



## Effect of Climate Change on Annual Streamflow of Bakırçay River

Semih KALE<sup>1</sup>, Tuba EJDER<sup>1</sup>, Olcay HİSAR<sup>1,\*</sup>, Fatih MUTLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Marine Sciences and Technology, Çanakkale Onsekiz Mart University, 17100  
Çanakkale, Türkiye

<sup>2</sup> Turkish State Meteorological Service, Ministry of Forestry and Water Affairs, 06120 Ankara,  
Türkiye, o\_hisar@hotmail.com

semih.kale@yahoo.com, tubaejder@comu.edu.tr, fmutlu@mgm.gov.tr

### Abstract

Global warming and its impacts are known cause serious problems in terms of the sustainability of natural resources. In this study, 43-years of meteorological parameters such as temperature, precipitation and evaporation belong to 9 meteorological observation stations in the coast of Aegean Sea, which is in the west of Turkey and 17-years of data belongs to Bakırçay river which is in the same area with the stations and flow into the Aegean Sea, were used. The Pettitt change-point analysis was used to determine the change points belonging to climatic parameters and streamflow of the river. In addition, the Box-Jenkins method and the ARIMA model were used for trend analyses with which trends were determined. Furthermore, Kendall's tau and Spearman's correlation tests were used, to determine the relationship between the two parameters. As a result of the Pettitt test, while the change years for evaporation, temperature and precipitation were determined to be 1997, 1993 and 1993 respectively, the change years for the streamflow of Bakırçay river was determined to be 2008. As a result of the trend analyses, it could be determined that there was a noticeable increase in temperature and evaporation values, and that there was a decrease in the streamflow of the river. However, it was also determined that the correlations between the river streamflow and climatic parameters, and the change of these parameters according to

\* Corresponding Author

years were determined to be statistically insignificant ( $p>0.05$ ). As a result, it is considered that the effects of climate change on river streamflow could be changeable and that many factors such as anthropogenic effects, geographical location, agricultural activities, residential areas and population density should be taken into account in determining the effects of global warming on river systems. It is suggested that evaluation models and management strategies specified regionally and appropriate to the objective be used in evaluating the effects of the climate change on the hydrological processes of rivers.

*Keywords:* Climate Change, Streamflow, Trend Analysis, Change-point Analysis, Bakırçay.

### **İklim Değişikliğinin Bakırçay Nehrinin Yıllık Akışı Üzerine Etkisi**

#### **Özet**

Küresel ısınma ve bundan kaynaklanan iklim değişikliği doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin batısında yer alan Ege Denizi kıyısındaki 9 meteoroloji gözlem istasyonuna ait 43 yıllık sıcaklık, yağış, buharlaşma gibi meteorolojik parametreler ile aynı bölgede yer alan ve Ege Denizine dökülen Bakırçay nehrine ait 17 yıllık veri seti kullanılmıştır. İklim parametreleri ile nehir akış hızına ait değişim noktalarının belirlenmesi için Pettitt değişim noktası analizi, eğilimlerin belirlendiği trend analizleri için Box-Jenkins yöntemi ve ARIMA modeli, bu parametreler arasındaki ilişkileri belirlemek için ise Kendall's Tau ve Spearman's rho korelasyon testleri kullanılmıştır. Pettitt testi sonucu sıcaklık, buharlaşma ve yağış miktarları için değişim yılları sırasıyla 1997, 1993 ve 1993 iken Bakırçay nehrinin akış hızı için ise 2008 olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen trend analizleri sonucunda sıcaklık ve buharlaşma miktarında artış; yağış miktarı ve nehir akış hızında ise azalış olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu parametrelerin yıllara göre değişimi ile iklim parametreleri ve nehir akış hızı arasındaki korelasyonların istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir ( $p>0.05$ ). Sonuç olarak iklim değişikliğinin nehir akış hızları üzerine olan etkilerinin değişken olabileceği, küresel ısınmanın nehir sistemleri üzerine etkilerinin belirlenmesinde antropojenik etkiler, coğrafi konum, tarımsal faaliyetler, yerleşim yerleri ve nüfus

yoğunluğu gibi birçok faktörün de dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca iklim değişikliğinin nehirlerin hidrolojik süreçleri üzerine olan etkilerinin değerlendirilmesinde bölgeye ve amaca uygun değerlendirme modellerinin kullanılması ve özelleştirilmiş yönetim stratejilerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

*Anahtar Kelimeler:* İklim Değişikliği, Nehir Akış Hızı, Trend Analizi, Değişim Noktası Analizi, Bakırçay.

## 1. Giriş

Sera gazlarında meydana gelen artış başlıca küresel sıcaklık artışı ve yağış farklılıkları gibi iklimsel değişikliklere neden olmaktadır [1]. Bu değişimlerin bölgelerin mevcut su potansiyellerinde önemli azalmalara neden olacağı ve buna bağlı olarak enerji, tarım, içme suyu ve sulak alanlar gibi suya dayalı sektörlerde su kıtlığı veya su stresi yaşanacağı öngörülmektedir [2]. Yağış ve sıcaklıkta meydana gelen bu değişikliklerin ülkemizin de içinde bulunduğu Güney Avrupa ve Akdeniz kuşağında yıllık ortalama sıcaklıkta 3.0-3.5°C'lik artışa ve yıllık toplam yağışta %15-30'luk azalışa neden olması beklenmektedir [3, 4].

