



## Investigating the climate change effects on annual average streamflows in the Euphrates-Tigris basin using the climate elasticity method

Abdulrezzak Alivi<sup>ID</sup>, Osman Yıldız\*<sup>ID</sup>, Gaye Aktürk<sup>ID</sup>

Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, 71450, Kırıkkale, Turkey

### Highlights:

- Sensitivity of streamflow to climate change
- Climate elasticity method
- The Euphrates-Tigris basin

### Keywords:

- Streamflow
- Climate change
- Climate elasticity method
- Drought index
- The Euphrates-Tigris basin

### Article Info:

Research Article  
Received: 18.05.2020  
Accepted: 09.02.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.739556

### Correspondence:

Author: Osman Yıldız  
e-mail:  
osmanyildiz@kku.edu.tr  
phone: +90 554 191 6185

### Graphical/Tabular Abstract

The sensitivity of streamflows (Q) to changes in precipitation (P), potential evapotranspiration (Ep) and drought index within the Euphrates-Tigris basin was evaluated by the climate elasticity method. The results reveal that the average values of sensitivity coefficients of streamflow to precipitation and Ep ( $\epsilon_P$  and  $\epsilon_{Ep}$ ) within the basin were calculated as 1.50 and -0.50, respectively. Therefore, it is observed that a 10% increase (decrease) in precipitation would lead to an average increase (decrease) of 15% in streamflow, and a 10% increase (decrease) in Ep would result in an average decrease (increase) of 5% in streamflow across the basin. Also, it is found that there is a nonlinear inverse correlation between the climate change sensitivity coefficients and the runoff coefficient (Q/P) values of the sub-basins indicating that the decrease in streamflow would increase the sensitivity of streamflow to climatic variability (Figure A).

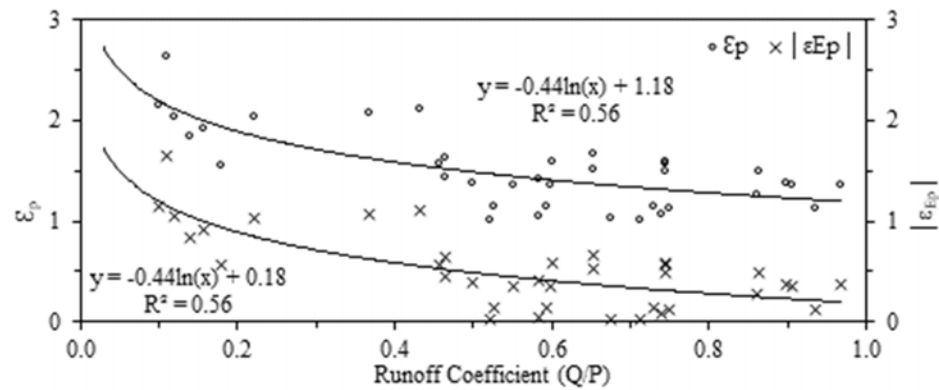


Figure A. The variation of  $\epsilon_P$  and  $|\epsilon_{Ep}|$  values with runoff coefficients in the Euphrates-Tigris basin

**Purpose:** This study was conducted to determine the sensitivity of annual average streamflows to climate change in the Euphrates-Tigris basin.

**Theory and Methods:** To assess the effects of precipitation and potential evapotranspiration changes on streamflows the climate elasticity method has been widely utilized in various river basins across the world.

**Results:** The average values of  $\epsilon_P$  and  $\epsilon_{Ep}$  across the basin were calculated as 1.50 and -0.50, respectively. Therefore, it is observed that a 10% increase (decrease) in precipitation would lead to an average increase (decrease) of 15% in streamflow, and a 10% increase (decrease) in  $E_p$  would result in an average decrease (increase) of 5% in streamflow across the basin. On the other hand, the average value of sensitivity coefficient of streamflow to drought index ( $\epsilon_D$ ) was determined as -0.47, which means that a 10% increase in the drought index will result in an average decrease of 4.7% in streamflow within the basin.

**Conclusion:** Examining the climate change effects on river flows in the Euphrates-Tigris basin is crucial for the development of water resources management and planning studies carried out within the scope of the Southeastern Anatolian Project (GAP).



## Fırat-Dicle havzasında yıllık ortalama akımlar üzerinde iklim değişikliği etkilerinin iklim elastikiyeti metodu ile incelenmesi

Abdulrezzak Alivi<sup>ID</sup>, Osman Yıldız\*<sup>ID</sup>, Gaye Aktürk<sup>ID</sup>

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Nehir akımlarının iklim değişimine hassasiyeti
- İklim elastikiyeti yöntemi
- Fırat-Dicle havzası

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 18.05.2020

Kabul: 09.02.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.739556

### Anahtar Kelimeler:

Nehir akımı,  
iklim değişikliği,  
iklim elastikiyeti metodu,  
kuraklık indeksi,  
Fırat-Dicle havzası

### ÖZ

Bu çalışma, Fırat-Dicle havzasında akarsu akımlarının ( $Q$ ) yağış ( $P$ ), potansiyel evapotranspirasyon ( $E_p$ ) ve kuraklık indeksindeki değişimlere karşı tepkisini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, havza içerisinde baraj etkisinde olmayan 37 adet alt havza tespit edilmiştir. Burada yıllık ortalama akımların yağış,  $E_p$  ve kuraklık indeksine olan hassasiyeti Schaake [1] tarafından önerilen iklim elastikiyeti metodu ile değerlendirilmiştir. Bu metod ile akışın yağış ve  $E_p$  hassasiyeti katsayılarının (sırasıyla  $\epsilon_P$  ve  $\epsilon_{E_p}$ ) havza genelinde ortalama değerleri sırasıyla 1,50 ve -0,50 olarak hesaplanmıştır. Buna göre; havzada yağışta meydana gelecek %10'luk bir artışın (azalışın) akışta ortalama %15'lik bir artışa (azalışa), diğer taraftan  $E_p$ 'deki %10'luk bir artışın (azalışın) ise akışta ortalama %5'lik bir azalışa (artışa) neden olacağı anlaşılmaktadır. Diğer yandan, akışın kuraklık indeksi hassasiyet katsayısının ( $\epsilon_\theta$ ) havza genelinde ortalama değeri -0,47 olarak hesaplanmış olup bu değer kuraklık indeksinde %10'luk bir artışın akışta ortalama %4,7'lik bir azalışa neden olacağını ifade etmektedir. Ayrıca, alt havzalara ait akışın iklim değişikliği hassasiyeti katsayıları ( $\epsilon_P$ ,  $|\epsilon_{E_p}|$  ve  $|\epsilon_\theta|$ ) ile akış katsayısı ( $Q/P$ ) arasında doğrusal olmayan ters bağıntılar olduğu ve dolayısıyla akıştaki azalma ile akışın iklimsel değişikliğe olan hassasiyetinin artacağı görülmüştür. Son olarak, havzada yüksek kotlardan alçak kotlara doğru gidildikçe  $\epsilon_P$ ,  $|\epsilon_{E_p}|$  ve  $|\epsilon_\theta|$  değerlerinde göreceli bir artış olduğu tespit edilmiştir.

## Investigating the climate change effects on annual average streamflows in the Euphrates-Tigris basin using the climate elasticity method

### H I G H L I G H T S

- Sensitivity of streamflow to climate change
- Climate elasticity method
- The Euphrates-Tigris basin

### Article Info

Research Article

Received: 18.05.2020

Accepted: 09.02.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.739556

### Keywords:

Streamflow,  
climate change,  
climate elasticity method,  
drought index,  
the Euphrates-Tigris basin

### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the response of streamflows ( $Q$ ) to changes in precipitation ( $P$ ), potential evapotranspiration ( $E_p$ ) and drought index within the Euphrates-Tigris basin. For this purpose, 37 sub-basins that are not affected by dams were identified within the basin. Here, the sensitivity of annual average streamflows to precipitation,  $E_p$  and drought index was evaluated by the climate elasticity method proposed by Schaake [1]. With this method, the average values of the precipitation and  $E_p$  sensitivity coefficients of the streamflow ( $\epsilon_P$  and  $\epsilon_{E_p}$ , respectively) throughout the basin were calculated as 1.50 and -0.50, respectively. Therefore, it is observed that a 10% increase (decrease) in precipitation would lead to an average increase (decrease) of 15% in streamflow, on the other hand, a 10% increase (decrease) in  $E_p$  would result in an average decrease (increase) of 5% in streamflow across the basin. Moreover, the average value of sensitivity coefficient of streamflow to drought index ( $\epsilon_\theta$ ) was determined as -0.47, which means that a 10% increase in the drought index will result in an average decrease of 4.7% in streamflow within the basin. Additionally, it is observed that there is a nonlinear inverse correlation between the climate change sensitivity coefficients (i.e.,  $\epsilon_P$ ,  $|\epsilon_{E_p}|$  and  $|\epsilon_\theta|$ ) and the flow coefficient ( $Q/P$ ) values of the sub-basins indicating that the decrease in streamflow would increase the sensitivity of streamflow to climatic changes. Finally, it was determined that there exist relative increases in  $\epsilon_P$ ,  $|\epsilon_{E_p}|$  and  $|\epsilon_\theta|$  values from high to low elevations across the basin.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Olumsuz etkileri zamanla daha fazla hissedilen iklim değişikliği ve beşeri faaliyetler dünya genelinde birçok nehir havzasında hidrolojik süreçler ve su bütçesi üzerinde önemli değişimlere sebep olmaktadır [2, 3]. Son yıllarda farklı ülkelerde yapılan çalışmalarda bu konu çeşitli yönleriyle ele alınmıştır. Fowler [4] Yeni Zelanda'nın Auckland bölgesinde potansiyel iklim değişikliği senaryolarının bitki örtüsü hassasiyetini önemli ölçüde etkilediğini ve özellikle kış aylarında bölgenin su veriminde artan yönde bir eğilim olduğunu tespit etmiştir. Legesse vd. [5] Etyopya'da tropik iklim kuşağında yer alan bir havzada yağışta %10'luk bir azalmanın, hava sıcaklığındaki 1,5°C'lik bir artışın ve havzada ağırlıklı olarak ekili/otlak alanların ormanlık alana dönüştürülmesinin akışta sırasıyla yaklaşık olarak %30, %15 ve %8 oranında azalmaya sebep olacağını göstermiştir. Hu vd. [6] Kuzey Çin Ovası'nda yer alan Baiyangdian havzasında 1960 sonrası azalan akarsu akışının %40 kadarının iklim değişikliği, %60 kadarının ise insan faaliyetleri sonucunda meydana geldiğini hesaplamıştır. Seymenov [7] Kuzeybatı Bulgaristan'da yedi adet nehir havzasında yıllık ortalama yağıştaki %10'luk bir azalmanın havzalardaki akışta ortalama %14 oranında bir düşüşe sebep olacağını belirlemiştir.

Havza ölçeğinde su kaynaklarının işletme ve planlama çalışmalarının iklimsel değişimlere uygun olarak düzenlenmesi son yıllarda giderek daha önemli hale gelmektedir [8, 9]. Fırat-Dicle havzasında Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) ile son dönemlerde bölgenin su ve toprak kaynaklarına dayalı birçok önemli proje hayata geçirilmiştir. Havzada iklim değişikliğinin nehir akımları üzerindeki etkilerinin araştırılması, GAP dahilinde su kaynakları yönetimi ve planlanması çalışmalarının geliştirilmesi ve aynı zamanda muhtemel iklim değişikliğine uyum sağlama amaçlı çalışmalar açısından büyük önem arz etmektedir [10]. Nasrat vd. [11] Fırat-Dicle havzasındaki iklim değişikliğinden Kuzey Atlantik Salınımı'nın (NAO) sorumlu olduğunu ve bundan dolayı yağışlarda ve nehir akımlarında azalma, sıcaklıklarda ise artma meydana geldiğini belirtmiştir. Bozkurt ve Sen [12] Fırat-Dicle havzasında gelecekteki iklim değişikliğinin havzanın yüksek kesimleri ve kuzey bölgelerinde kış mevsimindeki yağışlarda %55-87, yüzeysel akışlarda ise %25-55 oranında azalmaya sebep olacağını tespit etmiştir. Özdoğan [13] Fırat-Dicle havzasında farklı iklim değişikliği senaryolarına göre 21. yüzyılın sonlarında mevcut kar su eşdeğerinde %10-60 arasında düşüşler meydana geleceğini tahmin etmiştir. Yılmaz ve Imteaz [14] Fırat-Dicle havzasının yüksek bölgelerinde iklim değişikliği sebebiyle 2070-2100 döneminde yaz ve ilkbahar mevsiminde yüzeysel akışlarda önemli düşüşlerin yaşanacağını belirtmiştir.

