarihi: 23 Ocak 2014, Düzeltmelerin Gelişi: 14 Mart 2014, Kabul: 4 Nisan 2014

### ÖZET

Su kaynaklarının kısıtlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde referans bitki su tüketiminin zamansal değişiminin analizi oldukça önemlidir. Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesinde referans bitki su tüketiminin ( $ET_0$ ) zamansal değişimi ve  $RDI$  (Keşif Kuraklık İndeksi) yöntemiyle meteorolojik kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki illere ait referans bitki su tüketimi Penman-Monteith yöntemiyle tahmin edilmiş ve bir yıl dört döneme ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  ve  $k_4$ ) ayrılmıştır. Dört döneme göre referans bitki su tüketiminin zamansal değişimi parametrik Dickey-Fuller ve parametrik olmayan Mann Whitney  $U$  testleri ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak referans bitki su tüketiminde zaman içinde önemli artan eğilimlerin olduğu saptanmış ve illerdeki meteorolojik kuraklığı tahmin etmek için uygulanan  $RDI$  yöntemine göre bölgede genelde hafif kuraklığın egemen olduğu ve önemli sayıda da orta ve şiddetli kuraklığın meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneydoğu Anadolu Bölgesi; Referans bitki su tüketimi; Penman-Monteith; Zamansal değişim;  $RDI$  (Keşif Kuraklık İndeksi)

## Temporal Variation of Reference Evapotranspiration ( $ET_0$ ) in Southeastern Anatolia Region and Meteorological Drought Analysis through $RDI$ (Reconnaissance Drought Index) Method

### ARTICLE INFO

Research Article

Corresponding Author: Alper Serdar ANLI, E-mail: asanli@agri.ankara.edu.tr, Tel: +90 (312) 596 17 45

Received: 23 January 2014, Received in Revised Form: 14 March 2014, Accepted: 4 April 2014

### ABSTRACT

Analysis of temporal variation of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) is important in arid and semi-arid regions where water resources are limited. In this study, temporal variation of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) and meteorological drought analysis through  $RDI$  (Reconnaissance Drought Index) method have been carried out in provinces of

Southeastern Anatolia Region. Reference evapotranspiration of concerning provinces in the region has been estimated using Penman-Monteith method and one calendar year has been split up four periods as  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  and  $k_4$ . Temporal variation of reference evapotranspiration according to four periods has been analyzed through parametric Dickey-Fuller test and non-parametric Mann-Whitney  $U$  test. As a result, significant increasing trends for reference evapotranspiration have been detected and according to  $RDI$  method used for estimating meteorological drought in provinces, mild drought has been experienced in general, and however there have been also a significant amount of events where moderate and severely droughts occurred.

Keywords: Southeastern Anatolia Region; Reference evapotranspiration ( $ET_0$ ); Penman-Monteith; Temporal variation;  $RDI$  (Reconnaissance Drought Index)

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

## 1. Giriş

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, karasal iklimin görüldüğü bir bölgedir. En çok yağışın kış mevsiminde oluşmasıyla beraber bölgede geniş düzlüklerin bulunması tarım için büyük bir avantaj oluştururken, yaz kuraklığının şiddetli olması üretimi olumsuz etkilemektedir. Tarım arazileri oldukça geniş olmasına karşın kuraklık nedeniyle üzerinde durulması gereken en önemli konu sulamadır. Bölgede akarsuların taşıdığı ince balçıklı toprak olan ve Lös adı verilen çok verimli topraklar bulunmasına rağmen kuraklık nedeniyle yüksek verim elde edilememesi, suyun ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Yüksek tarımsal potansiyele sahip olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi tarımı, kuraklıktan önemli ölçüde etkilendiği için beklenen verim arzu edilen seviyede gerçekleşmemektedir. Bölgedeki tarımsal, ekonomik ve sosyal faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve artırılması amacıyla 1997 yılında Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) faaliyete girmiştir. Tarımsal üretimin toprak, su ve iklim gibi en önemli doğal kaynaklarına sahip olan GAP bölgesi, tarımsal üretim alanlarının sulanması durumunda, Türkiye'nin tarımsal açıdan en zengin bölgesi olarak kabul edilen Akdeniz bölgesiyle eş kıymettedir. GAP'ın en büyük amacı, tarımda gerekli su miktarının sağlanabilmesidir. Küresel ısınma ve kuraklığın etkisi altında olan bölgede, tarımsal üretimden beklenen gelirin elde edilmesinde en önemli unsur olan gerekli suyun tahmini ve elde edilmesi önem kazanmıştır (EKODIALOG 2014). Kuraklık; bir bölgenin nem

miktarındaki geçici dengesizliğin o bölgedeki su kıtlığı ile ilişkisi olarak tanımlanır. Kuraklığa etki eden en önemli etkenler yüksek sıcaklık, şiddetli rüzgâr, düşük nem ve normalden daha az meydana gelen yağış miktarıdır. Kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyolojik olmak üzere dört ana grupta incelenmektedir. Yıllık yağışların mevsimlere göre dağılımındaki düzensizliğinin incelenmesine meteorolojik kuraklık, toprakta bitkinin ihtiyaç duyduğu miktarda suyun bulunmamasına tarımsal kuraklık, uzun süreli meteorolojik kuraklığın gerçekleşmesiyle, nehirler, yeraltı suları ve göllerin su seviyesindeki keskin düşüşlerin incelenmesi hidrolojik kuraklık, toplumun üretim ve tüketim faaliyetlerini etkileyen su eksikliği de sosyolojik kuraklık olarak açıklanmaktadır. Bahsedilen kuraklık tiplerinin meydana gelmesinde ana etken yağış eksikliğidir. Kuraklığın tarıma yansıttığı olumsuzluklar sulama yapılamaması ve tarımsal faaliyetlerde verimin azalması olarak nitelendirilebilir. Sonuç olarak ürün çeşitliliğinde ve miktarında azalma meydana gelmektedir (Agnew 1990; Agnew & Warren 1996). Sulama projelerinin gerçekçi bir şekilde hazırlanabilmesi için yetiştirilmesi planlanan bitkilerin ihtiyaç duydukları aylık ya da daha kısa dönemlere ilişkin su miktarının bilinmesi gerekmektedir. Sulama suyu ihtiyacının hesaplanmasında asıl amaç, bitki su tüketiminin belirlenmesidir. Bitki su ihtiyacı da iki kısımdan oluşur. Bunlar, bitkilerin besin maddelerini taşımak için kullandıkları su ve toprak yüzeyinden buharlaşmadır. Bitkinin düzgün bir gelişim göstermesi için evapotranspirasyon (bitki