Nehir akışlarının yalnızca sıcaklıkta meydana gelen değişimlerden değil aynı zamanda yağış rejiminde oluşan farklılıklardan etkilendiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Örneğin [5] iklim değişikliğinin Dongliao nehir havzasının (Çin) nehir akışları üzerine etkilerini araştırmış ve yıllık nehir akışlarının genel olarak azalma eğiliminde olduğunu, yağışla benzer şekilde yaz aylarında önemli bir azalış ve güz aylarında ise önemli bir artış gösterdiğini rapor etmiştir. [6] iklim değişikliğinin Fırat ve Dicle nehir havzaları üzerine etkilerini incelemiş ve yıllık nehir akışlarında istatistiksel olarak önemli bir azalış olduğunu bildirmiştir. [7] iklim değişikliğinin Endonezya'daki Kapuas nehrinin akışı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada yıllık nehir akışlarının azalma eğilimi gösterdiğini ve nehrin hidrolojik özelliklerinin değiştiğini ifade etmiştir. [8] iklim değişikliği ve beşeri faaliyetlerin Huangfuchuan havzasının (Çin) nehir akışları üzerine etkilerini araştırmış ve nehir akışlarının sürekli bir azalış gösterdiğini bildirmiştir. [9] İtalya'da küçük ve devamlı akış olmayan nehir havzaları üzerine iklim değişikliğinin etkilerini incelemiş ve oluşturdukları tüm iklim değişikliği senaryolarında yıllık nehir akışlarının yağış olaylarındaki değişikliklere benzer şekilde önemli bir

azalma ve akış mevsimselliğinde de önemli değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur. [10] iklim değişikliğinin Sarıçay nehir akışları üzerine etkilerini incelemiş ve nehir akışlarında azalış olduğunu rapor etmiştir. [11] Kocabaş nehir akışları üzerine iklim değişikliğinin etkilerini araştırmış ve nehir akışlarının azalan bir trend gösterdiğini bildirmiştir. [12] iklim değişikliğinin Karamenderes nehir akışları üzerine etkisini incelemiş ve yıllık nehir akışlarının azalma eğilimi gösterdiğini rapor etmiştir.

İklim değişikliğinin nehir hidrolojisi üzerindeki etkilerinin tahmin edilebilmesi için birçok farklı yaklaşım kullanılabilir. Örneğin, matematiksel modellemeler bu etkilerin tahmin edilmesinde kullanılan en önemli araçlar olmasına rağmen modellerden elde edilen çıktıların ekosistem bileşenleri arasındaki karşılıklı etkileşimlerin yeterince anlaşılmasını sağlamadığından bazı dezavantaja sahiptirler. Diğer taraftan kontrollü denemelerde ise mekanik anlayış geliştirebilir ancak alansal ve zamansal ölçekle ilişkili verimli sonuçlar çoğu zaman elde edilemeyebilir.

Bakırçay nehri Kuzey Ege Havzasında yer almakta ve Kocadağ eteklerinden doğup Manisa ile İzmir illerinden geçerek Ege Denizine dökülmektedir [13]. Bakırçay Nehri'nin 120 km civarında uzunluğu olup, yaklaşık 3450 km<sup>2</sup> drenaj alanı bulunmaktadır [14]. Nehrin oluşturduğu havzanın sınırları Kocadağ, Şahinkaya, Kocadoru, Çamlıca, Nemrut, Maya tepeleri ile Madra, Yunt, Yaylacıkdede ve Köse dağları arasında kalan bölüm olarak belirlenmiştir [15]. Bakırçay nehrinin ovalarında pamuk, tütün ve zeytin üreticiliği tarımsal faaliyetler olarak gerçekleşirken, endüstriyel faaliyetler madencilik, gübre, kâğıt ve petrol artırılmasını kapsamaktadır [14].

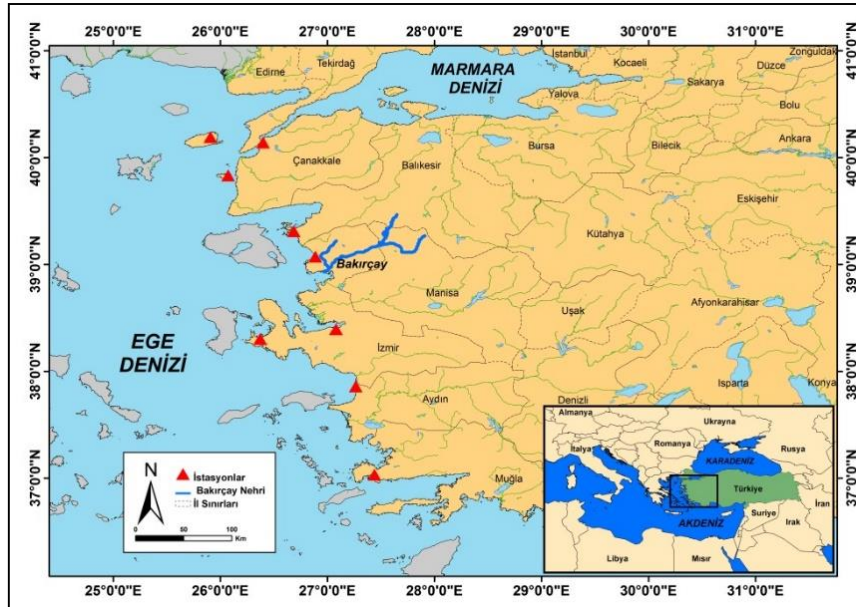
Bu çalışmanın amacı alansal farklılıklardaki zamansal dinamiklerin ekstrapolasyonunu yaparak iklim değişikliğinin Bakırçay nehrinin yıllık akışları üzerine olan etkilerini incelemektir. Çalışmada 43 yıllık iklim verileri ve nehir akışlarına ait 17 yıllık hidrolojik veriler kullanılacak ve sıcaklık, yağış, buharlaşma ile nehir akışlarının zaman serileri belirlenecektir. Ardından değişim noktaları tespit edilerek trend analizi uygulanacak ve geleceğe yönelik tahminler yapılacaktır. Ayrıca, iklim parametreleri ile su kaynaklarının hidrolojik süreçleri arasındaki ilişki incelenecektir. Elde edilecek bulgular ışığında iklim değişikliğinin nehir akışı üzerine olası etkilerinin belirlenmesi ile milli su politikalarının oluşturulması ve havza veya su kaynakları bazında

