

**T.C.**  
**ANTALYA BİLİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TÜRKÇE TEZLİ**  
**YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**FIRAT-DİCLE HAVZASININ SU POTANSİYELİ**  
**BELİRLENMESİ VE İKLİM DEĞİŞİMİNİN ETKİSİ**

**Ali Mohammed Saleh SALEH**

**OCAK 2023**  
**ANTALYA**

T.C.  
ANTALYA BİLİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TÜRKÇE TEZLİ  
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

FIRAT-DİCLE HAVZASININ SU POTANSİYELİ BELİRLENMESİ VE  
İKLİM DEĞİŞİMİNİN ETKİSİ

Ali Mohammed Saleh SALEH

OCAK 2023  
ANTALYA

**T.C.**  
**ANTALYA BİLİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FIRAT-DİCLE HAVZASININ SU POTANSİYELİ BELİRLENMESİ VE**  
**İKLİM DEĞİŞİMİNİN ETKİSİ**

**Ali Mohammed Saleh SALEH**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI tezi olarak ..../...../202.... tarihinde jüri tarafından (oybirliği / oyçokluğu ile) kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU** (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Hamid Farrokh GHATTE

Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim BURGAN

Enstitü Müdürü

**Prof.Dr. İbrahim Sani MERT**

Tez Teslim Tarihi: ..../...../2023

## BEYAN

Yüksek Lisans Tez Dönem Projesi olarak sunduğum Fırat-Dicle Havzasının Su Potansiyeli Belirlenmesi ve İklim Değişiminin Etkisi adlı bu çalışmanın hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, bu çalışmanın herhangi bir kısmının başka bir akademik çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

.... / .... / 20..

Ali Mohammed Saleh SALEH

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TABLolar LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
ÖNSÖZ .....	vi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Çalışma Amacı.....	2
1.3. Çalışmanın Hipotezleri.....	3
1.4. İklim Değişikliğinin Önemi .....	4
1.5. İklim Değişikliğinin Nehir Akımları Üzerindeki Etkilerinin İklim Esnekliği Metodu ile kıymetlendirilmesi.....	6
2. KAYNAK TARAMASI.....	8
2.1. Aşağı Meriç Nehri akımlarının Mevsimsel ve Yıllık Değişiminin Taşkınlar üzerine Etkis .....	8
2.2. Fırat-Dicle Havzasında Yıllık Ortalama Akımlar üzerinde İklim Değişikliği etkilerinin İklim Elastikiyeti Metodu ile incelenmesi.....	9
3.MATERYAL VE METOT.....	10
3.1. Çalışma Sınırlıkları.....	10
3.2. Hidrometeorolojik Veriler .....	10
3.3. Veri Toplama Teknikleri .....	12
3.4. Fırat-Dicle Havzası.....	13
3.5. Potansiyel Buharlaşma Hesaplaması.....	16
3.6. Mann-Kendall Sıra Bağlatılı ilişkiler Denetimi .....	17
3.7. İklim Esneklik Metodu .....	18
3.8. Nehir Debininin Yağmura ve Potansiyel Buharlaşma Duyarlılığı.....	18
3.9. Akarsu Debininin Kuraklık İndeksine Olan Hassasiyeti.....	19
4.BULGULAR .....	21
4.1. Bulgular .....	21
4.2. Yıllık Ortalama Akımların Eğilim Analizi .....	21

4.3. Debinin Yağmur ve Potansiyel Buharlaşmaya Olan Hassasiyeti .....	24
4.4. F-D Havzası .....	27
4.5. F-D Havzasının kuraklık Göstergesi .....	30
5.TARTIŞMA.....	33
5.1. Yıllık Ortalama Akımların Eğilim Analizi .....	33
5.2. Debinin Yağmur ve Potansiyelbuharlaşma Olan Hassasiyeti.....	34
5.3. Debinin Kuraklık İndeksine Olan Hassasiyeti.....	35
5.4. Son Kıymetlendirmeler ve Öneriler .....	35
KAYNAKÇA .....	37



## ÖZET

# FIRAT-DİCLE HAVZASININ SU POTANSİYELİ BELİRLENMESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİSİ

Ali Mohammed Saleh SALEH

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Ocak 2023; 63 sayfa

Dicle- Fırat havzası Ortadoğu'da önemli su kaynaklarından biridir. Bu havzada iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, kırk beş alt havzadan yeterli hidro-meteorolojik veri tespit edilmiştir. Mann-Kendall'ın eğilim denetimi, 30 yıl veya daha fazla debi verilerinin mevcut olduğu alt havzadan alınan ortalama yıllık verilerde uzun vadeli zaman eğilimlerini belirlemek için uygulanmıştır. Daha sonra, iklim esnekliği yöntemi kullanılarak tüm alt havzaların yağmur, Ep ve kuraklık göstergesine karşı yıllık ortalama akım duyarlılığı kıymetlendirilmiştir. Eğilim analizine tabi tutulan alt havzaların çoğunda deşarj kıymetlerinde azalma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Fırat ve Dicle (F-D) havzası alanlarında istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı olma eğiliminde olan ve debi verilerinde daha az önemli olma eğiliminde olan nispeten az sayıda alt havza bulunmaktadır. Çalışmada ele alınan alt havzalarda iklim esnekliği yöntemi ile hesaplanan yağmur duyarlılık faktörü ( $\epsilon p$ ) ve yüzey debi duyarlılık faktörü Ep ( $\epsilon Ep$ ) ortalama kıymetleri sırasıyla 1,55 ve 0,55'tir. Buna göre; F-D havzasının yağmurlarındaki bir artış veya azalma, debinin ortalama %5,5 oranında artışa (azalma) neden olurken, Ep'deki bir artış veya azalma, akışta ortalama %5,5 oranı bir artış veya azalmaya sebep olacaktır. Ancak,  $\epsilon p$ 'nin ortalama kıymeti,  $\epsilon Ep$ 'nin ortalama kıymetinden daha büyüktür. Bu ise da akımın p'ye duyarlılığının Ep'den daha büyük olduğunu gösterir. Öte yandan, alt havzalardaki Debinin kuraklık göstergesi duyarlılık faktörünün ( $\epsilon \emptyset$ ) ortalama değeri 1,66 olacaktır. Bu ise kuraklık göstergesindeki bir artışın ortalama 0,6 su debisinin azalmasına neden olacağını düşündürmektedir. Ayrıca alt havzalara ait akımların iklim değişikliği duyarlılık katsayıları ( $\epsilon p$ ,  $Ep$ ) ile debi katsayıları ( $q/p$ ) ve dolayısıyla iklim değişikliği arasında lineer olmayan ters bağlantılı ilişkilerin olduğu gözlemlenmiştir. Alt havzalarda debi azaldıkça, debi duyarlılığı artacaktır. Son olarak Türkiye genelinde yüksek irtifadan alçak irtifaya doğru p, Ep ve kıymetlerinde nispi bir artış olduğu tespit edilmiş olup, akımın iklim değişikliğine duyarlılığının alçak irtifalarda nispeten daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** İklim Değişikliği, İklim Esneklik Metodu, Nehir Akımı, Potansiyel Buharlaşıma, Kuraklık İndeksi, Yağmur, Nehir Havzası.

## JÜRİ:

Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Hamid Farrokh GHATTE

Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim BURGAN

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF POTENTIAL IN THE EUPHRATES AND TIGRIS BASIN AND THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE

Ali Mohammed Saleh SALEH

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

January 2022; 63 pages

Sufficient hydro-meteorological data has been detected from the five sub-basins. Mann Kendall's eğilim test was applied to determine long-term time eğilims in average annual data from the sub-basin, where 30 years or more flow data is 107. Then, using the climate resilience method proposed by Schaake (1990), the annual average current sensitivity of all sub-basins against precipitation,  $E_p$ , and 104 drought index was evaluated. It was determined that most of the sub-basins subjected to 110 eğilim analysis tended to decrease in discharge values. As a result, relatively few sub-basins in the Euphrates and Tigris basin areas tend to be statistically significant at 5% and less important inflow data. The average values of precipitation sensitivity coefficient ( $ep$ ) and surface flow sensitivity  $ep$  ( $\epsilon E_p$ ) calculated by the climate flexibility method in the sub-basins discussed in the study are 1.55 and 0.55, respectively. Accordingly, it is not the case. An increase or decrease) in precipitation of the Euphratesdicle basin will result in an average increase or decrease of 5.5% in flow. An increase or decrease in  $E_p$  will result in an average reduction (growth) of 5.5% in flow. Here, the average value of  $ep$  is more significant than that of  $\epsilon E_p$ , which indicates that the axle's sensitivity to  $P$  is more critical than  $ep$ . However,  $M_{crea}$ 's value for the drought index of flow in the lower basins is assessed to be 1.66, which indicates that an increase in the drought index would result in a drop in water flow of about 0.6 on average. Furthermore, nonlinear inverse connections between climate change sensitivity coefficients ( $ep$ ,  $E_{pl}$  and) and flow coefficients ( $q/p$ ) of sub-basin flows have been observed. Lower basin flows mean more susceptibility to changes in induced flows. After accounting for differences in temperature and humidity, it was found that  $p$ .  $E_p$  and values increased by a factor of 12 from high to low altitudes in Turkey, and it was understood that the susceptibility of the current to climate change was relatively higher at low altitudes.

**KEYWORDS:** Climate Change, Drought Index, Evapotranspiration, Precipitation, Potential Climate Elasticity Method, River Basin, Streamflow.

#### COMMITTEE:

Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU (Danışman)

Assistant Prof. Dr. Hamid Farrokh GHATTE

Assistant Prof. Dr. Halil İbrahim BURGAN

## SİMGELER VE KISALTMALAR

- R<sup>2</sup>** : Belirleme faktörü
- q/p** : Debi faktörü
- ε<sub>Ep</sub>** : Debinin buharlaşma hassasiyeti faktörü
- ε<sub>Ø</sub>** : Debinin kuraklık gösterge hassasiyet faktörü
- ε<sub>p</sub>** : Debinin yağmur hassasiyeti faktörü
- EİEİ** : Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
- G** : Enlem düzeltme faktörü
- FDH** : Fırat-Dicle Havzası
- Ø** : Kuraklık göstergesi
- f(Ø)** : Kuraklık göstergesi fonksiyonu
- MGM** : Meteorolojik Genel Müdürlüğü
- Tort** : Ortalama günlük/aylık/yıllık sıcaklık (°C)
- Ep** : Yıllık ortalama buharlaşma yüksekliği (mm)
- I** : Yıllık sıcaklık göstergesi
- p** : Yıllık ortalama yağış yüksekliği (mm)
- q** : Yıllık ortalama akış yüksekliği (mm)
- ρ<sub>p,Ep</sub>** : p ve Ep arasında bağlantılı ilişkiler faktörü
- ρ<sub>p,Q</sub>** : p ve q arasında bağlantılı ilişkiler faktörü
- ρ<sub>Ep,Q</sub>** : Ep ve q arasında bağlantılı ilişkiler faktörü
- ρ<sub>p,Q-Ep</sub>** : q ve p arasında kısmi bağlantılı ilişkiler faktörü
- ρ<sub>Ep,Q-p</sub>** : q ve Ep arasında kısmi bağlantılı ilişkiler faktörü

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 3.4-1:</b> F-D havzasına ait olan akım gözlem istasyonlarından seçilen bilgiler .....	13
<b>Tablo 3.4-3:</b> F-Dhavzasında seçilen alt havzalara ait yıllık ortalama akım (q), yağmur (p) ve potansiyel buharlaşma (Ep) verileri ile debi faktörü (q/p) ve kuraklık göstergesi ( $\emptyset$ ) kıymetleri .....	15
<b>Tablo 4.2-1:</b> Çalışma kapsamında seçilen alt havzaların dağılımı ve eğilim denetimi uygulanan alt havza sayısı.....	21
<b>Tablo 4.2-2:</b> FD H'nin seçilmiş alt havzalarında yıllık ortalama debi verilerinin trend analizi sonuçları. ....	23
<b>Tablo 4.3-1:</b> Türkiye'nin Seçilmiş Alt Havzalarında Yağmur ve Potansiyel buharlaşma duyarlılık Katsayıları. ....	25
<b>Tablo 4.4-1:</b> F-D alt havzalar debi yağmur ve potansiyelbuharlaşma hassasiyet faktörleri. ....	28
<b>Tablo 4.5-1:</b> F-D Havzası'nın seçilmiş alt havzalarında yüzey debi kuraklık göstergelerinin duyarlılık katsayıları. ....	31