su tüketimi) kaybının karşılanması gereklidir. Bu olaya etki eden pek çok parametre bulunmaktadır. Sıcaklık, rüzgâr, güneşlenme süresi, bağıl nem, yağış gibi meteorolojik faktörler; bitki cinsi, bitki gelişim evresi, kök derinliği ve bitki yüksekliği gibi bitkiye has özellikler; tarım yapılan toprağın bünyesi ve kimyasal özellikler vb. gibi. Bu parametrelerin hepsini birden göz önüne alan bir bitki su ihtiyacı hesaplama yöntemi mevcut değildir. En kesin sonucu verecek olan yöntem tarım alanında yapılacak deneysel bir çalışma ile su ihtiyaçlarının belirlenmesidir. Ancak, deneysel çalışmaların pahalı olması ve uzun sürmesi nedeniyle çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Penman-Monteith ilişkisi Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) tarafından önerilmiş olup gelişmekte olan ülkelerdeki sulama projelerine yardımcı olmak üzere bitki su ihtiyacını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Koç & Güner 2005). Referans bitki su tüketimi ( $ET_0$ ); su eksikliğinin bulunmadığı bir yüzeyden oluşan terleme (transpirasyon) ve buharlaşma toplamı (evaporasyon) demektir. FAO Penman-Monteith ilişkisinde referans bitki olarak, suya doymuş, toprağı tamamen örten çimen seçilmiştir. Referans bitki su tüketimi kavramı; bitki tipi ve bitki gelişimi uygulamalarından farklı olarak atmosferin buharlaşma talebini ortaya koyabilmek için ileri sürülmüştür. Referans yüzey; homojen boylu, aktif şekilde büyüyen ve zemini tamamen gölgeleyen iyi sulanmış yeşil bir çim yüzeyi anlamına gelmektedir. İklim veya atmosferik şartlarda meydana gelen değişim doğrudan referans bitki su tüketimi değerine yansıtacağından referans bitki su tüketimi ( $ET_0$ ) değerlerinin kullanılması doğru sonuçlar verecektir (Güngör et al 2012). Diğer yandan tarımsal, meteorolojik ve hidrolojik kuraklığı belirtmek için pek çok indeks geliştirilmiştir. Bu indeksler, kurak bir bölgeden kısa ve yeterli bilgilerin çıkarılmasında fayda sağlamaktadır. Aynı zamanda bu indeksler kuraklık etkisini en aza indirmede, su kaynaklarının yönetimi açısından karar vermede önemli bulunmaktadır. Bu indekslerden Standart Yağış İndeksi ( $SYI$ ) sadece yağışı göz önüne alırken, Keşif Kuraklık

İndeksi ( $RDI$ ) ise hem yağışı hem de referans bitki su tüketimini ( $ET_0$ ) göz önüne almaktadır.

Tabari et al (2012) İran'da kurak ve yarı kurak bölgelerde yıllık, mevsimsel ve aylık referans bitki su tüketiminin mekânsal ve zamansal değişimini inceledikleri çalışmada, Mann-Kendall, Sen eğim yöntemi ve doğrusal regresyon istatistik testlerini uygulamışlar ve referans bitki su tüketimlerinin Ocak'tan Temmuz'a arttığını, Temmuz'dan Aralık'a azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda referans bitki su tüketimlerinin tüm çalışma alanında ortalama olarak yılda 4.42 mm arttığını bildirmişler ve mevsimsel olarak önemli eğilimin kış mevsiminde, aylık olarak ise Eylül ayında gözlendiğini belirtmişlerdir. Yang et al (2011) Çin Sarı Nehir havzasında referans bitki su tüketiminin 1961-2006 boyunca mekânsal dağılımı ve zamansal değişimini inceledikleri çalışmada, Kriging, Mann-Kendall ve Doğrusal Regresyon Yöntemlerini kullanmışlar ve referans bitki su tüketiminin mekânsal dağılımının ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde benzer değişim gösterdiğini, havzanın yüksek, orta ve alçak bölgelerinde zamansal değişimin geniş olduğunu ve referans bitki su tüketimi hesaplamalarına en duyarlı parametrelerin sırasıyla bağıl nem, sıcaklık, güneşlenme saatleri ve rüzgâr hızı olduğunu bildirmişlerdir. Zhang et al (2010) Çin Shiyang Nehir havzasında aylık referans bitki su tüketiminin mekânsal değişimini inceledikleri çalışmada, soğuk aylarda referans bitki su tüketimi mekânsal değişiminin az ve değerlerin daha küçük olduğunu, sıcak aylarda ise yüksek referans bitki su tüketimi değerlerinden dolayı mekânsal değişimin geniş olduğunu belirlemişlerdir. Ye et al (2013) Çin Poyang Gölü havzasında referans bitki su tüketiminin değişimini, doğrusal regresyon ve Mann-Kendall yöntemleriyle araştırmışlar ve genel olarak yıllık referans bitki su tüketiminin önemli oranda azalma eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada güneşlenme süresi, bağıl nem, rüzgâr hızı ve buhar basıncı parametrelerinin eğilimi azalttığı, ortalama günlük sıcaklığın ise eğilimi önemli derecede arttırdığı gözlenmiştir. Vangelis et al (2013) kurak ve yarı kurak bölgelerde güçlü olan  $RDI$  hesaplamaları üzerinde referans bitki

su tüketimi yöntemlerinin etkisini araştırdıkları çalışmada, Hargreaves, Thornthwaite, Blaney-Cridle ve FAO Penman-Monteith yöntemlerini incelemişler ve bunlar arasında önemli bir etkiye sahip olan yöntem belirlememişlerdir. Ancak, Hargreaves ve FAO Penman-Monteith yöntemlerinin diğerlerine göre nispeten daha iyi olduğunu,  $RDI$  yönteminin referans bitki su tüketimi yöntemlerine bağlı olmaksızın güçlü bir yöntem olduğunu saptamışlardır. Zarch et al (2011) İran'da  $RDI$  yöntemiyle kuraklık değerlendirme çalışmalarında, 3, 6, 9, 12, 18 ve 24 aylık dönemlerde 40 meteoroloji istasyonundaki veriden yararlanmışlar,  $RDI$  hesaplamalarındaki referans bitki su tüketimini Penman-Monteith yöntemiyle saptamışlar ve ülkenin orta, doğu ve güney doğu kesimlerinin son derece kurak koşullarla karşı karşıya kaldığını tahmin etmişlerdir. Ülkemizde de bu konu ile ilgili ve diğer kuraklık indeksleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan, Şimşek et al (2007) Standart Yağış İndeksi ( $SYI$ ) ve Normalin Yüzdesi İndeksi ( $NYI$ ) yöntemlerini kullanarak Türkiye geneli için yaptıkları kuraklık analizinde, Türkiye'nin 2006-2007 Tarım Yılı'nda son 37 yılın en kurak 5. dönemini yaşadığını belirtmişlerdir. Anlı et al (2011) Kırşehir ilinin kuraklığını değerlendirirken  $RDI$  yöntemini kullanmışlar ve sonuçların ildeki sulak alanlara etkilerini tartışmışlardır. Ünlükara et al (2010) Ankara ilinin aylık ve mevsimsel referans bitki su tüketimlerinin değişimini tahmin ettikleri çalışmada FAO Penman-Monteith ilişkisinden yararlanıp çeşitli parametrik ve parametrik olmayan istatistiksel yöntemler kullanmışlardır. Yürekli et al (2009), yıllık yağış ortalamasının en düşük olduğu Tuz Gölü civarında ve Orta Anadolu bölgesi içerisinde yer alan Karaman ilinin aylık yağmurlarının aylar itibari ile değişiminin ortaya konulması amacıyla yaptıkları çalışmada, parametrik Dickey-Fuller ve parametrik olmayan Mann-Kendall testleri uygulamışlardır. Parametrik test yöntemlerinden olan birim kök yaklaşımına (Dickey-Fuller) göre, Karaman istasyonunda ölçülen aylık yağmurların bir eğilime sahip olmadığı, Ermenek istasyonunun ise çoğu aylarına ait aylık yağmurlarında azalan eğilim olduğu saptanmıştır. Mann-Kendall testine