özelleştirilmiş yönetim stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir. Böylece su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde kullanımının ve yönetiminin sağlanması konusunda önemli gelişmelere imkân sağlanmış olacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışmada temel iklim parametreleri olarak Ege Denizinde bulunan Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) ait 9 meteoroloji gözlem istasyonunun topladığı sıcaklık, yağış ve buharlaşma verileri kullanılmıştır. Bu meteoroloji gözlem istasyonları Bozcaada, Gökçeada, Çanakkale, Ayvalık, Dikili, Güzelyalı, Çeşme, Kuşadası ve Bodrum olmak üzere Ege Denizi kıyıları boyunca dağılım göstermektedir (Şekil 1). Ayrıca Bakırçay nehrine (Şekil 2) ait yıllık ortalama akım verileri Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nün izni ile kullanılmıştır. Nehrin akış hızlarına ait veri setinde bulunan kesikli veriler çıkarılmış ve sürekliliği olan veriler kayıt altına alınarak yeni bir veri seti oluşturulmuş olup 1997-2013 yılları arasını kapsayan 17 yıllık bir veri seti incelenmiştir. İklim parametreleri için de 1970-2012 yıllarına ait 43 yıllık bir veri seti ele alınmıştır.



Şekil 1. Sıcaklık, yağış ve buharlaşma verileri kullanılan meteoroloji gözlem istasyonları



Şekil 2. Bakırçay nehir havzasının sayısal yükseklik modeli

## 2.2. Değişim Noktası Analizi

İklim parametreleri ile nehir akışlarının değişim zamanının belirlenmesi için [16] tarafından geliştirilen parametrik olmayan bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yöntem değişim zamanı tam olarak bilinmeyen zaman serilerinin ortalamalarındaki önemli değişikliği tespit etmektedir. Bu test Mann-Whitney istatistiğinden uyarlanmış olup ilk örneğin bir üyesinin ikinci örneğin bir üyesini kaç defa aştığını sayarak değişikliği tespit etmektedir. Bu parametrik olmayan test şu şekilde ifade edilmektedir:

$$K_T = \max |U_{t,T}|,$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (t = 2, \dots, T).$$

Bu hesaplamada  $U_{t,T}$ , iki örneğin  $(x_1, \dots, x_t$  ve  $x_{t+1}, \dots, x_T)$  aynı popülasyondan olup olmadığını doğrulamaktadır. Pettitt testinin sıfır hipotezi bir değişim noktasının bulunmamasıdır. Bunun istatistiği olan  $K_T$  ve ilişkili olasılığı ( $p$ ) önemlilik hesaplamasında kullanılmaktadır.  $K_T$ 'nin önem olasılığı  $p \leq 0.05$  için şu formül ile tahmin edilmiştir:

$$p \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6 K_T^2}{T^3 + T^2} \right\}.$$

### 2.3. Trend Analizi

İklimsel ve hidrolojik zaman serilerindeki değişiklikleri tespit etmek için en yaygın kullanılan yöntem trend analizidir [17]. Bu çalışmada nehir akış dizileri ile yağış, sıcaklık, buharlaşmaya ait zaman serilerinin belirlenmesi ve eğilimlerinin tespit edilmesi için gerçekleştirilen trend analizinde Box-Jenkins tekniği [18] kullanılmıştır. Kesikli, doğrusal ve stokastik süreçlere dayanan bu teknik zaman serilerinin analizi ve tahmini için kullanılan bir yöntemidir. Otoregresif (AR), hareketli ortalama (MA) ve otoregresif-hareketli ortalama (ARMA) modelleri durağan süreçler için uygulanmakta iken bütünleşik otoregresif-hareketli ortalama (ARIMA) modeli ise durağan olmayan süreçlere uygulanmaktadır. Bu modellerin amacı zaman serisine en iyi uyan ve en az parametre içeren modelin belirlenmesidir [18]. Zaman serileri analizi, önceki dönemlere ait gözlemleri ve geçmişe ait bilgileri birleştirmektedir. Aynı zamanda verilerin gelecekte göstereceği karmaşık seyrin tahmin edilmesine katkı sağlamaktadır [19]. Eğilim ise bir serinin belirli bir süre boyunca göstermiş olduğu azalma veya artma hareketlerini belirtmektedir [20]. Ortalama akım miktarları ve bu ortalamaların etrafında meydana gelen değişimlerin dağılımı bölgesel düzeyde farklılıklar göstermesi nedeniyle mevcut veriler düzenlenerek istatistiksel analizlere hazır hale getirilmiştir. Akım, sıcaklık, yağış ve buharlaşma serilerinin yıllık zaman seyirleri belirlenmiş ve eğilim yönünün belirlenmesi için trend analizleri uygulanmıştır. Elde edilen verilere korelasyon ve trend analizleri uygulanarak ilişki düzeyleri ve gelecekteki eğilimleri araştırılmıştır. Trend analizlerinde ARIMA (1,0,1) modeli kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçların güvenilirliğinin belirlenebilmesi için ayrıca otokorelasyon analizleri yapılmıştır. Çalışmanın iklimsel veri değerlendirme aşamasında istatistiksel veri analizini öngörerek, geleceğe yönelik kantitatif sonuçların ortaya konulması hedeflenmiştir. Çalışmada tahmin aralığı 5 yıllık olarak öngörülerek zaman serileri ile ileriye yönelik tahminler yapılmaya çalışılmıştır.

$$X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + e_t - \dots - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q}.$$

Bu hesaplamada  $\Phi$  tahmin edilecek otoregresif parametre,  $\theta$  tahmin edilecek hareketli ortalama parametresi,  $X$  orijinal seri ve  $e$  olasılığın normal dağılımını izlemeyi gerektiren bilinmeyen gelişigüzel hataların serisini ifade etmektedir. ARIMA modelleri

zaman serilerinin tahmini için doğrusal bir birleşim kullanmaktadır. ARIMA modelinde  $(p, d, q)$   $p$  otoregresif (AR) terimlerin sayısını,  $q$  hareketli ortalama (MA) terimlerinin sayısını ve  $d$  ise farklılık sırasını belirtmektedir. Bu çalışmada kullanılan ARIMA modelinin formülü şu şekildedir:

$$X_t = c + \Phi_1 X_{t-1} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \theta_1 e_{t-1} + \theta_q e_{t-q} + e_t.$$

Bu hesaplamada  $X_t$   $t$  zamanında açıklanacak olan değişkeni,  $c$  sabit sayıyı,  $\Phi$  her  $p$  parametresinin katsayısını,  $\theta$  her  $q$  parametresinin katsayısını ve  $e_t$  ise  $t$  zamanındaki hataları ifade etmektedir.

