

Porsuk Çayı Havzasında Düşük Akım Analizi

Low flow analysis in Porsuk Creek Basin

Faize SARIŞ¹

¹ Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çanakkale, Türkiye.

✉ Sorumlu yazar/Corresponding author: faizesaris@gmail.com

Makalenin Tarihçesi – Article History

Geliş / Received: 16/11/2016

Revizyon / Revised: 14/12/2016

Kabul / Accepted: 20/12/2016

ÖZET

Bir havzada düşük akım karakteristiklerinin tanımlanması havzanın, kurak dönemlerdeki su kapasitesini dikkate alarak, sucul ekosistemleri tehlikeye atmadan su talebinin karşılanmasına yardımcı olur. Düşük akım analizi su azlığının gerçekleşebileceği dönemler ve büyüklüğü hakkında bilgi veren önemli bir araçtır. Bu çalışmada Porsuk Çayı havzasındaki 4 Akarsu Gözlem istasyonunun 1969-2011 dönemindeki günlük akım verisi analiz edilerek düşük akımların eşik değeri, süresi ve mevsimselliğinin yıllar içindeki değişkenliğini tanımlamak, ayrıca Akarsu Akım Eksikliği indisi ile kurak dönemlerin uzun yıllardaki değişkenliğini belirlemek amaçlandı. Yöntem olarak tanımlayıcı istatistiklerin yanısıra, akım süreklilik eğrisi yardımıyla düşük akım analizi (Q90 eşik değerleri için) ve akım eksikliği indisi uygulandı. Porsuk havzasında düşük akımların eşik değerinin alansal olarak yukarı ve alt havza arasında farklılık gösterdiği zamansal olarak düşük akımlarda eşik değerlerin negatif eğilimde olduğu ve düşük akım dönemlerinin daha erken başladığı belirlendi. Bu bulgular hem yağış miktarının azalması ve türünün değişmesiyle ilgili olup hem de, havzadaki su kullanımı ile ilişkilidir.

Anahtar kelimeler: Porsuk Çayı, düşük akım, Akım eksikliği indisi.

ABSTRACT

Identifying the low flow characteristics of a basin can support meeting water demand without endangering aquatic ecosystems and by considering water potential of the basin during dry periods. Low-flow analysis is a significant tool that provides information about the period and magnitude of water shortages. This study aims to identify the long-term variability of low flows in terms of threshold value, duration and seasonality by analyzing the daily streamflow data of 4 gauging stations in the Porsuk Creek Basin for the period 1969-2011. Descriptive statistics were employed, together with a flow duration curve (for the Q90 threshold) and a Streamflow Deficit Index (SDI) analysis. Threshold values differ between upper and lower parts of the Porsuk Creek basin. Temporal analysis indicates that threshold values tend to decrease and in addition, low flow periods are starting earlier. These results are not only related to decreasing precipitation amounts and changing precipitation types, but also connected with water use in the basin.

Keywords: Porsuk Creek, low flow, Streamflow deficit index.

1. GİRİŞ

Kuraklık “Bölgesel ve sürekli olarak ortalama doğal su varlığının altında gözlenen su varlığı” olarak tanımlanır (Tallaksen and Lanen, 2004). Kuraklık, fiziksel sistemde gözlenen (iklim ve hidroloji) ve yağış, toprak nemi, yeraltı suyu ve akarsu akımı gibi değişkenlere yansıyan normal şartlardan sapma olarak karakterize edilebilir (Lanen vd., 2007). İklim değişikliği sıcaklık, yağış ve buharlaşma gibi meteorolojik parametrelerde değişikliğe dolayısıyla da meteorolojik kuraklığın değişimine, frekansının ve şiddetinin artışına yol açmaktadır. Bu değişkenliğin, tarımsal kuraklık (toprak nem açığı) ve hidrolojik kuraklığa etkileri de araştırılmalıdır. Hidrolojik kuraklık durumu suya bağlı doğal ve sosyo-ekonomik sistemlerin devamlılığı açısından önem taşır (Working Group on Water Scarcity and Drought, 2006). Hidrolojik kuraklık, meteorolojik ve tarımsal kuraklıktan sonra gelişir ve genellikle su teminini (akarsu, göl, baraj ve yeraltı suyu) etkileyen ve potansiyel olarak önemli toplumsal etkilere neden olan uzamış yağış açığı dönemlerini takiben meydana gelir. Hidrolojik kuraklık, akarsu akımının belirli bir dönem süresince normalin altında ve yetersiz olması durumudur. Düşük akım değerleri hidrolojik kuraklığın belirlenmesi için gereklidir. Ancak hidrolojik kuraklık ve düşük akım dönemleri arasındaki ayırım doğru yapılmalıdır (Fleig, 2004).

“Düşük akım” ve “yüksek akım” terimleri bir akarsuyun akım rejimi tanımlaması dahilinde kullanılan ve akımların ortalama yıllık döngüdeki salınımlarını ortaya koyan kavramlardır. Düşük ve yüksek akımların mevsimselliği bölgesel iklimle ilişkilidir. Düşük akım dönemlerinin yıl-ıç ve yıllar-arası değişkenliği (süre-frekans ve ısrar bileşenleriyle birlikte) hidrolojik kuraklık sinyalleri verebilir. Hidrolojik kuraklığı belirlemede eşik seviye yöntemi (threshold level method) yaygın olarak kullanılır (Edossa vd., 2010; Fleig vd., 2006; Hisdal vd., 2004; Pandey vd., 2008; Panu and Sharma, 2009; Şen, 2015a; Sharma and Panu, 2008; Stahl vd., 2008; Tallaksen vd., 1997; Tallaksen vd., 2004, Tosunoğlu ve Kişi, 2016).