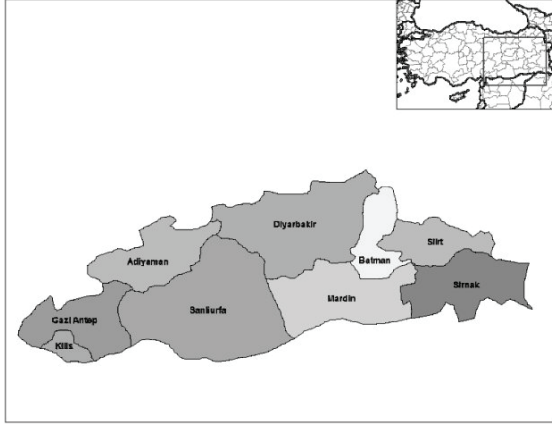
göre istasyonların aylık yağmurlarında eğilimin olmadığı saptanmıştır.

Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan illerdeki referans bitki su tüketimleri ( $ET_0$ ) FAO Penman-Monteith ilişkisi ile tahmin edilerek, son 35 yıl içinde meydana gelen zamansal değişimleri istatistiksel olarak incelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca meydana gelen kuraklık olayları  $RDI$  (Keşif Kuraklık İndeksi) yöntemiyle değerlendirilmiş ve illerdeki referans bitki su tüketimlerinin zaman içinde artış sebebinin meydana gelen kurak süreler olup olmadığının da araştırılması yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada materyal olarak FAO Penman-Monteith ilişkisi yoluyla referans bitki su tüketimi ( $ET_0$ ) ve  $RDI$  yöntemiyle meteorolojik kuraklık tahmininde; Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa illerindeki meteoroloji istasyonlarında 1975–2010 yıllarında ölçülen aylık toplam yağış ve yine aynı dönemde ölçülen aylık maksimum ve minimum sıcaklık, aylık bağıl nem, aylık rüzgâr hızı ve aylık güneşlenme şiddeti parametreleri kullanılmıştır. Bu istasyonlarda ölçülen iklim parametreleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Bölgede bulunan Şırnak ili meteoroloji istasyonunda ölçülen veri yetersiz olduğu için bu çalışmaya dâhil edilmemiştir. Bölgede bulunan illerin konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çalışma iki ana kısımda gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa meteoroloji istasyonlarında 1975–2010 yıllarında ölçülen aylık maksimum ve minimum sıcaklık, aylık bağıl nem, aylık rüzgâr hızı ve aylık güneşlenme şiddeti parametrelerinin uzun yıllar ortalamalarından yararlanarak CROPWAT8 paket programı yardımıyla FAO Penman-Monteith ilişkisi uyarınca her ay ve her yıl için söz konusu illerin referans bitki su tüketimleri ( $ET_0$ ) hesaplanmıştır (FAO 2013).



**Şekil 1- Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan illerin konumu**

Figure 1- Location of the provinces in Southeastern Anatolia Region

### 2.1. Penman-Monteith yöntemi

Referans bitki su tüketimi ( $ET_0$ ) Allen et al (1998)'de belirtilen yöntemler izlenerek Eşitlik 1 ile tahmin edilmiştir:

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

İllere göre tahmin edilen referans bitki su tüketimlerinin zamana göre değişimini izlemek amacıyla, parametrik ve parametrik olmayan istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Parametrik yöntem olarak Dickey-Fuller testi, parametrik olmayan yöntem olarak ise Mann-Whitney  $U$  testi uygulanmıştır. Anılan bu testler iller için her ay ve yıl olarak tahmin edilen referans bitki su tüketimlerinin zaman içinde ortalama ve varyanslarının değişimini inceleyen testler olup aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

### 2.2. Dickey-Fuller testi

Dickey-Fuller testi, gözlenen serilerde birim kökün varlığının (serinin durağan olmadığı) olup olmadığının belirlenmesinde kullanılan bir testtir (Eşitlik 2-4);

$$y_t = \rho y_{t-1} + u_t \quad (2)$$

$$y_t - y_{t-1} = (\rho - 1) y_{t-1} + u_t \quad (3)$$

Eşitlik 3'ün her iki tarafından  $y_{t-1}$  çıkarıldığında,  $(\rho - 1) = \gamma$  olmak üzere Eşitlik 4 elde edilir.

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1} + u_t \quad (4)$$

$$H_0: \rho = 1, H_1: \rho < 1$$

$(\rho - 1) = 0$  veya  $\delta = 0$  durumunda  $y_t$  serisi bir birim kök içermektedir. Ancak  $|\rho| < 1$  durumunda seri durağan olur. Burada Monte Carlo simülasyon tekniğindeki  $\tau$  (tau) istatistiği kullanılmaktadır. Hesaplanan  $\tau$  değerinin mutlak değeri Dickey-Fuller veya McKinnon Dickey-Fuller kritik değerlerinin mutlak değerini aşıyorsa, zaman serisinin durağan olduğu hipotezi reddedilmez.  $H_0: \rho = 1$  reddedilirse zaman serisi durağandır (Dickey & Fuller 1979).

### 2.3. Mann-Whitney $U$ testi

İki bağımsız örneğin aynı ana kütleden gelip gelmediğinin araştırılmasına dayanan çift taraflı bir testtir. İki örnek ortalaması arasında fark olup olmadığı parametrik olarak test edilemiyorsa parametrik olmayan bu testten yararlanır (Enders 1995). Hipotezler aşağıdaki gibi gösterilir;

$H_0$ : İki örnek aynı ana kütleden gelmektedir (ortalamalar eşittir)

$H_1$ : İki örnek aynı ana kütleden gelmemektedir (ortalamalar eşit değildir)

Bu test için öncelikle  $U$  değeri hesaplanır. Bunun için iki örnekteki gözlemler bir arada ve en küçüğe 1 sayısı gelecek şekilde sıralanıp numaralandırılır. Bu durumda  $U$  değeri Eşitlik 5 ile gösterilir.

$$U = n_A n_B + \frac{n_A(n_A + 1)}{2} - R_A \quad (5)$$

Eşitlikteki  $R_A$  değeri, birinci örnekteki değerlerin sıraları toplamını göstermektedir.  $U$  istatistiğinin ortalaması;  $\mu_U = \frac{n_A n_B}{2}$ , standart sapması ise;

$\sigma_U = \sqrt{\frac{n_A n_B (n_A + n_B + 1)}{12}}$  olarak yazılır. Buradan test istatistiği Eşitlik 6 ile hesaplanır;

$$Z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} \quad (6)$$



Bir serideki gözlemlerin homojen olup olmadığını saptamak için Eşitlik 6'dan tahmin edilen  $Z$  parametresi,  $\alpha = 0.05$  önem seviyesinde standart normal dağılımın tablo değeri ( $\pm 1.96$ ) ile karşılaştırılır. Bu değer, standart normal dağılımın tablo değerinden daha büyükse, gözlemlerin aynı kümenin elemanları olmadığına karar verilir.