#### 2.4. Mann-Kendall Testi

Zaman serilerindeki trendlerin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan test Mann-Kendall testidir [21,22]. Hipotez testi, iklim değişikliği ve nehir akışlarının uzun süreli trendleri için hidrolojik sürecin doğal işleyişinin ayırt edilmesine yardımcı olmaktadır [23]. Veri setindeki uç değerler ise ortalamayı önemli derecede etkilemektedir. Mann-Kendall testi genellikle uç değerler bulunan zaman serilerindeki trendleri belirlemek için uygundur [24]. Bu çalışmada; bazı uç değerler bulunan yağış, sıcaklık, buharlaşma ve nehir akışlarındaki olası trendlerin araştırılması için parametrik olmayan Mann-Kendall testi [21,22] kullanılmıştır. Nehir akışları ile iklimsel parametrelerin aralarındaki korelasyonların belirlenmesinde ise *Kendall's tau* ve *Spearman's rho* testleri uygulanmıştır.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i).$$

Bu hesaplamada zaman serisi,  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n-1$  ve  $x_k$ ,  $k=i + 1, \dots, n$  şeklindedir. Ayrıca

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

$Z_c$  ve  $\beta$  ise şu şekilde hesaplanmaktadır:



$$Z_c = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \cdot$$

Test istatistiği  $Z_c$ 'dir.  $Z_{1-\alpha/2}$  standart normal sapmalar ve  $\alpha$  ise önem derecesi iken  $|Z_c| > Z_{1-\alpha/2}$  olduğunda  $H_0$  reddedilir. Eğilimin belirlenmesinde ise şu hesaplama kullanılmaktadır:

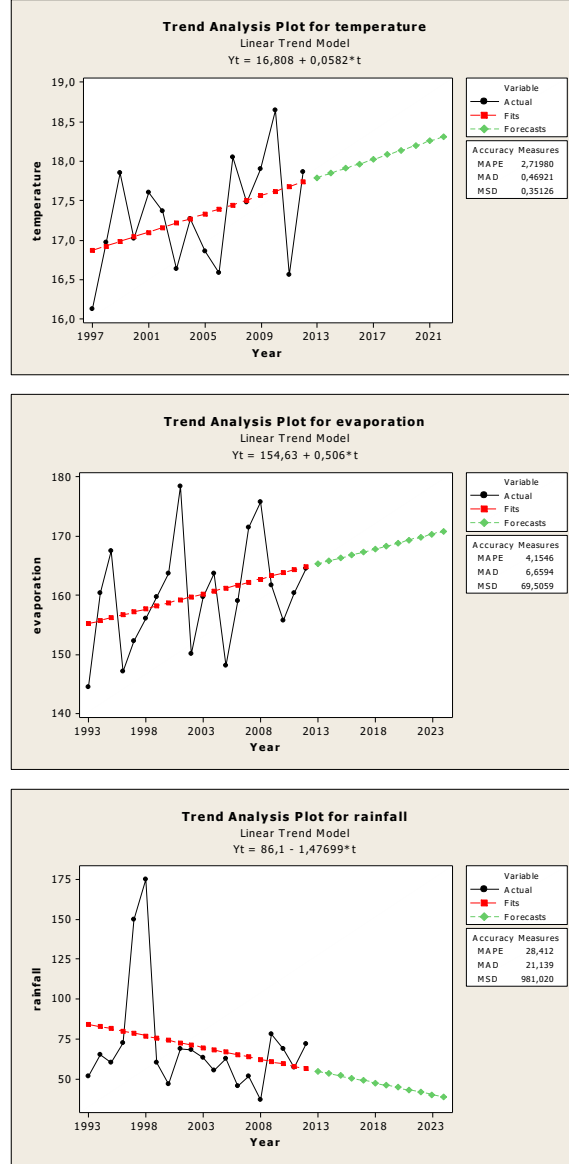
$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_i - x_j}{i - j} \right), \forall j < i.$$

Burada  $1 < j < i < n$  şeklindedir.  $\beta$ 'nın pozitif bir değer olması artan bir trendin olduğunu ve negatif bir değer olması ise azalan bir trend olduğunu ifade etmektedir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

İklimsel parametrelerden sıcaklık (Şekil 3a), buharlaşma (Şekil 3b) ve yağış (Şekil 3c) ile Bakırçay nehrinin (Şekil 4) yıllık akış hızlarına ait zaman serileri oluşturulup değişim noktaları tespit edildikten sonra trend analizleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçların güvenilirliğinin belirlenebilmesi için ayrıca otokorelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

Pettitt değişim noktası analizine göre sıcaklık, buharlaşma ve yağış için değişim noktası sırasıyla 1997, 1993 ve 1993 olarak belirlenmiştir (Tablo1). İklimsel parametrelerin eğilim yönünün belirlenmesi için gerçekleştirilen trend analizlerinin sonucunda sıcaklık ve buharlaşma miktarının artış, yağışın ise azalış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). Analizler için tahmin aralığı 5 yıl olarak öngörülmüş olup 2016-2020 yılları arası için uygulanmıştır. Gerçekleştirilen analizlerde sıcaklık ve buharlaşmanın sırasıyla yıllık  $0.058175^\circ\text{C}$  ve  $0.506$  mm artış göstererek 2020 yılında  $18.2042^\circ\text{C}$ 'ye ve  $168.802$  mm'ye ulaşacağı öngörülmektedir. Yağışın ise yıllık  $1.477$  mm azalış göstererek 2020 yılında  $44.7036$  mm'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir (Tablo 2).