Türkiye için yapılan kuraklık çalışmalarının genel odağının meteorolojik kuraklık olduğu ve yağışta meydana gelen değişimlere göre kurak yılların belirlendiği görülmektedir (Karabörk, 2007; Türkeş, 2003; Türkeş ve Tatlı 2008, 2009; Türkeş vd, 2009). Ancak Akdeniz havzası için yapılan iklim projeksiyonlarında yağmur ve kar yağışlarında azalma ve sıcaklık ile buharlaşmanın artmasıyla birlikte, kuraklık olaylarının frekansının ve süresinin artması gibi etkiler beklenmektedir ki (Ozturk vd., 2015; Giorgi ve Lionello, 2008; IPCC, 2013) bu etkiler toprak neminin, yüzey ve yeraltı sularının azalmasına yol açacaktır.

Kuraklık yavaş gelişen, geniş alanlarda etkili, tahmini zor, olası ekonomik etkisi yavaş ancak potansiyel olarak büyük ve sonuçları tehlikeli (içme suyu ve gıda temin

edilememesi) bir doğal afettir. Akarsularda düşük akım ve hidrolojik kuraklığın izlenmesi, hidrolojik süreçlerle ilişkili ekolojik yaşamın ve ekonomik sektörlerin sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Sakarya nehrinin bir kolu olan Porsuk Çayı Havzası Kuzeybatı Anadolu’da Doğu-Batı yönünde 201 km, Kuzey-Güney yönünde 135 km uzunluğunda 10.869 km²’lik bir alanı kapsar. İç Batı Anadolu Bölümü, Yukarı Sakarya Oluğu, Porsuk Oluğu ve Sündiken Dağları Yöresini içine alır (Tekkanat ve Sariş, 2015). Karasal ve Karasal Akdeniz Geçiş yağış rejimleri ile karakterize olan çalışma sahası (Sariş vd., 2010), iklim tipi olarak Yarı nemli Orta-Batı Anadolu ve Kurak yarı-nemli karasal Orta Anadolu iklim bölgelerine dahil edilmektedir (İyigün vd., 2013). Orta – yukarı havza geçişinde yer alan barajlar, oluşturdukları yerel taban seviyesi etkisiyle sedimantasyon taşınımını etkilemekte aynı zamanda orta ve alt havzanın su gereksinimini olumsuz yönde etkilemektedir. Tarım amaçlı arazi kullanımı sonucu ve diğer etkinliklerle ortaya çıkan bitki örtüsü tahribi intersepsiyon ve infiltrasyonu olumsuz yönde etkilemekte, özellikle yukarı havzadaki ormansızlaşma akış katsayısının yükselmesine ve havzanın geçiş süresinin kısalmasına yol açmaktadır.

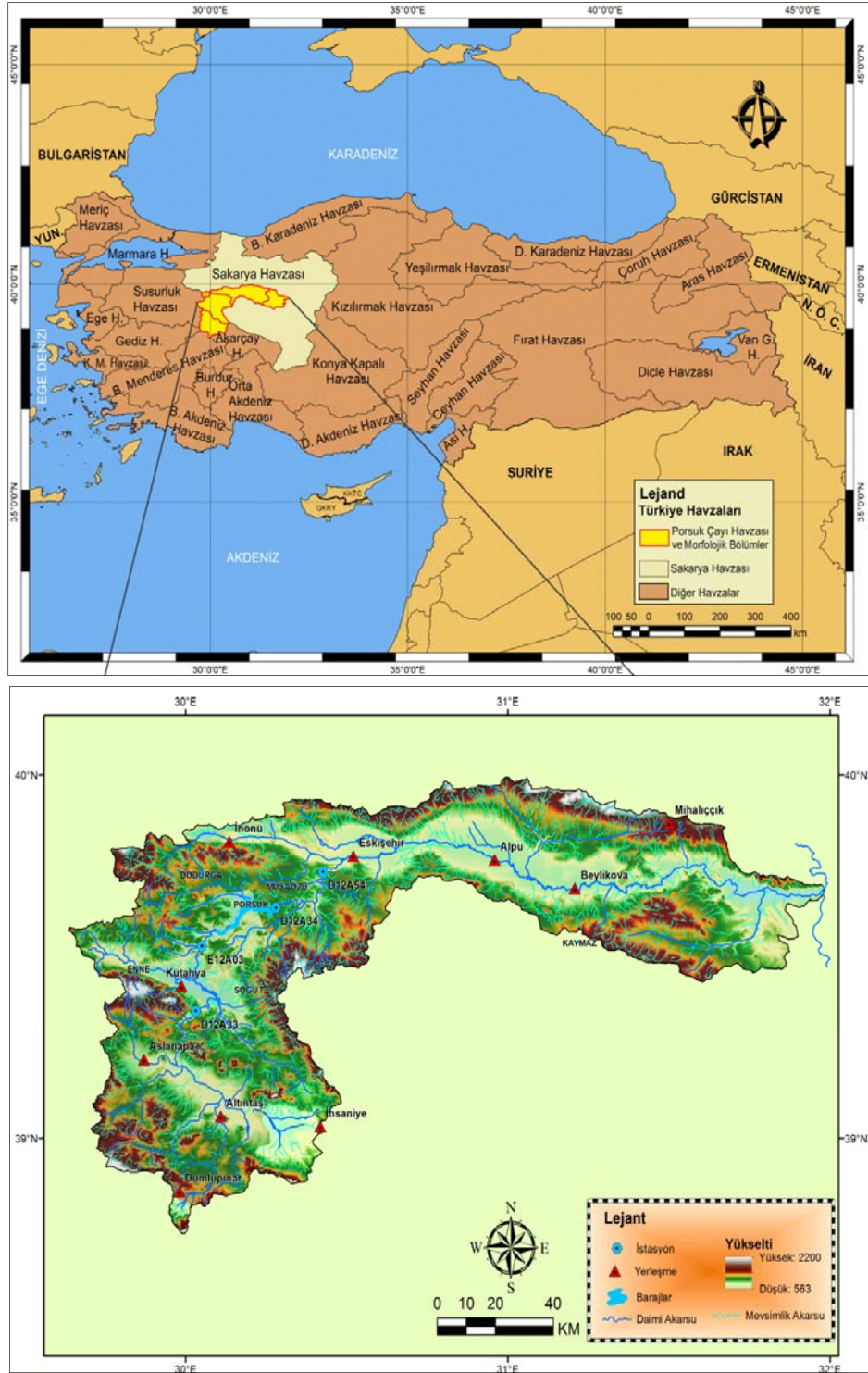
Bu çalışmada Porsuk Çayı havzasında (**Şekil 1**) yer alan 5 Akarsu Gözlem İstasyonunun (AGİ) 1969-2011 dönemindeki günlük akım verisini analiz edilerek düşük akımların dönemselliği ve büyüklüğünü açıklamak, akarsu akım eksikliği indisi (SDI) ile havzanın hidrolojik kuraklık özelliğini ve yıllar içindeki değişkenliğini tanımlamak amaçlandı.