#### 2.4. Keşif kuraklık indeksi ( $RDI$ )

İkinci bölümde,  $RDI$  değerlerinin hesaplanması için, FAO Penman-Monteith ilişkisinden elde edilen referans bitki su tüketimleri; ( $ET_0$ ) ve aylık toplam yağmur miktarları; ( $P$ ) 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemlerde olacak şekilde seriler oluşturulmuştur (Tsakiris et al 2006).

3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için elde edilen bu seriler kullanılarak  $RDI$  değerinin tahmininde gerekli olan  $\alpha^i$  değerleri Eşitlik 7'den saptanmıştır:

$$\alpha^i = \frac{\sum_{j=1}^{3k} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{3k} ET_{0ij}} \quad i=1 \dots N \quad (7)$$

Çalışmada göz önüne alınan dört dönem,  $k1=$  Ocak-Mart (3 aylık);  $k2=$  Ocak-Haziran (6 aylık);  $k3=$  Ocak-Eylül (9 aylık);  $k4=$  Ocak-Aralık (yıllık) için birikimli  $\alpha^i$  değerlerini göstermektedir. Buradan  $RDI$  değeri Eşitlik 8 ile elde edilir:

$$RDI = \frac{\alpha^i - \mu_{\alpha^i}}{\sigma_{\alpha^i}} \quad (8)$$

Bu yönteme göre kuraklık kategorileri Çizelge 1'de verilmiştir (Nalbantis & Tsakiris 2009). Ancak Eşitlik 8'den  $RDI$  değerlerini elde etmek için  $\alpha^i$  değerlerinin normal dağılım göstermesi gerekir. Bu nedenle  $RDI$  değerinin hesaplanması için öncelikle  $\alpha^i$  değerlerinin frekans dağılımının normalliği, Anderson-Darling testi ile gerçekleştirilmiştir.

#### Çizelge 1- $RDI$ kuraklık şiddet kategorileri

Table 1-  $RDI$  drought severity categories

Kuraklık kategorisi	$RDI$
Kuraklık yok	$RDI \geq 0.0$
Hafif kurak	$-1.0 \leq RDI < 0.0$
Orta derece kurak	$-1.5 \leq RDI < -1.0$
Şiddetli kurak	$-2.0 \leq RDI < -1.5$
Aşırı kurak	$RDI < -2.0$

#### 2.5. Anderson-Darling ( $AD$ ) testi

Anderson-Darling testinin bir normallik testi olarak kullanılmasındaki amaç, veri setleri ile belirlenmiş normal dağılım arasında bir uzaklık ifade eden ampirik dağılım fonksiyonu bulunmasıdır. Veri seti en küçük değerden en büyük değere doğru sıralanır ve ortalama ve standart sapması bulunarak, sıralı veri seti normalize ( $y_i$ ) edilir. Standart normal dağılım için birikimli dağılım fonksiyonu  $\Phi$  olarak ifade edilirse, Anderson-Darling istatistiği yani  $A^2$  Eşitlik 9'daki gibi yazılır:

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1)(\ln \Phi(y_i) + \ln(1 - \Phi(y_{n+1-i}))) \quad (9)$$

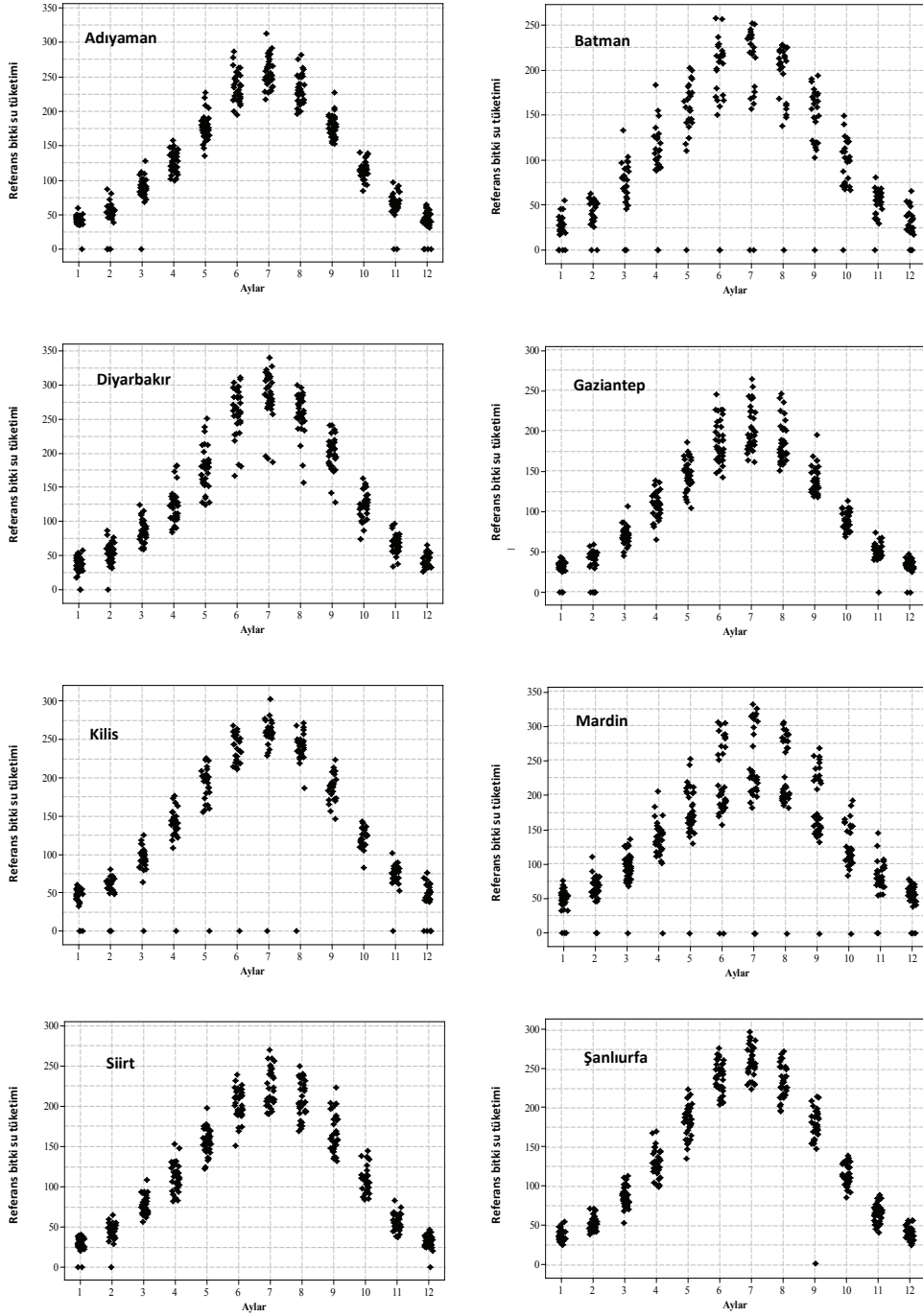
Herhangi bir  $\Phi(y_i) = 0$  veya 1 ise  $A^2$  değeri anlamsız olacağı için hesaplanamaz. Eğer  $A^2$  değeri hesaplanabilirse, veri seti örnek sayısı için yaklaşık bir ayarlama yapılarak değiştirilmiş Anderson-Darling istatistiği;  $A^{*2}$  olarak Eşitlik 10'daki gibi bulunur:

$$A^{*2} = A^2 \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2}\right) \quad (10)$$