Türkiye'de yağış, akış ve sıcaklık verilerindeki uzun süreli değişiklikleri belirlemek için son yıllarda bazı trend analizleri gerçekleştirilmiştir. Partal ve Kahya [15] tarafından ülke genelinde 1929-1993 dönemine ait yıllık

yağışların zamansal değişim analizinin yapıldığı çalışmada, Fırat-Dicle havzasında yer alan Muş istasyonunda yıllık ortalama yağışlarda istatistik bakımdan anlamlı bir azalma trendine rastlanırken, Bitlis istasyonunda önemli bir artma trendi bulunmuştur. Türkeş vd. [16]'in Türkiye genelinde nispeten daha güncel (1930-2002 arası) yağış verilerinin kullanıldığı çalışmada, Fırat-Dicle havzası içerisinde seçilen istasyonlarda yıllık yağışlarda sadece 1 adet istasyonda (Siirt) %1 anlamlılık seviyesinde azalma trendine rastlanırken, 8 istasyonda azalma eğilimleri görülmüştür. Bunlara ilaveten, Yavuz ve Erdoğan [17] Türkiye genelinde 1975-2009 dönemine ait yağış verilerine trend testi uygulamıştır. Çalışma sonuçlarına göre, Fırat-Dicle havzasında seçilen istasyonlar da dahil olmak üzere Türkiye genelinde yıllık yağışlar ile Ocak-Mayıs arası aylık yağışlarda istatistik bakımdan anlamlı azalma trendi gösteren istasyon sayısının nispeten fazla olduğu görülmüştür. Akyürek [18] tarafından Türkiye akarsu havzalarında yıllık ortalama akımların trend analizlerinin gerçekleştirildiği çalışmada, Fırat-Dicle havzasında veri aralıkları 1955-2001 tarihleri arasında değişen istasyonlar içerisinde 2123, 2131 ve 2145 nolu istasyonlarda %5 anlamlılık düzeyinde önemli azalış trendleri tespit edilmiştir. Kahya ve Kalaycı [19] Türkiye akarsularında 1964-1994 dönemini kapsayan akarsu akımlarına trend analizi uygulamıştır. Elde edilen bulgulara göre, Fırat havzasında 2124, 2131, 2132, 2145 ve 2151 nolu istasyonlarda yıllık ortalama akımlarda %5 veya daha az anlamlılık düzeyinde negatif yönde önemli trendler olduğu saptanmıştır. Yenigün vd. [20] tarafından Fırat havzasında veri aralıkları 1954-2000 tarihleri arasında değişen 22 adet istasyonda gerçekleştirilen trend analizi çalışmada, yalnızca 1 istasyonda (2132) yıllık ortalama akım değerlerinde %5 anlamlılık seviyesinde önemli bir azalma trendine rastlanmıştır. Yıldırım [21] tarafından Fırat havzasında 1968-2013 yıllarına ait akım verilerinin kullanıldığı trend analizi çalışmada, göz önüne alınan 5 adet istasyonun (2102, 2122, 2157, 2158 ve 2164) hiç birisinde yıllık ortalama akımlarda istatistik açıdan anlamlı bir trende rastlanmamıştır. Kadioğlu [22] tarafından Türkiye genelinde hava sıcaklıklarında trend incelemesinin yapıldığı çalışmada, Fırat-Dicle havzası içerisinde Diyarbakır, Elazığ ve Ş. Urfa istasyonlarında 1939-1989 döneminde yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde istatistiksel bakımdan anlamlı olmasa da artış eğilimleri olduğu görülmüştür.

İklim değişikliğinin nehir akımları üzerindeki etkilerini ölçmek amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan iklim elastikiyeti metodu iklimsel değişimlerin akış üzerindeki etkilerini basit bir şekilde tahmin etmeyi amaçlar. İlk olarak Schaake [1] tarafından geliştirilen bu metodun dünyanın çeşitli bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmalarda etkili bir şekilde kullanıldığı görülmüştür. Wang ve He [10] iklim değişikliğinin Çin'in Luan Nehri havzasındaki akarsu akışı üzerindeki etkisini araştırmak için iklim elastikiyeti yöntemini kullanarak havzada nehir akışının yağış,  $E_p$  ve kuraklık indeksi hassasiyeti katsayılarını hesaplamıştır.

Sankarasubramanian vd. [23] ABD’de iklim elastikiyeti yöntemini kullanarak tüm ülke geneli için akışın yağış hassasiyeti katsayısı haritasını elde etmiştir. Chiew [24] Avustralya genelinde iklim elastikiyeti yöntemi ile 219 adet nehir havzasında akışın yağış hassasiyeti katsayılarını tahmin etmiştir. Fu vd. [25] ABD’de Spokane nehir havzasında iki parametrelili iklim elastikiyeti yöntemini kullanarak havzada akışın yağış ve sıcaklık hassasiyeti katsayılarını elde etmiştir. Zheng vd. [26] Çin’de Sarı Nehir havzasının membasında bulunan alt havzalarda 1960–2000 dönemi için iklim ve arazi kullanımı değişikliğinin akarsu akışı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için iklim elastikiyeti yöntemini kullanmıştır. Ma vd. [27] Çin’de Miyun baraj haznesi giriş akımları üzerinde iklim değişikliği ve beşeri faaliyetlerin etkilerini incelemek için iklim elastikiyeti yöntemini kullanmıştır. Bu çalışma, Fırat-Dicle havzasındaki nehir akımlarının iklim değişikliğine olan hassasiyetini tespit etmeyi amaçlamaktadır. Bunun için ilk olarak, havzadaki yıllık ortalama yağış, akış ve potansiyel evapotranspirasyondaki uzun süreli eğilimler trend analizi yardımıyla araştırılmıştır. Daha sonra, iklim elastikiyeti metodu ile havzadaki yıllık ortalama yağış ve potansiyel evapotranspirasyondaki değişikliklerin yıllık ortalama akımlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

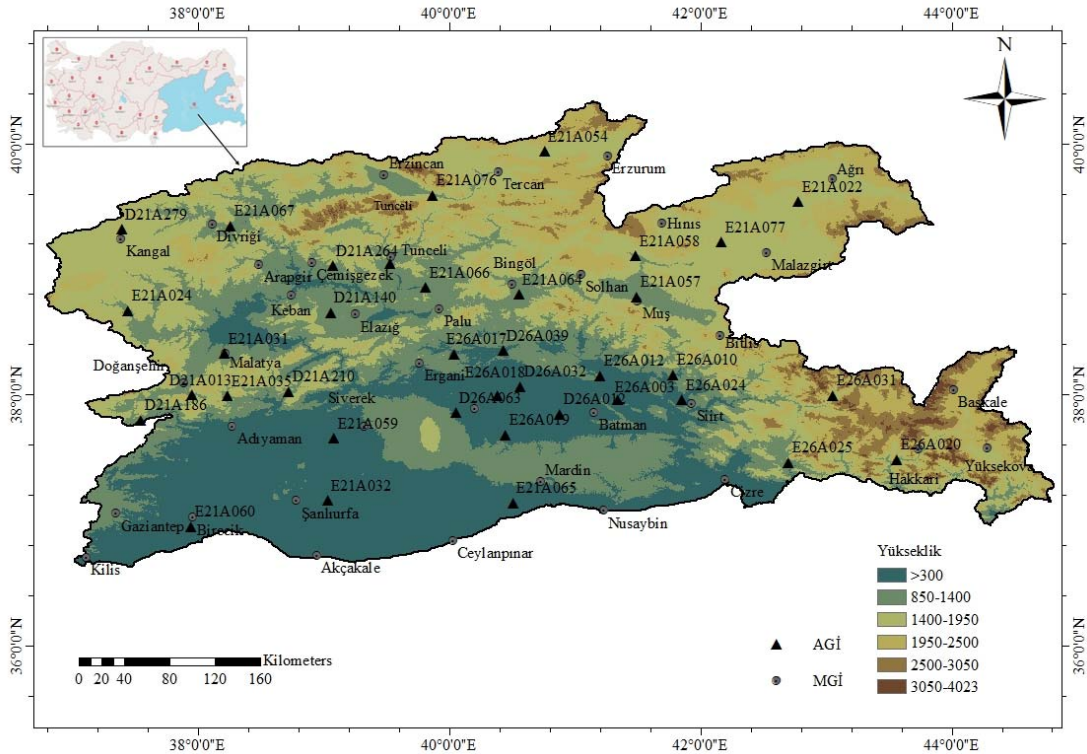
### 2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Türkiye’nin sınır aşan suları olan Fırat ve Dicle nehirleri Irak sınırları içerisinde birleşerek Şattülrap’ta Basra Körfezi’ne

dökülmektedir. Fırat-Dicle havzasının Türkiye sınırları içerisinde kalan kısmı yaklaşık olarak 185.000 km<sup>2</sup> olup içme, kullanma, enerji ve sulama suyuna en fazla ihtiyaç duyulan alanları içermektedir. Türkiye’nin en önemli bölgesel kalkınma projesi olan GAP, Fırat-Dicle havzası ile yukarı Mezopotamya ovalarında yer alan 9 ili (Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak) kapsamaktadır (Şekil 1).

Türkiye’de sulanabilir 8,5 milyon hektar arazinin %20’si Aşağı Fırat ve Dicle havzalarındaki geniş ovalardan oluşan GAP bölgesinde yer almaktadır. Şimdiye kadar enerji yatırımlarında %74, sulama yatırımlarında ise %53’lük kısmı bitirilen projenin tamamlanması ile Türkiye toplam su potansiyelinin %28’inin kontrol altına alınarak 1,7 milyon hektarlık tarım arazisinin sulanması ve 7.485 megavatlık kurulu hidrolik güç ile yılda 27 milyar kilovatsaatlik elektrik üretilmesi öngörülmektedir [28].

Fırat-Dicle havzasının kuzey ve doğu bölgelerinde dağlık alanlarda yükseklik 4.000 m’ye kadar ulaşmaktadır. Havzanın güneyine doğru ilerledikçe, topoğrafya hızla değişmekte ve yüksekliğin 300 m seviyelerine indiği bu kısımlarda nispeten düz ve ovalık alanların hakim olduğu görülmektedir. Havzada nehirler büyük oranda bölgenin yüksek kesimlerine yıl boyunca uzun süreli yağın kar yağışlarından beslenmektedir. Havzanın özellikle güney kısımlarında yarı kurak iklim şartları hakim olup yağışlar nispeten düşük, hava sıcaklığı ve buna bağlı olarak da buharlaşma yüksektir. Çalışma kapsamında, havzada iklim değişikliğinin nehir akımları üzerindeki etkilerinin



Şekil 1. Fırat-Dicle havzasında seçilen AGİ ve meteoroloji istasyonlarının dağılım haritası

araştırılması amacıyla baraj etkisi altında olmayan toplam 37 adet akım gözlem istasyonu (AGİ) belirlenmiştir. Bu istasyonlar ile yağış ve sıcaklık verilerinin elde edildiği meteoroloji istasyonlarının konumları Şekil 1'deki yükseklik haritası üzerinde gösterilmiştir. Tablo 1'de coğrafi bilgileri verilen AGİ'ler tüm havzayı olabildiği kadar iyi biçimde temsil edecek şekilde seçilmiştir. Kot değerleri 365 ile 1.675 m arasında değişmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan alt havzaların 23 tanesi Fırat havzasında (D21 ve E21 ile başlayan), geriye kalan 14 tanesi ise Dicle havzasında (D26 ve E26 ile başlayan) yer almaktadır. Alt havzaların alanları 51 ile 5.870 km<sup>2</sup> arasında değişmekte olup ortalama değeri 1.566 km<sup>2</sup> dir. İklim elastikiyeti metodunda gerekli olan yağış verileri ile potansiyel evapotranspirasyon hesabı için

gerekli sıcaklık verileri, alt havza sınırları içerisinde bulunan veya en yakın konumdaki meteoroloji istasyonlarından elde edilmiştir.