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 1.2-1:</b> Türkiye genelinde iklim değişikliğinin nehir akımları üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla .....	3
<b>Şekil 3.2-1:</b> FDH’ından seçilen akım gözlem istasyonlarının ve meteorolojik istasyonlarının dağılım haritası. ....	11
<b>Şekil 3.3-1:</b> ArcHydro ile Su Toplama Havzalarının Belirlenmesi .....	12
<b>Şekil 3.4-1:</b> F-D havzasında seçilen alt havzaların çıkış noktasındaki Akım gözlem istasyonu ve “meteorolojik verilerin elde edildiği MGİ dağılım haritası. ....	14
<b>Şekil 3.5-1:</b> DrinC yazılımında Thornthwaite metodu ile aylık Ep hidro elektrik sistemleri abı için modül ara yüzü. ....	16
<b>Şekil 3.6-1:</b> Eğilim yazılımında Z hesabı için modül ara yüzü.....	18
<b>Şekil 4.2-1:</b> Yıllık ortalama akım verilerine eğilim denetimi uygulanan alt havzaların çıkış noktasındaki Akım Gözlem İstasyonların dağılımı.....	22
<b>Şekil 4.2-2:</b> Yıllık ortalama akım verilerinde %5 ve daha az anlamlılık seviyesinde istatistik bakımdan önemli eğilim bulunan akım gözlem istasyonları.....	24
<b>Şekil 4.3-1:</b> Türkiye geneli için $\epsilon_p$ değerlerinin alansal dağılım haritası.....	26
<b>Şekil 4.3-2:</b> Türkiye geneli için $ \epsilon_{Ep} $ değerlerinin alansal dağılım haritası.....	26
<b>Şekil 4.3-3:</b> Türkiye geneli için $\epsilon_p$ değerlerinin debi faktörü ile değişimi.....	27
<b>Şekil 4.3-4:</b> Türkiye geneli için $ \epsilon_{Ep} $ değerlerinin debi faktörü ile değişimi.....	27
<b>Şekil 4.4-1:</b> F-Dhavzası için $\epsilon_p$ değerlerinin alansal dağılım haritası .....	29
<b>Şekil 4.4-2:</b> F-Dhavzası için $\epsilon_{Ep}$ değerlerinin alansal dağılım haritası .....	29
<b>Şekil 4.4-3:</b> F-Dhavzası için $\epsilon_p$ ve $ \epsilon_{Ep} $ değerlerinin debi faktörü ile değişimi .....	30
<b>Şekil 4.4-4:</b> F-Dhavzası için $\epsilon_p$ ve KOT değerlerinin debi faktörü ile değişimi .....	30
<b>Şekil 4.5-1:</b> F-Dhavzasında $ \epsilon_{\emptyset} $ değerlerinin alansal dağılım haritaları .....	31
<b>Şekil 4.5-2:</b> F-Dhavzasında $ \epsilon_{\emptyset} $ değerlerinin debi faktörü ile değişim.....	32

## ÖNSÖZ

Antalya Bilim Üniversitesi, İnşaat mühendisliği yüksek lisans tezi olarak hazırlamış olduğum bu çalışma çerçevesinde literatür taraması yapılmış ve konu hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana öncülük eden, tez danışmanım Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca annem ve arkadaşlarım Mehmet Şamil ve Emin İkram da yıllarca verdikleri destekleri için teşekkür ederim.



## 1. GİRİŞ

### 1.1. Genel

Suyun alternatifi yoktur çünkü su, insanlar ve yeryüzündeki tüm canlılar ve doğal ekosistemler için en önemli unsurdur. Dünyanın artan taleplerine göre nehir havzalarında farklı özelliklere sahip birçok su kaynağı sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemlerin tasarımında ve işletilmesinde en önemli nokta, yağmur, sıcaklık, aylık veya mevsimsel buharlaşma ve kar erimesi, zaman ölçeği gibi bölgesel hidrolojik rejim süreçleri tarafından belirlenen bölgesel su kaynaklarının güvenilirliğidir. Su kaynakları sistemlerini tasarlamak ve işletmek için kullanılan hidrolojik verilerin çoğu tipik olarak kısa vadeli olduğundan, sel ve kuraklık gibi bazı aşırı hidrolojik olayların doğal değişkenliğini yakalama yeteneğine sahip değildir (Dunne ve Leopold, 1978; Dunne, 1982). Ayrıca, hidrolojik döngüdeki iklim dalgalanmaları ve antropojenik etkiler, bazı bölgelerde yağmur-debi ilişkilerini sürekli olarak değiştirmekte, böylece uzun vadeli veri kayıtları bile istatistiksel analiz için homojen bir veri seti oluşturmamaktadır. Ayrıca, hidrolojik süreçlerin stabilite tahmini, özellikle arazi örtüsü, arazi kullanımı, iklim veya yeraltı suyu gibi değişiklikler nedeniyle debi özelliklerinin değiştiği nehir havzalarında ne yazık ki her zaman geçerli değildir. (Loucks vd., 1981; Panagoulia, 1991; Kaczmarek vd., 1996; Milly vd., 2008).

Havzaların iklim değişikliğinden etkilendiği gerçeğine uyum sağlamak için, büyük ölçekli su sistemleri genellikle farklı koşullarda kullanılacak bir şekilde tasarlanmıştır. Mesela, depolama barajları, depolanan su ve dış debinin fonksiyonlarında, depolanan su ve doldurulmuş yüzey debinin etkilerini azaltmak için inşa edilmiştir. İklim değişikliği bağlamında, sel tahmininin veya kontrol fonksiyonları sel tahmininin belirsizliğinden etkilenirken, koruma ve düzenleme işlevleri genellikle tüm aşırı olayların belirsizliğinden ve özellikle tüm aşırı olayların ve özel kuraklıkların tahmin edilmesinden etkilenir (Kleme, 1979; Gleick, 1990). Bununla birlikte, mevcut iklim değişikliği için hidrolojik sistemlerin kırılabilirliği gelecekteki iklim değişikliğinin kırılabilirliği ile ilgili endişeleri arttırmıştır. Tüm belirsizliklere rağmen, iklim değişikliğinin bölgedeki su kaynakları üzerinde, özellikle yağmur, debi ve toprak nem değişikliklerinin zamansal dağılımı ve dağılımı açısından önemli bir etkiye sahip olacağı konusunda fikir birliği vardır (Gleick, 1990; Schaake, 1990; Nash, ve Gleick, 1991; Kaczmarek ve diğerleri, 1996; Legesse ve diğerleri, 2003; Milly ve diğerleri, 2005; Şen ve diğerleri, 2010, 2010) Özdoğan, 2011; Hu ve diğerleri, 2012; Lelieveld ve diğerleri ., 2012; Bozkurt ve Şen, 2013; Şen, 2013; Wang ve He, 2017; Zhang ve diğerleri, 2019; Adamo, 2020).

İklim, hidroloji ve su kaynakları arasındaki etkileşim ve faydalar karmaşık bir yapıda ve iklim dışı eleman güçlü bir şekilde etkilenir (Carter vd. (1992). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisinin kıymetlendirilmesinde aşağıdaki üç yöntem önerilmiştir: (i) Doğrudan “sistem su kaynakları üzerindeki iklim olaylarının etkisi. Sabit bir kıymete sahip dışındaki diğer iklim faktörleriyle ayrı olarak kontrol edilir; (ii) İklimin farklı unsurlarından fakat biri olduğunu düşünmek için daha karmaşık bir yaklaşım. Cornalcy hidrozu etkiler (örneğin, bölgesel su talebi, sıcaklık kurallarındaki dalgalanmalar ve nüfus artışının salgınları, ekonomik gelişme ve teknolojik ilerleme); (iii) Tüm olası etkileşimleri birleştiren bütüncül bir alan kıymetlendirme yaklaşımı. Karın ve ekonomi için iklimin etkilerini belirlemek için karları döndürür ve ayarlama.

İklim değışikliği için ilk, iklim değışikliğinin olası etkilerini analiz etmek için özellikle yararlı olabilir. Endeksin enerji bütçesi de dâhil olmak üzere bölgesel hidrolojik işlemler toprak nemi, sıcaklık ve suyla ilgilidir. Öte yandan, ikinci ve üçüncü yaklaşım, nüfus artışı ve yaşanan ekonomik gelişme (Kaczmarek ve. 1996) gibi iklim dışı faktörlerden etkilenen karmaşık su kaynaklarını analiz etmek için daha uygundur.

Bugünlerde, iklim değışikliği dünya çapında günlük hayatın her alanını etkiliyor ve hükümetleri bu problemlerle mücadelede çabalarını iki katına çıkarmaya zorlamıştır. Bu çalışmaların başında gelecek dönemlerde oluşacak iklim tahminleri gelmektedir. Bu nedenle, gözlemlere dayalı olarak gelecekteki iklim koşullarının doğru bir şekilde modellenmesi ile uyum ve önleme çalışmalarının başarısı için doğru iklim izleme ilk temel koşuldur. Son yıllarda, Genel Periyodik Model (GCM), mevcut koşulları dikkate alarak belirli fiziksel denklemler kullanarak bu koşulların evrimini hesaplaması ve belirli bir süre sonra hava veya iklim koşulları için genel bir çerçeve sağlamaya çalışılmıştır. Aynı zamanda bu modeller; fosil yakıtlar, değışen fosil yakıt kullanımı, arazi kullanımı, ormansızlaşma ve sanayi faaliyetleri süreçler gibi insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarının hızlanan birikimine iklim sisteminin tepkisini belirlemek için kullanılan en gelişmiş araçlardır (Leavesley, 1994).

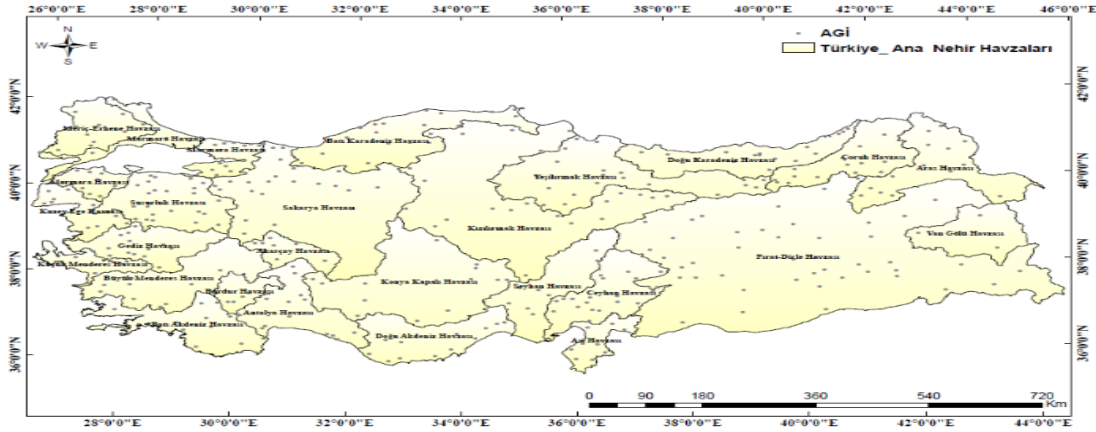
## 1.2.Çalışma Amacı

Genel olarak, coğrafi konum, jeolojik yapı, topografya ve bitki örtüsü, bir bölge veya ülkenin su potansiyelini etkileyen en önemli faktörlerdir ve bunların en önemlisi yağıştır. Türkiye yarı kurak bir iklim kuşağında yer almıştır ve yağışların mekânsal ve zamansal dağılımı bölgeye ve mevsime göre önemli ölçüde değışmektedir. Günümüzde, 25 hidrolojik havzaya bölünmüş olan Türkiye'de, havzaların yıllık toplam yağış miktarı büyük farklılıklar göstermektedir. Ayrıca, havzada su üretimi ile yeraltı ve yüzey suyu potansiyellerinde de önemli farklılıklar görülmüşlerdir (Türkeş, 2008; Tosunoğlu, 2014; Şen ve Topal, 2017).

Suyun Türkiye için önemi, enerji üretiminde ve tarımsal sulamada daha da belirgindir. Bu amaçla ülkede birçok su kaynakları geliştirme tesisleri inşa edilmiştir. Bu yapıların amaçlandığı şekilde aktivite ve performans gösterebilmesi için kuraklık olmaması yani beklenen yağış miktarının toprağa düşmesi gerekir. Değerlendirmeye göre, Türkiye'nin yaklaşık %37'si yarı kurak iklim koşullarındadır. Dolayısıyla hem ülkemizin büyük ölçüde yağışa bağlı su kaynaklarının hem de kuru tarımın yağış miktarı ve dağılımındaki olası değışikliklerden ciddi şekilde etkileneceği açıktır. (Kadıoğlu, 2001; Kadıoğlu, 2012). IPCC tarafından önerilen senaryolara dayalı çeşitli iklim projeksiyonları; küresel iklim değışikliği ile birlikte Türkiye'de kuraklık olaylarından etkilenen alanların sıklığının, şiddetinin ve alanlarının artacağı görülmektedir (Şen vd., 2010; MGM, 2015). Türkiye'nin su potansiyeli temelde düşüktür ve kişi başına düşen su mevcudiyeti açısından su fakiri ülkelerden biridir. Bu nedenle Türkiye'de su kaynaklarının korunması ve iklim değışikliğine uyum konusunda araştırmaların planlı ve doğru bir şekilde yapılması çok önemlidir ve Türkiye'nin yakın gelecekte daha önemli su kaynakları meselesiyle karşı karşıya kalması beklenmektedir. (Şen ve Topal, 2017).

Dünya İklimdeki ortaya çıkan değışimlerin göze alarak ve bu değışiklerin nehir akımına etkilerin incelenmesi, özellikle su bütçeleri ilişkin havza ölçeğinde dikkat

çeken bir hidrolojik konusu haline gelmiştir. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin Türkiye'deki nehir akışları üzerindeki etkisini belirlemesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, F-D havzasının ülke genelinde barajlardan etkilenmeyen 45 alt havzasında (Şekil 1.2-1) yıllık ortalama akışın yağış potansiyeli ve evapotranspirasyondaki değişikliklere duyarlılığı iklim esnekliği yaklaşımıyla incelenmiştir. Böylece, Türkiye'de ilk kez, yıllık ortalama “yağış” ve “potansiyel” buharlaşmadaki değişimlerin ulusal ve havza yıllık ortalama akışlarını etkileyen konular açıklanıp ve belirlemek için bu yöntem kullanıldı.