Eğer  $A^{*2}$  değeri 0.752 değerini aşarsa  $\alpha = 0.05$  anlamlılık seviyesinde sıfır hipotez olan normallik ret edilir. (Anderson & Darling 1952). Yapılan araştırmalar Anderson-Darling  $A^{*2}$  istatistiğinin normallik testleri arasında en güçlüsü olduğunu göstermektedir (Stephens 1974).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa illerindeki referans bitki su tüketimleri hesaplanmış ve bunların gözlem süresi boyunca aylara göre dağılımı Şekil 2'de Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en düşükler de Ocak ve Aralık aylarında görülmüştür. Bununla birlikte Adıyaman ve Kilis illerinde Temmuz ayı referans bitki su tüketimleri 300 mm'yi geçmekte, Diyarbakır ve Mardin illerinde ise yaklaşık 350 mm civarına kadar çıkmaktadır. Diğer illerde de Temmuz ayı referans bitki su tüketimleri en yüksek 250-275 mm civarında tahmin edilmiştir. Şekil 2'deki dağılım grafikleri incelendiğinde referans



Şekil 2- Referans bitki su tüketimlerinin ( $ET_0$ ) iller için gözlem süresince aylık dağılımı

Figure 2- Monthly dispersion of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) for provinces at observation period

bitki su tüketimlerinin düşük olduğu aylarda, yıllar arasındaki farkın çok fazla olmadığı, referans bitki su tüketimlerinin yüksek olduğu aylarda ise yıllar arasındaki fark arttığı görülmektedir. Bu durum özellikle yaz aylarında sulama döneminde illerde meydana gelen kuraklığın bir göstergesi olarak düşünülebilir.

Hesaplanan referans bitki su tüketimleri sırasıyla; *k1*: Ocak-Mart, *k2*: Ocak-Haziran, *k3*: Ocak-Eylül ve *k4*: Ocak-Aralık olarak dört döneme ayrıldıktan sonra bu dönemlerin zamana göre değişimini incelemek amacıyla gerçekleştirilen parametrik Dickey-Fuller test istatistiği sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’ye göre Adıyaman ve Diyarbakır illerinde *k1* ve *k2* dönemlerinde değişimin olmadığı, *k3* ve *k4* dönemlerinde değişimin olduğu; Gaziantep ilinde tüm dönemlerde değişimin olduğu; Batman, Kilis, Mardin ve Şanlıurfa illerinde hiçbir dönemde değişimin olmadığı ve Siirt ilinde *k1* döneminde zaman içinde değişimin olmadığı, diğer dönemlerde ise olduğu görülmektedir.

Buna göre her bir dönemde zaman içinde referans bitki su tüketimlerinin değişimi bazı illerde benzer, bazı illerde ise birbirinden farklı gözlenmektedir.

Mann-Whitney *U* testine göre referans bitki su tüketimlerinin zaman içindeki değişimini incelemek

amacıyla her dönem yaklaşık üç alt seriye (örneğin Şanlıurfa istasyonu 1975-1986, 1987-1998, 1999-2010) bölünmüş ve bu alt serilerin birbirlerine göre farklılığı döneminde 1975-1986 ile 1987-1998 ve 1987-1998 ile 1999-2010 zaman aralıkları arasında değişim var, diğer dönemlerde yoktur. *k3* döneminde 1975-1986 ile 1987-1998 zaman aralıkları arasında değişim var, diğer dönemlerde yoktur. *k4* döneminde de her üç zaman aralığı arasında değişim izlenmemiştir. Batman ilinde *k1* döneminde 1986-1993 ile 1994-2001 ve 1994-2001 ile 2002-2010 zaman aralıkları arasında değişim yok, 1986-1993 ile 2002-2010 zaman aralıkları arasında değişim vardır. *k2* ve *k3* dönemlerinde ilk iki zaman aralığı arasında değişim var, diğer zaman aralığında değişim yok ve *k4* döneminde ise ilk aralıkta değişim var, diğer iki aralıkta değişim yoktur. Diyarbakır ilinde her dört dönemde de 1975-1986 ile 1987-1998 ve 1975-1986 ile 1999-2010 arasında değişim yok, 1987-1998 ile 1999-2010 arasında değişim vardır. Gaziantep ilinde *k1*, *k2* ve *k4* dönemlerinde 1987-1998 ile 1999-2010 arasında değişim olmakta, *k3*’de değişim olmamaktadır. Kilis ilinde *k1* döneminde 1985-1993 ile 1994-2002, 1985-1993 ile 2003-2010, 1994-2002 ile 2003-2010 aralıklarında değişim var, *k2* ve *k3* dönemlerinde 1985-1993 ile 1994-2002 ve 1985-1993 ile 2003-

### Çizelge 2- İllerde dönemler için (*k1*, *k2*, *k3* ve *k4*) $\alpha=0.05$ önem düzeyindeki kritik değerlere göre Dickey-Fuller test istatistiği sonuçları

Table 2- Dickey-Fuller test statistics for period (*k1*, *k2*, *k3* and *k4*) according to critical values at  $\alpha=0.05$  significance level in provinces

İller	Adıyaman		Batman		Diyarbakır		Gaziantep	
	DF	TKD	DF	TKD	DF	TKD	DF	TKD
<i>k1</i>	-4.752	-2.948	-4.422	-2.986	-3.465	-2.954	-2.467	-2.951
<i>k2</i>	-4.047	-2.948	-5.490	-2.986	-3.001	-2.954	-0.957	-2.957
<i>k3</i>	-2.695	-2.948	-5.757	-2.986	-2.843	-2.954	-1.630	-2.957
<i>k4</i>	-2.629	-2.948	-4.740	-2.986	-2.584	-2.954	-1.735	-2.957
Dönem	Kilis		Mardin		Siirt		Şanlıurfa	
	DF	TKD	DF	TKD	DF	TKD	DF	TKD
<i>k1</i>	-8.431	-2.981	-3.798	-2.948	-4.154	-2.948	-4.253	-2.948
<i>k2</i>	-13.205	-2.981	-4.017	-2.948	-1.677	-2.951	-4.056	-2.948
<i>k3</i>	-15.254	-2.981	-3.128	-2.948	-0.942	-2.951	-3.808	-2.948
<i>k4</i>	-12.484	-2.981	-2.989	-2.948	-1.027	-2.941	-3.384	-2.948

DF, Dickey-Fuller test istatistiği; TKD, tablo kritik değeri; koyu renkli DF test istatistikleri dönemlerde değişimin olduğunu göstermektedir



2010 yılları arasında değişim var, 1994-2002 ile 2003-2010 yılları arasında ise değişim yoktur.  $k_4$  döneminde 1985-1993 ile 1994-2002 aralıklarında değişim var, diğer dönemlerde değişim yoktur. Mardin ilinde  $k_1$  döneminde 1975-1986 ile 1987-1998, 1975-1986 ile 1999-2010 ve 1987-1998 ile 1999-2010 zaman aralıkları arasında değişim vardır.  $k_2$ ,  $k_3$  ve  $k_4$  dönemlerinde de 1975-1986 ile 1987-1998 ve 1987-1998 ile 1999-2010 arasında değişim var, diğer zaman aralıklarında yoktur. Siirt ilinde  $k_1$  ve  $k_2$  dönemlerinde 1987-1998 ile 1999-2010 arasında değişim olmakta,  $k_3$  ve  $k_4$  dönemlerinde hiçbir aralıkta değişim olmamaktadır. Şanlıurfa ilinde  $k_1$  ve  $k_2$  dönemlerinde 1975-1986 ile 1987-1998 arasında değişim izlenmiş, diğer aralıklarda değişim izlenmemiş;  $k_3$  ve  $k_4$  dönemlerinde 1975-1986 ile 1987-1998 ve 1987-1998 ile 1999-2010 zaman aralıkları arasında değişim gözlenmemiş, diğer zaman aralıklarında ise değişim gözlenmiştir.