2. VERİ ve YÖNTEM

Çalışmada düşük akım analizi için Devlet Su İşleri ve Elektrik İşleri Etüd idaresi tarafından işletilen 4 AGİ’nin 1969-2011 yılları arasında kaydedilmiş günlük akım verisi kullanıldı (Tablo 1). Akarsu akım eksikliği indisi için aynı döneme ait aylık ortalama akım değerleri kullanıldı. Çalışmada kullanılan istasyonlardan ikisi Porsuk barajı gerisinde ve üst havzada yer alırken, istasyonlardan biri Porsuk Barajı çıkışında, diğer ise orta havzada yer almaktadır (**Şekil 1**). İstasyonların gözlem süresi Porsuk Barajının kuruluşundan sonraki dönemi içine aldığı için akım verilerinde inhomojenlik olması olasıdır. Gerçekten de havzadaki istasyonların homojenlikleri Kruskal-Wallis homojenlik testiyle sınındığında zaman akım serilerinde inhomojenlik belirlendi. Ancak bu inhomojenlik sıçrama biçimli değişkenlik olmayıp daha çok trende karşılık gelen bir değişkenlik deseni oluşturur. Bu nedenle veriler üzerinde önemli bir yapay müdahale olmadığı kabul edildi.

2.1. Düşük Akım Analizi

Düşük akımları analiz etmek için öncelikle Debi süreklilik analizi uygulandı.



Şekil 1: Porsuk Çayı Havzasının fizyografik özellikleri ve çalışmada kullanılan akarsu gözlem istasyonları (Kaynak: Tekkanat & Sarış, 2015)

Figure 1: Physiographic characteristics of Porsuk Creek Basin and streamflow gauging stations used in the study (Source: Tekkanat & Sarış, 2015).

Debi süreklilik eğrisi, bir kümülatif frekans eğrisidir ve akarsuda belirli bir akımın eşit veya aşmış olacağı zaman yüzdesini gösterir (Hubert, 1995). Aşma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır (P):

$$P = 100 * [M / (n + 1)]$$

P = belirli bir akımın eşit olma ve aşma olasılığı (% zamanın yüzdesi)

M = Sıra numarası

n = Toplam olay sayısı (365)

Düşük akım uzun süreli kuru hava şartlarında akarsuda meydana gelen akım olarak tanımlanır (WMO, 2008). Kuraklık düşük akım dönemlerini kapsar ancak her düşük akım dönemi kuraklık anlamına gelmez. Yıl içerisinde devamlı ve şiddetli bir düşük akım dönemi yıllık kurak dönem olarak kabul edilebilir (Fleig, 2004). Q90 eşik değerinin altında kalan günler düşük akımlı gün olarak değerlendirilir. Q90 değeri belirli bir zaman içerisinde gözlenen akarsu akımları dikkate alınarak hesaplanır. Q90 Akarsuyun gözlem zamanının %90'ında tabanında bulunan akımı ifade eder. Ters şekilde Q10 ise gözlem zamanının %10'unda gözlenen akımı ifade eder.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan Akarsu Gözlem istasyonlarının bilgileri (* "D" Devlet Su İşleri AGİ, "E" ise Elektrik İşleri Etüd İdaresi AGİ veri tabanından alınan istasyonları gösterir).

Table 1: Meta data of river gauging stations used in the study (* "D" denotes river gauging stations obtained from State Hydraulic Works database while "E" denotes river gauging stations obtained from Electrical Power Resources Survey and Development Administration database).

| İstasyon Kodu* ve Adı | Enlem | Boylam | Yağış Alanı (km ²) | Yükselti (m) |
|-------------------------------|-------|--------|--------------------------------------|-----------------|
| E12A03 Beşdeğirmen | 39.21 | 30.03 | 3938.4 | 895 |
| D12A33 Porsuk Çiftliği | 39.20 | 30.20 | 2432.0 | 951 |
| D12A34 Porsuk Baraj Çıkışı | 39.38 | 30.17 | 465.5 | 842 |
| D12A54 Eşenkara | 39.44 | 30.20 | 5169.0 | 842 |

2.2. Akarsu Akım Eksikliği Indisi

Bu indis ortalama ve standart sapma verilerini kullanarak belirlenen referans dönemler için kümülatif akımda bir ölçeklendirme yaparak kurak-nemli dönemleri belirlemek için kullanılır (Nalbantis, 2008).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}}{s_k} \quad i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4$$

V_k ve S_k sırasıyla kümülatif akımların belirlenen referans dönemindeki (k) ortalama ve standart sapmasını ifade eder. Dönemler; **k1:** Ekim – Kasım – Aralık, **k2:** Ekim – Kasım – Aralık – Ocak – Şubat – Mart, **k3:** Ekim – Kasım – Aralık – Ocak – Şubat – Mart – Nisan – Mayıs – Haziran ve **k4:** Ekim – Kasım – Aralık – Ocak – Şubat – Mart – Nisan – Mayıs – Haziran – Temmuz – Ağustos – Eylül olarak belirlenir. **Tablo 2'**de akım eksikliği tanımlama kriterleri verilmiştir.