**Şekil 3.** İklimsel parametrelerin trend analizi sonuçları (a: sıcaklık; b: buharlaşma; c: yağış)

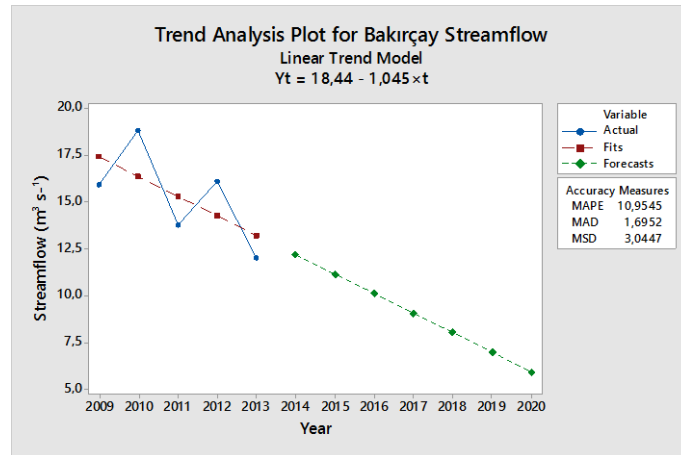
Bakırçay nehrinin akış hızındaki önemli değişikliğin zamanının belirlenmesi için yapılan Pettitt değişim noktası analizine göre değişim yılı 2008 olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Değişim noktasından sonraki eğilimin belirlenmesi için yapılan trend analizi sonuçlarında ise nehir akışlarının azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Trend analizi sonucunda öngörülen bu azalmanın miktarı ise yıllık  $1.045 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  olarak tahmin edilmiştir. Trend analizlerinin 5 yıllık projeksiyonunda ise nehir akışlarının 2020 yılında  $5.901 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 'ye ulaşacağı düşünülmektedir (Tablo 2).

İklim parametreleri ile nehir akış hızları arasındaki ilişkinin belirlenmesi için parametrik olmayan *Kendall's tau* ve *Spearman's rho* testleri uygulanmıştır. Bu testler sonucunda nehir akış hızlarının sıcaklık, yağış ve buharlaşma ile aralarındaki ilişkinin istatistiksel olarak önemli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır ( $p>0,05$ ).

**Tablo 1.** Pettitt değişim noktası analizi, Kendall's tau ve Spearman's rho testlerinin sonuçları<sup>a</sup>

Nehir ve İklimsel Parametreler	Pettitt Değişim Yılı	Mann-Kendall				Spearman			
		Birinci Kısım		İkinci Kısım		Birinci Kısım		İkinci Kısım	
		<i>tau</i>	<i>p</i>	<i>tau</i>	<i>p</i>	<i>rho</i>	<i>p</i>	<i>rho</i>	<i>p</i>
Bakırçay	2008	0.091	0.681	-0.400	0.327	0.154	0.633	-0.500	0.391
Sıcaklık	1997	0.024	0.859	0.124	0.520	-0.001	0.997	0.236	0.398
Buharlaşma	1993	-0.304	0.037	0.158	0.345	-0.394	0.057	0.202	0.408
Yağış	1993	-0.167	0.254	-0.170	0.310	-0.277	0.189	-0.211	0.387

<sup>a</sup> *Birinci Kısım* iklimsel parametreler için 1970 yılından değişim yılına kadar olan zamanı ve nehir akışları için 1997 yılından değişim yılına kadar olan zamanı; *İkinci Kısım* ise iklimsel parametreler için değişim yılından 2012 yılına kadar olan zamanı ve nehir akışları için değişim yılından 2013 yılına kadar olan zamanı belirtmektedir. *tau* ve *rho* test istatistiklerini, *p* ise önem derecesini ifade etmektedir.



**Şekil 4.** Değişim noktasından sonra Bakırçay nehir akışının trend analizi sonucu

**Tablo 2.** İklimsel parametreler ile Bakırçay yıllık ortalama nehir akışının trend analizi sonucu tahmin edilen değerleri

<b>Yıl</b>	<b>Bakırçay nehir akışı (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Buharlaşma (mm)</b>	<b>Yağış (mm)</b>
2016	10.081	17.9715	166.778	50.6116
2017	9.036	18.0297	167.284	49.1346
2018	7.991	18.0879	167.790	47.6576
2019	6.946	18.1461	168.296	46.1806
2020	5.901	18.2042	168.802	44.7036

Küresel iklim değişikliğinin en temel ve en önemli göstergeleri sıcaklık ve yağış miktarındaki değişimler olup yağış rejiminde gözlenen değişikliklerin nehir akışlarını doğrudan etkileyeceği düşünülmektedir. Artan sıcaklık ve buharlaşma ile azalan yağış hidrolojik döngünün yoğunlaşmasına yol açmakta ve kurak mevsimlerin daha kuraklaşmasına yağışlı mevsimlerin ise daha çok yağışlı geçmesine neden olmaktadır [25]. [4] küresel iklim değişikliğinin yıllık yağış oranlarında küçük bir artışa neden olmasına rağmen Akdeniz'in çoğu bölgesinde yıllık yağışın azalmasının olası olduğunu ifade etmiştir. Benzer şekilde iklim değişikliğinin Türkiye'de doğal su kaynaklarının kapasitesini azaltacağı ve sıcaklık ile yağış olaylarındaki değişikliklerden dolayı su sıkıntısının yaşanacağı bildirilmiştir [24].