$RDI$  değerinin hesaplanması için öncelikle  $\alpha^i$  değerlerinin frekans dağılımının normalliği Anderson-Darling testine göre belirlenerek sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Buna göre bazı illerin bazı dönemleri normal dağılıma uyum sağlamadığından dolayı veri setleri logaritmik

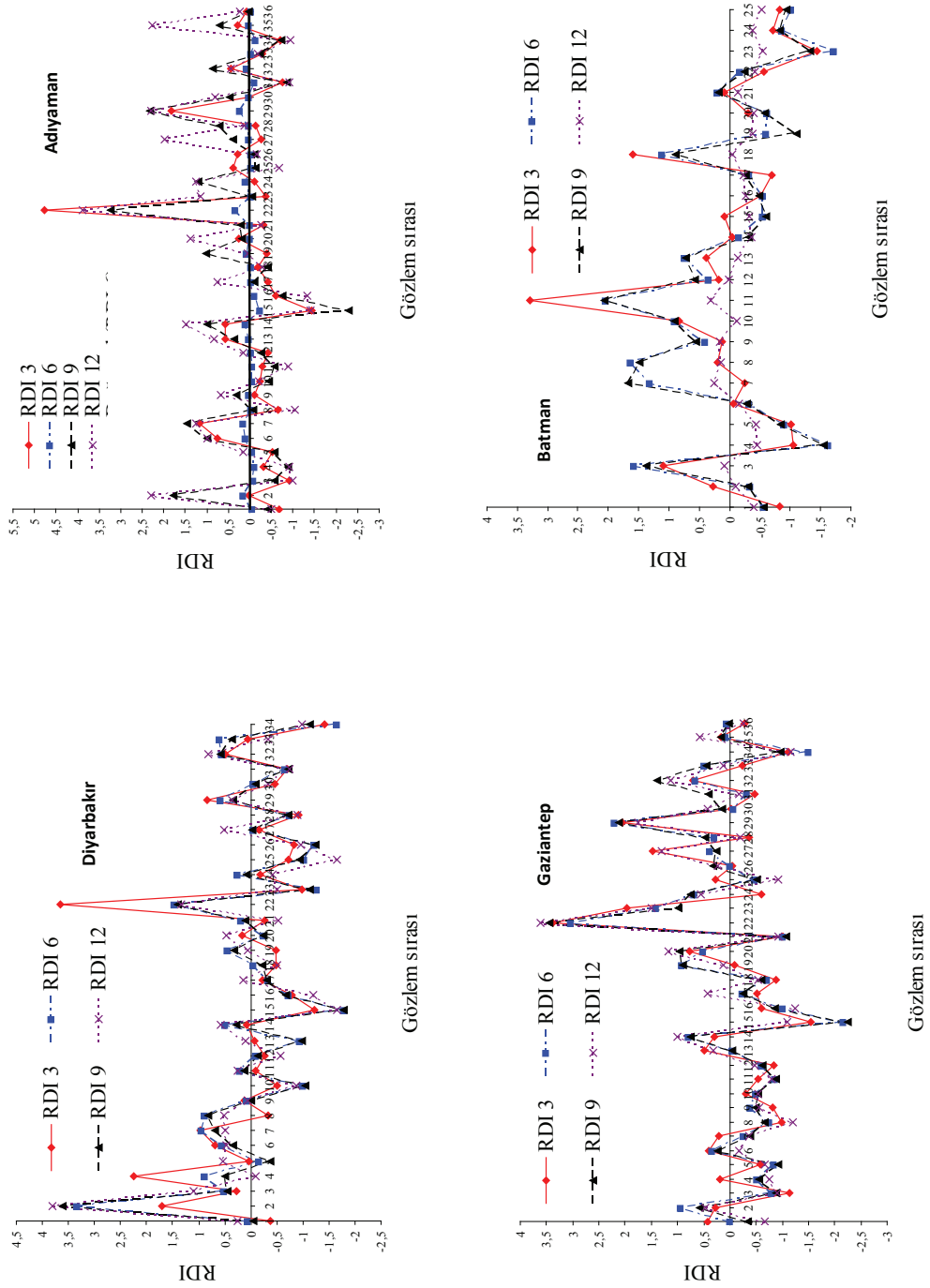
transformasyon ile tekrar Anderson-Darling testine tabi tutulmuş ve normallik sağlanmıştır. Ancak yine bazı illerin bazı dönemleri (Adıyaman  $k_1$  ve  $k_2$  ile Mardin  $k_2$ ) logaritmik transformasyona rağmen normal dağılıma uyum sağlamadığından dolayı, iki ve üç parametrelili birçok olasılık dağılım testine tabi tutulmuş ve sonuçta *logaritmik lojistik* dağılımına uyum sağlamıştır. İllere göre hesaplanan  $RDI$  değerlerinden yararlanıp oluşturulan ve Şekil 3'de verilen değişim grafikleri incelendiğinde farklı dönemlerde, Adıyaman ilinde 1 defa aşırı kuraklık, 4 defa orta derece kuraklık, 69 defa hafif kuraklık meydana gelmiş; Batman ilinde 3 defa şiddetli kuraklık, 6 defa orta derece kuraklık, 53 defa da hafif kuraklık görülmüş; Diyarbakır ilinde aşırı kuraklık görülmemekte birlikte, 5 defa şiddetli kuraklık, 11 defa orta derece kuraklık, 57 defa hafif kuraklık görülmüş ve Gaziantep ilinde 2 defa aşırı kuraklık, 1 defa şiddetli kuraklık, 10 defa orta derece kuraklık ve 66 defa da hafif kuraklık izlenmiştir. Kilis ilinde 1 defa aşırı kuraklık, 1 defa şiddetli kuraklık, 4 defa orta derece kuraklık, 62 defa hafif kuraklık olayı yaşanmış, Mardin ilinde hiç aşırı kuraklık yaşanmamış, 1 defa şiddetli kuraklık, 5 defa orta derece kuraklık, 87 defa hafif kuraklık meydana gelmiş; Siirt ilinde 2 defa aşırı kuraklık, 1 defa