**Şekil 1.2-1:** Türkiye genelinde iklim değişikliğinin nehir akımları üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla

Çalışmanın ilk kısmında, Türkiye genelinde en az 30 yıllık ortalama akım verisine sahip Fırat-Dicle nehirleri 46 alt havzada Mann-Kental Sıra Bağlantılı ilişkiler denetimi ile eğilim analizi gerçekleştirilerek nehir akımlarındaki zamansal eğilimler tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra, Türkiye genelinde ve havza bazında baraj etkisinde olmayan alt havzalarda akarsu akımlarının iklimsel değişimlere karşı hassasiyetini belirlemek için Debinin yağmur ve potansiyel buharlaşma hassasiyeti faktörlerini (sırasıyla  $\varepsilon_p$  ve  $\varepsilon_{Ep}$ ) alansal dağılım haritaları elde edilmiştir. Elde edilen,  $\varepsilon_p$  ve  $\varepsilon_{Ep}$  kıymetleri ile debi faktörü ( $q/p$ ) arasında elde edilen bağıntılar yardımıyla debi faktöründeki değişimlere bağlı olarak havzaların iklimsel değişimlere karşı hassasiyeti kıymetlendirilmiştir. Son olarak, Türkiye'nin F-D havza bazında Debinin kuraklık göstergesine ( $\Theta=Ep/p$ ) olan hassasiyetini belirlemek için kuraklık göstergesi hassasiyeti katsayıları ( $\varepsilon_\Theta$ ) elde edilerek alansal dağılım haritaları elde edilmiştir. Ayrıca,  $\varepsilon_\Theta$  kıymetleri ile debi faktörü ( $q/p$ ) arasında elde edilen bağıntılar ile debi faktöründeki değişimlere bağlı olarak havzaların iklimsel değişimlere karşı hassasiyeti tespit edilmeye çalışılmıştır.

### 1.3.Çalışmanın Hipotezleri

İklim değişikliğinden dolayı bölgenin tatlı su kaynaklarının azalması en önemli sorunlardan biridir. Yaşanan sanayi gelişmesinden dolayı ve nüfus artışı sürekli fosil yakıt kullanımına ihtiyaç duyurmaktadır ve bu nedenle sıcaklık artışı ve çölleşme ihtimal arttırmaktadır. Bu faktörler doğrudan doğruya yağmur azalmasına neden olan ve yeryüzünden buharlaşma artışının ilişkisi belirleniyor. Bu çalışmada iklim değişikliği etkisi altına olan F-D havzasının su potansiyeli belirlenmektedir ve su kıtlığı ihtimali tartışılmaktadır.

#### 1.4.İklim Değişikliğinin Önemi

İklim değişikliği, uzun bir vade oranı boyunca iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde sayısal olarak mühim bir değişikliktir ve iklim sisteminde doğal olarak meydana gelen içsel süreçlerin veya faaliyetlerle ilgili dış elementlerin bir neticesi olarak meydana çıkması ihtimali yaşanmaktadır (Oki. vd., 1995; Gedney vd., 2006; Kundzewicz vd., 2007; Türkeş, 2008; Karaman ve Gökalp, 2010; Türkeş, 2012). Su yeryüzünün tüm hayatın aktivitelerinin devam etmesi için en önemli unsur olması sürdürebilen metodu, tüm dünyanda her an önemi artmaktadır olumsuz etkileri zamanla giderek artan bir şekilde hissedilen iklim değişikliği, dünyanın birçok yerinde hidrolojik süreçlerde ve su dengesinde önemli değişikliklere neden olmaktadır (Nash ve Gleick, 1991; Legesse vd., 2003 Şen, 2005; Ceylan, 2005; Yıldız, ve Barros, 2005; Milly ve diğerleri, 2005; Albek, 2007; Milly ve diğerleri, 2008; Üstün, 2008; Fıstıkoğlu ve Biberöglü, 2008; Özdoğan, 2011; Hu ve diğerleri, 2012; Lelieveld ve diğerleri, 2012; Bozkurt ve Şen, 2013; Wang et al. , 2013; Chatterjee 2014).

“Küresel iklim sistemi inkâr edilemez bir şekilde ısınıyor ve yirminci yüzyılın bu yana ortalama yüzey sıcaklığındaki ( $0,7 \pm 0,18$  °C) artışın çoğu büyük olasılıkla insan sera gazı sentezleri artıştan kaynaklanıyor (Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC). Ayrıca, küresel iklim sisteminde son zamanlarda meydana gelen değişikliklerin gelecekteki etkilerinin nispeten uzun yıllar devam edeceği ve bunun doğal sistemlerde ciddi bozulmalara yol açacağı da belirtilmektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan uzun süreli gözlemler sonucunda artan küresel yüzey sıcaklıkları, deniz seviyesi değişiklikleri, azalan kar yağmur ve buzul örtüsü, iklim sistemindeki değişikliklerin kanıtı olarak kabul edilmektedir. (IPCC, 2001, 2007, 2013, 2019).

Küresel iklim değişikliğine karşı dünyanın en hassas bölgelerinden biri Türkiye'nin güney sınırlarında bulunduğu Akdeniz havzasıdır. Yükselen sıcaklıklar ve azalan yağmurlar nedeniyle şu anda önemli su kaynakları riski taşıyan havza bölgelerinin gelecekte daha kırılgan hale gelme olasılığı artmaktadır (Kadioğlu, 2001; Şen, 2005; Tayanç, 2009; Türkeş, 2012; Kadioğlu, 2012; Şen, 2017). Belirlenen yüksek sentez senaryosu (A2) ile elde edilen iklim değişikliği projeksiyonlarında IPCC Kıymetlendirmesine göre (AR) 2007 yılında yayılmıştır, bu yüzyılın sonuna kadar Türkiye genelinde ortalama sıcaklık yıldızlandırmasının 3,1 ila 5,2 °C artması planlanmaktadır. Bölgesel analiz neticelerine göre Akdeniz bölgeleri, Güneydoğu ve Doğu Anadolu'da görece yüksek sıcaklık artışları yaşanacak. Ayrıca benzer bir senaryo etkisi altında Türkiye genelinde yağmurların azalması beklenirken, azalmanın güney bölgeler için nispeten yüksek bir ihtimali olacağı, Akdeniz 'de ise değişimin küçük olacağı tahmin ediliyor (Şen, 2013). Dünya Bankası'nın 2011 yılında yayınladığı bir iklim raporunda, iklim değişikliğine bağlı olarak Türkiye'de ani sel baskınlarında önemli bir artışın yanı sıra kısa ama yoğun yağmurlu günlerin sayısında da artış olacağı tahmin ediliyordu. Hallegatte'in (2011) yılında yayınladığı rapora göre, 21. yüzyılın sonunda Türkiye, Avrupa kıtasında ve Orta Asya'da aşırı iklim değişikliklere karşı kalan üçüncü ülke olacaktır.2012 yılında yayınlanan İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı'na göre, önümüzdeki yıllarda Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklık 2,5- 4°santigrat derece arasında artacak, bu artış Ege ve Doğu Anadolu ile Doğu Anadolu'da 5°C'ye ulaşacak. Hinterlandında 5°C. Bu tahminlere göre, Türkiye'nin yakın sürede sıcak ve kuru bir iklim ile karşı karşıya kalacaktır ayrıca yağmur konusunda daha fazla belirsizlik yaşayacağı öngörülmektedir (İDEP, 2012).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında başlatılan bir çalışmada, Türkiye için 2016-2099 dönemi için RegCM .3 kullanılarak 20 km çözünürlüklü bölgesel iklim projeksiyonları elde edilmiştir. Küre modelin çıktılarına göre, bu dönemde, IPCC Raporu 5. Kıymetlerine dayanarak RCP.5 sentez senaryosu içerisinde, Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklık sürekli artış eğiliminde ve ortalama sıcaklık artışı 2,5 °C idi (AR5); RCP8.5 gaz salımnın senaryosu altında ortalama 3,6°C'ye ulaşabileceği görülüyor. Verilen kıymetlendirmelerde sıcaklığın ülkenin güney enlemlerinden başlayıp yüzyıl boyunca kuzeye doğru devam etmesi bekleniyor ve Doğu Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri sıcaklık artışına en duyarlı bölgeler oldu. Öte yandan, 3 küresel modelin sonuçlarına göre, özellikle 2040'tan sonra Türkiye genelinde yağmurların azaldığı gözlemlenmekte ve yıllık ortalama 10-30 mm/yıl azalacağı tahmin edilmektedir. RCP.5 senaryosu altında ve RCP8.5 senaryosu altında 105-160 mm/yıl. Havza bazında yapıldığı analizlerde, dikkate alınan küresel modellerle tahmin edilen yağmur değişim oranlarının genel olarak farklı olduğu görülmektedir. HadGEM2ES modelinden elde edilen sonuçları alıntılar için bir örnek; En kötü senaryoya göre (RCP8.5), 2016-2099 döneminde Meriç-Ergene, Marmara, Batı Karadeniz ve Aras havzalarındaki artış farklı oranlarda değişirken, diğer havzalardaki artış ağırlıklı olarak erken aşamalarda olmuştur. Dönemde, kalan dönemlerde ise azalma planlanmaktadır (MGM, 2015).

Elde edilen gözlemlerde Türkiye'nin iklimi, bu yüzyılda ülke genelinde beklenen sık ve şiddetli gelen uzun vadeli kuraklıklar ve sıcak hava akımları ile küresel değişime benzer değişiklikler maruz kalacakmış. Bu etkilerin bir sonucu olarak, ülkenin birçok yerinde şiddetli kuraklık, tarımsal verimlilik kaybı, tarım ve turizm geliri kaybı, artan orman yangınları ve biyolojik çeşitlilik kaybı beklenmektedir. Öztürk, 2002; Galip, Kadioğlu, 2012; Şen, 2013, SYGM, 2020).

Türkiye'deki iklim değişikliği araştırmasındaki çoğu iklim değişikliği ve gelecekteki tahminler, en önemli iklim parametrelerine sahip aşırı etkinlikler (Kadioğlu, 1997, Türkay, 1998, Partia ve Kahya, 2006, Istnşer ve Semazzi, 2009, Taya VD., 2009, WWF Türkiye, 2010, Bozkurt, Siz, 2011, Yavuz ve Erdoğan, 2012, Bozkurt ve diğerleri, 2012, Bozkurt, 2012, Toros, 2012, Şen, 2013, Bozkurt, 2013, Proppe ve Ünal, 201, Turp VD., 201, Temur, 2017, Nasrat VD., 2020, Turks ve ark., 2020; Tüzer ve diğerleri, 2021). Ayrıca, son yıllardaki tarımsal üretim ve gıda güvenliği, Türkiye genelinde tarımsal üretim ve gıda güvenliği (Çetin vd., 2008; Kanber vd., 2010; Özdoğan, 2011; Sen vd., 2012; Yano vd., 2017; Chandio vd., 2020; Türkeş, 2020), kuraklık, çölleşme, taşkın ve sel olayları (Türkeş, 1999; Tatlı ve Türkeş, 2008; Türkeş, 2012; Ünal vd., 2012; Bilici ve Everest, 2017; Turan, 2018; Şen, 2019; Memiş ve Düzgün, 2020; Afshar vd., 2020; Mehr vd., 2020; Balov, 2021) ile nehir akımları ve kar erimesi debii başta olmak üzere su kaynakları (Akyürek, 2003; Kahya ve Kalaycı, 2004; Yenigün vd., 2008; Üstün, 2008; Fıstıkoglu ve Biberoglu, 2008; Fujihara vd., 2008; Şen vd., 2010; Özdoğan, 2011; Yılmaz ve Imteaz, 2011; Okkan, 2013; Bozkurt ve Sen, 2013; Yıldırım, 2015; Yucel vd., 2015; Yenigün ve Ülgen, 2016; SYGM, 2016; Şen ve Öztopal, 2017; Sönmez ve Kale, 2020; Alivi vd., 2021; Ümit vd., 2021) üzerine etkilerini inceleyen araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

### 1.5. İklim Değişikliğinin Nehir Akımları Üzerindeki Etkilerinin İklim Esnekliği Metodu ile Kıymetlendirilmesi

Nehir havzalarında başlıca yüzeysel su kaynağı olan akarsu akımları başta içme, kullanma, sulama, enerji üretimi olmak üzere sosyoekonomik gelişme, ekolojik ve çevresel koruma açısından büyük önem taşımaktadır. İklim değişikliği ve insan faaliyetleri neticesi olarak tüm dünyada çok sayıda nehir havzasında hidrolojik operasyonları ve su bütçesinde dikkat çeken şekilde etkiler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle iklim değişiklerinin bilgilerine dayanarak havzanın su işletmesi ve planlaması yapılmalıdır (Gleick, 1990; Schaake, 1990; Fowler, 1999; Sankarasubramanian vd., 2001; Legesse vd., 2003; Hu vd., 2012; Chiew, 2016; Fu vd., 2007; Zheng vd., 2009; Ma vd., 2010; Wang vd., 2013; Sun vd., 2013; Zhou vd., 2015; Wang ve He, 2017; Zhang vd., 2019).