Bu çalışmada iklim parametreleri için yapılan Mann-Kendall testi ve trend analizi sonuçlarına göre sıcaklık ve buharlaşma miktarında artış, yağış miktarında ise azalış olacağı tahmin edilmiştir. Benzer şekilde [26] artan sıcaklık ve buharlaşma miktarının küresel ısınma ile ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir. Orta Doğu'da 1950-2003 yılları arasında [27], Avrupa'nın güneyinde [28], Türkiye'de 1971-2004 yılları arasında [29], 1963-2007 yılları arasında [24] ve 1975-2010 yılları arasında [30] sıcaklığın ve buharlaşma miktarının istatistiksel olarak önemli şekilde artış gösterdiği bildirilmiştir. [4] Akdeniz'in çoğu bölgesinde günlük yağış olaylarının yoğunluğunda önemli bir artış olabileceğini buna karşın yıllık yağışın daha çok azalma eğiliminde olduğunu bildirmiştir. [31] yağıştaki değişikliklerin zamansal olarak doğrusal olmadığını ve önemli değişkenlikler gösterdiğini belirterek Türkiye'de 1979-2005 yılları arasındaki

dönem boyunca yıllık yağış miktarının azalma eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur. [29] Türkiye'nin batısı hariç bazı bölgelerinde şiddetli yağış olan günlerin sayısının arttığını ancak yıllık toplam yağışın azalma eğiliminde olduğunu bildirmiştir. [24] Büyük Menderes nehir havzasında kurak mevsimlerde yağışın düşük olduğunu yağışlı mevsimlerde ise yüksek olduğunu tespit etmiş ve yağışın istatistiksel olarak önemli olmasa da azalma eğilimi gösterdiğini belirtmiştir. [27] Orta Doğu'da genellikle yağış trendlerinin çok zayıf ve istatistiksel olarak önemsiz olduğunu ifade etmiştir. Birçok iklim modellerinde küresel ısınma konusunda fikir birliği olmasına rağmen yağış değişiklikleri ile ilgili belirsizlik sürmektedir. Bazı bilim adamları küresel sirkülasyon senaryolarında daha yağışlı kışlar beklemekte iken diğerleri ise daha kurak kışlar ve yaz yağışlarında değişikliklerin fazla olabileceğini tahmin etmektedir [32].

Bu çalışmada Bakırçay nehrinin akışlarında azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde [28] Avrupa'nın güneyindeki bazı bölgelerde nehir akışlarında bir artışın bazı bölgelerde ise azalışın olduğunu belirtmiştir. [33] Büyük Menderes ve Gediz havzaları için nehir akışlarının azaldığını tespit etmişlerdir. [34] Güney Marmara Bölümü'nün yağış ve nehir akışlarındaki değişimleri ve eğilimleri incelemiş ve azalma eğiliminde olduğunu ifade etmişlerdir. [7] iklim değişikliğinin Endonezya'daki Kapuas nehrinin akışı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada yıllık nehir akışlarının azalma eğilimi gösterdiğini ve nehrin hidrolojik özelliklerinin değiştiğini ifade etmiştir. [8] Huangfuchuan havzasının (Çin) nehir akışlarının sürekli bir azalış gösterdiğini bildirmiştir. [9] İtalya'da küçük ve devamlı akış olmayan nehirlerin akışlarında yağış olaylarındaki değişikliklere benzer şekilde önemli bir azalma ve akış mevsimselliğinde de önemli değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur.

Ege bölgesindeki nehirlerin akışları üzerine yapılan çalışmalarda nehir akışlarının azalış eğiliminde olduğu ve bu eğilimin yağışta gözlenen azalma ve sıcaklıktaki artış ile çok yakından ilişkili olduğu bildirilmiştir [10,11,12,24,35,36,37]. Bu çalışmada da nehir akışlarının sıcaklık ve buharlaşma ile ters yönde ve yağış ile aynı yönde bir eğilim gösterdiği ancak bu ilişkinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0.05$ ). Benzer şekilde [31] nehir akışlarındaki trendlerin her zaman yağıştaki değişimlere bağlı olmadığını bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılar ise nehir akışlarının üzerine sadece iklim değişikliğinin değil aynı zamanda antropojenik faaliyetlerin

[8,38,39], su yapılarının [33] ve tarımsal faaliyetlerin [24,40,41,42] etkili olduğunu rapor etmişlerdir.

İklim değişikliğinin nehirlerin hidrolojik süreçleri üzerine etkilerini değerlendirmek için birçok farklı model kullanılmaktadır. Örneğin, [43] GCM (general circulation models) ve RCM (regional circulation models); [44] değişken sızma kapasiteli (VIC) makroölçekli hidrolojik modeli; [45] GCM ve SWAT (soil and water assessment tool); [46] Yağış-Akış Modelleme Sistemi (Precipitation Runoff Modelling System (PRMS)); [47] GCM, Xinanjiang ve HBC modelleri; [5] GCM ve SWAT; [6] GCM kullanmışlardır. İklim koşullarına bağlı olarak nehir akışlarındaki değişkenlik bölgeler arasında farklılık göstereceği [48] için iklim değişikliğinin nehir akışları üzerine olası etkilerinin belirlenmesinde en uygun hidrolojik modelin seçilmesi önem arz etmektedir.

Sonuç olarak Türkiye'nin Ege Denizi kıyılarında sıcaklık ve buharlaşma miktarında artan, yağış miktarı ve nehir akış hızlarında ise azalan bir trend olduğu tespit edilmiştir. Fakat iklim parametreleri ile nehir akış hızları arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, nehir akış hızlarındaki değişkenliğin değerlendirilmesinde iklim değişikliğinin yanı sıra antropojenik etkiler, tarımsal faaliyetler, yerleşim yerleri, coğrafi konum ve nüfus yoğunluğu gibi faktörlerin de göz önünde bulundurulması bununla birlikte bölgeye ve amaca uygun değerlendirme modellerinin uygulanması gerektiği düşünülmektedir. Bu şekilde birçok faktörden kaynaklanan nehir akışlarındaki olumsuz etkilerin azaltılabilmesi için uygun bir su paylaşım politikası oluşturulması, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, su taleplerinin etkili yönetimi ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanması gerekmektedir.