### Çizelge 3- Anderson-Darling test istatistikleri

Table 3- Anderson-Darling test statistics

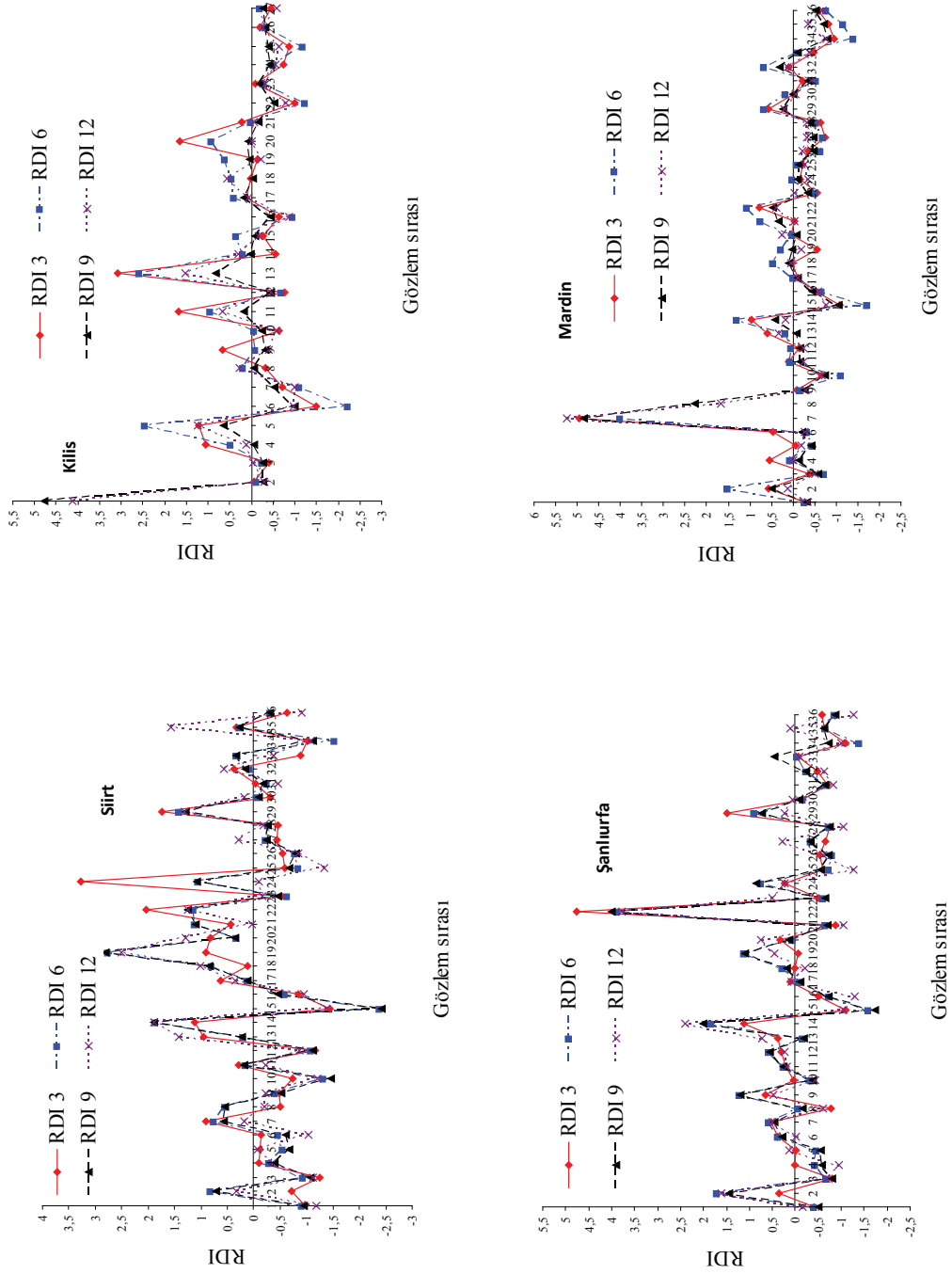
İller	Adıyaman		Batman		Diyarbakır		Gaziantep	
	AD	p-değeri	AD	p-değeri	AD	p-değeri	AD	p-değeri
k1	0.322	> 0.250	0.298	0.560	0.356	0.439	0.233	0.783
k2	0.334	> 0.250	0.493	0.198	0.522	0.171	0.557	0.140
k3	0.648	0.084	0.559	0.134	0.619	0.069	0.710	0.058
k4	0.450	0.261	0.538	0.151	0.548	0.147	0.286	0.597
Dönem	Kilis		Mardin		Siirt		Şanlıurfa	
	AD	p-değeri	AD	p-değeri	AD	p-değeri	AD	p-değeri
k1	0.397	0.344	0.496	0.200	0.156	0.950	0.466	0.239
k2	0.611	0.100	0.363	> 0.250	0.259	0.696	0.475	0.226
k3	0.583	0.087	0.470	0.198	0.286	0.606	0.712	0.058
k4	0.446	0.262	0.468	0.201	0.708	0.059	0.578	0.123

AD, Anderson-Darling test istatistiği;  $p$ -değeri > 0.05 veya  $AD < 0.752$  olan dönemler normal dağılıma uymaktadır;  $p$ -değeri > 0.250 olan dağılımlar logaritmik lojistik dağılımın olasılık değerleridir; Bazı illerin bazı dönemleri normal dağılıma uyum sağlamadığından dolayı veri setleri logaritmik transformasyon ile tekrar Anderson-Darling testine tabi tutulmuş ve normallik sağlanmıştır. Ancak yine bazı illerin bazı dönemleri (Adıyaman  $k_1$  ve  $k_2$  ile Mardin  $k_2$ ) logaritmik transformasyona rağmen normal dağılıma uyum sağlamadığından dolayı, iki ve üç parametrelili birçok olasılık dağılım testine tabi tutulmuş ve sonuçta *logaritmik lojistik* dağılımına uyum sağlamış



Şekil 3- Dönemler için RDI değişim grafikleri

Figure 3- RDI variation graphics for periods



Şekil 3- (devam) Dönemler için RDI değişim grafikleri

Figure 3- RDI variation graphics for periods

şiddetli kuraklık, 17 defa orta derece kuraklık, 61 defa hafif kuraklık görülmüş ve Şanlıurfa ilinde de hiç aşırı kuraklık görülmemiş, bunun yanında 2 defa şiddetli kuraklık, 9 defa orta derece kuraklık ve 72 defa da hafif kuraklık görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerde meydana gelebilecek kuraklığı  $RDI$  yöntemiyle tahmin ederek, referans bitki su tüketimleri üzerine etkilerini araştırmak için planlanmıştır.  $RDI$  yöntemi hesaplanırken referans bitki su tüketimi parametresi de göz önüne alındığı için,  $RDI$  yöntemi ve referans bitki su tüketim tahminleri, zaman içinde meydana gelen iklim değişikliğinin su tüketimlerine etkisini sağlıklı olarak belirtmektedir. Böylelikle, yaşanacak kuraklığın bitki su tüketimine etkisi saptanarak araştırmada göz önüne alınan illerde tarımı yapılan

bitkilerin su ihtiyacının tahmin edilmesine ve daha doğru sulama suyu uygulamaları ve bunun yanında tarımsal üretime katkıda bulunulabilecektir. Diğer yandan bitkiler için sadece ihtiyacı olacak kadar su uygulanması sonucunda bölge topraklarında çoraklaşma ve kuraklık en aza indirilebilecek ve su tasarrufu yapılabilecektir. Çalışmadan alınan sonuçlar, bölgede şiddetli kuraklığın olduğunu, bunun yanında çok sayıda hafif kuraklığın meydana geldiğini, değişim testleri incelendiğinde zaman içinde önemli artan eğilimlerin yaşandığını göstermektedir. Sonuç olarak, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuraklığın meydana gelmesiyle, tarımı yapılacak kültür bitkilerinin su ihtiyacını belirlemede önemli bulunan referans bitki su tüketiminin artması beklenmekte ve buna bağlı olarak bitki su ihtiyaçları da doğrudan artacağı ve tüm tarımsal masrafların yükseleceği düşünülmektedir. Bu bakımdan referans bitki su tüketiminin değişen iklim şartlarına