Çalışmanın bölümlerindeki bahsedildiği gibi dünyada ve Türkiye’de iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkilerinin kıymetlendirilmesine yönelik çalışmaların çoğu bir hidrolojik modele dayanmaktadır. Uygun bir modelin kullanıldığı ve yeterli düzeyde kalibre edildiği durumlarda genellikle güvenilir tahmini sonuçlar elde edilmektedir. Ancak, havza bazında uygun bir hidrolojik model yapısının tanımlanması ve çalıştırılması için gerekli verileri elde etmek her zaman kolay olmayabilir. Diğer taraftan, daha önce de bahsedildiği üzere hidrolojik süreçlerin mekânsal değişkenlik ve ölçek etkileri veya yetersiz temsili sebebiyle havza parametre kıymetlerinde birtakım belirsizliklerin ortaya çıkması ve model sonuçlarının olumsuz yönde etkilemesi söz konusudur. Bundan dolayı, model sonuçlarındaki hataları en aza indirmek için genellikle zor ve zahmetli bir kalibrasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda, iklim değişikliğinin nehir debileri üzerindeki etkisini kıymetlendirmek için iklim esnekliği yaklaşımları dünya çapında alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ilk olarak Schaake (1990) tarafından yağmur, sıcaklık ve potansiyel buharlaşma (Ep) gibi iklim parametrelerindeki değişikliklere karşı nehir Debinin duyarlılığını ayrı ayrı ölçmek için geliştirilmiştir. Ancak Sun ve ark. (2013) bu yöntemi daha doğru ve gerçekçi sonuçlar hesaplayabilen bağlantıları analiz ederek geliştirmişlerdir. Buna dayanarak, Sun ve ark. tarafından geliştirilen bir yöntem, nehir akışının en önemli iki iklim parametresindeki, yağış ve Ep'deki değişikliklere duyarlılığını basitçe tahmin etmek için kullanıldı. (2001), ABD İklim Esnekliği Metodu'nu kullanarak ulusal akış için bir yağış duyarlılık faktör haritası elde etti. Fu et al. (2007a), Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Spokane Nehri Havzasındaki akışın yağmur-sıcaklık duyarlılık katsayısını elde etmek için iki parametrelilik iklim esnekliği yöntemini kullanmıştır. Zheng et al. (2009), 1960'dan 2000'e kadar Çin'deki Sarı Nehir Havzası'nın üst alt havzasında iklim ve arazi kullanımı değişikliklerinin nehir akışı üzerindeki etkisini kıymetlendirmek için bir iklim esnekliği yaklaşımı kullanmıştır. Ma vd. (2010) Çin'de Miyun baraj deposunda giriş debiler üzerinde iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin etkilerini incelemek için iklim esneklik yöntemini kullanmıştır. Sun vd. (2013) “Çin'de Poyand Gölü havzasında 4 alt havzada 1961-2000 yılları arasında yıllık ortalama akarsu debilerinin, yağmur ve Ep'deki değişimlere karşı hassasiyetini iklim esneklik yöntemiyle araştırmıştır”. Burada hesaplanan neticelere göre; göz önüne alınan alt havzalarda yağmurlarda %10 oranında bir artışın azalışın debide %14,1 ile %16,3 arasında bir artışa azalışa, ayrıca Ep'de %10 civarında bir artışın azalışın ise debide %2,1 ile %10,2oranında bir azalışa artışa neden olacağını tespit edilmiştir. İlgili

çalışmada “Wang ve Yu (2015)”, Debinin yağmurdaki değişikliklere duyarlılığını belirlemek için iklim esnekliği yaklaşımını ve iklim değişikliğinin kuzey Çin'deki debi üzerindeki etkisini kıymetlendirmek için Ep'yi kullanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına dayanarak; Türkiye'nin yağmuru %10 oranında artış olmuştur debi ise %32,1'lik bir artışa, Ep'deki yaklaşık %10 artışın ise debi ta %22,1'lik bir azalışa karşılık geleceği bulunmuştur. Chiew (2016) sayısal olarak 219 nehir havzasında Debinin yağmur hassasiyeti faktörü Avustralya'da iklim esnekliği yöntemi ile tahmin etmiştir. Wang ve He (2017), iklim değişikliğinin Çin'deki Luan Nehri Havzası'ndaki nehir debisi üzerindeki etkisini incelemek için, havzadaki nehir debisi için yağmur, Ep ve kuraklık göstergelerinin duyarlılık faktörlerini kullanarak iklim esnekliği yöntemini kullandı. Seymenov (2020), kuzeybatı Bulgaristan'daki yedi havzada yıllık ortalama yağmurda %10'luk bir azalmanın, havza Debinin da ortalama %14'lük bir azalmayla sonuçlanacağını belirlemek için bir iklim esnekliği yaklaşımı kullanmıştır. Alivi et al. (2021), F-D Havzası'ndaki bozulmamış nehir Debinin yağmur ve EP'deki değişikliklere duyarlılığını belirlemek için bir iklim esnekliği yaklaşımı kullanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara dayanarak; tüm havzada yağmur %10 oranında bir artışın debide ortalama %15 oranında bir azalmaya karşılık geleceği, Ep'de %10 artış bulunmuş ise yağmurda ortalama %5'lik bir düşüşe karşılık geleceği tespit edilmiştir.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Aşağı Meriç Nehri akımlarının Mevsimsel ve Yıllık Değişiminin Taşkınlar Üzerinde Etkisi

Araştırma makalesi Tefvik Erkal ve İlayda Topgül tarafından 2020 yılında “Mann-Kendall” yöntemi kullanılarak bir araştırma makalesinde yazılmıştır. Havza akışındaki değişikliklerin taşkınlara ve çevre sorunlarına yol açtığı havzalardaki akış eğilimlerini anlamak önemlidir. Nehir akışındaki değişiklikleri anlamak, su kullanımı ve planlaması açısından yapılıdır.

Bu çalışmada, 4 farklı akım gözlem istasyonlarından (AGİ) gelen veriler kullanılarak Aşağı Meriç Nehri'ndeki akıştaki değişikliklerin taşkın üzerindeki etkisini incelemek için parametrik olmayan bir eğilim analizi yöntemi uygulanmıştır. Mann-Kendall eğilim analizi yöntemi, akışların aylık, yıllık ve mevsimsel eğilimleri belirlemek için kullandılar. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, düşük Meridyen akışının artan taşkınlar üzerindeki aylık, yıllık ve mevsimsel etkilerini belirlemek için parametrik olmayan bir eğilim analizi yöntemi olan Mann-Kendall ve Sen'in eğilim eğimi yöntemi kullanılmıştır. Seçilen 4 farklı AGİ verisi kullanılarak yapılan uygulama sonucunda trendin akış trendi ve lineer trendi belirlendi. İncelenen tüm sitelerde yıllar içinde artan yönde pozitif bir trend ve yukarı yönlü bir trend olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak en önemli sonuçlar Kirişhane AGİ'de bulundu. Kirişhane AGİ, Aşağı Meriç Nehri'nin taşkınlarının en etkili olduğu yerde bulunduğundan, bu istasyondaki trendlerin varlığı çok önemlidir. Mann-Kendall trend analizi sonuçlarına göre Kirişhane AGİ tarafından ölçülen tüm aylarda pozitif ve artan trendler tespit edildi.

Akım eğilimlerinde “istatistiksel” olarak en anlamlı artışın %1 anlamlılık düzeyi ile Ocak ayında gerçekleştiği gözlemlendi. Pozitif ve artan “istatistiksel” olarak anlamlı eğilimler Eylül ayında %5 anlamlılık düzeyinde ve Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında %10 anlamlılık düzeyinde belirlenmiştir. Diğer aylarda olumlu yukarı yönlü eğilimler gözlemlenmesine rağmen, bu eğilimler “istatistiksel” olarak anlamlı bulunmamıştır. Yıllık eğilimler %5 anlamlılık düzeyinde belirlendi. Meriç Nehri'nin akışındaki aylık ve yıllık artışa ek olarak, mevcut 38 Erkal & Topgül/Turkish Geographical Journal 74 (2020) 33-38'deki mevsimsel değişiklikler de endişe kaynağıdır. Nitekim analiz sonucunda her mevsimde pozitif ve artan yönde “istatistiksel” olarak anlamlı bir trend gözlenirken, özellikle sonbaharda %1 önem düzeyinde bir artış trendi olmuştur.

Bu durum sonbaharda taşkınların mevsimsel olarak artması için geçerlidir. Ayrıca, yaz ayları için %10 anlamlılık düzeyine bağlı olarak mevsimsel eğilimin yaz aylarında artmaya başladığını belirleyin. Bu durum, zaman içinde yaşanan taşkın düzenlerinde ve taşkın dönemlerindeki mevsimsel değişimi etkili bir şekilde değiştirmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Aşağı Meriç Nehri'nin aylık, yıllık ve mevsimlik akışlarının özellikle 2000'li yıllardan sonra taşkınlara yol açacak seviyelere çıktığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, artan akış değerleri ile gelecekteki taşkın problemlerinin etki boyutunun artacağını göstermektedir.

## 2.2.Fırat-Dicle Havzasında Yıllık Ortalama Akımlar üzerinde İklim Değişikliği Etkilerinin İklim Elastikiyeti Metodu ile İncelenmesi

Bu mekale, “Abdulrezzak Alivi” tarafından 2020 yılında Research Gate dergisinde yayınlanan. Türkiyenin Fırat-Dicle havzasında yıllık ortalama akımlar üzerinde iklim değişikliği tesirleri iklim elastikiyeti metodu kullanarak incelenmiştir.

Çalışmanın amacı: Fırat-Dicle havzasının akım akışları (Q) yağış (P) potansiyel buharlaşma (Ep) ve kuraklık göstergesindeki değişimlere göre ne kadar etkilenmesini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Çalışmanın metodu: İklim elastikiyeti metodu ilk olarak Schaake1990 tarafından kullanılmıştır. Bu yöntemde yıllık ortalama akış akımları yağış buharlaşma (Ep) ve kuraklık göstergesine olan hassasiyet değerlendirilmiştir bu metodu uygulamak için baraj etkisi altında olmayan atl havzalardan veri toplamak gerekmektedir. Burada Fırat-dicle havzasından alınan 37 adet alt havzasından ortalama aylık akım verileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi kaynaklarından en az 32 yıllık veri süresi kullanılmıştır.

Bulgular ve sonuçlar: Çalışmada, 37 adet alt havzaların 30 yıllık metrolojik verileri test edilmiştir akarsu akımları yağış ve Ep hassasiyeti faktörleri sırasıyla  $\epsilon P$  ve  $\epsilon Ep$  genelinde ortalama kıymeleri sırasıyla 1,50 ve -0,50 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak; havzada yağışta meydana gelecek %10'luk bir artışın akım ortalama %15 bir artışa ayrıca buharlaşma (Ep) kıymetlerindeki %10 bir artış dikkat çekmiştir akımın ortalama kıymetlerinde %5'lik bir azalışa neden olacağı anlaşılmaktadır. ayrıca, akışın kuraklık göstergesinde hassasiyet faktörleri ( $\epsilon \emptyset$ ) havza genelinde ortalama kıymetleri -0,47 olarak hesaplanmış olup bu değer kuraklık göstergesi %10 bir artışın akarsu akımları ortalama %4,7 bir azalışa neden olacağını göstermiştir. Ayrıca, iklim değişikliği hassasiyeti faktörleri ( $\epsilon P$ ,  $|\epsilon Ep|$  ve  $|\epsilon \emptyset|$ ) ile akarsu akımları faktörü “(Q/P)” arasında doğru olmayan ters bağıntılar olduğu ve dolayısıyla akıştaki azalma ile akışın iklimsel değişikliğe olan hassasiyetinin artacağı görülmüştür. Sonuç olarak, havzada yüksek kotlardan alçak kotlara doğru gidildikçe  $\epsilon P$ ,  $|\epsilon Ep|$  ve  $|\epsilon \emptyset|$  değerlerinde göreceli bir artış olduğu tespit edilmiştir.

### 3.MATERYAL VE METOT

#### 3.1.Çalışma Sınırlıkları

Fırat-Dicle Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinden başlayarak güneydoğu sınırından Irak sınırına kadar devam edip Irak güneyinde Şattülarap bölgesinde birleşip “Basra Körfezine akmaktadır. Fırat-Dicle nehri havzasının Türkiye'den geçen kısmı yaklaşık 185.000 kilometrekarelik bir alanı kaplar ve içme suyu, hidroelektrik ve sulamaya en çok ihtiyaç duyan alanları içerir. GAP, F-D Vadisi ile Yukarı Mezopotamya'nın dokuz ilini Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kahramanmaraş kapsayan Türkiye'nin en önemli bölgesel kalkınma projesidir.

Fırat ve Dicle nehirlerinin aşağı havzalarındaki geniş ovalardan oluşan “GAP Bölgesi’nde, %20’si havzalardan yararlanan yaklaşık 8,5 milyon hektar sulanabilir arazi bulunmaktadır. Hidroelektrik enerji yatırımının %74’ü ve sulama yatırımının %53’ü tamamlanan (2004), projenin tamamlanmasıyla %28 Türkiye tatlı suları kontrol altına alınacak, 1,7 milyon hektar tarım arazisi %28’i sulanacak. Potansiyel kontrol olacaktır”. 7.485 terawatt hidroelektrik santrali. Yılda 27 milyar kWh elektrik üretmesi bekleniyor. (Aslan vd., 2004).