Tablo 2: Akım eksikliği tanımlama kriterleri.

Table 2: Defining criteria for streamflow deficit.

| Kriter (Endeks Değeri) | Tanım |
|------------------------|---------------------|
| ≥ 0.0 | Kuraklık yok |
| $-1.0 \leq SDI < 0.0$ | Hafif kurak |
| $-1.5 \leq SDI < -1.0$ | Orta derecede kurak |
| $-2.0 \leq SDI < -1.5$ | Şiddetli kurak |
| < -2.0 | Ekstrem kurak SDI |

2.3. Korelasyon analizleri

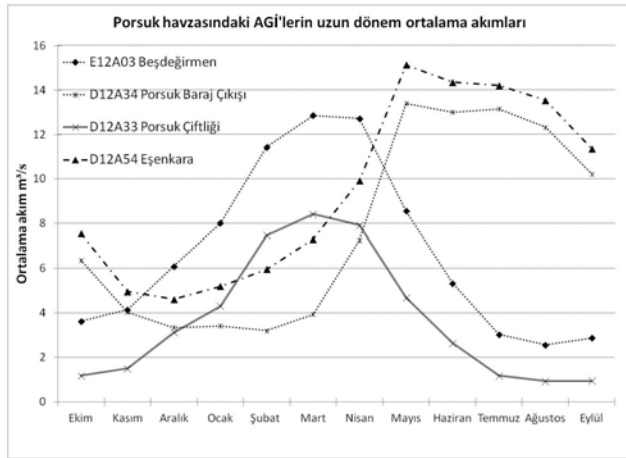
Hidrolojik verilerinin korelasyon analizinde hem parametrik hem de parametrik olmayan testler kullanılır. İki rasgele değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemek için Pearson Korelasyon kat sayısı yöntemi yaygın olarak kullanılır (Mendeş, 2012). Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin standart bir ölçüsüdür ve doğrusal ilişkinin kuvvetini ve yönünü verir (Rogerson, 2007). Mann-Kendall ve Spearman's Rho testleri de yine zaman serilerinde doğrusal trendi belirlemek için yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan testlerdir (Tekkanat ve Sariş, 2015). Bu çalışmada değişkenlerin sürekli ve veri uzunluğunun ($n \geq 10$) yeterli olması gözönünde bulundurularak hem parametrik Pearson korelasyon katsayısı yöntemi hem de Mann-Kendall ve Spearman's Rho sıra korelasyon ilişki katsayısı yöntemleri düşük akım eşik değerlerinin uzun dönemli değişkenlik eğilimini belirlemek için kullanıldı.

3. VERİ ve YÖNTEM

Porsuk Çayı Havzası'nın yıllık ortalama su potansiyeli 481 hm³'tür. Porsuk Çayı, Murat Dağı eteklerinden doğar, Porsuk kaynaklarını alıp Kütahya'yı geçtikten sonra kuzeydoğuya doğru bir yay çizerek Porsuk Baraj Gölü'ne girer ve çıkar. Eskişehir, Alpu, Beylikova, Sarıköy boyunca doğuya akar ve Beyliköprü civarında Sakarya nehriyle birleşir. Çayın büyük kolları, güneyde Kokar Çayı, Murat

Çayı, Porsuk Dere, Çat Dere, Değirmen Dere, Felent Çayı, Kınık Dere, Kuduzlu Dere, Kargın Dere, Uludere ve Musaözü Deresi oluşturur. Kuzey ve doğuda, Sarısu Çayı, Sarıungur Dere, Muttalıp Dere, Mihaliççik Dere ve Pürtek Dere yer alır (Öztürk, 2007).

Şekil 2'de verilen uzun dönem ortalama akımların yıl içindeki değişkenliğini gösteren grafiğe göre Porsuk Çayı havzasının akım rejim özelliğinin tanımlanmasında, büyüklük olarak istasyonlar arasında çok belirgin bir fark olmadığı ve istasyonların mevsimsellik olarak ilkbahar-yaz akım maksimumuna sahip olduğu belirtilebilir. Akım büyüklüğü yıl içerisinde 15 m³/s'yi aşmamaktadır. Porsuk Barajı gerisindeki üst havzada yer alan stasyonlarda akım piki Mart, mansapta yer alan istasyonlarda Mayıs'tır. Beşdeğirmen ve Porsuk Çiftliği istasyonlarında akım rejimi doğal etkenlerle şekillenirken (ilkbahar akım maksimumu havzada hem kar erimesi hem de ilkbahar yağışlarının etkili olduğu karma bir rejim özelliğine işaret eder); Porsuk barajı mansabında yer alan istasyonların akım rejimi baraj suyunun kullanımı ile ilişkilidir.



Şekil 2: Porsuk Çayı havzasında yer alan AGİ'lerin uzun dönem (1969-2011) ortalama akım karakteristikleri.

Figure 2: Long-term mean flow characteristics of streamflow gauging stations located in Porsuk Creek Basin.