## 2.2. Hidrometeorolojik Veriler (Hydrometeorological Data)

Bu çalışma için gerekli ortalama aylık akım verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından yayınlanan basılı ve dijital kaynaklardan elde edilmiştir. Çalışmaya dahil edilen 37 adet AGİ'nin veri süreleri ortalaması 32 yıldır (Tablo 2). İklim elastikiyeti metoduna göre, akarsu akışının en önemli iki iklimsel parametre olan yağış ve potansiyel evapotranspirasyondaki değişimlere karşı hassasiyeti,

**Tablo 1.** Fırat-Dicle havzasında seçilen akım gözlem istasyonlarına ait coğrafi bilgiler  
(Geographical informations of the selected streamgage stations in the Euphrate-Tigris basin)

İndeks No	AGİ No*	AGİ İsmi	Kot (m)	Alan (km <sup>2</sup> )	Enlem (°)	Boylam (°)
1	D21A013	Sürgü Çayı-Sürgü Barajı Girişi	1.289	247	38,0014	37,9528
2	D21A140	Cip Deresi-Cip Barajı Girişi	1.010	248	38,6597	39,0575
3	D21A186	Göksu Nehri-Savran	865	714	37,8031	35,5444
4	D21A210	Büyükçay-Taşkale	900	216	38,0286	38,7247
5	D21A264	Cevizli Deresi-Cevizli	1.075	77	39,0292	39,0728
6	D21A279	Karanlık Dere-Davulbaz	1.488	81	39,3211	37,3911
7	D26A012	Başnik Çayı-Salat	525	1.060	37,8500	40,8833
8	D26A032	Pamuk Çayı-Karahan Köp.	738	305	38,0667	40,5697
9	D26A039	Anbar Çayı-Hani	800	292	38,3547	40,4294
10	D26A063	Kodi Deresi-Kolludere Köyü	785	51	37,8617	40,0533
11	E21A022	Murat Nehri-Tutak	1.552	5.870	39,5386	42,7803
12	E21A024	Tohma Suyu-Yazıköy	1.193	1.256	38,6731	37,4431
13	E21A031	Bey Deresi-Kılayık	892	277	38,3297	38,2106
14	E21A032	Culapsuyu-İncirli	470	466	37,1603	39,0339
15	E21A033	Munzur Suyu-Melekbahçe	875	3.284	39,0458	39,5261
16	E21A035	Bulam Çayı-Fatopaşa	1.252	155	37,9939	38,2363
17	E21A054	Karasu-Aşağıkağdıç	1.675	2.886	39,9389	40,7597
18	E21A057	Karasu-Karaköprü	1.250	2.109	38,7839	41,4953
19	E21A058	Bingöl Çayı-A. Paşa Köp.	1.310	1.297	39,1083	41,4872
20	E21A059	Çam Deresi-H. Kamil Köp.	525	906	37,6506	39,0825
21	E21A060	Nizip Çayı-Danaoğlu	365	1.032	36,9550	37,9439
22	E21A064	Göynük Çayı-Çayağzı	990	2.239	38,8008	40,5547
23	E21A065	Zerkan Suyu-Hocaköy	445	409	37,1422	40,5083
24	E21A066	Peri Suyu-Loğmar	845	5.444	38,8583	39,8144
25	E21A067	Çaltı Suyu-Dazlak	890	3.345	39,3478	38,2592
26	E21A076	Tacik Deresi-Mutu Boğazı	1.225	84	39,5914	39,8708
27	E21A077	Hınıs Çayı-Adıvar	1.452	2.841	39,2194	42,1683
28	E26A003	Garzan Çayı-Beşiri	545	2.396	37,9650	41,3458
29	E26A010	Bitlis Çayı-Baykan	910	638	38,1544	41,7825
30	E26A012	Batman Çayı-Malabadi Köp.	597	4.152	39,1544	41,2044
31	E26A017	Dicle Nehri-Çayönü	695	1.708	38,3281	40,0378
32	E26A018	Ambar Çayı-Köprübaşı	595	949	37,9919	40,3842
33	E26A019	Göksu Çayı-Çınarköprü	657	677	37,6839	40,4472
34	E26A020	Zap Suyu-Üzümcü	1.072	5.348	37,4864	43,5656
35	E26A024	Kezer Çayı-Pınarca	530	1.169	37,9614	41,8572
36	E26A025	Hezil Çayı-Girikhan	780	1.127	37,4622	42,7047
37	E26A031	Çatak Suyu-Tüliran	1.482	2.518	37,9983	43,0544
Min.			365	51		
Maks.			1.675	5.870		
Ort.			934	1.566		

(\*) D harfi ile başlayan DSİ, E harfi ile başlayan EİEİ istasyonudur.

**Tablo 2.** Fırat-Dicle havzasında seçilen alt havzalarda yıllık ortalama potansiyel evapotranspirasyon, akım ve yağış verileri ile akış katsayısı ve kuraklık indeksi değerleri  
(Mean annual potential evapotranspiration, streamflow and precipitation data with runoff coefficient and aridity index of the selected subbasins in the Euphrate-Tigris basin)

İndeks No	AGİ No	Veri Aralığı	Veri Süresi (Yıl)	Yıllık Ort. Pot. Evapotrans. $E_p$ (mm)	Yıllık Ort. Akım $Q$ (mm)	Yıllık Ort. Yağış $P$ (mm)	Akış Katsayısı ( $Q/P$ )	Kuraklık İndeksi ( $\emptyset=E_p/P$ )
1	D21A013	1975-2013	39	1.802	481	712	0,68	2,53
2	D21A140	1974-2010	37	1.636	40	407	0,10	4,03
3	D21A186	1984-2004	21	1.813	531	712	0,75	2,55
4	D21A210	1985-2007	23	1.648	823	850	0,97	1,94
5	D21A264	2002-2017	16	1.676	453	504	0,90	3,33
6	D21A279	1998-2015	18	1.482	383	444	0,86	3,34
7	D26A012	1997-2017	21	1.916	102	460	0,22	4,17
8	D26A032	1989-2010	22	1.841	173	470	0,37	3,92
9	D26A039	2000-2018	19	1.854	292	486	0,60	3,81
10	D26A063	1991-2017	27	1.845	252	582	0,43	3,17
11	E21A022	1970-2011	42	1.361	259	492	0,53	2,77
12	E21A024	1963-2015	53	1.643	178	387	0,46	4,25
13	E21A031	1957-2015	59	1.642	179	386	0,46	4,25
14	E21A032	1963-1999	37	1.355	49	451	0,11	3,00
15	E21A033	1968-2009	42	1.643	819	875	0,94	1,88
16	E21A035	1981-2005	25	1.631	768	847	0,91	1,93
17	E21A054	1969-1994	26	1.280	209	400	0,52	3,20
18	E21A057	1969-2007	39	1.439	363	781	0,46	1,84
19	E21A058	1978-2015	38	1.455	443	622	0,71	2,34
20	E21A059	1969-1992	24	1.745	97	539	0,18	3,24
21	E21A060	1969-1988	20	1.840	55	462	0,12	3,98
22	E21A064	1969-2015	47	1.560	454	823	0,55	1,90
23	E21A065	1969-1998	30	1.641	99	704	0,14	2,33
24	E21A066	1970-2011	42	1.573	450	689	0,65	2,28
25	E21A067	1964-1991	28	1.443	249	420	0,59	3,44
26	E21A076	1983-2015	33	1.660	607	819	0,74	2,03
27	E21A077	1986-2015	30	1.360	321	550	0,58	2,47
28	E26A003	1965-2002	38	1.632	619	832	0,74	1,96
29	E26A010	1963-2015	53	1.532	921	1.066	0,86	1,44
30	E26A012	1965-1998	34	1.442	980	1.306	0,75	1,10
31	E26A017	1972-1997	26	1.668	461	788	0,58	2,12
32	E26A018	1969-1998	30	1.805	241	482	0,50	3,74
33	E26A019	1969-1987	19	1.603	113	721	0,16	2,22
34	E26A020	1971-2005	35	1.288	367	563	0,65	2,29
35	E26A024	1972-2015	44	1.452	909	1.220	0,75	1,19
36	E26A025	1972-1989	18	1.990	500	684	0,73	2,91
37	E26A031	1988-2005	18	1.341	337	564	0,60	2,38
<i>Min.</i>			<i>16</i>	<i>1.280</i>	<i>40</i>	<i>386</i>	<i>0,10</i>	<i>1,10</i>
<i>Maks.</i>			<i>59</i>	<i>1.990</i>	<i>980</i>	<i>1.306</i>	<i>0,97</i>	<i>4,25</i>
<i>Ort.</i>			<i>32</i>	<i>1.609</i>	<i>394</i>	<i>651</i>	<i>0,56</i>	<i>2,74</i>

esasında hidrolojik sistemlerin uzun süreli iklim değişikliklerine karşı hassasiyetinin bir göstergesidir. Aylık ortalama yağış verileri ve potansiyel evapotranspirasyon hesabında kullanılmak üzere maksimum ve minimum sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Göz önüne alınan alt havzalarda yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin alansal ortalaması CBS ortamında Thiessen poligonları yöntemiyle elde edilmiştir. İklim elastikiyeti metodunda yıllık ortalama akım, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerine ihtiyaç duyulduğundan mevcut aylık veriler doğrudan yıllık

verilerin hesabında kullanılmıştır. Tablo 2'de çalışma kapsamında seçilen AGİ'lerin temsil ettiği alt havzalara ait ortalama yıllık akım, yağış ve Hargreaves-Samani yöntemiyle [29] hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon verilerine ait bilgiler görülmektedir. Ayrıca, alt havzaların akış katsayısı ve kuraklık indeksi değerleri de tabloda verilmiştir. Çalışmada kullanılan yağış, akış, potansiyel evapotranspirasyon ve sıcaklık verilerindeki uzun süreli değişimleri belirlemek için Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Parametrik olmayan Mann-Kendall testi hidrometeorolojik zaman serilerinde meydana gelebilecek

artma veya azalma yönündeki gidişin (trend) istatistiksel önemini test etmede oldukça sık kullanılan bir testtir [30].

### 2.3. Potansiyel Evapotranspirasyon Hesabı (Calculation of Potential Evapotranspiration)

Bu çalışmada, potansiyel evapotranspirasyon hesabı için sıcaklık tabanlı Hargreaves-Samani yöntemi kullanılmıştır. Esasında bu yöntem, meteorolojik bilgilerin yetersiz olduğu yerlerde (özellikle yarı kurak iklim bölgelerinde) referans evapotranspirasyon değerinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş ampirik bir yöntemdir (Eş. 1).

$$E_p = 0,408 \cdot K_H \cdot R_a \cdot (T_{maks} - T_{min})^{e_H} \cdot \left[ \frac{(T_{maks} + T_{min})}{2} + K_T \right] \quad (1)$$

Burada,  $E_p$  referans evapotranspirasyon (mm/gün),  $R_a$  yer yüzeyine ulaşan radyasyon ( $MJ/m^2/gün$ ),  $T_{maks}$  maksimum günlük sıcaklık ( $^{\circ}C$ ),  $T_{min}$  minimum günlük sıcaklık ( $^{\circ}C$ ),  $K_H$  ve  $K_T$  ampirik Hargreaves kalibrasyon ve sıcaklık katsayıları,  $e_H$  ise ampirik Hargreaves üs değeridir. Bu değerler, Hargreaves ve Samani tarafından  $K_H = 0,0023$ ,  $K_T = 17,8$  ve  $e_H = 0,5$  olarak belirlenmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda bu ampirik değerlerin yerel iklim koşullarına göre düzeltilmesi gerektiği belirtilmiştir [31-33]. Diğer taraftan, Almorox vd. [34] kurak, yarı kurak, ılıman, soğuk ve kutup iklim bölgelerinde küresel ortalama aylık evapotranspirasyon hesabında orijinal Hargreaves-Samani eşitliğinin diğer sıcaklık tabanlı modellere göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Aylık ortalama  $E_p$  değerleri orijinal Hargreaves-Samani eşitliği kullanılarak Drought Indices Calculator (DrinC) yazılımı ile hesaplanmıştır. Bu aşamada elde edilen aylık değerler daha sonra yıllık ortalama değerlerin hesabı için kullanılmıştır. Söz konusu yazılım, son yıllarda kuraklık araştırmalarında yaygın şekilde kullanılan Keşif Kuraklık İndeksi (RDI), Akım Kuraklık İndeksi (SDI) ve Standart Yağış İndeksi (SPI) ile kuraklık analizi çalışmaları için geliştirilmiştir [35].

### 2.4. İklim Elastikiyeti Metodu (The Climate Elasticity Method)

Bu çalışmada, iklim değişikliğinin akarsu akımları üzerindeki etkilerinin incelenmesinde Schaake [1] tarafından önerilen iklim elastikiyeti yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile akarsudaki akışın, verilen bir iklimsel değişkene göre göreceli değişiminin veya hassasiyetinin sayısal olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Buna göre, akış hassasiyet katsayısı ( $\varepsilon$ ) akışın ( $Q$ ) oransal değişiminin göz önüne alınan yağış veya potansiyel evapotranspirasyon gibi bir iklimsel değişkenin ( $X$ ) oransal değişimine oranını ifade eder (Eş. 2).

$$\varepsilon = \frac{\partial Q/Q}{\partial X/X} \quad (2)$$

#### 2.4.1. Akarsu akışının yağış ve potansiyel evapotranspirasyona olan hassasiyeti (Sensitivity of streamflow to precipitation and potential evapotranspiration)

Düzenlemeye tabi olmayan veya su alımı yapılmayan bir akarsudaki akış, havza karakteristikleri göz ardı edilerek

yalnızca iklimsel değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Buna göre, yıllık akışın yüzdelik değişimi ( $\Delta Q/Q$ ), yıllık yağışın yüzdelik değişimi ( $\Delta P/P$ ) ile yıllık potansiyel evapotranspirasyonun yüzdelik değişimine ( $\Delta E_p/E_p$ ) bağlı olarak Eş. 3 ve Eş. 4 ile yazılabilir:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \varepsilon_P \frac{\Delta P}{P} + \varepsilon_{E_p} \frac{\Delta E_p}{E_p} \quad (3)$$

$$\varepsilon_P + \varepsilon_{E_p} = 1.0 \quad (4)$$

Burada,  $\bar{Q}$ ,  $\bar{P}$  ve  $\bar{E}_p$  sırasıyla ortalama yıllık akış, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri,  $\varepsilon_P$  akışın yağış hassasiyeti katsayısı,  $\varepsilon_{E_p}$  ise akışın potansiyel evapotranspirasyon hassasiyeti katsayısıdır. İklimsel değişkenler arasında zorunlu etkileşimler dolayısıyla Schaake [1] tarafından geliştirilen iklim elastikiyeti yöntemiyle doğru olmayan sonuçların elde edilmesi mümkün görünmektedir. Bu sebeple, Sun vd. [36] bu yöntemi bir korelasyon analizi yardımıyla modifiye ederek daha doğru ve gerçekçi sonuçlar elde etmiştir. Buna göre, modifiye edilen akışın iklim elastikiyeti Eş. 5 ve Eş. 6 ile ifade edilmiştir:

$$\varepsilon_P = \text{Medyan} \left( \frac{\Delta Q/\bar{Q} - \Delta E_p/\bar{E}_p}{\Delta P/\bar{P} - \Delta E_p/\bar{E}_p} \right) \quad (5)$$

$$\varepsilon_{E_p} = \text{Medyan} \left( \frac{\Delta P/\bar{P} - \Delta Q/\bar{Q}}{\Delta P/\bar{P} - \Delta E_p/\bar{E}_p} \right) \quad (6)$$

Burada  $\varepsilon$ ,  $\bar{Q}$ ,  $\bar{P}$ ,  $\bar{E}_p$  sırasıyla, iklim elastikiyeti, akış, yağış, potansiyel evapotranspirasyonun uzun süreli ortalama değerleridir ve operatör  $\Delta$  gözlenen ve ortalama değerler arasındaki farkı gösterir [9].