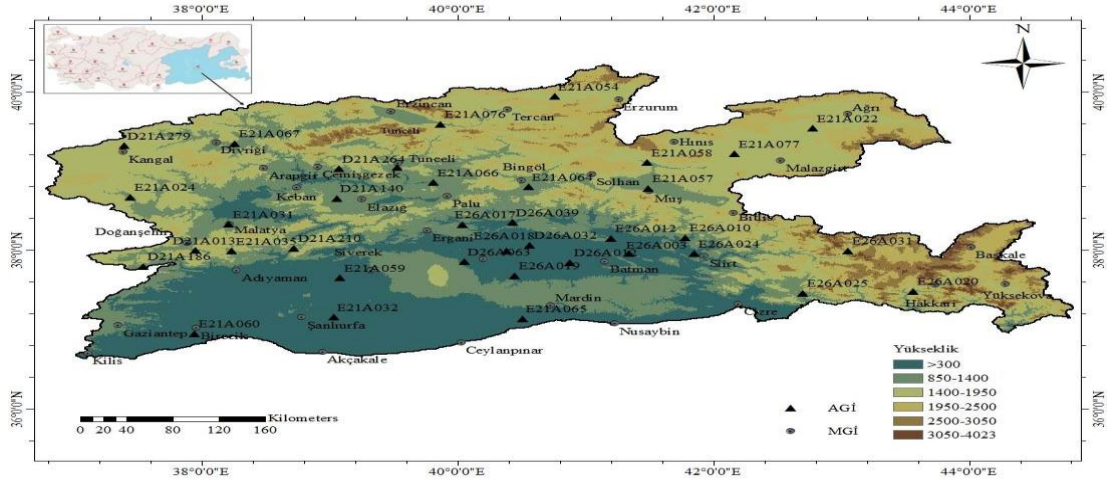
#### 3.2.Hidrometeorolojik Veriler

Nehir akımları üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla akım gözlem istasyonlarından veri toplaması gerekiyor baraj veya su depolama tesislerinden sonraki akım gözlem istasyonlara veriler ihmal edilmektedir bu çalışmada Türkiye sınırları içinden 45 adet barajlardan önce olması koşulu ile akım gözlem istasyonları alınmıştır (Şekil 3.2-1).

Çalışma amacına uygun olarak seçilen Akım Gözlem İstasyonu sayısı havzalara göre farklılık göstermekte olup bunların havza içerisinde olabildiği kadar üniforma şekilde dağılmasına dikkat edilmiştir.

İlgili çalışmada gereken aylık ortalama debi verileri, Elektrik Enerjisi Mühendisliği Anketi “EİEI” ve Devlet Su Kaynakları İdaresi “DSİ” tarafından yayımlanan basılı ve dijital kaynaklardan elde edilmiştir. Gözlemevi kodları EİEI’ye ait olup E harfi ile DSİ ile ilgili kodlar ise D harfi ile başlamaktadır. Çalışmanın amacı için barajdan etkilenmeyen doğal debi verileri seçilmiştir. Bu nedenle çalışmada kullanılan mevcut gözlemevlerinin veri aralıklarının ve sürelerinin çoğu zaman birbirinden farklılık gösterdiği görülmektedir.

F-D Havzası'nın kuzey ve doğusunda dağlar deniz seviyesinden 4.000 metre yüksekliğe kadar yükselir. Havzanın güneyine doğru ilerledikçe topografya hızla değişmekte ve bu alanlarda nispeten düz ve ova alanların hâkim olduğu, yüksekliğin 300 m'ye düştüğü görülmektedir. Havzada akarsuların oluşumu, iklimin yarı kurak, nispeten az yağışlı, yüksek sıcaklıklı ve iklimin yarı kurak bir durumda olduğu, özellikle havzanın güney kesiminde, bölgede yüksek rakımlarda uzun süreli kar yağışından kaynaklanmaktadır.Çalışma kapsamında iklim değişikliğinin havzadaki akarsu akımlarına etkisi incelenecektir.



**Şekil 3.2-2:** FDH’ından seçilen akım gözlem istasyonlarının ve meteorolojik istasyonlarının dağılım haritası.

İklim esnekliği yaklaşımına göre, yağmur ve potansiyel buharlaşmadaki değişikliklere duyarlılığı nehir debisinin en önemli iki iklim parametresidir, aslında hidrolojik sistemin uzun vadeli iklim değişikliğine duyarlılığının bir göstergesidir. Tez çalışması için gerekli olan aylık ortalama yağmur verileri ve aylık ortalama potansiyel buharlaşma kıymetinin hesaplaması için gereken aylık ortalama sıcaklık bilgileri.

Meteoroloji Genel Müdürlüğüne verilerine dayanarak işlemler yapılmıştır. Havza içinde kıymetlendirilen alt havzayı en iyi temsil eden Meteorolojik Gözlemevi'ni (MGI) dikkatlice seçilen bazı zorunlu durumlarda, alt havza sınırları dışında bulunan meteoroloji istasyonları da çalışmaya dâhil edilmiştir.

İklim esnekliği yöntemi, yıllık ortalama debi, yağmur ve potansiyel buharlaşma kıymetlerini kullandığından, yıllık veriler hesaplaması doğrudan mevcut aylık veriler kullanıldı. Alt havzalarda yıllık ortalama yağmur ve potansiyel buharlaşma değerlerinin alansal ortalamaları coğrafi bilgi sistemleri ortamında Thiessen poligonları yöntemiyle elde edilmiştir.

Çalışma Sınırlıkları içinde seçilen alt havzanın çıkışındaki debi gözlemevlerinin konumlarını gösteren havza haritası ve yağmur ve sıcaklık verilerinin elde edilmesi için MGI alt bölümlerde verilmiştir. Öte yandan her bir havza için debi gözlemevi bilgileri Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan yıllık ortalama debi, yağmur ve potansiyel buharlaşma kıymetlerine ait oldukları alt havzalarda tablo halinde verilmektedir. Öte yandan alt havzaların debi faktörleri ve kuraklık indeks kıymetleri de aynı tabloda gösterilmiştir.

### 3.3. Veri Toplama Teknikleri

Operasyonların hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için havzaların belirlenmesinde “Coğrafi Bilgi Sistemleri CBS” şayet bir şekilde kullanılmaktadır. Havza tespiti, mevcut topoğrafik haritalardaki kontur ve tepe noktalarının doğrudan CBS kullanılarak izlenmesi ile elde edilebileceği gibi, CBS üzerinde çalışan farklı uygulamalar tarafından otomatik olarak da yapılabilmektedir.

ArcHydro modülü, su havzalarını otomatik olarak elde etmek için yaygın olarak kullanılan uygulamalardan biri CBS’dir. CBS ortamında havza sınırını otomatik olarak belirlemek için modelin kullanılması çalışması iki aşamaya ayrılmıştır: “arazi verilerinin elde edilmesiyle ön işleme” ve “havza alanının belirlenmesi”. Öte yandan, havza alanını belirlemek için temel veri olarak Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM'ler) kullanılmaktadır.

CBS ortamında havza sınırının otomatik olarak belirlenmesi için modelin kullanılması çalışmasında ilk adım, Çalışma Sınırlıklarına ait verilerin elde edilmesidir. DEM'ler, su toplama havzalarını belirlemek için temel veri olarak kullanılan 3boyutlu yapılarında Dünya'nın değişen arazi yapısını gösterir. SYM'ler, herhangi bir arazi yüzeyini en iyi şekilde temsil eden, düzenli/düzensiz aralıklarla elde edilen çok sayıda yükseklik ölçümlerinden oluşan raster veri özellikleridir (Aktürk, 2017). Bu çalışma kapsamında “ArcGIS 10.5 yazılımı” ve “ArcHydro uygulaması (GIS Hydrology araç çubuğu) kullanılarak” 46 adet havzanın sınırları belirlenmiştir. Bu amaçla, uluslararası bir proje olarak yürütülen “Shuttle Radar Terrain Mission- SRTM” projesi kapsamında elde edilen yaklaşık 90 m çözünürlükte SRTM90 uydu görüntülerinden elde edilen sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada coğrafya, yaklaşık 90 m çözünürlüğe sahip bir koordinat sistemi (WGS84) kullanılmaktadır. Ortaya çıkan SRTM90 DEM'i Lambert Conformal Conic (ED50) koordinat sistemine dönüştürün ve kullanılmıştır.



Şekil 3.3-1: ArcHydro ile Su Toplama Havzalarının Belirlenmesi

### 3.4.Fırat-Dicle Havzası

F-D havzası içerisinde toplam 45 adet Akım Gözlem İstasyonu belirlenmiştir. Seçilen “AGİ” lerin su toplama alanları 51 ile 15.562 km<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Tablo3.4-1).

**Tablo 3.4-2:** F-D havzasına ait olan akım gözlem istasyonlarından seçilen bilgiler

İndeks No	Akım gözlem istasyon No	Akım gözlem istasyonu Adı	Kot (m)	Su Toplama Alanı (km <sup>2</sup> )	Enle (o)	Boyla (o)
1	E21A022	Murat Nehri-Tutak	1.552	5.882	39,54	42,78
2	E21A024	Tohma Suyu-Yazıköy	1.193	1.256	38,67	37,44
3	E21A031	Bey Deresi-Kılayık	892	277	38,33	38,21
4	E21A032	Culapsuyu-İncirli	470	466	37,16	39,03
5	E21A033	Munzur Suyu-Melekbahçe	875	3.284	39,05	39,53
6	E21A035	Bulam Çayı-Fatopaşa	1.252	155	37,99	38,24
7	E21A041	Peri Suyu-Kurudibi	1.035	3.604	39,15	40,11
8	E21A045	Tohma Suyu-Hisarçık	933	5.781	38,48	37,69
9	E21A054	Karasu-Aşağıkağdıriç	1.675	2.886	39,94	40,76
10	E21A056	Fırat Nehri-Bağıştaş	865	15.562	39,43	38,45
11	E21A057	Karasu-Karaköprü	1.250	2.173	38,78	41,50
12	E21A058	Bingöl Çayı-A. Paşa Köp.	1.310	1.297	39,11	41,49
13	E21A059	Çam Deresi-H. Kamil Köp.	525	906	37,66	39,08
14	E21A060	Nizip Çayı-Danaoğlu	365	1.032	36,96	37,94
15	E21A064	Göynük Çayı-Çayağzı	990	2.239	38,81	40,55
16	E21A065	Zerkan Suyu-Hocaköy	445	409	37,14	40,51
17	E21A066	Peri Suyu-Loğmar	845	5.444	38,86	39,81
18	E21A067	Çaltı Suyu-Dazlak	890	3.345	39,35	38,26
19	E21A068	Dumlu Suyu-Yeşildere	2.000	52	40,14	41,41
20	E21A071	Uludere-Hasançelebi	1.188	411	38,93	37,88
21	E21A073	Sultan Suyu-Dedeköy	943	486	38,24	38,00
22	E21A076	Tacik D.-Mutu Boğazı	1.225	84	39,59	39,87
23	E21A077	Hınıs Çayı-Adıvar	1.452	2.841	39,22	42,17
24	D21A013	Sürgü Çayı-Sürgü Brj. Grş.	1.289	247	38,00	37,95
25	D21A140	Cip Deresi-Cip Brj. Grş.	1.010	248	38,66	39,06
26	D21A186	Göksu Nehri-Savran	865	714	37,80	37,54
27	D21A210	Büyükçay-Taşkale	900	216	38,03	38,72
28	D21A264	Cevizli Deresi-Cevizli	1.075	77	39,03	39,07
29	D21A279	Karanlık Dere-Davulbaz	1.488	81	39,32	37,39
30	E26A003	Garzan Çayı-Beşiri	545	2.396	37,97	41,35
31	E26A010	Bitlis Çayı-Baykan	910	638	38,16	41,78
32	E26A012	Batman Çayı-Malabadi Köp.	597	4.152	38,15	41,20
33	E26A017	Dicle Nehri-Çayönü	695	1.708	38,33	40,04
34	E26A018	Ambar Çayı-Köprübaşı	595	949	37,99	40,38
35	E26A019	Göksu Çayı-Çınarköprü	657	677	37,68	40,45
36	E26A020	Zap Suyu-Üzümcü	1.072	5.348	37,49	43,57
37	E26A021	Zap Suyu-Musahana	1.725	2.504	37,76	44,08
38	E26A024	Kezer Çayı-Pınarca	530	1.169	37,96	41,86
39	E26A025	Hezil Çayı-Girikhan	780	1.127	37,46	42,70
40	E26A026	Botan Çayı-Billoris	457	8.761	37,82	41,86
41	E26A031	Çatak Suyu-Tüliran	1.482	2.518	38,00	43,05
42	D26A012	Başnik Çayı-Salat	525	1.060	37,85	40,88
43	D26A032	Pamuk Çayı-Karahan Köp.	738	305	38,07	40,57
44	D26A039	Anbar Çayı-Hani	800	292	38,35	40,43
45	D26A063	Kodi D.-Kolludere Köyü	785	51	37,86	40,05
Min.			365	51		
Maks.			2.000	15.562		
Ort.			971	2.113		

(EİEİ; DSİ:2021)



**Tablo 3.4-4:** F-D Havzasında seçilen alt havzalara ait yıllık ortalama akım (q), yağmur (p) ve potansiyel buharlaşma (Ep) verileri ile debi faktörü (q/p) ve kuraklık göstergesi ( $\emptyset$ ) kıymetleri