İklim değişikliği nedeniyle ülkelerin su stresi yaşayacağı çok sayıda araştırmacı tarafından ifade edilmiştir. Ülkemizin mevcut su kaynakları miktarı dikkate alındığında kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli miktarına bakıldığında dünyada 182 ülkeden 132. sırada yer almaktadır [49]. Bu durum ülkemizin su zengini bir ülke olmadığını açıkça göstermektedir. İklim değişikliği senaryolarına göre de su sıkıntısı yaşayacak risk grubundaki ülkeler arasında yer almaktadır [50]. Su kaynaklarının

sürdürülebilir biçimde kullanımının ve yönetiminin sağlanması gerekmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkileri ile başa çıkabilmek için öncelikle iklim değişikliği senaryolarından yararlanılarak mevcut durum tespiti yapılması ve muhtemel etkilerin belirlenmesi gerekmektedir. Sonrasında ise, iklim değişikliğine uyum ve olası etkilerinin azaltılabilmesi için milli su politikalarının oluşturulmasının yanında bölgesel olarak özelleştirilmiş yönetim stratejileri de belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Yönetim stratejilerinin belirlenmesinde ve uygulanmasında karar vericiler küresel ve bölgesel ölçekte oluşturulan iklim değişikliği senaryolarının yanında iklimsel ve hidrolojik veriler kullanılarak havza bazında veya su kaynakları özelinde gerçekleştirilen tahminler veya modellemelerden yararlanmalıdır. Bu bağlamda mevcut çalışma iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olası etkilerinin anlaşılması açısından önemli bir katkı sağlamaktadır.

### **Kaynaklar**

[1] Arnell, N. W., *Effects of IPCC SRES\* emissions scenarios on river runoff: a global perspective*, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, **7(5)**, 619-641, 2003.

[2] IPCC, (ed.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p., 2007.

[3] IPCC, (ed.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 881 p., 2001.

[4] Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, R., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., Whetton, P., *Regional Climate Projections*, In: *Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt,

K.B., Tignor, M. M. B., Miller, H. L., (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. p. 847-940, 2007.

[5] Zhang, L., Lu, W., Yang, Q., An, Y., Li, D., Gong, L., *Hydrological impacts of climate change on streamflow of Dongliao River watershed in Jilin Province, China*, Chinese Geographical Science, **22(5)**, 522-530, 2012.

[6] Bozkurt, D., Sen, O. L., *Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations*, Journal of Hydrology, **480**, 149-161, 2013.

[7] Herawati, H., Suripin, Suharyanto, *Impact of Climate Change on Streamflow in the Tropical Lowland of Kapuas River, West Borneo, Indonesia*, Procedia Engineering, **125**, 185-192, 2015.

[8] Zhou, Y., Shi, C., Fan, X., Shao, W., *The influence of climate change and anthropogenic activities on annual runoff of Huangfuchuan basin in northwest China*, Theoretical and Applied Climatology, **120(1-2)**, 137-146, 2015.

[9] Pumo, D., Caracciolo, D., Viola, F., Noto, L. V., *Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins*, Science of The Total Environment, **542**, Part A, 76-92, 2016.

[10] Ejder, T., Kale, S., Acar, S., Hisar, O., Mutlu, F., *Restricted effects of climate change on annual streamflow of Sariçay stream (Çanakkale, Turkey)*, Marine Science and Technology Bulletin, **5(1)**, 7-11, 2016.

[11] Ejder, T., Kale, S., Acar, S., Hisar, O., Mutlu, F., *Effects of Climate Change on Annual Streamflow of Kocabaş Stream (Çanakkale, Turkey)*, Journal of Scientific Research and Reports, **11(4)**, 1-11, 2016.

[12] Kale, S., Ejder, T., Hisar, O., Mutlu, F., *Climate Change Impacts On Streamflow of Karamenderes River (Çanakkale, Turkey)*, Marine Science and Technology Bulletin, **5(2)**, 1-6, 2016.



- [13] Anonim, Kuzey Ege Havzası Su Kalitesi İzleme Raporu, Çevresel Etki Değerlendirme, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, TURKEY, 31 p., 2014.
- [14] Aydın, Ş., Investigation of Heavy Metal Fractions in Surface Sediments from Bakırçay and Gediz Rivers, MSc Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey, 2006.
- [15] Sertkaya Doğan, Ö., *Soma Şehrinin Fonksiyonel Gelişimi*, Coğrafya Dergisi, **23**, 1-18, 2011.
- [16] Pettitt, A. N., *A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem*, Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), **28(2)**, 126-135, 1979.
- [17] Hamed, K. H., Ramachandra Rao, A., *A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data*, Journal of Hydrology, **204(1-4)**, 182-196, 1998.
- [18] Box, G. E. P., Jenkins, G., *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden Day, San Francisco, 1976.
- [19] Ebisuzaki, W., *A method to estimate the statistical significance of a correlation when the data are serially correlated*, Journal of Climate, **10(9)**, 2147-2153, 1997.
- [20] Kadılar, C., *SPSS Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş*. Bizim Büro Yayınevi, 2005.
- [21] Mann, H. B., *Nonparametric Tests Against Trend*, Econometrica, **13(3)**, 245-259, 1945.
- [22] Kendall, M. G., *Rank Correlation Methods*. Hafner Publishing Co., New York, 1955.