#### Kısaltmalar ve Semboller

$ET_0$	referans bitki su tüketimi ( $\text{mm gün}^{-1}$ ),
$R_n$	bitki yüzeyindeki net radyasyon ( $\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ ),
$G_n$	toprak ısı akış yoğunluğu ( $\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ ),
$T$	2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),
$u_2$	2 m yükseklikte rüzgar hızı ( $\text{m s}^{-1}$ ),
$e_s$	doğru buhar basıncı (kPa),
$e_a$	gerçek buhar basıncı (kPa),
$e_s - e_a$	doğru buhar basıncı açığı (kPa),
$D$	buhar basıncı eğrisinin eğimi ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),
$g$	psikrometrik sabit ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),
$u_t$	stokastik hata terimi
$\tau$	Dickey-Fuller test istatistiği
$R_A$	birinci örnekteki değerlerin sıraları toplamı
$Z^A$	Mann-Whitney $U$ istatistiğinin standart normal dağılım değeri
$\mu_u$	$U$ istatistiğinin ortalaması
$\sigma_u$	$U$ istatistiğinin standart sapması
$n_A$	birinci örnek sayısı
$n_B$	ikinci örnek sayısı
$P_{ij}$	$i$ . yılın $j$ . ayının toplam yağış miktarı
$ET_{0ij}$	$i$ . yılın $j$ . ayının referans bitki su tüketimi
$\alpha^i$	$i$ . yılın birikimli yağış / referans bitki su tüketimi oranı
$\mu_{\alpha}^i$	$\alpha^i$ değerinin ortalaması
$\sigma_{\alpha}^i$	$\alpha^i$ değerinin standart sapması
$A^2$	Anderson-Darling test istatistiği
$y_i$	Anderson-Darling test istatistiğindeki sıralı verinin normalize edilmiş hali
$\Phi(y_i)$	$y_i$ değerinin standart normal dağılım için birikimli dağılım fonksiyonu
$A^{*2}$	değiştirilmiş Anderson-Darling test istatistiği
$n$	örnek sayısı

göre önceden daha doğru tahmin edilmesiyle, bitki su ihtiyaçlarının güvenilir şekilde saptanması ve daha az masraf ile daha verimli bir tarımsal üretim sağlanması son derece önemlidir.

## Kaynaklar

- Agnew C T (1990) Spatial aspects of drought in the Sahel. *Journal of Arid Environments* **18**: 279-293
- Agnew C T & Warren A (1996) A framework for tackling drought and degradation: *Journal of Arid Environments* **33**: 309-320
- Allen R G, Pereira L S, Raes D & Smith M (1998) Crop Evapotranspiration. (Guidelines for computing crop water requirements), FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56
- Anderson T W & Darling D A (1952) Asymptotic theory of certain "goodness-of-fit" criteria based on stochastic processes *Annals of Mathematical Statistics* **23**: 193–212
- Anlı A S, Polat H E & Semiz G D (2011) Kırşehir ilinin kuraklığının analizi ve sulak alanlara etkisi. *II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi. Bildiriler* 22-24 Haziran, Kırşehir, s. 79-85
- Dickey D A & Fuller W A (1979) Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association* **74**: 427–431
- EKODIALOG(2014)Ekodialog.[http://www.ekodialog.com/Turkiye\\_ekonomi/guney\\_dogu\\_anadolu.html](http://www.ekodialog.com/Turkiye_ekonomi/guney_dogu_anadolu.html) (Erişim tarihi: 23.01.2014)
- Enders W (1995) Applied Econometric Time Series, John Wiley and Sons, UK
- FAO (2013) Database & Software CROPWAT 8. Natural Resources and Environment Department. <http://www.fao.org> (Erişim tarihi: 26.12.2013)
- Güngör Y, Erözel A Z & Yıldırım O (2012) Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1592, Ders Kitabı: 544, Ankara
- Koç A C & Güner Ü (2005) Mevcut sulama projelerinin FAO kriterleriyle yeniden değerlendirilmesi: Tavas Ovası örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **9**: 93-106
- Nalbantis I & Tsakiris G (2009) Assessment of hydrological drought revisited: *Water Resources Management* **23**(5): 881-897
- Stephens M A (1974) EDF statistics for goodness of fit and some comparisons. *Journal of the American Statistical Association* **69**: 730-737
- Şimşek O, Mermer A, Yıldız H, Özaydın K A & Çakmak B (2007) AgroMetShell modeli kullanılarak Türkiye’de buğdayın verim tahmini. *Tarım Bilimleri Dergisi* **13**(3): 299-307
- Tabari H, Aeini A, Talaee H & Some’e S (2012) Spatial distribution and temporal variation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions of Iran. *Hydrological Processes* **26**: 500-512
- Tsakiris G, Nalbantis I, Pangalou D, Tigkas D & Vangelis H (2006) Drought meteorological monitoring network design for the Reconnaissance Drought Index (RDI): *Options Méditerranéennes, Series A*, **80**: 57-62
- Ünlükara A, Yürekli K, Anlı A S & Örs İ (2010) Ankara ilinin aylık ve mevsimsel referans bitki su tüketimi değişiminin analizi. *I. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi. Bildiriler* 1-4 Haziran, Eskişehir. s. 16-23
- Vangelis H, Tigkas D & Tsakiris G (2013) The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments* **88**: 130-140
- Yang Z, Liu Q & Cui B (2011) Spatial distribution and temporal variation of reference evapotranspiration during 1961–2006 in the Yellow River Basin, China. *Hydrological Sciences Journal* **56**(6): 1015-1026
- Ye X, Li X, Liu J, Xu, C Y & Ziang Q (2013) Variation of reference evapotranspiration and its contributing climatic factors in the Poyang Lake catchment, China. *Hydrological Processes* DOI: 10.1002/hyp.10117
- Yürekli K, Anlı A S, Karahan G & Örs İ (2009) Karaman ili kuraklık gidişinin analizi. *I. Ulusal Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu. Bildiriler* 16–18 Haziran, Konya, s. 113-119
- Zarch M A A, Malekinezhad H, Mobin M H, Dastorani M T & Kousari M R (2011) Drought monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Water Resources Management* **25**: 3485-3504
- Zhang X, Kang, S, Zhang L & Liu J (2010) Spatial variation of climatology monthly crop reference evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China. *Agricultural Water Management* **97**: 1506-1516