#### 2.4.2. Akarsu akışının kuraklık indeksine olan hassasiyeti (Sensitivity of streamflow to aridity index)

Yağış ve potansiyel evapotranspirasyon birbirinden tamamen bağımsız olmayan iklimsel değişkenlerdir. Kuraklık indeksi potansiyel evapotranspirasyonun yağışa oranını ( $\emptyset = E_p/P$ ) temsil etmekte olup değişik çalışmalarda iklimsel değişimin akış üzerindeki etkilerini tahmin etmede göz önüne alınmıştır [37, 38]. Bu çalışmada, kuraklık indeksi iklim elastikiyeti metodu ile birlikte akışın iklimsel değişimlere hassasiyetini belirlemede bir gösterge olarak kullanılmıştır. Akarsu akışının kuraklık indeksi hassasiyeti katsayısı ( $\varepsilon_{\emptyset}$ ) Eş. 7 ile belirlenebilir.

$$\varepsilon_{\emptyset} = \frac{\partial \emptyset}{\partial \emptyset} \cdot \emptyset \quad (7)$$

Budyko hipotezine [39] göre gerçek evapotranspirasyon ( $E_a$ ) yağışın ve kuraklık indeksinin bir fonksiyonudur ( $E_a = P \times f(\emptyset)$ ). Buna göre, uzun dönemli su bütçesi göz önüne alınarak  $\varepsilon_{\emptyset}$  değeri Eş. 8'de verilen bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\varepsilon_{\emptyset} = - \frac{P}{Q} (1 - f(\emptyset)) - \frac{E_p}{Q} f'(\emptyset) \quad (8)$$

Burada,  $f(\emptyset)$  fonksiyonu için literatürde değişik bağıntılar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Turc [40] ve Pike [41] tarafından geliştirilen Eş. 9 da verilen bağıntı tercih edilmiştir.

$$f(\emptyset) = 1/\sqrt{1+\emptyset^2} ; f'(\emptyset) = 1/[\emptyset^3(1+\emptyset^2)^{3/2}] \quad (9)$$

Esasında,  $\varepsilon_{\emptyset}$  değerinin pozitif veya negatif olması,  $\emptyset$ 'nin artmasına bağlı olarak  $Q$ 'nun artacağını veya azalacağını gösterir. Örneğin,  $\varepsilon_{\emptyset}$ 'nin - 0,1 olması kuraklığın %10 artmasını ve dolayısıyla akışta %1'lik bir azalışın meydana geleceğini gösterir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Hidrometeorolojik Verilerin Trend Analizi (Trend Analysis of Hydrometeorological Data)

Fırat-Dicle havzası içerisinde göz önüne alınan alt havzalarda 30 yıl ve üzeri akım verisine sahip olan 20 adet alt havzanın yıllık ortalama yağış ( $P$ ), akış ( $Q$ ), Hargreaves-Samani eşitliği ile elde edilen potansiyel evapotranspirasyon ( $E_p$ ) yükseklikleri ile minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık ( $T_{min}$ ,  $T_{maks}$  ve  $T_{ort}$ ) verilerine Mann-Kendall testi uygulanarak trend analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de verilen sonuçlara göre, trend analizine tabi tutulan alt havzaların 11 tanesinin yağış değerlerinde azalma eğilimi bulunmaktadır. Bunlar içerisinde 2015 yılına kadar veriye sahip 4 tanesinde %5 anlamlılık seviyesinde önemli negatif yönlü trendler bulunmuştur. Bu alt havzalardan ikisinin havzanın doğu tarafında (indeks no 19 ve 35), diğer ikisinin ise batı tarafında (indeks no 12 ve 13) yer aldığı

görülmektedir. Diğer taraftan, geri kalan alt havzalar içerisinde yalnızca bir tanesinin (indeks no 24) yağış verilerinde seçilen anlamlılık seviyesinde önemli bir pozitif trende rastlanmıştır. Tabloda görüldüğü gibi, trend analizi yapılan alt havzaların çoğunun akış değerlerinde azalma eğilimi olduğu belirlenmiştir. Bunlar içerisinde 6 tanesinde (indeks no 2, 12, 13, 14, 27 ve 30) tespit edilen trendlerin %5 anlamlılık seviyesinde önemli olduğu ve bunların havza içerisinde daha yaygın şekilde dağıldığı görülmektedir.  $E_p$  ve sıcaklık değerlerinde artış eğilimi gösteren alt havza sayısının ise nispeten fazla olduğu göze çarpmaktadır. Nitekim, göz önüne alınan alt havzaların %80'ine yakınında  $E_p$  ve  $T_{maks}$  değerlerindeki artış eğilimlerinin %5 anlamlılık seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca,  $T_{min}$  ve  $T_{ort}$  değerlerindeki artış eğilimlerinin aynı anlamlılık seviyesinde önemli olduğu tespit edilen alt havzaların oranları ise sırasıyla %40 ve %65 civarındadır.

Göz önüne alınan alt havzalarda akıştaki azalma eğilimlerinin, yağıştaki azalma ile  $E_p$  ve sıcaklıklardaki artış eğilimleriyle genellikle uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Akış verilerinde istatistiksel bakımdan anlamlı trendlere sahip alt havzalardan iki tanesinin yağış, tamamının ise  $E_p$  verilerinde aynı anda anlamlı trendlere rastlanmıştır. Daha güncel verilerin kullanıldığı bu çalışmada elde edilen trend analizi sonuçlarının, Fırat-Dicle havzasında gerçekleştirilen ve yukarıda incelenen çalışma sonuçlarıyla (yağış:[15-17], akış:[18-21], sıcaklık:[22]) bazı benzerlikler taşımakla birlikte burada nispeten daha fazla istasyonda anlamlı trende rastlanmıştır. Burada görüldüğü gibi, trend analizine tabi tutulan verilerin uzunluğu ve aralığı değişikçe farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin de yer aldığı

**Tablo 3.** Fırat-Dicle havzasında seçilen alt havzalarda hidrometeorolojik verilerin trend analizi sonuçları  
(Trend analysis results of hydrometeorological data of the selected subbasins in the Euphrates-Tigris basin)

İndeks No	AGİ No	Veri Aralığı	Veri Süresi (Yıl)	P (mm)	Q (mm)	$E_p$ (mm)	$T_{min}$ (°C)	$T_{maks}$ (°C)	$T_{ort}$ (°C)
1	D21A013	1975-2013	39	0,15	-1,07	3,06*	1,37	4,03*	2,76*
2	D21A140	1974-2010	37	-0,86	-2,87*	3,99*	2,19*	4,62*	3,80*
11	E21A022	1970-2011	42	0,15	0,71	3,43*	2,70*	3,71*	2,65*
12	E21A024	1963-2015	53	-2,33*	-4,89*	4,54*	2,55*	4,86*	4,21*
13	E21A031	1957-2015	59	-2,00*	-2,82*	3,76*	2,48*	4,36*	3,39*
14	E21A032	1963-1999	37	-0,94	-2,17*	2,28*	1,58	2,67*	1,37
15	E21A033	1968-2009	42	0,78	-0,03	1,89*	1,29	2,60*	2,03*
18	E21A057	1969-2007	39	1,33	0,03	3,50*	0,26	3,60*	2,72*
19	E21A058	1978-2015	38	-2,00*	-1,43	2,43*	0,85	2,37*	0,80
22	E21A064	1969-2015	47	0,36	-0,45	1,48	0,60	1,00	1,38
23	E21A065	1969-1998	30	-0,43	-0,54	3,88*	-1,53	2,62*	1,66
24	E21A066	1970-2011	42	1,94*	0,06	2,36*	1,02	2,42*	1,45
26	E21A076	1983-2015	33	0,26	0,47	3,65*	3,84*	3,70*	3,52*
27	E21A077	1986-2015	30	-0,88	-2,35*	2,53*	2,40*	3,13*	2,40*
28	E26A003	1965-2002	38	-0,62	-1,09	2,55*	2,07	2,54*	2,62*
29	E26A010	1963-2015	53	-1,02	-1,35	1,43	0,16	2,11*	1,29
30	E26A012	1965-1998	34	-0,13	-2,06*	4,48*	1,61	4,28*	3,19*
32	E26A018	1969-1998	30	0,43	0,62	0,34	-3,36*	-0,47	-1,54
34	E26A020	1971-2005	35	0,00	-0,06	0,74	0,21	1,07	2,53*
35	E26A024	1972-2015	44	-2,18*	-0,08	4,11*	2,14*	4,50*	4,11*

(\*) %5 anlamlılık seviyesinde önemli trend vardır.



bölgeleri kapsayan bazı iklim değişikliği çalışmalarında [11-14] elde edilen bulgulara göre, ülkemizde iklim değişikliğinin etkilerinin 2000 yılı sonrası daha belirgin hale geleceği anlaşılmaktadır. Buna göre, bu çalışma kapsamında Fırat-Dicle havzasında elde edilen negatif yönlü trend sonuçlarının bahsi geçen çalışma sonuçlarıyla uyumlu olduğu düşünülmektedir.

### 3.2. Akışın Yağış ve Potansiyel Evapotranspirasyona Olan Hassasiyeti (Sensitivity of Streamflow to Precipitation and Potential Evapotranspiration)

Bu çalışmada kapsamında Fırat-Dicle havzasında seçilen 37 adet alt havzada akarsu akışının iklim değişikliğine olan

hassasiyetini belirlemek için Eş. 5 ve 6'da verilen bağıntılar kullanılmıştır. Buna göre, göz önüne alınan alt havzalar için hesaplanan, akışın yağış ve potansiyel evapotranspirasyon hassasiyeti katsayıları (sırasıyla  $\varepsilon_p$  ve  $\varepsilon_{Ep}$ ) Tablo 4'de verilmiştir. Bu alt havzalara ait en uygun  $\varepsilon_p$  ve  $\varepsilon_{Ep}$  değerlerinin elde edilmesinde Fu vd. [25] tarafından önerildiği gibi aylık yağış ve akış verileri arasında en yüksek belirleme katsayısına ( $R^2$ ) sahip yıllık döngü veya periyot göz önüne alınmıştır. Tabloda görüldüğü gibi, Dicle havzasının batısında yer alan iki istasyon (indeks no 9 ve 10) hariç diğer istasyonların temsil ettiği alt havzalarda yıllık döngünün başlangıcı genelde yaz mevsiminin sonunda veya ona yakın bir zamana tekabül etmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların Seymenov [7] ile Fu vd. [25] tarafından

**Tablo 4.** Fırat-Dicle havzasında seçilen alt havzalarda akışın yağış ve potansiyel evapotranspirasyon hassasiyeti katsayıları

(Sensitivity coefficients of streamflow to precipitation and potential evapotranspiration of the selected subbasins in the Euphrates-Tigris basin)