- [23] Huo, Z., Feng, S., Kang, S., Li, W., Chen, S., *Effect of climate changes and water-related human activities on annual stream flows of the Shiyang River basin in arid north-west China*, Hydrological Processes, **22(16)**, 3155-3167, 2008.
- [24] Durdu, Ö. F., *Effects of climate change on water resources of the Büyük Menderes river basin, western Turkey*, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, **34(4)**, 319-332, 2010.
- [25] IPCC, (ed.), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 1032 p., 2001.
- [26] Chen, Y., Xu, Z., *Plausible impact of global climate change on water resources in the Tarim River Basin*, Science in China Series D: Earth Sciences, **48(1)**, 65-73, 2005.
- [27] Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T.H., Albert, P., Semawi, M., Ali, M.K., Said Al-Shabibi, M. H., Al-Oulan, Z., Zatari, T., Al Dean Khelet, I., Hamoud, S., Sagir, R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Alexander, L., Peterson, T. C., Wallis, T., *Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, **110(D22104)**, 1-12, 2005.
- [28] Alcamo, J., Moreno, J. M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R. J. N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J. E., Shvidenko, A., Europe, In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J., van der Linden, P., Hanson, C., (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA. p. 541-580, 2007.
- [29] Sensoy, S., Demircan, M., Alan, I. *Third International Scientific Conference on Water Observation and Information Systems for Decision Support (BALWOIS)*. Ohrid, Macedonia, 1-9, 2008.

- [30] Sütgibi, S., *Büyük Menderes Havzasının Sıcaklık, Yağış ve Akım Değerlerindeki Değişimler ve Eğilimler*, Marmara Coğrafya Dergisi, **31**, 398-414, 2015.
- [31] Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J. P., (eds.), *Climate Change and Water. 6th Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p., 2008.
- [32] Dixon, M. D., Stromberg, J. C., Price, J. T., Galbraith, H., Freimer, A. K., Larsen, E. W., *Potential effects of climate change on the upper San Pedro riparian ecosystem*, In: *Ecology and Conservation of the San Pedro River*, Stromberg, J. C., Tellman, B., (eds.). University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA. p. 57-72, 2009.
- [33] Ozkul, S., Fistikoglu, O., Harmancioglu, N. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*. Ankara, TURKEY, 309-322, 2008.
- [34] Türkeş, M., Acar Deniz, Z., *Climatology of South Marmara Division (North West Anatolia) and observed variations and trends*, International Journal of Human Sciences, **8(1)**, 1579-1600, 2011.
- [35] Kahya, E., Kalaycı, S., *Trend analysis of streamflow in Turkey*, Journal of Hydrology, **289(1)**, 128-144, 2004.
- [36] Bahadır, M., *A Statistical Analysis of the Flow Changes of Kızılırmak River*, Turkish Studies - International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, **6(3)**, 1339-1356, 2011.
- [37] Koçman, A., Sütgibi, S., *Hydrographic/hydrologic characteristics of Gediz river basin in the context of the environmental components – problems and suggestions*, Eastern Geographical Review, **28**, 155-174, 2012.
- [38] Gao, P., Mu, X. M., Wang, F., Li, R., *Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River*, Hydrology and Earth System Sciences, **15(1)**, 1-10, 2011.
- [39] Jackson, C. R., Meister, R., Prudhomme, C., *Modelling the effects of climate change and its uncertainty on UK Chalk groundwater resources from an*

*ensemble of global climate model projections*, Journal of Hydrology, **399(1-2)**, 12-28, 2011.

[40] Dügel, M., Kazanci, N., *Assessment of water quality of the Büyük Menderes River (Turkey) by using ordination and classification of macroinvertebrates and environmental variables*, Journal of Freshwater Ecology, **19(4)**, 605-612, 2004.

[41] Yercan, M., Dorsan, F., Ul, M., *Comparative analysis of performance criteria in irrigation schemes: a case study of Gediz river basin in Turkey*, Agricultural Water Management, **66(3)**, 259-266, 2004.

[42] Kaçan, E., Ülkü, G., Turan, F. *International Congress on River Basin Management*. Antalya, TURKEY, 54-63, 2007.

[43] Guo, S., Wang, J., Xiong, L., Ying, A., Li, D., *A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China*, Journal of Hydrology, 268(1-4), 1-15, 2002.

[44] Liu, Z., Xu, Z., Huang, J., Charles, S. P., Fu, G., *Impacts of climate change on hydrological processes in the headwater catchment of the Tarim River basin, China*, Hydrological Processes, **24(2)**, 196-208, 2010.

[45] Xu, H., Taylor, R., Xu, Y., *Quantifying uncertainty in the impacts of climate change on river discharge in sub-catchments of the Yangtze and Yellow River Basins, China*, Hydrology and Earth System Sciences, **15(1)**, 333-344, 2011.

[46] Islam, A., Sikka, A. K., Saha, B., Singh, A., *Streamflow Response to Climate Change in the Brahmani River Basin, India*, Water Resources Management, **26(6)**, 1409-1424, 2012.

[47] Chen, H., Xiang, T., Zhou, X., Xu, C.-Y., *Impacts of climate change on the Qingjiang Watershed's runoff change trend in China*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, **26(6)**, 847-858, 2012.

[48] Chien, H., Yeh, P. J.-F., Knouft, J. H., *Modeling the potential impacts of climate change on streamflow in agricultural watersheds of the Midwestern United States*, Journal of Hydrology, **491**, 73-88, 2013.

[49] Akbulak, Y., Dünya, Available from: <http://www.dunya.com/kullanilabilir-su-kaynaklarina-iliskin-dunya-ve-turkiye-gercekleri-118491h.htm>. Access Date: 25.10.2015.

[50] Hisar, O., Kale, S., Özen, Ö., Sustainability of Effective Use of Water Sources in Turkey, In: Sustainable Water Use and Management: Examples of New Approaches and Perspectives, Leal Filho, W., Sümer, V., (eds.). Springer International Publishing, Cham. p. 205-227, 2015.