İndeks	Akım gözlem istasyonu	Veri	Veri	Yıllık Ort. Pot.	Yıllık ortalama.	Yıllık ortalama.	Debi	Kuraklık
No:	No:	Ara.	Vade (Yıl)	Evapotrans. Ep (mm)	Akım q (mm)	Yağmur P (mm)	Faktörü (q/p)	İndeksi ( $\emptyset = Ep/p$ )
1	E21A022	1970-2017	48	589.0	258.0	487.9	0.53	1.21
2	E21A024	1963-2017	55	814.8	172.0	385.7	0.45	2.11
3	E21A031	1957-2017	61	813.7	178.1	385.9	0.46	2.11
4	E21A033	1968-2017	50	787.9	816.3	806.2	1.01	0.98
5	E21A035	1967-2017	51	659.8	756.1	533.6	1.42	1.24
6	E21A041	1966-2017	52	684.4	613.7	692.0	0.89	0.99
7	E21A045	1963-2017	55	814.1	1105.9	386.1	2.86	2.11
8	E21A054	1969-2017	49	542.6	179.0	401.3	0.45	1.35
9	E21A056	1969-2017	49	650.4	286.6	415.9	0.69	1.56
10	E21A057	1969-2017	49	661.2	366.4	777.9	0.47	0.85
11	E21A058	1978-2017	40	634.8	441.5	616.8	0.72	1.03
12	E21A059	1969-2017	49	967.1	123.3	556.2	0.22	1.74
13	E21A060	1969-2017	49	923.6	67.6	483.3	0.14	1.91
14	E21A064	1969-2017	49	728.5	451.0	815.0	0.55	0.89
15	E21A065	1969-2017	49	946.1	83.0	645.7	0.13	1.47
16	E21A066	1970-2017	48	721.4	450.2	674.4	0.67	1.07
17	E21A067	1968-2017	50	614.0	256.0	407.9	0.63	1.51
18	E21A068	1973-2017	45	595.6	458.9	449.8	1.02	1.32
19	E21A071	1977-2017	41	556.3	167.5	408.9	0.41	1.36
20	E21A073	1977-2017	41	663.5	235.4	523.0	0.45	1.27
21	E21A076	1983-2017	35	790.9	605.5	818.8	0.74	0.97
22	E21A077	1986-2017	32	586.0	314.8	539.9	0.58	1.09
23	D21A013	1975-2017	43	1020.3	469.8	696.6	0.67	1.46
24	D21A140	1974-2017	44	790.7	38.2	390.7	0.10	2.02
25	D21A186	1984-2017	34	1031.7	424.4	690.6	0.61	1.49
26	D21A210	1985-2017	33	850.4	743.4	787.3	0.94	1.08
27	D21A264	2002-2017	16	834.0	439.9	494.8	0.89	1.69
28	D21A279	1998-2017	20	615.4	361.8	492.1	0.74	1.25
29	E26A003	1965-2017	53	779.0	617.5	821.8	0.75	0.95
30	E26A010	1963-2017	55	707.6	921.7	1061.7	0.87	0.67
31	E26A012	1965-2017	53	695.3	877.5	774.8	1.13	0.90
32	E26A017	1972-2017	46	955.7	442.9	737.5	0.60	1.30
33	E26A018	1969-2017	49	947.6	280.6	478.1	0.59	1.98
34	E26A019	1969-2017	49	947.0	88.7	646.8	0.14	1.46
35	E26A020	1969-2017	49	590.9	331.2	552.6	0.60	1.07
36	E26A021	1971-2017	47	541.4	150.9	441.3	0.34	1.23
37	E26A024	1972-2017	46	627.3	529.7	1219.4	0.43	0.51
38	E26A025	1972-2017	46	1315.9	499.1	648.0	0.77	2.03
39	E26A026	1972-2017	46	716.2	486.2	641.1	0.76	1.12
40	E26A031	1988-2017	30	613.9	300.4	541.5	0.55	1.13
41	D26A012	1997-2017	21	992.2	102.7	460.3	0.22	2.16
42	D26A032	1989-2017	29	950.9	213.3	478.4	0.45	1.99
43	D26A039	2000-2017	18	763.3	285.5	729.5	0.39	1.05
44	D26A063	1991-2017	27	951.4	231.0	479.4	0.48	1.98
MAKS			61	1316	1106	1219	2.86	2.16
MIN			16	541	38	386	0.10	0.51
ORT.			43	772	391	602	0.65	1.38

### 3.5.Potansiyel Buharlaşma Hesaplaması

İlgili çalışmada, potansiyel buharlaşma ( $E_p$ ) hesaplama işleri yapılması için sıcaklık tabanlı Thornthwaite metodu kullanıldı. Ayrıca yarı kuraklık bölgeler veya yetersiz metrolojik bilgilere sahip olduğu yerler için özel bir ampirik yöntem geliştirilmiştir. Thornthwaite tarafından geliştirilen yöntem ile potansiyel buharlaşma Denklem 3.5-1yardımı ile bulunur (Hargreaves ve Samani, 1985) :

$$E_p = 16 * \left( \frac{10 * T_{ort}}{I} \right)^a * G \quad 3.5-2$$

Burada;

$E_p$  : Aylık potansiyel buharlaşma (milli metre),

$T_{ort}$  : Aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}C$ ),

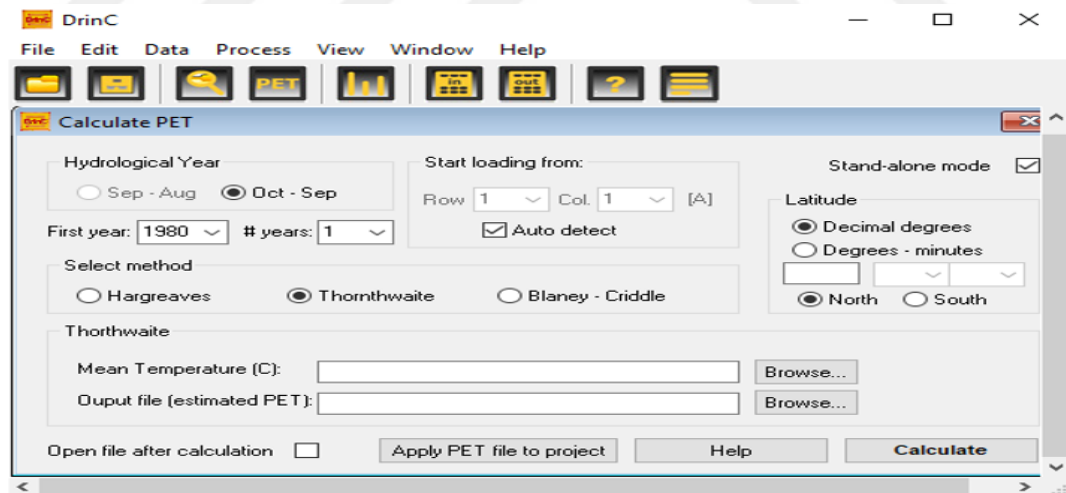
$I$  : Yıllık sıcaklık göstergesi,

$G$  : Enlem düzeltme faktörü,

$A$  : Üs kıymeti ( $I$  kıymetine bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile elde edilir).

$$a = 6.7510 * 10^{-7} * I^3 - 7.7110 * 10^{-5} * I^2 + 1.791210 * 10^{-2} * I + 0.49239$$

$$I = \sum_1^{12} i \quad I = \sum_1^{12} i$$



**Şekil 3.5-1:** DrinC yazılımında Thornthwaite metodu ile aylık  $E_p$  hesabı için modül arayüzü.

Ayrıca, aylık ortalama  $E_p$  kıymetleri orijinal Thornthwaite Kuraklık İndeksi hesaplayıcı (DrinC) yazılımı bir formül kullanılarak hesaplanmıştır. Bir sonraki aşamada hesaplanan aylık kıymet daha sonra yıllık ortalama hesaplamak için kullanıldı. Yazılım, son yıllarda kuraklık araştırmalarında yaygın olarak kullanılan Keşifsel Kuraklık Göstergesi Akarsu Kuraklık Göstergesi ve Standart Yağmur İndeksi (SPI) dahil olmak üzere kuraklık analizi çalışmaları için geliştirilmiştir. Yazılım içerisinde

geliştirilen bir modül sayesinde aynı zamanda sıcaklık tabanlı Hargreaves, Blaney-Cridle ve Thornthwaite metotları ile potansiyelbuharlaştırma hesabı da yapılabilmektedir (Tigkas, 2013).

### 3.6.Mann-Kendall Sıra Bağlatılı İlişkiler Denetimi

Araştırmada kullanılan yağmur, debi, potansiyel buharlaştırma ve sıcaklık verilerindeki uzun vadeli değişiklikleri belirlemek için Mann-Kendall testleri kullanıldı. Parametrik olmayan Mann-Kendall denetimi, hidrometeorolojik zaman serilerinde ortaya çıkabilecek eğilimlerin (eğilimlerin) istatistiksel önemi için yaygın olarak kullanılan bir testtir (Mann, 1945; Kendall, 1948). Mann-Kendall testi için Denklem (3.6-1) ve (3.6-2)'den elde edilen S istatistiğini kullanılmıştır:

$$S = \sum_{i=1}^{\eta-1} \sum_{j=i+1}^{\eta} \sin(X_j - X_i) \quad 3.6-3$$

$$\sin(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{eğer } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{eğer } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad 3.6-4$$

Burada,  $X_i$  ve  $X_j$  göz önüne alınan değişkenin sıralı kıymetleri,  $\eta$  veri uzunluğudur. S istatistiği yaklaşık olarak normal dağılımlı olup ortalaması sıfırdır. S kıymetinin pozitif olması, göz önüne alınan veri serisinde artan bir eğilim, sıfır olması eğilim olmadığını, negatif olması ise azalan bir eğilim olduğunu gösterir. Sıfır hipotezi ( $H_0$ ) veri serisinde eğilim olmadığını ifade eder. Aşağıda verilen Denklem 3.4 ile hesaplanan S varyans istatistiği asimptotik olarak normaldir (Hamed, 2008)

$$\text{Var}(S) = \frac{\eta(\eta-1)(2\eta+5)}{18} \quad 3.6-5$$

Veri sayısının 10 adetden daha fazla olduğu durumlarda Z istatistiği Eşitlik (3.6-6) kullanılarak hesaplanır.

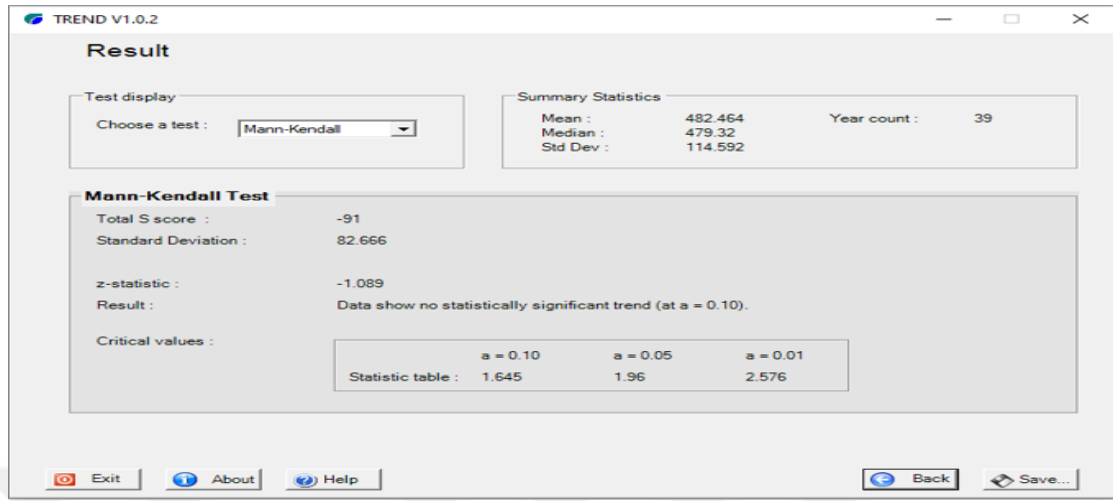
$$Z = \frac{S-1}{(\text{VAR}(S))^{0.5}} \quad S > 0 \quad 3.6-7$$

$$Z = \frac{S - 1}{(\text{VAR}(S))^{0.5}} \quad S > 0$$

$$Z = \frac{S + 1}{(\text{VAR}(S))^{0.5}} \quad S < 0$$

İstatistik bakımdan anlamlı bir eğilimin varlığı Z istatistiği ile belirlenir. Z kıymetinin “pozitif olması artan bir eğilimi, negatif olması ise azalan bir eğilimi gösterir”. Z normal dağılımlıdır. Açıklanan bir  $\alpha$  delalet seviyesi için Z istatistiğinin mutlak kıymetinin  $Z_{1-\alpha/2}$  kıymetinden daha büyük olması durumunda,  $H_0$  hipotezi ret edilir (eğilim var), aksi halde ise  $H_0$  hipotezi kabul edilir (eğilim yok). “Burada  $Z_{1-\alpha/2}$  kıymeti standart normal eklenik dağılım tablolarından elde edilir”.

Şekil 3.6-1 Z kıymetini bulmak için son yıllarda yaygın olarak kullanılan eğilim programı kullanılmıştır.