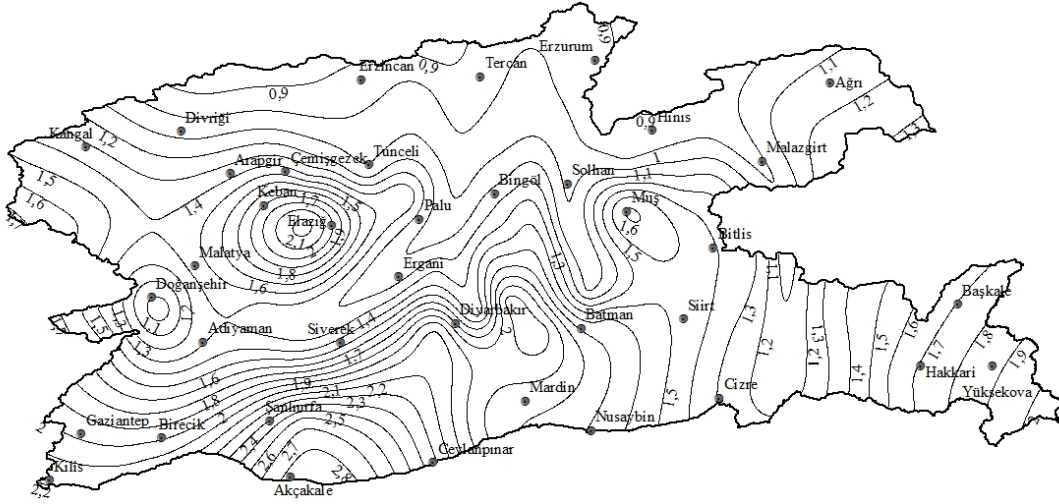
İndeks No	AGİ No	$\varepsilon_p$	$\varepsilon_{Ep}$	$R^2_{(P,Q)}$	En Uygun Periyot
1	D21A013	1,02	-0,02	0,57	Ekim-Eylül
2	D21A140	2,15	-1,15	0,57	Eylül-Ağus.
3	D21A186	1,57	-0,57	0,65	Ekim-Eylül
4	D21A210	1,36	-0,36	0,49	Aralık-Kasım
5	D21A264	1,37	-0,37	0,24	Aralık-Kasım
6	D21A279	1,27	-0,27	0,51	Ağus.-Tem.
7	D26A012	2,03	-1,03	0,64	Eylül-Ağus.
8	D26A032	2,07	-1,07	0,67	Ekim-Eylül
9	D26A039	1,59	-0,59	0,74	Mart-Şubat
10	D26A063	2,11	-1,11	0,41	Mart-Şubat
11	E21A022	1,15	-0,15	0,50	Ağus.-Tem.
12	E21A024	1,40	-0,40	0,39	Ekim-Eylül
13	E21A031	1,45	-0,45	0,62	Eylül-Ağus.
14	E21A032	2,64	-1,64	0,49	Eylül-Ağus.
15	E21A033	1,12	-0,12	0,58	Kasım-Ekim
16	E21A035	1,36	-0,36	0,60	Kasım-Ekim
17	E21A054	1,01	-0,01	0,30	Ekim-Eylül
18	E21A057	1,63	-0,63	0,85	Ekim-Eylül
19	E21A058	1,02	-0,02	0,69	Eylül-Ağus.
20	E21A059	1,56	-0,56	0,71	Kasım-Ekim
21	E21A060	2,04	-1,04	0,55	Ekim-Eylül
22	E21A064	1,35	-0,35	0,84	Eylül-Ağus.
23	E21A065	1,84	-0,84	0,68	Ekim-Eylül
24	E21A066	1,52	-0,52	0,79	Eylül-Ağus.
25	E21A067	1,06	-0,06	0,64	Ağus.-Tem.
26	E21A076	1,07	-0,07	0,55	Ekim-Eylül
27	E21A077	1,05	-0,05	0,49	Kasım-Ekim
28	E26A003	1,59	-0,59	0,90	Eylül-Ağus.
29	E26A010	1,49	-0,49	0,87	Eylül-Ağus.
30	E26A012	1,12	-0,12	0,74	Eylül-Ağus.
31	E26A017	1,41	-0,41	0,77	Ekim-Eylül
32	E26A018	1,38	-0,38	0,58	Kasım-Ekim
33	E26A019	1,92	-0,92	0,69	Ekim-Eylül
34	E26A020	1,66	-0,66	0,70	Ekim-Eylül
35	E26A024	1,49	-0,49	0,87	Ekim-Eylül
36	E26A025	1,14	-0,14	0,52	Kasım-Ekim
37	E26A031	1,35	-0,35	0,86	Kasım-Ekim
Min.		1,01	-1,64	0,24	
Maks.		2,64	-0,01	0,90	
Ort.		1,50	-0,50	0,63	

gerçekleştirilen çalışma sonuçlarıyla uyumluluk gösterdiği görülmüştür. Tablo 4’de görüldüğü üzere  $\varepsilon_P$ ’nin değeri 1,01 ile 2,64 ve  $\varepsilon_{Ep}$ ’nin değeri ise -0,01 ile -1,64 arasında değişmekte olup ortalama değerleri sırasıyla 1,50 ve -0,50 olarak belirlenmiştir. Esasında, burada  $\varepsilon_P$  ve  $\varepsilon_{Ep}$ ’nin işareti, akışın  $P$ ’deki artışa (azalışa) bağlı olarak pozitif (negatif) yönde bir eğilime, diğer taraftan  $E_p$ ’deki artışa (azalışa) bağlı olarak ise negatif (pozitif) yönde bir eğilime sahip olacağını göstermektedir. Buna göre, Fırat-Dicle havzası genelinde yağışta meydana gelecek %10’luk bir artış (azalış), akışta ortalama %15’lik bir artışa (azalışa); diğer taraftan potansiyel evapotranspirasyondaki %10’luk bir artış (azalış) ise, akışta ortalama %5’lik bir azalışa (artışa) neden olacaktır.

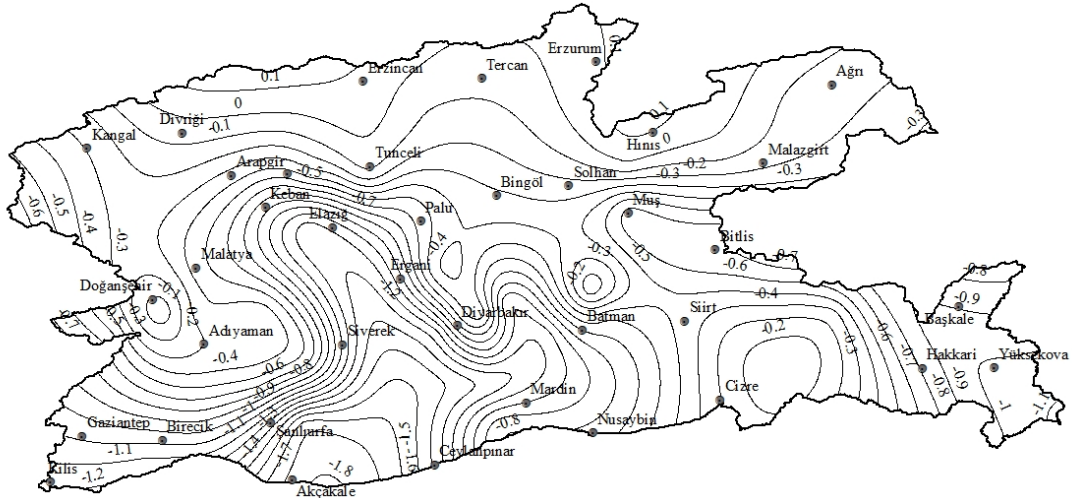
Burada elde edilen  $\varepsilon_P$  ve  $\varepsilon_{Ep}$  ‘nin noktasal değerleri kullanılarak Fırat-Dicle havzası için elde edilen eşdeğer çizgili alansal dağılım haritaları Şekil 2 ve 3’de

görülmektedir. Burada, havza içerisinde yüksek kotlardan düşük kotlara doğru gidildikçe genel olarak  $\varepsilon_P$  ve  $\varepsilon_{Ep}$  (negatif yönde) değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir. Havza içerisinde AGİ sayısının nispeten fazla olduğu yerlerde bu durum daha belirgin haldedir.

Yukarıda verilen trend analizi sonuçları göz önüne alındığında, yağış verilerinde istatistiksel bakımdan anlamlı azalma eğilimleri görülen yerlerde (havzanın doğu ve batı bölgelerinde) yağışta oluşacak %10’luk bir azalma akışta %15’e varan bir azalmaya karşılık gelmektedir (Şekil 2’ye bakınız). Diğer taraftan,  $E_p$  verilerinde istatistiksel bakımdan anlamlı artma eğilimi görülen yerlerde (havzanın nispeten büyük bir kısmında)  $E_p$ ’deki %10’luk bir artışın, Şekil 3’de görüldüğü gibi havza içerisinde akış değerlerinde değişen oranlarda azalmalara sebebiyet vereceği anlaşılmaktadır (örneğin; havzanın orta bölgelerinde %7, güney bölgelerinde ise %14 civarında).



Şekil 2. Fırat-Dicle havzası için  $\varepsilon_P$  değerlerinin eşdeğer çizgili alansal dağılım haritaları  
(Spatial contour line maps of  $\varepsilon_P$  values in the Euphrates-Tigris basin)



Şekil 3. Fırat-Dicle havzası için  $\varepsilon_{Ep}$  değerlerinin eşdeğer çizgili alansal dağılım haritaları  
(Spatial contour line maps of  $\varepsilon_{Ep}$  values in the Euphrates-Tigris basin)

Ortalama değerler göz önüne alındığında,  $\varepsilon_P$  değerinin  $|\varepsilon_{Ep}|$  değerinden daha büyük olması Fırat-Dicle havzasında akışın  $E_p$ 'ye nazaran  $P$ 'ye olan hassasiyetinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Havza genelinde  $P$ ,  $Q$  ve  $E_p$  arasındaki ilişkilerin daha detaylı bir şekilde incelenmesi için verilen değişkenler arasında iki değişkenli ve kısmi korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, sırasıyla yağış ile  $E_p$  arasında ( $\rho_{P,E_p}$ ), yağış ile akış arasında ( $\rho_{P,Q}$ ),  $E_p$  ile akış arasında ( $\rho_{E_p,Q}$ ) iki değişkenli korelasyonlar ve ayrıca akış üzerindeki  $E_p$  etkisinin çıkarılmasıyla elde edilen yağış ile akış arasında ( $\rho_{P,Q-E_p}$ ) ve akış üzerindeki  $P$  etkisinin

çıkarılmasıyla elde edilen  $E_p$  ile akış arasında ( $\rho_{E_p,Q-P}$ ) kısmi korelasyonlar elde edilmiştir (Tablo 5). Tabloda verilene göre, göz önüne alınan alt havzalarda  $P$  ile  $Q$  arasındaki korelasyon değerleri pozitif,  $E_p$  ile  $Q$  arasındaki korelasyon değerleri ise negatiftir. Buna göre; yağışta meydana gelecek bir artış (azalış) akışta bir artışa (azalışa), potansiyel evapotranspirasyonda meydana gelecek bir artış (azalış) ise akışta bir azalışa (artışa) neden olacaktır.

Burada,  $P$  ile  $Q$  arasındaki korelasyonların iki istasyon hariç (indeks no 5 ve 21) %1 anlamlılık düzeyinde önemli olduğu

**Tablo 5.** Yağış, potansiyel evapotranspirasyon ve akış arasındaki korelasyon analizi sonuçları  
(Correlation analysis results for precipitation, potential evapotranspiration and streamflow)

İndeks No	AGI No	$\rho_{P, E_p}$	$\rho_{P, Q}$	$\rho_{E_p, Q}$	$\rho_{P, Q-E_p}$	$\rho_{E_p, Q-P}$
1	D21A013	-0,080	0,754**	-0,150	0,753	-0,136
2	D21A140	-0,558**	0,755**	-0,406*	0,697	0,028
3	D21A186	-0,224	0,805**	-0,233	0,794	0,092
4	D21A210	-0,442*	0,609**	-0,372	0,534	-0,144
5	D21A264	-0,364	0,493	-0,272	0,440	-0,113
6	D21A279	-0,064	0,712**	-0,167	0,744	-0,349
7	D26A012	-0,438	0,803**	-0,388	0,764	-0,068
8	D26A032	-0,465*	0,818**	-0,385	0,782	-0,009
9	D26A039	-0,345	0,859**	-0,351	0,839	-0,113
10	D26A063	-0,471*	0,644**	-0,481*	0,540	-0,263
11	E21A022	-0,440**	0,712**	-0,387*	0,655	-0,116
12	E21A024	-0,402*	0,627**	-0,390**	0,557	-0,193
13	E21A031	-0,399**	0,789**	-0,362**	0,754	-0,085
14	E21A032	-0,304	0,678**	-0,298	0,646	-0,131
15	E21A033	-0,302	0,762**	-0,112	0,769	0,191
16	E21A035	-0,367	0,776**	-0,276	0,754	0,015
17	E21A054	-0,082	0,547**	-0,326	0,552	-0,336
18	E21A057	-0,361*	0,922**	-0,435**	0,911	-0,282
19	E21A058	-0,476**	0,831**	-0,454**	0,784	-0,120
20	E21A059	-0,604**	0,840**	-0,557**	0,761	-0,116
21	E21A060	-0,480*	0,312	-0,482*	0,105	-0,398
22	E21A064	-0,293	0,918**	-0,297*	0,910	-0,073
23	E21A065	-0,451*	0,827**	-0,492**	0,778	-0,238
24	E21A066	-0,210	0,886**	-0,138	0,886	0,107
25	E21A067	-0,520*	0,799**	-0,270	0,800	0,283
26	E21A076	-0,173	0,745**	-0,134	0,739	-0,008
27	E21A077	-0,409**	0,700**	-0,643**	0,625	-0,547
28	E26A003	-0,574**	0,947**	-0,494**	0,932	0,191
29	E26A010	-0,502**	0,932**	-0,414**	0,919	0,170
30	E26A012	-0,406	0,858**	-0,151	0,882	0,420
31	E26A017	-0,341	0,880**	-0,394	0,863	-0,211
32	E26A018	-0,524*	0,851**	-0,601*	0,787	-0,348
33	E26A019	-0,436	0,830**	-0,447	0,788	-0,168
34	E26A020	-0,519**	0,837**	-0,544**	0,774	-0,234
35	E26A024	-0,380*	0,932**	-0,353*	0,922	0,005
36	E26A025	-0,578**	0,721**	-0,371*	0,669	0,080
37	E26A031	-0,587*	0,927**	-0,615*	0,886	-0,232
Min.		-0,604	0,312	-0,643	0,105	-0,547
Maks.		-0,064	0,947	-0,112	0,932	0,420
Ort.		-0,394	0,774	-0,369	0,738	-0,093

$\rho_{P,E_p}$  :  $P$  ve  $E_p$  arasında korelasyon katsayısı;  $\rho_{P,Q}$  :  $P$  ve  $Q$  arasında korelasyon katsayısı;  $\rho_{E_p,Q}$  :  $E_p$  ve  $Q$  arasında korelasyon katsayısı;  $\rho_{P,Q-E_p}$  :  $Q$  ve  $P$  arasında kısmi korelasyon katsayısı;  $\rho_{E_p,Q-P}$  :  $Q$  ve  $E_p$  arasında kısmi korelasyon katsayısı. (\*) Pearson testine göre korelasyon katsayısı %5 anlamlılık düzeyinde önemlidir. (\*\*) Pearson testine göre korelasyon katsayısı %1 anlamlılık düzeyinde önemlidir.