Yıllık ortalama 470 mm yağış alan havzada yıllık maksimum yağış ortalaması 603 mm iken yıllık minimum yağış ortalaması yaklaşık 283 mm'dir. Havzanın uzun dönemli aylık yağış ve sıcaklık ortalamalarına bakıldığında en kurak ayları sırasıyla Ağustos (13.6 mm), Temmuz (16.5 mm) ve Eylül ayları (17.5mm) oluşturur. En nemli ayları, Eskişehir'de Mayıs (45.4 mm), Aralık ve Nisan (44.2 mm) oluşturmakla birlikte; Kütahya istasyonunda sırasıyla Aralık (77.8 mm), Ocak (64.2 mm), ve Nisan (59.4 mm) aylarıdır. Havza genelinde en yüksek sıcaklıklar; Temmuz (21.8°C), Ağustos (21.5°C) ve Haziran (19 °C) aylarında

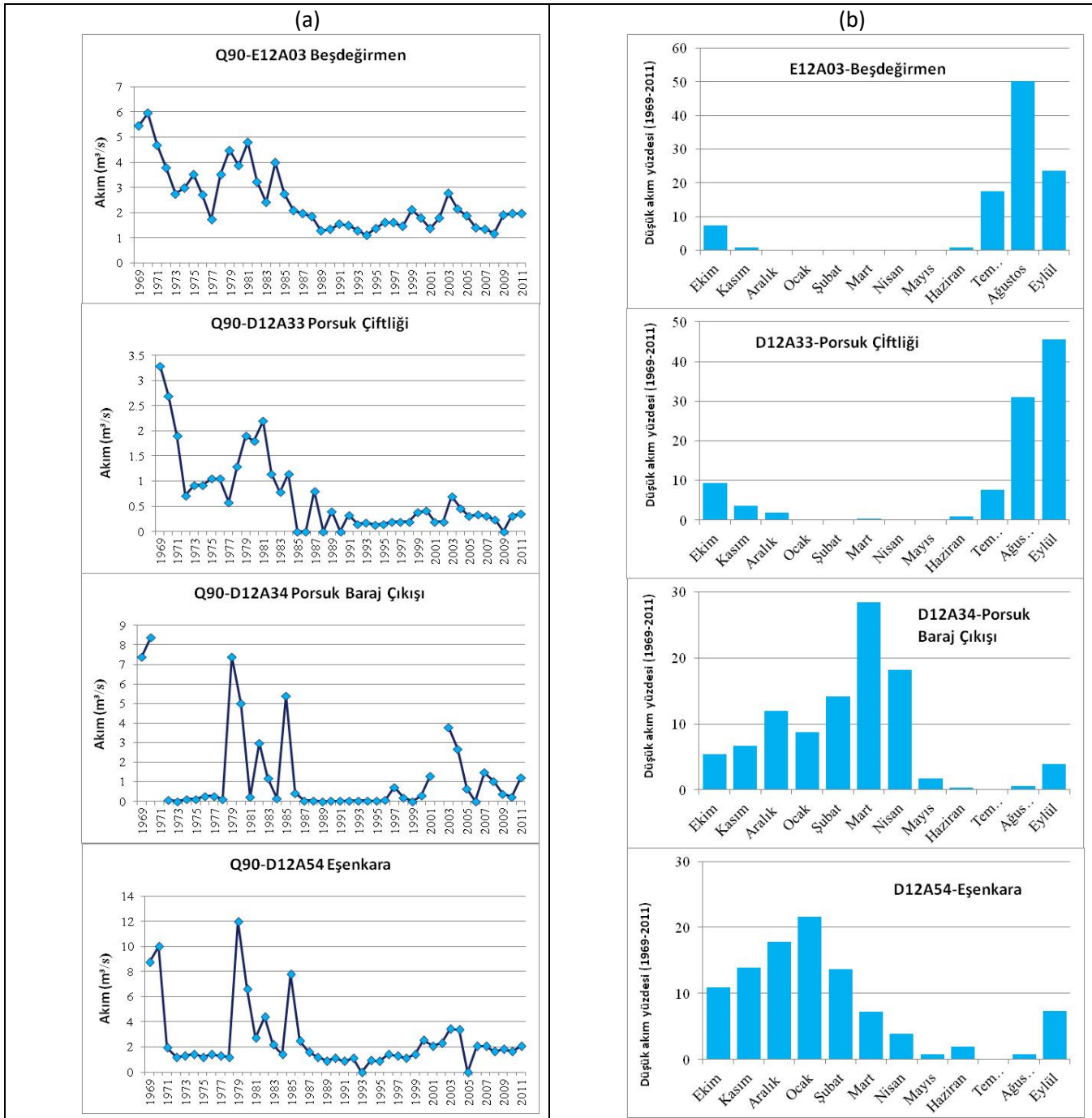
gözlenirken; en düşük sıcaklıklar Ocak (0 °C), Şubat (1.4 °C) ve Aralık (1.8 °C) aylarında kaydedilmiştir. Havzada yer alan illerin iklim tipi analizlerine göre bölge Step-yarıkurak iklim tipine (Köppen:BSk), bölge su fazlası olmayan ya da pek az olan Mezotermal iklimle (Thorthwaite: D,B'1,d,b'2) karakterize edilir (MGM, 2008).