Şekil 3.6-2: Eğilim yazılımında Z hesabı için modül ara yüzü

### 3.7. İklim Esneklik Metodu

Bu çalışma, iklim değişikliğinin nehir debi üzerindeki etkisini incelemek için Schaake (1990) tarafından önerilen iklim esnekliği yaklaşımını kullanmaktadır. Bu yöntemi kullanarak amaç, belirli bir iklim değişkenine dayalı olarak bir nehirdeki Debinin göreceli değişimini veya hassasiyetini ölçmektir. Debi duyarlılığı faktörü ( $\epsilon$ ), debitaki ( $q$ ) orantılı değişikliğin, söz konusu yağmur veya potansiyel buharlaşma gibi bir iklim değişkenindeki ( $X$ ) orantılı değişikliğe oranını temsil eder.

$$\epsilon = \frac{\partial q/q}{\partial X/X} \quad 3.7-1$$

### 3.8. Nehir Debinin Yağmura ve Potansiyel Buharlaşma Duyarlılığı

Düzenlenmemiş veya sulanmayan akarsulardaki debi, havza özellikleri göz ardı edilerek yalnızca iklim değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bu nedenle, yıllık yağmurtaki yüzde değişime ( $\Delta p/p$ ) ve yıllık potansiyel buharlaşmadaki yüzde değişime ( $\Delta E_p/E_p$ ) bağlı olarak, yıllık debitaki yüzde değişim ( $\Delta q/q$ ) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\Delta q}{q} = \epsilon_P \frac{\Delta P}{P} + \epsilon_{E_p} \frac{\Delta E_p}{E_p} \quad 3.8-1$$

$$\frac{\Delta q}{q} = \epsilon_P \frac{\Delta P}{P} + \epsilon_{E_p} \frac{\Delta E_p}{E_p} \quad 3.8-2$$

Debi ve yıllık çevre, yağmur ve potansiyel buharlaşma yüksekliği, ep Debinin yağmura duyarlı faktörü,  $\epsilon_{Ep}$  potansiyel buharlaşma duyarlı faktördür. Scaake 1990 kullanılarak geliştirilen iklim esnekliği yaklaşımı, iklim değişkenleri arasındaki zorunlu etkileşimler nedeniyle yanlış olabilir.

Bu nedenle Sun ve ark. (2013) bu yöntemi bağlantılı ilişkiler analizi yardımıyla değiştirmiş ve daha doğru ve gerçekçi sonuçlar elde etmiştir. Bu nedenle, düzeltilmiş Debinin iklim esnekliği şu şekilde ifade edilir:

Sırasıyla yıllık ortalama debi yağış ve potansiyel evapotranspirasyon yüksekliği ep Debinin yağmura duyarlılık faktörü ve  $e_{Ep}$  potansiyel buharlaşma duyarlılık faktörüdür. Scaakle 1990 tarafından geliştirilen iklim esnekliği yaklaşımının kullanılması iklim değişkenleri arasındaki zorunlu etkileşimler nedeniyle yanlış vermesi muhtemel olabilir.

İlgili çalışmada, Sun vd. (2013) bu metodu bir bağlantılı ilişkisi analizi ile geliştirerek daha sağlam ve gerçekçi sonuçlara ulaşmıştır. Buna göre, modifiye edilen Debinin iklim esneklik aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\epsilon_P = \text{Medyan} \left( \frac{\frac{\Delta q}{\bar{q}} \frac{\Delta E_p}{\bar{E}_p}}{\frac{\Delta P}{\bar{P}} \frac{\Delta E_p}{\bar{E}_p}} \right) \quad 3.8-3$$

$$\epsilon_{E_p} = \text{Medyan} \left( \frac{\frac{\Delta P}{\bar{P}} \frac{\Delta q}{\bar{q}}}{\frac{\Delta P}{\bar{P}} \frac{\Delta E_p}{\bar{E}_p}} \right) \quad 3.8-4$$

$\epsilon$ ,  $\bar{q}$ ,  $\bar{P}$ ,  $\bar{E}_p$  sırasıyla, iklim esnekliği, debi, yağmur, potansiyel buharlaşmaun uzun vadeli ortalama kıymetleridir ve operatör  $\Delta$  gözlenen ve ortalama kıymetler arasındaki farkı gösterir.

### 3.9.Akarsu Debinin Kuraklık İndeksine Olan Hassasiyeti

Yağmur ve  $E_p$  tamamen bağımsız iklim değişkenleri değildir. Kuraklık göstergesi, potansiyelbuharlaşmaun yağmura oranını ile ( $\emptyset = E_p/P$ ) temsil edilebilir ve iklim değişikliğinin yüzey debi üzerindeki etkisini tahmin etmek için çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır (Arora, 2002; Gong ve diğerleri, 2006; Liu ve diğerleri. ) ve diğerleri, 2013). Ayrıca kuraklık göstergeleri geniş anlamda iklim koşulları ile ilişkilidir. Örneğin; ‘kurak, yarı kurak, az nemli ve nemli bölgelerde kuraklık göstergesi kıymetleri  $5 \leq \emptyset < 12$ ;  $2 \leq \emptyset < 5$ ;  $0.75 \leq \emptyset < 2$  ile  $0.375 \leq \emptyset$  arasında tanımlanır.  $< 0.75$  değişim (Ponce ve diğerleri, 2000). Bu çalışmada, debilerin iklim değişikliğine duyarlılığını belirlemek için göstergeler olarak kuraklık metrikleri ve iklim esnekliği yaklaşımı kullanılmıştır. Derenin kuraklık indeksi i duyarlılık faktörü ( $\epsilon_{\emptyset}$ ) Denklem (3.9-1)'den belirlenebilir.

$$\epsilon_{\emptyset} = \frac{\partial Q}{\partial \emptyset} \cdot \frac{\emptyset}{Q} \quad 3.9-2$$

Budyko hipotezine (Buydco, 1963) göre gerçek buharlaşma ( $E_a$ ) yağmurun ve kuraklık göstergesinin bir fonksiyonudur ( $E_a = P \times f(\emptyset)$ ). Buna dayanarak, uzun vadeli su

bütçesi tahmin edilerek  $\varepsilon_{\emptyset}$  kıymeti eşitlik (3.9-3)'de verilen bağıntı ile hesaplanabilir (Moawesh ve Talozı, 2012).

$$\varepsilon_{\emptyset} = -\frac{P}{Q}(1 - f(\emptyset)) - \frac{E_p}{Q}f'(\emptyset) \quad 3.9-4$$

Burada,  $f(\emptyset)$  fonksiyonu için literatürde değişik bağıntılar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Turc (1953) ve Pike (1964) tarafından geliştirilen aşağıdaki bağıntı tercih edilmiştir.

$$f(\emptyset) = (1 + \emptyset^{-2})^{-0.5} \quad ; \quad f'(\emptyset) = \frac{1}{[\emptyset^3\sqrt{(1+\emptyset^{-2})^3}]^2} \quad 3.9-5$$

Aslında,  $\varepsilon_{\emptyset}$  kıymetinin “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 debida %1'lik bir azalışın meydana geleceğini gösterir.

## 4.BULGULAR

### 4.1.Bulgular

Bu bölümde, ilk olarak yıllık ortalama akım verilerine Mann-Kendall denetimi uygulanarak eğilim (eğilim) analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, tez çalışması kapsamında Fırat-Dicle havzasından (FDH) seçilen 45 adet alt havza içerisinde en 43 yıllık akım verisine sahip olan 45 adet alt havza belirlenmiştir. Yıllık ortalama akım verisinde %5 ve daha az anlamlılık düzeyinde istatistik bakımdan önemli eğilim tespit edilen alt havzalar belirlenerek harita üzerinde gösterilmiştir.

İkinci olarak, F-D Havzası'nın seçilen alt havzalarında doğal nehir debilerinin iklim değişikliğine duyarlılığını belirlemek için, yağmur katsayıları ve yüzey Debinin potansiyel buharlaşma duyarlılıkları (sırasıyla  $\epsilon_p$  ve  $\epsilon_{Ep}$ ) verilen denklemler kullanılarak elde edilmiştir. Formül 4.1-1 ve 3.9-2 Burada, Fu ve ark. (2007b) yıllık yağmur ve debi verilerinde en yüksek belirleyiciye ( $R^2$ ) sahip yıllık döngü veya dönemi dikkate alır. Hesaplanan sonuçlarına göre sırasıyla  $\epsilon_p$  ve  $\epsilon_{Ep}$  negatif mekan dağılım haritaları çizilmiş ve iklim duyarlılık katsayısının mekansal değişimi kıymetlendirilmiştir. Ayrıca sırasıyla  $\epsilon_p$  ve  $\epsilon_{Ep}$  kıymetleri ile debi faktörü ( $q/p$ ) arasındaki korelasyonlar elde edilmiş ve debi faktöründeki değişikliklerden dolayı havzanın iklim değişikliğine duyarlılık kıymetlendirmesi yapılmıştır.

Son olarak, seçilen alt havzalarda Debinin kuraklık göstergesine olan hassasiyetini belirlemek için Debinin kuraklık gösterge hassasiyeti katsayıları ( $\epsilon_0$ ) Eşitlik 4.1-1 kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplanan  $\epsilon_0$  değerlerinin alansal dağılım haritaları oluşturularak Türkiye geneli ve her havza için ayrı ayrı mekansal değişimler kıymetlendirilmiştir. İlâveten,  $|\epsilon_0|$  kıymetleri ile debi faktörü ( $q/p$ ) arasındaki ilişki incelenerek debi faktöründeki değişimlerden dolayı havzaların iklimsel değişimlere karşı hassasiyeti incelenmiştir.

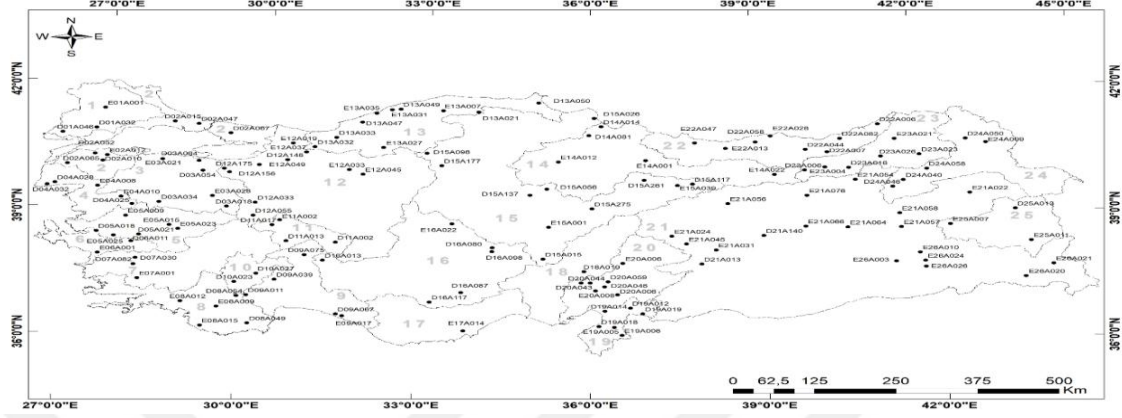
### 4.2.Yıllık Ortalama Akımların Eğilim Analizi

F-D havzası için en az 43 yıllık ortalama akım verisine sahip 45 alt havzada Mann-Kendall sıra bağılatılı ilişkiler denetimi ile eğilim analizi yapılmıştır. Bu hedefle Fırat nehri üzerindeki olan toplam gözlem noktasında (22) istasyonunda eğilim analizi yapılmıştır ve Tablo 4.2-2'de Fırat'ın alt havzalarının dağılımı belirlenmiştir. Dicle nehri için alınan alt havzaların toplamının (16) eğilimi Tablo 4.2-1'da belirlenmiştir. Burada eğilim denetimine uygulanan alt havza sayısının her havza için farklı olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.2-2:** Çalışma kapsamında seçilen alt havzaların dağılımı ve eğilim denetimi uygulanan alt havza sayısı

Havza No	Havza Adı	Toplam Alt Havza Sayısı	Eğilim Denetimi Uygulanan Alt Havza Sayısı
1	F-D Havzası	45	45
Toplam		45	45

F-D havzasında uygulanan 45 alt havzanın çıkış noktasındaki Akım Gözlem İstasyonlarının konumları Şekil 4.2-1'de verilen haritada görülmektedir. Aşağı Fırat havzası ve Dicle havzasının güneyinde yer alan alt havzalarda eğilim analizi için belirlenen kriterlere uygun (en az 43 yıl süreli) akım gözlem verisi elde edilememiştir.



**Şekil 4.2-2:** Yıllık ortalama akım verilerine eğilim denetimi uygulanan alt havzaların çıkış noktasındaki Akım Gözlem İstasyonlarının dağılımı.

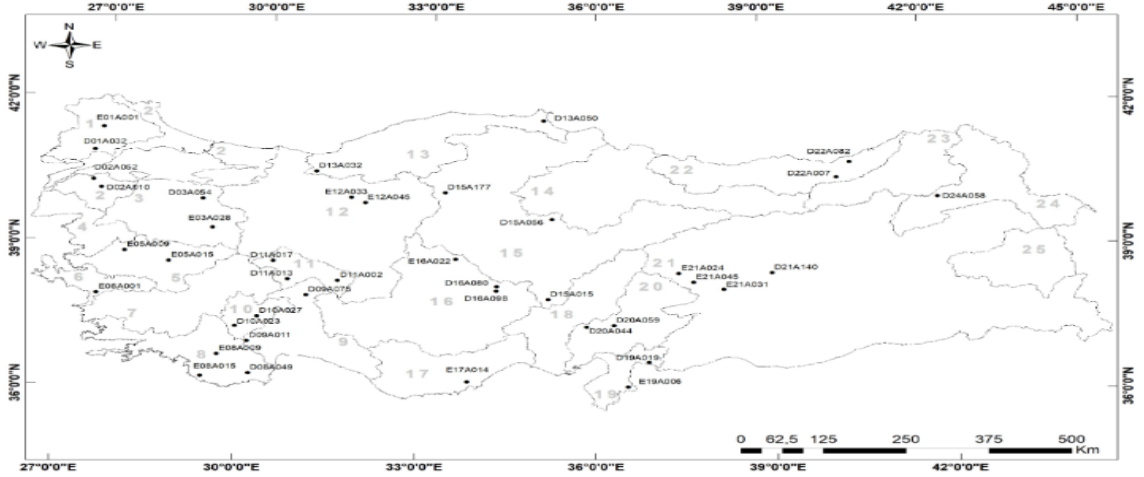
Eğilim analizi için seçilen akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler ve hesaplanan Mann-Kendall (M-K) Z istatistiği kıymetleri tablo 4.2-3'de verilmiştir. Burada, yıllık ortalama akım veri aralıklarının genellikle birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Araştırmanın kapsamında özellikle 2000 yılı sonrası veri içeren alt havzalar göz önüne alınmıştır.