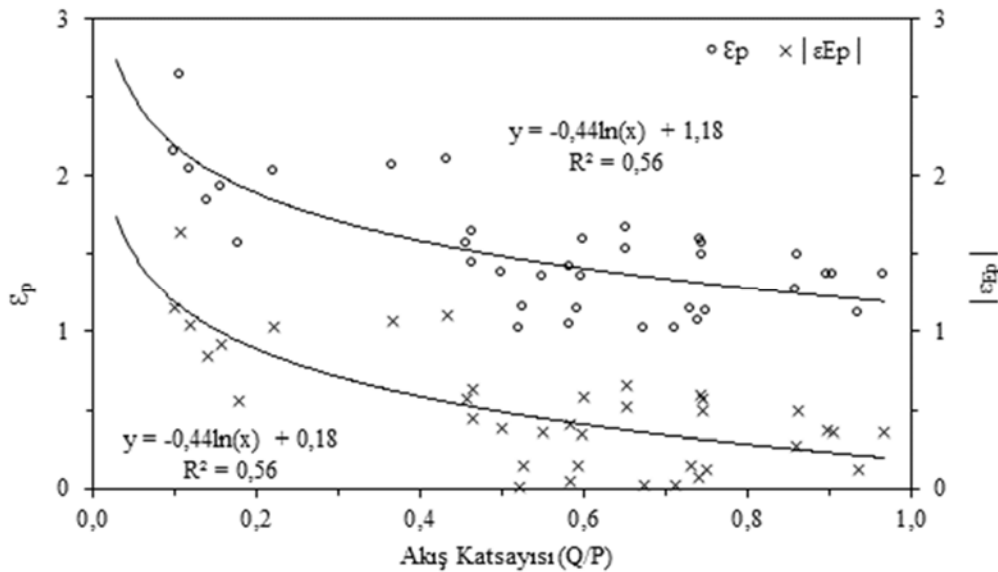
görülmektedir.  $E_p$  ile  $Q$  arasındaki korelasyonların ise 10 adet istasyonda %1 anlamlılık düzeyinde, 9 istasyonda %5 anlamlılık düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır. Tabloda görüldüğü gibi, mutlak değerleri göz önüne alındığında,  $\rho_{P,Q}$ 'nin ortalamasının (0,774),  $\rho_{E_p,Q}$ 'nin ortalamasından (-0,369) daha fazla olması Fırat-Dicle havzasında  $P$ 'nin akış üzerinde  $E_p$ 'ye göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Havza genelinde yağış ile  $E_p$  arasındaki korelasyonlar ( $\rho_{P,E_p}$ ), akış ile  $E_p$  arasındaki korelasyonlardan ( $\rho_{E_p,Q}$ ) daha büyüktür (ortalama değerleri sırasıyla -0,394 ve -0,369). Bu sonuç, yağış ile  $E_p$  arasındaki ilişkinin akış ile  $E_p$  arasındaki ilişkiden nispeten daha kuvvetli olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca,  $\rho_{P,Q}$  ile  $\rho_{P,Q-E_p}$ 'nin ortalama değerleri arasındaki farkın (0,036),  $\rho_{E_p,Q}$  ile  $\rho_{E_p,Q-P}$ 'nin ortalama değerleri arasındaki farktan (-0,276) daha az olduğu görülmektedir.

Şekil 4'de görüldüğü gibi, Fırat-Dicle havzasında,  $\varepsilon_p$  ve  $|\varepsilon_{E_p}|$  ile akış katsayısı ( $Q/P$ ) arasında doğrusal olmayan bir bağıntı bulunmaktadır. Her iki durum için de geçerli olmak üzere değişkenler arasında nispeten yüksek değerli negatif bir korelasyon hesaplanmıştır ( $R=0,75$ ). Buna göre, havzada akış katsayısının azalması ile  $\varepsilon_p$  ve  $|\varepsilon_{E_p}|$  değerlerinde artış meydana gelmektedir.  $\varepsilon_p + \varepsilon_{E_p} = 1,0$  olduğundan dolayı  $\varepsilon_p$ 'nin artmasıyla  $\varepsilon_{E_p}$ 'nin değeri negatif yönde artacaktır ve dolayısıyla nispeten düşük bir akış değerine sahip bir havza iklimsel değişimlere karşı daha hassas durumda olacaktır [9]. Tablo 2'de görüldüğü gibi, Fırat-Dicle havzası genelinde akış katsayısı 0,10 ile 0,97 arasında değişmekte olup ortalama değeri 0,56 civarındadır. Burada, akış katsayısı değerleri ortalamasının altında bulunan alt havzaların kuraklık indeks değerlerinin genellikle nispeten yüksek olduğu görülmektedir ( $Q$  ve  $E_p$  arasındaki negatif korelasyona bağlı olarak).

Fırat-Dicle havzası genelinde yüksek kotlarda (Yukarı ve Orta Fırat havzaları ile Dicle havzasının doğu kısımları)

yağışlar nispeten fazla olup daha çok kar şeklinde ve uzun dönemlidir. Ayrıca, bu bölgelerde hava sıcaklıkları nispeten daha düşük ve hava daha nemlidir. Diğer taraftan, havzanın düşük kotlara sahip düzlük ve ova niteliğindeki bölgelerinde (Aşağı Fırat havzası ile Dicle havzasının batı kısımları) ise yarı kurak iklim özellikleri (nispeten düşük yağış ve nem ile yüksek hava sıcaklıkları) hakim durumdadır. Buna göre, Fırat-Dicle havzasının topoğrafik ve hidrometeorolojik farklılıkları göz önüne alınarak havza içerisinde akışın yağış ve potansiyel evapotranspirasyondaki değişimlere olan hassasiyetinin daha detaylı bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada örnek olmak üzere AGİ kot değeri 1.000 m'nin üzerinde ve altında kalan alt havzalara ait  $\varepsilon_p$  ve  $\varepsilon_{E_p}$ 'lerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

Tablo 6'da görüldüğü gibi Fırat-Dicle havzasında kuzeyden güneye doğru ilerledikçe  $\varepsilon_p$  değerinin maksimum ve ortalama değerlerinde artış (sırasıyla 2,15'den 2,64'e ve 1,32'den 1,60'a) görülmektedir. Yine benzer şekilde,  $\varepsilon_{E_p}$  değerinin minimum ve ortalama değerlerinde negatif yönde artış (sırasıyla -1,15'den -1,64'e ve -0,32'den -0,60'a) olduğu göze çarpmaktadır. Dolayısıyla, Fırat-Dicle havzasında nispeten yüksek kotlardan daha düşük kotlara doğru ilerledikçe akışın  $P$  ve  $E_p$ 'ye karşı hassasiyeti artmaktadır. Nitekim, havza genelinde yüksek kotlarda ( $>1.000$  m)  $P$ 'deki %10'luk bir artış/azalış akışta ortalama %13,2'lik bir artışa/azalışa, alçak kotlarda ( $<1000$  m) ise %16,0'lık bir artışa/azalışa sebep olacaktır. Diğer taraftan,  $E_p$ 'deki %10'luk bir artış/azalış yüksek kotlarda akışta ortalama %3,2'lük bir azalışa/artışa, alçak kotlarda ise %6,0'lık bir azalışa/artışa yol açacaktır. Bununla birlikte, Aşağı Fırat havzası ve Dicle havzasının batısındaki bazı bölgelerde (7, 8, 10, 14, 21 ve 33 indeks nolu alt havzalar) akışın  $P$  ve  $E_p$ 'deki değişimlere karşı tepkisi havza ortalama değerlerinin oldukça üzerindedir. Bu bölgelerde  $P$  ve  $E_p$ 'deki



Şekil 4. Fırat-Dicle havzası için  $\varepsilon_p$  ve  $|\varepsilon_{E_p}|$  değerlerinin akış katsayısı ile değişimi (Variation of  $\varepsilon_p$  and  $|\varepsilon_{E_p}|$  values with runoff coefficients in the Euphrates-Tigris basin)

%10'luk değişimlerin akışta sırasıyla %26,4 ve %16,4'e varan bir değişime neden olacağı görülmektedir. Yüksek kotlarda yer alan alt havzalarda ortalama akış katsayısı 0,62 iken, bu değer düşük kotlardaki alt havzalarda 0,53 civarındadır. Akış katsayısında %17'ye varan bu farklılık havza içerisinde yarı kurak iklim özelliklerinin hakim olduğu düşük kota sahip bölgelerde akışın iklimsel değişimlere karşı daha hassas olduğunu göstermektedir. Burada elde edilen bulguların farklı araştırmacılar tarafından Bulgaristan, ABD ve Avustralya'da benzer özelliklere sahip havzalarda yapılan çalışma sonuçlarıyla [7, 23, 24] uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.3. Akışın Kuraklık İndeksine Olan Hassasiyeti (Sensitivity of Streamflow to Aridity Index)

Kuraklık indeksi, yağış ve potansiyel evapotranspirasyonun bir fonksiyonu olup bir havzanın akarsu akımında enerji ve su miktarı arasındaki etkileşimi gösterir. Ayrıca, kuraklık indeksi geniş anlamda iklim rejimleriyle de ilişkilendirilmektedir. Mesela; kurak, yarı kurak, az nemli ve nemli bölgelerde kuraklık indeksi ( $\theta$ ) değerleri sırasıyla  $5 \leq \theta < 12$  ;  $2 \leq \theta < 5$  ;  $0,75 \leq \theta < 2$  ve  $0,375 \leq \theta < 0,75$  aralıklarında değişecek şekilde tanımlanmaktadır [42]. Bu çalışmada, göz önüne alınan alt havzalara ait kuraklık

indeksi ortalaması 2,72 olarak elde edilmiştir (Tablo 2). Buna göre; yukarıda verilen sınıflama esas alındığında çalışma bölgesinin yarı kurak bir iklim özelliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Kuraklık indeksi, akarsu akımı, yağış ve arazi örtüsü üzerindeki iklim değişimi etkilerinin tahminine yönelik çeşitli çalışmalarında kullanılmıştır [43-45]. Fırat-Dicle havzasında akışın kuraklık indeksine olan hassasiyetini belirlemek için göz önüne alınan alt havzalara ait akışın kuraklık indeksi hassasiyeti katsayıları ( $\epsilon_{\theta}$ ) Eş. 8 kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 7'de görüldüğü gibi havza genelinde  $\epsilon_{\theta}$  değeri -0,14 ile -1,59 arasında değişmekte olup ortalama değeri -0,47'dir. Buna göre, Fırat-Dicle havzasında kuraklık indeksinde %10'luk bir artış akışta ortalama%4,7'lik bir azalışa neden olacaktır.