4. BULGULAR

4.1. Düşük Akım Analizi Sonuçları

Tüm AGİ'lerde kaydedilmiş günlük akım verilerinden yola çıkarak her yıl için (1969-2011 dönemi süresince) Q90 eşik değeri hesaplandı. Bu eşik değerinin yıllararası değişkenliği Şekil 3a'da verildi. İstasyonların ortalama eşik değerleri sırasıyla, Beşdeğirmen (E12A03)-2.46 m³/s, Porsuk Çiftliği (D12A33)- 0.7 m³/s, Porsuk Baraj Çıkışı (D12A34)-1.3 m³/s ve Eşenkara (D12A54)- 2.5 m³/s'dir. Tüm istasyonlarda Q90 eşik değerleri 1980'lerden başlayarak belirgin bir azalma eğilimi gösterir. Azalmanın önemli bir unsur bileşeniyle karakterize olduğu gözlenir, ve azalma döneminde Beşdeğirmen ve Eşenkara istasyonu dışında diğer istasyonlarda düşük akım eşik değeri ortalamasının 1m³/s'nin altına düştüğü görülür. Eşik değerlerin 1985 öncesi ve sonrası dönemlerdeki ortalamaları karşılaştırıldığında, değişim oranının Beşdeğirmen'de en fazla (yaklaşık %45), Porsuk Baraj Çıkışı ve Eşenkara istasyonlarında da yaklaşık % 40 olduğu görülür. 42 yıllık eşik değerler zaman dizisine uygulanan Pearson Korelasyon analizi sonuçlarına göre Beşdeğirmen ve Porsuk Çiftliği istasyonlarında kuvvetli negatif (0.01 anlam düzeyinde) ve Eşenkara'da 0.05 anlamlılık düzeyinde negatif yönde doğrusal bir ilişki belirlenirken, Porsuk Baraj Çıkışı istasyonunda anlamlı bir sonuç elde edilmedi. Mann-Kendall ve Spearman's Rho testlerinin sonuçlarında ise yalnızca Beşdeğirmen ve Porsuk Çiftliği istasyonlarında kuvvetli bir azalma trendi belirlendi..

Debi süreklilik eğrisi yardımıyla belirlenen düşük akımlı günlerin yıl içindeki dağılım oranları Şekil 3b'de verildi. Burada düşük akımlı günlerin mevsimselliğini ortaya koymak amaçlandı. Yukarı havzayı temsil eden Beşdeğirmen, ve Porsuk Çiftliği istasyonlarında düşük akımlar en fazla Ağustos ve Eylül aylarında gözlenip en fazla üç aylık periyotlarda etkili olurken, Orta havzayı temsil eden Porsuk Barajı mansabındaki istasyonlarda düşük akımların Ekim-Nisan döneminde etkili olduğu görülür. Bu istasyonlarda düşük akımın değişkenliği üzerinde baraj ve su kullanımının etkisi oldukça belirgindir. Beşdeğirmen istasyonunda tek başına Ağustos ayında düşük akımın % 50si gerçekleşir. Porsuk Çiftliği'nde düşük akım oranının en yüksek olduğu ay Eylül (% 45), Porsuk Baraj Çıkışı'nda Mart (% 28.4) ve Eşenkara istasyonunda Ocak (% 21,6) ayıdır.



Şekil 3: (a) Q90 Düşük akım eşik değerlerinin yıllararası değişimi, (b) Düşük akımlı günlerin aylara göre değişimi.

Figure 3: (a) Interannual variability in Q90 low flow threshold values, (b) Intra-annual variability of low flow days.

Bulgular hidrolojik kuraklık eğiliminin güçlendiğini işaret etmektedir.

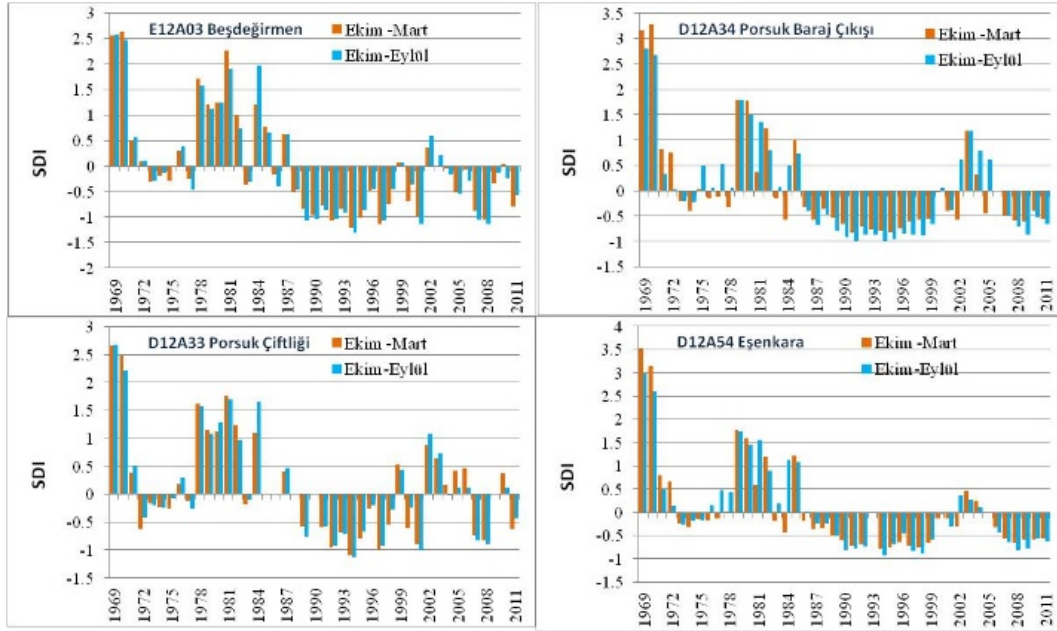
4.2. Akarsu Akım Eksikliği Indisi Sonuçları

Porsuk Çayı havzasında yer alan dört AGİ için dört farklı kuraklık dönemindeki akım eksikliği indisi hesaplandı. 43 yıllık gözlem dönemi için gerçekleştirilen analizin sonuçları