Tablodaki  $\epsilon_{\theta}$  'nin noktasal değerleri kullanılarak Fırat-Dicle havzası için elde edilen eşdeğer çizgili alansal dağılım haritaları Şekil 5'de görülmektedir. Havza içerisinde yüksek kotlardan düşük kotlara doğru gidildikçe genel olarak  $\epsilon_{\theta}$  değerlerinin (negatif yönde) artış gösterdiği şekilde dikkat çekmektedir. Aşağı Fırat havzası ve Dicle havzasının batı taraflarında  $\epsilon_{\theta}$  'nin nispeten yüksek değerlerine rastlanmaktadır. Buna göre, bu bölgelerde kuraklık

**Tablo 6.** Fırat-Dicle havzasında topoğrafik farklılığa göre  $\epsilon_p$ ,  $\epsilon_{Ep}$ , ( $Q/P$ ) ve ( $E_p/P$ ) değerlerinin değişimi  
(Variation of  $\epsilon_p$  and  $\epsilon_{Ep}$  values due to topographic differences in the Euphrates-Tigris basin)

AGİ Kot (m)	Alt Havza Sayısı	$\epsilon_p$		$\epsilon_{Ep}$		$(Q/P)$	
		Min.	Maks.	Min.	Maks.	Ort.	Ort.
> 1000	14	1,01	2,15	1,32	-1,15	-0,01	-0,32
< 1000	23	1,06	2,64	1,60	-1,64	-0,06	-0,60

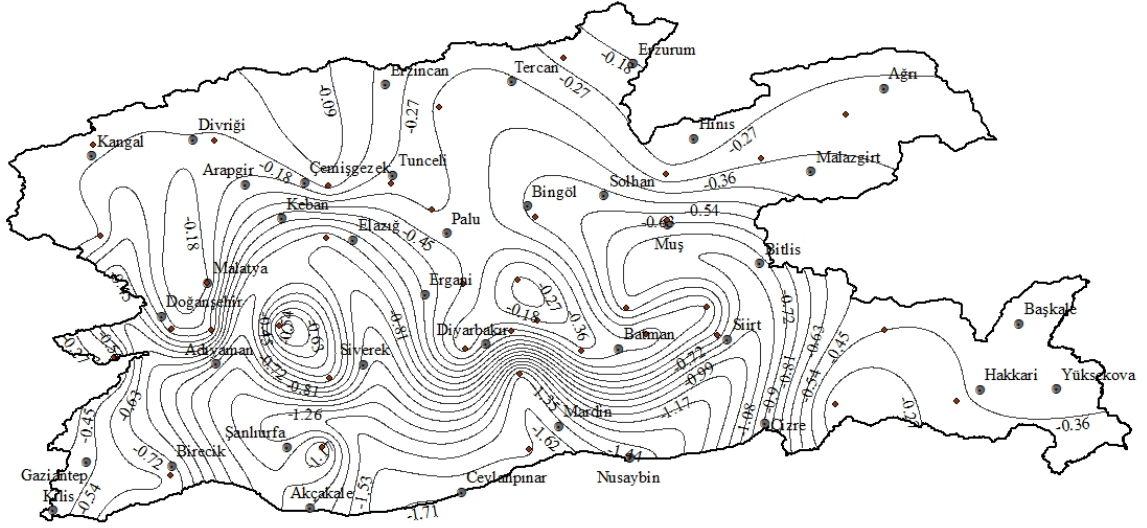
**Tablo 7.** Fırat-Dicle havzasında seçilen alt havzalarda akışın kuraklık indeksi hassasiyeti katsayıları  
(Sensitivity coefficients of streamflow to aridity index of the selected subbasins in the Euphrates-Tigris basin)

İndeks No	AGİ No	$\epsilon_{\theta}$	İndeks No	AGİ No	$\epsilon_{\theta}$
1	D21A013	-0,29	20	E21A059	-0,74
2	D21A140	-0,87	21	E21A060	-0,64
3	D21A186	-0,26	22	E21A064	-0,56
4	D21A210	-0,31	23	E21A065	-1,59
5	D21A264	-0,14	24	E21A066	-0,35
6	D21A279	-0,14	25	E21A067	-0,19
7	D26A012	-0,36	26	E21A076	-0,38
8	D26A032	-0,25	27	E21A077	-0,35
9	D26A039	-0,16	28	E26A003	-0,39
10	D26A063	-0,31	29	E26A010	-0,52
11	E21A022	-0,32	30	E26A012	-0,79
12	E21A024	-0,17	31	E26A017	-0,45
13	E21A031	-0,17	32	E26A018	-0,48
14	E21A032	-1,03	33	E26A019	-1,55
15	E21A033	-0,33	34	E26A020	-0,35
16	E21A035	-0,33	35	E26A024	-0,74
17	E21A054	-0,25	36	E26A025	-0,21
18	E21A057	-0,69	37	E26A031	-0,36
19	E21A058	-0,31			
Min.					-1,59
Maks.					-0,14
Ort.					-0,47

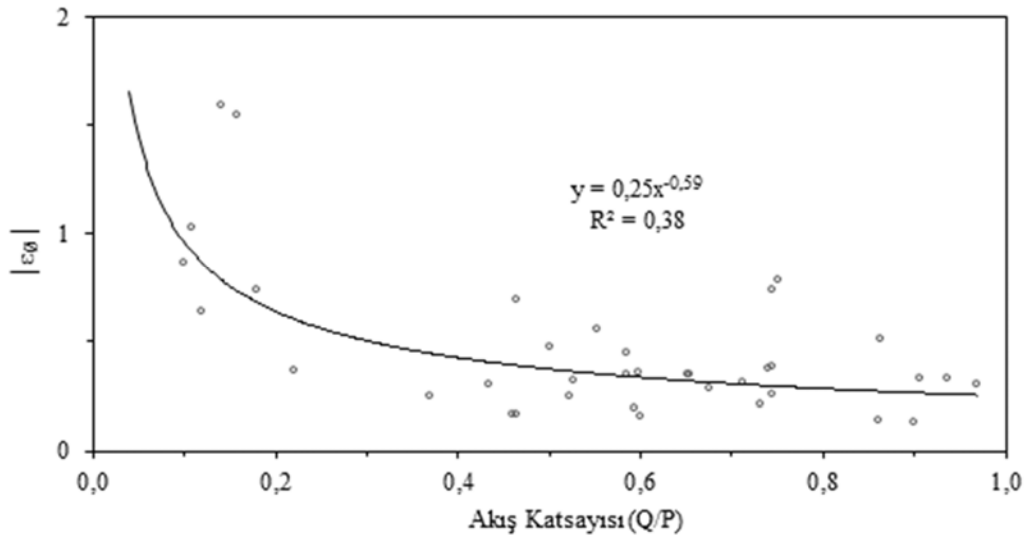
indeksinde %10'luk bir artma dolayısıyla akışta %16'ya varan azalmaların meydana geleceği ve bu bölgelerin iklimsel değişimlere karşı daha hassas olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi Fırat-Dicle havzasında  $\varepsilon_0$ 'nin mutlak değerleri ile akış katsayısı ( $Q/P$ ) arasında doğrusal olmayan ve nispeten kuvvetli bir negatif korelasyon bulunmaktadır ( $R=0,62$ ). Aynı şekilde görüldüğü gibi,  $|\varepsilon_0|$  değerleri akış katsayısındaki azalışla birlikte artma eğilimindedir. Buna göre, havzada nispeten kurak bir alanda veya bölgede daha az yağışla birlikte daha yüksek bir kuraklık endeksi ortaya çıkacak ve buna bağlı olarak akıştaki azalmalarla birlikte iklim değişikliğine karşı hassasiyet artacaktır. Fırat-Dicle havzası içerisinde AGİ kot değeri 1.000 m'nin üzerinde ve altında kalan alt havzalara ait

$\varepsilon_0$ 'lerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi, havzada yüksek kotlardan daha düşük kotlara ilerledikçe  $\varepsilon_0$ 'nin minimum, maksimum ve ortalama değerlerinde negatif yönde önemli oranda artışlar görülmektedir. Dolayısıyla, akışın kuraklık indeksine karşı hassasiyetinin alçak kotlarda nispeten daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Öyle ki,  $\varepsilon_0$ 'deki %10'luk bir azalışa, alçak kotlarda (<1000 m) ise %5,4'lük bir azalışa sebep olacağı anlaşılmaktadır. Buna ilaveten, Aşağı Fırat havzası ve Dicle havzasının batısındaki bazı bölgelerde (14, 23, 30, ve 33 indeks nolu alt havzalar)  $\varepsilon_0$ 'nin havza ortalama değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde kuraklık indeksindeki %10'luk bir artışın akışta %7,9 ile %15,9 arasında değişen bir azalışa tekabül edeceği anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Fırat-Dicle havzası için  $\varepsilon_0$  değerlerinin eşdeğer çizgili alansal dağılım haritaları (Spatial contour line maps of  $\varepsilon_0$  values in the Euphrates-Tigris basin)



Şekil 6. Fırat-Dicle havzası için  $\varepsilon_0$  değerlerinin akış katsayısı ile değişimi (Variation of  $\varepsilon_0$  values with runoff coefficients in the Euphrates-Tigris basin)

**Tablo 8.** Fırat-Dicle havzasında topoğrafik farklılığa göre  $\varepsilon_0$  değerlerinin değişimi  
(Variation of  $\varepsilon_0$  values due to topographic differences in the Euphrates-Tigris basin)

AGİ (m)	KotAlt Havza Sayısı	$\varepsilon_0$		
		Min.	Maks.	Ort.
> 1000	14	-0,87	-0,14	-0,35
< 1000	23	-1,59	-0,16	-0,54

#### 4. SİMGELER (SYMBOLS)

- $E_a$  : gerçek evapotranspirasyon yüksekliği (mm)  
 $E_p$  : yıllık ortalama evapotranspirasyon yüksekliği (mm)  
 $e_H$  : ampirik Hargreaves üs değeridir.  
 $f(\theta)$  : kuraklık indeksi fonksiyonu  
 $K_H$  : ampirik Hargreaves kalibrasyon katsayısı  
 $K_T$  : ampirik Hargreaves sıcaklık katsayısı  
 $P$  : yıllık ortalama yağış yüksekliği (mm)  
 $Q$  : yıllık ortalama akış yüksekliği (mm)  
 $Q/P$  : akış katsayısı  
 $R^2$  : belirleme katsayısı  
 $R_a$  : yer yüzeyine ulaşan radyasyon ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ )  
 $T_{maks}$  : maksimum günlük/aylık/yıllık sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{min}$  : minimum günlük/aylık/yıllık sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{ort}$  : ortalama günlük/aylık/yıllık sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\varepsilon_P$  : akışın yağış hassasiyeti katsayısı  
 $\varepsilon_{Ep}$  : akışın evapotranspirasyon hassasiyeti katsayısı  
 $\varepsilon_0$  : akışın kuraklık indeksi hassasiyeti katsayısı  
 $\theta$  : kuraklık indeksi  
 $\rho_{P,E_p}$  :  $P$  ve  $E_p$  arasında korelasyon katsayısı  
 $\rho_{P,Q}$  :  $P$  ve  $Q$  arasında korelasyon katsayısı  
 $\rho_{E_p,Q}$  :  $E_p$  ve  $Q$  arasında korelasyon katsayısı  
 $\rho_{P,Q-E_p}$  :  $Q$  ve  $P$  arasında kısmi korelasyon katsayısı  
 $\rho_{E_p,Q-P}$  :  $Q$  ve  $E_p$  arasında kısmi korelasyon katsayısı

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma ile Fırat-Dicle havzasında akarsu akımlarının iklim değişimi etkilerine olan hassasiyeti araştırılmıştır. Bunun için ilk önce, havza içerisinde 30 yıl ve daha fazla güncel akım verisine sahip 20 adet alt havzaya ait yıllık ortalama yağış ( $P$ ), akış ( $Q$ ) ve potansiyel evapotranspirasyon ( $E_p$ ) yükseklikleri ile sıcaklık verilerindeki uzun süreli zamansal eğilimler Mann-Kendall trend testi ile irdelenmiştir. Daha sonra, alt havzalara ait yıllık ortalama akımların yağış,  $E_p$  ve kuraklık indeksine olan hassasiyeti Schaake [1] tarafından geliştirilen ve daha sonra Sun vd. [36] tarafından modifiye edilen iklim elastikiyeti yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Mann-Kendall trend testine tabi tutulan alt havzalar içerisinde yağış ve akış verilerinde azalış eğilimi gösterenlerin sayısının yarından fazla olduğu ve %5 anlamlılık seviyesinde önemli trende sahip olanların oranları sırasıyla %20 ve %30 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, alt havzaların birçoğunda  $E_p$  ile maksimum ve ortalama sıcaklık verilerinde istatistiksel bakımdan önemli artış eğilimleri görülmüştür. Trend analizine dahil edilen alt havzalarda akıştaki azalma eğilimlerinin, yağıştaki azalma

ile  $E_p$  ve sıcaklıklardaki artma eğilimleriyle genel olarak paralellik arz ettiği görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen trend analizi bulgularının, daha önce Fırat-Dicle havzasında gerçekleştirilen benzer çalışma sonuçlarının [15-22] bir kısmıyla örtüştüğü anlaşılmaktadır. Ancak, yapılan karşılaştırmalarda bu çalışma ile havza içerisinde anlamlı trende sahip istasyon sayısının göreceli olarak daha fazla olduğu saptanmıştır.