Tablo 3'te verildi. Şiddetli ve ekstrem kuraklık koşulları hiçbir kuraklık döneminde gözlenmezken, indisi sonuçları sınıflandırmanın “kuraklık yok” ve “hafif kurak” koşullarında yoğunlaştığını göstermektedir. Hafif kurak yılların **k1** (Ekim-Kasım-Aralık) ve **k2** (Ekim-Mart arası) dönemlerinde belirginleştiği söylenebilir. Orta derecede kurak yılların sayısı oldukça az olsa da; özellikle **k2-k3-k4**

döneminde Beşdeğirmen etkili olduğu gözlemlendi. Şekil 4'de k3 ve k4 dönemlerinde elde edilen indis değerlerinin yıllararası değişkenliği verildi. Bu dönemlerin seçilmesinin nedeni hidrolojik kuraklığın daha uzun sürelerde belirgin duruma gelmesidir. Grafiklere bakıldığında öncelikli olarak dikkat çeken nokta, yıllararası değişkenlik deseninin tüm istasyonlarda benzer olmasıdır. 1969-72 arası pozitif bir evreyi, 1973-77 arası kısa süreli negatif bir evreye ve sonra-

sında yaklaşık 10 yıllık pozitif bir evreye izlemektedir. Düşük akımların yıllararası değişkenliğiyle uyumlu olarak akım eksikliği analizi sonuçları da 1980'lerin ortasından itibaren akımlarda azalmanın dolayısıyla kuraklığın belirgin hale geldiği ve akım eksikliği indis değerlerinin 2000'li yılların başındaki kısa süreli bir pozitif evreye dışında önemli bir negatif eğilim gösterdiği ifade edilebilir.



Şekil 4: k3 ve k4 dönemlerinde göre indis değerlerinin yıllararası değişkenliği.

Figure 4: Interannual variability of index values for k3 and k4 periods.

Tablo 3: Dört farklı döneme göre akarsu akım eksikliği indisi sonuçları.

Table 3: Results of streamflow deficit index based on four different periods.

| Dönem | İstasyonlar | $SDE \geq 0.0$ | $-1.0 \leq SDI < 0.0$ | $-1.5 \leq SDI < -1.0$ | $-2.0 \leq SDI < -1.5$ | $SDI < -2.0$ |
|-------------|----------------------------|----------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| K1 (Ek-Ar) | E12A03 Beşdeğirmen | 15 | 23 | 5 | | |
| | D12A33 Porsuk Çiftliği | 15 | 23 | | | |
| | D12A34 Porsuk Baraj Çıkışı | 16 | 25 | 1 | | |
| | D12A54 Eşenkara | 18 | 23 | | | |
| K2 (Ek-Mar) | E12A03 Beşdeğirmen | 16 | 22 | 5 | | |
| | D12A33 Porsuk Çiftliği | 18 | 19 | 1 | | |
| | E12A34 Porsuk Baraj Çıkışı | 12 | 30 | 0 | | |
| | D12A54 Eşenkara | 12 | 29 | | | |
| K3 (Ek-Ha) | E12A03 Beşdeğirmen | 16 | 23 | 4 | | |
| | D12A33 Porsuk Çiftliği | 18 | 19 | 1 | | |
| | E12A34 Porsuk Baraj Çıkışı | 17 | 25 | | | |
| | D12A54 Eşenkara | 18 | 23 | | | |
| K4 (Ek-Ey) | E12A03 Beşdeğirmen | 16 | 19 | 8 | | |
| | D12A33 Porsuk Çiftliği | 17 | 20 | 1 | | |
| | D12A34 Porsuk Baraj Çıkışı | 20 | 22 | | | |
| | D12A54 Eşenkara | 18 | 23 | | | |

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma sonucunda elde edilen ana sonuçlar şöyle özetlenebilir: (i) Yukarı havzada düşük akımlı aylar Temmuz, Ağustos ve Eylül ile sınırlıyken aşağı havzada 6 aya yayılıp ve sonbaharı da içine alır, (ii) Düşük akım değerleri tüm havzada 1985'ten sonra önemli bir azalma eğilimine girdi, (iii) Akarsu Akım Eksikliği analizine göre hafif kurak yılların oranı en yüksektir (özellikle k1 ve k2 analiz döneminde) ve (iv) Düşük Akım analizi ile uyumlu olarak kurak yıllar 1980'lerden sonra belirgin hale geldi (2000-2005 yılları arası hariç). Elde edilen sonuçlar Porsuk Çayı havzasında yüzeysel suyun erişiminin kısıtlı olduğu dönemlerin giderek arttığını, dolayısıyla hidrolojik kuraklık eğiliminin şiddetlendiğini göstermektedir. Bu durum öncelikle yağışlardaki değişkenlik ve tutma/sızma dengesinin bozulmasıyla toprak nem açığının ve dolayısıyla sığ yeraltı akışının azalması ile ilgili olabilir. Porsuk Çayı'nda yağış ve akım değişkenliğine ilişkin en güncel sonuçlar Tekkanat ve Sariş (2015) tarafından yayınlanmıştır.

Çalışmada ortalama, maksimum ve minimum akımlarda 1980'li yıllardan sonra belirginleşen bir azalma eğilimi tespit edildi. Ayrıca havzada yağışlarda gözlenen azalmanın zamansal olarak bu akımdaki eğilimlerle paralellik gösterdiği belirtildi (Tekkanat ve Sariş, 2015). Ancak düşük akımlar üzerinde yağış etkisi, yağışın miktar olarak azalmanın dışında, yağış türünün değişikliği (kış döneminde kar yerine yağmur gerçekleşmesi) ve/veya yağış karakterinin değişmesi (daha kısa süreli ve şiddetli yağışlar) ile ilgili olabilir. Çünkü düşük akımlar doğası gereği akarsuyun taban akımında belli bir eşik değerinin altında kalan akımı ifade eder ki bu akım daha çok kurak dönemlerde belirgindir (Fleig, 2004) dolayısıyla öncesindeki yağışlı dönemde suyun çeşitli rezervuarlarda (toprak nemi yeraltısu ya da baraj gibi) tutulması ile ilişkilidir. Dolayısıyla, barajlarda su tutulması ve kullanımının açısından havzada özellikle Porsuk Baraj Çıkışı ve Eşenkara istasyonlarındaki düşük akım karakteristiği üzerinde etkili olduğu ifade edilebilir. Akım gözlem döneminin Porsuk Barajının kuruluşundan sonraki dönemi içine aldığı dikkate alınır, düşük akımlar üzerinde su kullanımı ve yönetiminin ne denli önemli olduğu anlaşılacaktır.