İklim elastikiyeti metodu ile elde edilen sonuçlara göre, akışın yağış ve  $E_p$  hassasiyeti katsayılarının ( $\varepsilon_P$  ve  $\varepsilon_{Ep}$ ) havza genelinde ortalama değerleri sırasıyla 1,50 ve -0,50 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, havza genelinde yağışta meydana gelecek %10'luk bir artış (azalış), akışta ortalama %15'lik bir artışa (azalışa) karşılık gelirken  $E_p$ 'deki %10'luk bir artış (azalış) ise akışta ortalama %5'lik bir azalışa (artışa) sebep olacaktır. Diğer taraftan, akışın kuraklık indeksi hassasiyet katsayısının ( $\varepsilon_0$ ) havza genelinde ortalama değeri -0,47 olarak bulunmuştur. Buna göre, havza genelinde kuraklık indeksinde %10'luk bir artış akışta ortalama %4,7'lik bir azalışa tekabül edecektir.

Trend analizi sonuçlarına göre, Fırat-Dicle havzının doğu ve batı bölgelerinde yağış verilerinde istatistiksel bakımdan anlamlı azalma eğilimleri belirlenmiştir. Buna göre, buralarda yağıştaki %10'luk bir azalma akışta %15'e varan bir azalma anlamına gelmektedir. Öte yandan, havzının yarısından daha büyük bir kısmında  $E_p$  verilerinde istatistiksel bakımdan anlamlı artma eğilimlerine rastlanmıştır. Dolayısıyla, havzının bu bölgelerinde  $E_p$ 'deki %10'luk bir artışın havza içerisinde akış değerlerinde farklı oranlarda (%14'e varan) azalmalara neden olacağı görülmüştür.

Bu çalışmada göz önüne alınan alt havzalara ait en uygun  $\varepsilon_P$ ,  $\varepsilon_{Ep}$  ve  $\varepsilon_0$  değerlerinin elde edilmesinde, aylık yağış ve akış verileri arasında en yüksek korelasyon değerine sahip olan ve genelde yaz sonuna tekabül eden yıllık döngü göz önüne alınmıştır. Bununla birlikte, Aşağı Fırat ile Dicle havzasının batısında kalan bazı bölgelerde akışın yağış,  $E_p$  ve kuraklık indeksindeki değişimlere hassasiyetinin havza ortalama değerlerinden oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu bölgelerde, yağış,  $E_p$  ve kuraklık indeksindeki %10'luk değişimlerin akışta sırasıyla %26,4, %16,4 ve %15,9'a varan değişimlere neden olacağı anlaşılmaktadır.

Havza genelinde  $\varepsilon_P$ 'nin ortalama değeri  $|\varepsilon_{Ep}|$ 'nin ortalama değerinden büyük olduğu için Fırat-Dicle havzasında akışın yağışa olan hassasiyetinin  $E_p$ 'ye göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Seçilen alt havzalarda yıllık ortalama yağış, akış ve  $E_p$  arasındaki ilişkilerin daha detaylı bir şekilde incelenmesi için gerçekleştirilen korelasyon analizi sonucunda, yağış ile akış arasındaki korelasyonun  $E_p$  ile akış arasındaki korelasyondan daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca, kısmi korelasyon sonuçlarına göre yağış ile  $E_p$  arasındaki ilişkinin akış ile  $E_p$  arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olduğu ortaya çıkmıştır. Bunlara ilave olarak, alt havzalara ait akışın iklim değişikliği hassasiyet katsayıları ( $\varepsilon_P$ ,  $|\varepsilon_{Ep}|$  ve  $|\varepsilon_0|$ ) ile akış katsayısı ( $Q/P$ ) arasında doğrusal

olmayan ters bir bağıntı olduğu ve dolayısıyla havzada akarsu akımlarındaki azalma sonucu akışın iklimsel değişkenliğe olan hassasiyetinin artacağı görülmüştür. Ayrıca, havza genelinde yüksek kotlardan alçak kotlara doğru gidildikçe  $\epsilon P$ ,  $|\epsilon P|$  ve  $|\epsilon \theta|$  değerlerinde göreceli bir artış olduğu tespit edilmiş olup havzada alçak kotlarda (özellikle Aşağı Fırat ve Dicle havzasının batı bölgelerinde) akışın iklim değişimlerine karşı hassasiyetinin nispeten daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Daha önce farklı araştırmacılar tarafından iklim değişikliğinin nehir akımları üzerindeki etkilerinin irdelenmesinde kullanılan iklim elastikiyeti yöntemi, aynı amaca yönelik olarak bu çalışmada Fırat-Dicle havzasında uygulanmıştır. Havza genelinde iklim değişikliği etkilerinin incelendiği bazı araştırmalarda [10-14] bu yüzyıl içerisinde havzadaki yağışlarda %15-25, kar suyunda %10-60, yüzeyel akışlarda %30-70 arasında değişen oranlarda düşüşler, sıcaklıklarda ise 3-7°C arasında artışlar meydana geleceği tahmin edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen trend sonuçlarının, yukarıdaki araştırmalarda havza için öngörülen olumsuz değişikliklerin bazılarını kısmen yansıttığı görülmektedir. Sonuç olarak; bu çalışmada elde edilen bulguların, ülkenin en önemli nehir havzası konumunda olan Fırat-Dicle havzasında su kaynaklarının planlanması ve yönetimi konusundaki çalışmalara önemli katkılar sağlayacağı ve ayrıca havzada muhtemel iklim değişikliğine karşı gerçekleştirilecek çalışmalarda faydalı olacağı düşünülmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma için gerekli verilerin temin edilmesinde bizlere yardımlarını esirgemeyen Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ayrı ayrı teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Schaake, J.C., From Climate to Flow, Editor: Waggoner, P.E., Climate Change and U.S. Water Resources, New York, John Wiley and Sons, 177-206, 1990.
- Wang, W., Shao, Q., Yang, T., Peng, S., Xing, W., Sun, F., Luo, Y., Quantitative assessment of the impact of climate variability and human activities on runoff changes: a case study in four catchments of the Haihe River Basin, China, Hydrological Processes, 27 (8), 1158-1174, 2013.
- Zhang, Y., Li, H., Reggiani, P., Climate variability and climate change impacts on land surface, hydrological processes and water management, Water, 11 (7), 1492, 2019.
- Fowler, A., Potential climate change impacts on water resources in the Auckland Region (New Zealand), Climate Research, 11, 221-245, 1999.
- Legesse, D., Vallet-Coulomb, C., Gasse, F., Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in tropical Africa: case study South Central Ethiopia, Journal of Hydrology, 275 (1-2), 67-85, 2003.
- Hu, S., Liu, C., Zheng, H., Wang, Z., Yu, J., Assessing the impacts of climate variability and human activities on streamflow in the water source area of Baiyangdian Lake, Journal of Geographical Sciences, 22 (5), 895-905, 2012.
- Seymenov, K., Climate Elasticity of Annual Streamflow in Northwest Bulgaria, Editors: Nedkov S., Zhelezov, G., Ilieva, N., Nikolova, M., Koulov, B., Naydenov, K., Dimitrov, S., Smart Geography, Key Challenges in Geography, Springer, 105-115, 2020.
- Albostan A, Önöz B., Wavelet application approach on the chaotic analysis of daily river discharge, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (1), 39-48, 2015.
- Wang, H., He, K., Sensitivity analysis of the effects of climate change on streamflow using climate elasticity in the Luan River Basin, China, Polish Journal of Environmental Studies, 26 (2), 837-845, 2017.
- Nasrat Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V.K., Laue, J., Knutsson, S., The Future of the Tigris and Euphrates Water Resources in view of Climate Change, Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 8 (3), 59-74, 2018.
- Nasrat Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V.K., Global Climate Change Impacts on Tigris-Euphrates Rivers Basins, Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 10 (1), 49-98, 2020.
- 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.
- Özdoğan, M., Climate change impacts on snow water availability in the Euphrates-Tigris basin, Hydrology and Earth System Sciences, 8, 3631-3666, 2011.
- Yılmaz, A.G., Imteaz, M.A., Impact of climate change on runoff in the upper part of the Euphrates basin, Hydrol. Sciences Journal, 56 (7), 1265-1279, 2011.
- Partal, T., Kahya, E., Trend analysis in Turkish precipitation data, Hydrological Processes, 20, 2011-2026, 2006.
- Türkeş, M., Koç, T., Sariş, F., Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey, International Journal Of Climatology, 29, 1056-1074, 2009.
- Yavuz, H., Erdoğan, S., Spatial analysis of monthly and annual precipitation trends in Turkey, Water Resources Management, 26, 609-621, 2012.
- Akyürek, M., Türkiye Yıllık Ortalama Akımlarının Trend Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- Kahya, E., Kalaycı, S., Trend analysis of streamflow in Turkey, Journal of Hydrology, 289, 128-144, 2004.
- Yenigün, K., Gümüş, V., Bulut, H., Trends in streamflow of the Euphrates basin, Turkey, Water Management, 161 (4), 189-198, 2008.
- Yıldırım, A., Trend Analizi Yöntemleri : Orta Fırat Havzası Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2015.



22. Kadioğlu, M., Trends in surface air temperature data over Turkey, *International Journal of Climatology*, 17, 511-550, 1997.
23. Sankarasubramanian A., Vogel, R.M., Limbrunner, J.F., Climate elasticity of streamflow in the United States, *Water Resources Research*, 37 (6), 1771-1781, 2001.
24. Chiew, F., Estimation of rainfall elasticity of streamflow in Australia, *Hydrological Sciences*, 51 (4), 613-625, 2006.
25. Fu, G., Charles, S.P., Chiew, F.H.S., A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow, *Water Resources Research*, 43, W11419, 2007.
26. Zheng, H., Zhang, L., Zhu, R., Liu, C., Sato, Y., Fukushima, Y., Responses of streamflow to climate and land surface change in the headwaters of the Yellow River basin, *Water Resources Research*, 45 (7), 641-655, 2009.
27. Ma, H., Yang, D., Tan, S.K., Gao, B., Hu, Q., Impact of climate variability and human activity on streamflow decrease in the Miyun reservoir catchment, *Journal of Hydrology*, 389 (3-4), 317-324, 2010.
28. GAP Bölgesel Kalkınma İdaresi Başkanlığı (BKİB). GAP'ta son durum. <http://www.gap.gov.tr/gap-ta-son-durum-sayfa-32.html>. Yayın tarihi 2018. Erişim tarihi Mayıs 6, 2020.
29. Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., Reference crop evapotranspiration from temperature, *Applied Engineering Agriculture*, 1 (2), 96-99, 1985.
30. Hamed, K.H., Trend detection in hydrologic data: the Mann- Kendall trend test under the scaling hypothesis, *Journal of Hydrology*, 349 (3-4), 350-363, 2008.
31. Subburayan, S., Murugappan, A., Mohan, S., Modified Hargreaves equation for estimation of ETo in a hot and humid location in Tamilnadu State, India, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 3 (1), 592-600, 2011.
32. Mohawesh, O.E., Talozi, S.A., Comparison of Hargreaves and FAO56 equations for estimating monthly evapotranspiration for semi-arid and arid environments, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58 (3), 321-334, 2012.
33. Cobaner, M., Citakoglu, H., Haktanir, T., Kisi, O., Modifying Hargreaves-Samani equation with meteorological variables for estimation of reference evapotranspiration in Turkey, *Hydrology Research*, 48 (2), 480-497, 2017.
34. Almorox, J., Quej, V.H., Martí, P., Global performance ranking of temperature-based approaches for evapotranspiration estimation considering Köppen climate classes, *Journal of Hydrology*, 528, 514-522, 2015.
35. Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G., The Drought Indices Calculator (DrinC), 8th International Conference of EWRA, Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context, Porto, Portugal, 1333-1342, 26-29 June, 2013.
36. Sun, S., Chen, H., Ju, W., Song, J., Zhang, H., Sun, J., Fang, Y., Effects of climate change on annual streamflow using climate elasticity in Poyang Lake basin, China, *Theoretical and Applied Climatology*, 112 (1-2), 169-183, 2013.
37. Hupet, F., Vanclooster, M., Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of reference evapotranspiration, *Journal of Hydrology*, 3, 192-204, 2001.
38. Arora, V.K., The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff, *Journal of Hydrology*, 265, 164-177, 2002.
39. Buydko, M.I., *Evaporation Under Natural Conditions*, Israel Program for Scientific Translations, Washington, 1963.
40. Turc, L., Le bilan d'eau des Sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement, *Ann Agron*, 5, 491-569, 1953.
41. Pike, J., The estimation of annual runoff from meteorological data in a tropical climate, *Journal of Hydrology*, 2 (2), 116-123, 1964.
42. Ponce, V.M., Pandley, R.P., Ercan, S., Characterization of droughts across the climate spectrum, *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 5 (2), 222-224, 2000.
43. Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R., Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale, *Water Resources Research*, 37 (3), 701-708, 2001.
44. Onder, D., Aydın, M., Berberoğlu, S., Onder, S., Yano, T., The use of aridity index to assess implications of climatic change for land cover in Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33, 305-314, 2009.
45. Deniz, A., Toros, H., Incecik, S., Spatial variations of climate indices in Turkey, *International Journal of Climatology*, 394-403, 2011.