Hem doğal hem insan kaynaklı etkiler neticesinde, havza da su sağlanması konusunda ilerleyen süreçte sorun yaşanması olasıdır. Sosyo-ekonomik faaliyetlerin yoğunlaştığı aşağı havzanın durumunu belirleyebilmek için akım gözlemlerinin artırılması ve daha etkin su planlamalarının uygulanması gereklidir.

KAYNAKÇA

- Edossa, D.C., Babel M.S. & Das G.A. (2010). Drought analysis in the Awash River Basin, Ethiopia. *Water Resources Management* 24: 1441–1460.
- Fleig, A. (2004). *Hydrological Drought – A comparative study using daily discharge series from around the world*. Institute of Hydrology, Germany: University of Freiburg (Msc Thesis).
- Fleig, A.K., Tallaksen, L.M., Hisdal, H. & Demuth, S. (2006). A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 535–552.
- Giorgi, F. & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planetary Change*, 63: 90–104.
- Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters E. & Gustard A. (2004). Hydrological drought characteristics. In *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, Developments in Water Science, Tallaksen LM, van Lanen HAJ (eds). Elsevier; 139–198.
- Hubert, W.A. (1995). Evaluation of flow duration analysis to establish winter instream flow standards for Wyoming trout streams. Wyoming: WWRC-97-03.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [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, 1535 pp.
- Iyigün, C., Türkeş, M., Batmaz, İ., Yozgatlıgil, C., Gazi, V.P., Koç, E.K. & Öztürk, M.Z. (2013). Clustering current climate regions of Turkey by using a multivariate statistical method. *Theoretical and Applied Climatology*, 114, 95–106.
- Lanen, H.A.J. van, Tallaksen, L.M. & Rees, G. (2007). Droughts and Climate Change. In: Commission Staff Working Document Impact Assessment (SEC(2007) 993), Accompanying document to Communication Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union (COM(2007) 414), Commission of the European Communities, Brussels, Belgium.
- Mendeş, M. (2012). *Uygulamalı Bilimler İçin İstatistik ve Araştırma Yöntemleri*. Kriter Yayınevi, 2. Baskı, İstanbul, s.177; 267.
- MGM (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü) (2008) *Türkiye İklimi* (Serhat Şensoy vd.)
- http://www.mgm.gov.tr/FILES /iklim/turkiye_iklimi.pdf
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of Hydrological Drought Index. *European Water* 23/24:67-77.
- Ozturk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. 2015. Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology* 35/14: 4276–4292.

Öztürk, R. (2007). Porsuk Çayı çevre sorunları ve bunların çözümlenmesinde havza yönetimi önerileri. Fen bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)

Pandey, R.P., Mishra, S.K., Singh, R. & Ramasastri K.S. (2008). Streamflow drought severity analysis of Betwa River system (India). *Water Resources Management*, 22: 1127–1141.

Panu, U.S. & Sharma, T.C. (2009). Analysis of annual hydrological droughts: the case of northwest Ontario, Canada. *Hydrological Sciences Journal- Journal Des Sciences Hydrologiques*, 54: 29–42.

Rogerson, P.A. (2007). *Statistical Methods for Geography*. Sage Publications, Second Edition, London.

Sarış, Faize; Hannah, D. M. & Eastwood W. J. (2010). Spatial variability of precipitation regimes over Turkey, *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 234-249.

Sharma, T.C. & Panu, U.S. (2008). Drought analysis of monthly hydrological sequences: a case study of Canadian rivers. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 53: 503–518.

Stahl, K., Hisdal, H., Tallaksen, L.M. Lanen, H.A. van, Hannaford, J. & Sauquet, E. (2008). Trends in low flows and streamflow droughts across Europe. In UNESCO Report.

Şen, Z. (2015). *Drought Modeling, Prediction and Mitigation*. Elsevier: Amsterdam.

Tallaksen, L.M., Madsen, H. & Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 42: 15–33.

Tallaksen, L.M., Madsen, H. & Hisdal, H. (2004). Frequency analysis. In *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, Tallaksen LM, van Lanen HAJ (eds). Elsevier; 199–271.

Tallaksen, L.M. & Lanen, H.A.J. van (2004) (Eds). *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Sciences 48, Netherlands: Elsevier.

Tekkanat, İ. S., & Sarış, F. (2015). Porsuk Çayı Havzasında Akarsu Akımlarında Gözlenen Uzun Dönemli Eğilimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 64,69-83.

Tosunoğlu, F. & Kişi, O. (2016). Trend analysis of maximum hydrologic drought variables using Mann–Kendall and Şen’s innovative trend method. *River Research Applications*, DOI: 10.1002/rra.3106.

Türkeş, M. & Tatlı, H. (2008). Aşırı kurak ve nemli koşulların belirlenmesi için yeni bir standartlaştırılmış yağış indisi (yeni-SPI): Türkiye’ye uygulanması. IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı içinde, 528-538. İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 25-28 Mart 2008, İstanbul.

Türkeş, M. & Tatlı, H. (2009). Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 2270–2282.

Türkeş, M., Akgündüz, A.S. & Demirörs, Z. (2009). Palmer Kuraklık İndisi’ne göre İç Anadolu Bölgesi’nin Konya Bölümü’ndeki kurak dönemler ve kuraklık şiddeti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7: 129-144.

WMO (2008) *Manual on low flow estimation and prediction*. Federal Institute of Hydrology, Koblenz: WMO-1029.

Working Group on Water Scarcity and Drought, 2006. *Water scarcity management in the context of WFD*. Brussels.