Elde edilen eğilim analizi sonuçlarına göre, göz önüne alınan alt havzalarda yıllık ortalama akım verilerinde azalma eğilimi gösterenlerin sayısının 112 (%76,7), artma eğilimi gösterenlerin sayısının 33 (%22,6), burada, akım verilerinde azalma eğilimi tespit edilen alt havza sayısının nispeten fazla olduğu görülmektedir. Bunlar arasında %5 ve daha az anlamlılık seviyesinde istatistik bakımdan önemli azalma eğilimine sahip olanların sayısının 40 olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, artma eğilimi gösteren istasyonlar arasında artma eğiliminin %5 anlamlılık seviyesinde istatistik bakımdan önemli olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 4.2-4:** F-D Havasından seçilmiş alt havzalarında yıllık ortalama debi verilerinin trend analizi sonuçları.

İndeks	AKIM GÖZLEM İSTASYONU	*	5%	Z- istatistiği			
		**	1%	Ep	P	Q	t
No	No	Veri aralığı	Veri Süresi (Yıl)	(mm)	(mm)	(mm)	(C°)
1	E21A022	1970-2017	48	3.55**	-0.4	0.18	3.21**
2	E21A024	1963-2017	55	5.51**	-2.67**	4.31**	4.47**
3	E21A031	1957-2017	61	4.96**	-2.34*	-3.13**	3.84**
4	E21A033	1968-2017	50	2.08*	0.8	0.07	2.11*
5	E21A035	1967-2017	51	4.39**	-1.97*	-2.68**	4.1**
6	E21A041	1966-2017	52	1.78	-1.02	-0.24	2.32*
7	E21A045	1963-2017	55	5.62**	-2.66**	-3.63**	4.86**
8	E21A054	1969-2017	49	0.95	-0.84	-4.22**	-1
9	E21A056	1969-2017	49	4.21**	0.68	-1.31	2.88**
10	E21A057	1969-2017	49	4.4**	1.08	1.09	3.3**
11	E21A058	1978-2017	40	2.85**	-1.57	-1.09	1.43
12	E21A059	1969-2017	49	3.16**	0.97	3.19**	2.66**
13	E21A060	1969-2017	49	4.97**	0.44	2.8**	4.98**
14	E21A064	1969-2017	49	2.27*	-0.31	-0.35	1.53
15	E21A065	1969-2017	49	4.68**	-1.86	-1.6	4.6**
16	E21A066	1970-2017	48	2.68**	-0.24	0.33	2.16*
17	E21A067	1968-2017	50	4.64**	-0.32	0.94	2.83**
18	E21A068	1973-2017	45	3.48**	-0.21	-1.26	2.93**
19	E21A071	1977-2017	41	3.12**	-0.73	1.74	1.29
20	E21A073	1977-2017	41	4.68**	-1.92	-4.03**	3.87**
21	E21A076	1983-2017	35	1.9	0.27	0.06	1.8
22	E21A077	1986-2017	32	3.08**	-1.56	-3.06**	2.54*
23	D21A013	1975-2017	43	4.05**	-0.5	-1.78	3.33**
24	D21A140	1974-2017	44	3.14**	-2.57*	-2.51*	2.58**
25	D21A186	1984-2017	34	3.18**	-0.26	-2.93**	3.2**
26	D21A210	1985-2017	33	2.12*	-2.35*	-2.03*	2.74**
27	D21A264	2002-2017	16	1.19	-2.18**	-2.77**	1.49*
28	D21A279	1998-2017	20	-0.56	-1.19	0.21	-0.36
29	E26A003	1965-2017	53	3.57**	-0.73	-0.18	2.15*
30	E26A010	1963-2017	55	1.41	-0.27	-0.61	0.35
31	E26A012	1965-2017	53	5.13**	-0.13	-2.6**	3.38**
32	E26A017	1972-2017	46	4.67**	-1.92	-1.24	4.27**
33	E26A018	1969-2017	49	1.73	0.26	3.14**	0.92
34	E26A019	1969-2017	49	4.68**	-1.8	-1.2	4.58**
35	E26A020	1969-2017	49	3.78**	-0.72	-2.92**	3.95**
36	E26A021	1971-2017	47	3.73**	0.98	-0.79	3.95**
37	E26A024	1972-2017	46	-0.42	-0.09	0.15	-1.23
38	E26A025	1972-2017	46	4.59**	-1.28	-0.89	3.86**
39	E26A026	1972-2017	46	4.47**	0.69	-2.08*	4.22**
40	E26A031	1988-2017	30	1.29	-0.73	-0.99	1.78
41	D26A012	1997-2017	21	-2.82**	0.55	-0.03	-2.54*
42	D26A032	1989-2017	29	3**	0.02	1.4	2.37*
43	D26A039	2000-2017	18	-0.7	-1.94*	-0.29	0
44	D26A063	1991-2017	27	2.07*	-0.22	-4.19**	2.36*
MAKS			61	5.62	1.08	4.31	4.98
MIN			16	-2.82	-2.67	-4.22	-2.54
ORT.			43	3.01	-0.74	-0.84	2.50

(\*) %5, (\*\*) %1 anlamlılık seviyesinde önemli eğilim vardır.



**Şekil 4.2-3:** Yıllık ortalama akım verilerinde %5 ve daha az anlamlılık seviyesinde istatistik bakımdan önemli eğilim bulunan akım gözlem istasyonları.

### 4.3. Debinin Yağmur ve Potansiyel Buharlaşmaya Olan Hassasiyeti

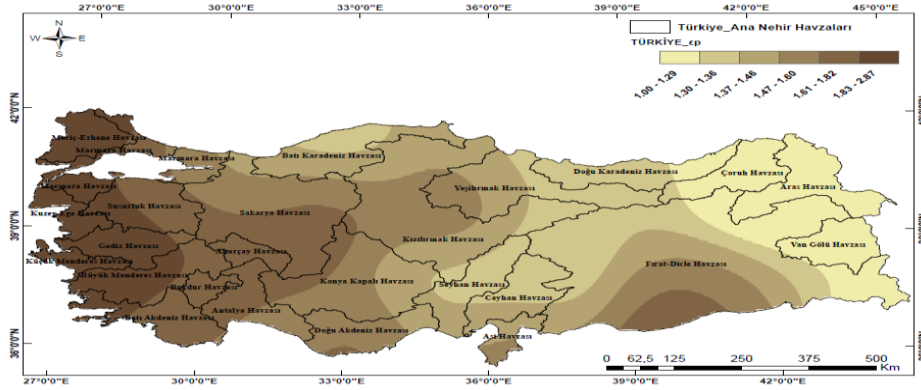
F-D nehirlerindeki alınan rast istasyonları baraj etkisinde olmayan akarsu akımlarının iklim değişikliğine olan hassasiyetini belirlemek için 45adet alt havza belirlenmiştir. Tablo 4.3-1’de görüldüğü gibi alt havzaların çıkış noktasındaki Akım Gözlem İstasyonlardan elde edilen akımların veri aralıkları birbirinden farklıdır. Akımların veri süresi 16 ile 61 yıl arasında değişmekte olup ortalama 43 yıldır. Burada 32 yıl ve üzeri debi verisi olan alt havza sayısı 44olarak belirlenmiştir.

Denklem (4.3-1) ve Denklem (4.3-4)'te verilen eşitlikler, seçilen alt havzalardaki nehir debilerinin iklim değişikliğine duyarlılığını belirlemek için kullanılır. Bu nedenle, hesaplanan alt havza debisi için yağmur ve potansiyel buharlaşma duyarlılık katsayıları (sırasıyla  $\epsilon_p$  ve  $\epsilon_{Ep}$ ) hesaplanmıştır. Bu çalışmada, Fu ve ark. (2007b) yıllık ortalama yağmur ve debi verilerinde en yüksek belirleyici ( $R^2$ ) olan yıllık döngü veya dönemi kullanmıştır. Genel olarak, havzadaki  $\epsilon_p$  kıymet aralığı 1.0~2.87'dir,  $\epsilon_{Ep}$  kıymet aralığı 0.0~-1.87'dir ve ortalama kıymet sırasıyla 1.55~-0.55'tir (Tablo 4.3-2). Burada esasen  $\epsilon_p$  ve  $\epsilon_{Ep}$  işaretleri, p'deki artışa (azalmaya) göre debinin, Ep'deki artışa (azalmaya) bağlı olarak pozitif (negatif) bir eğilim göstereceğini gösterir. Bu nedenle, Türkiye'de yağmur miktarı %10 bir artış (azalma) debida ortalama %15,5oranında bir artışa azalma neden olurken, potansiyelbuharlaşımda %10 bir artış azalma ise ortalama bir düşüşe sebep olacaktır (artış) %5,5 debide. Ortalama kıymet dikkate alındığında  $\epsilon_p$  kıymetinin  $\epsilon_{Ep}$  kıymetinden büyük olması Türkiye genelindeki akımın P'ye Ep'ten daha duyarlı olduğunu düşündürmektedir.

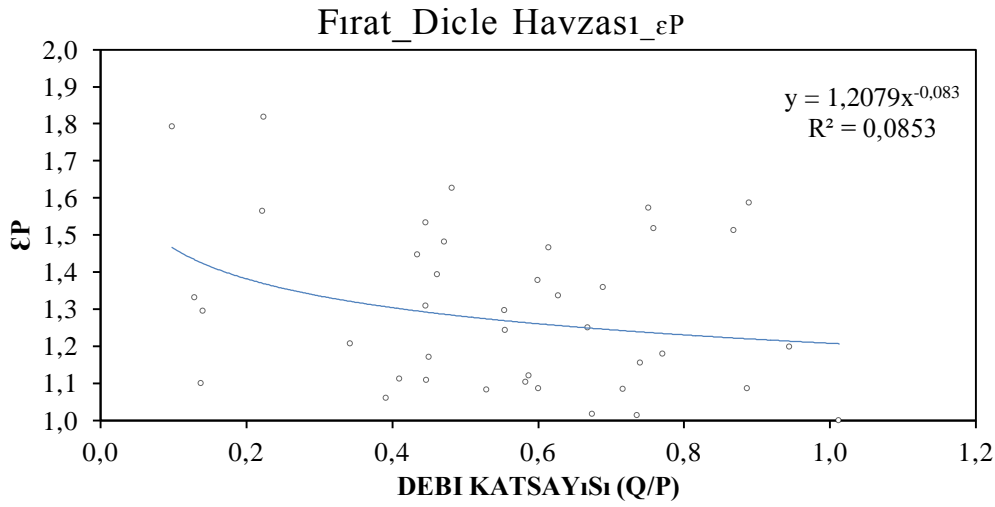
**Tablo 4.3-3:** Türkiye'nin Seçilmiş Alt Havzalarında Yağmur ve Potansiyel buharlaşma duyarlılık Katsayıları.

İndeks No:	Akim Gözlem İstasyonu No:	En Uygun Periyot	$\epsilon p$	$\epsilon Ep$	R2 (P,Q)	Veri aralığı	Veri süresi
1	E21A022	Eylül-Ağus	1.08	-0.08	0.46	1970-2017	48
2	E21A024	Ekim-Eylül	1.53	-0.53	0.36	1963-2017	55
3	E21A031	Ekim-Eylül	1.39	-0.39	0.62	1957-2017	61
4	E21A033	Kas-Ekim	1.00	0.00	0.52	1968-2017	50
5	E21A035	Eylül-Ağus	1.08	-0.08	0.72	1967-2017	51
6	E21A041	Mart-Şub	1.09	-0.09	0.34	1966-2017	52
7	E21A045	Eylül-Ağus	1.17	-0.17	0.65	1963-2017	55
8	E21A054	Ekim-Eylül	1.11	-0.11	0.18	1969-2017	49
9	E21A056	Ekim-Eylül	1.36	-0.36	0.63	1969-2017	49
10	E21A057	Ekim-Eylül	1.48	-0.48	0.77	1969-2017	49
11	E21A058	Eylül-Ağus	1.08	-0.08	0.68	1978-2017	40
12	E21A059	Kas-Ekim	1.56	-0.56	0.68	1969-2017	49
13	E21A060	Ara-Kas	1.29	-0.29	0.60	1969-2017	49
14	E21A064	Eylül-Ağus	1.30	-0.30	0.81	1969-2017	49
15	E21A065	Ekim-Eylül	1.33	-0.33	0.64	1969-2017	49
16	E21A066	Eylül-Ağus	1.25	-0.25	0.62	1970-2017	48
17	E21A067	Ağus-Tem	1.34	-0.34	0.62	1968-2017	50
18	E21A068	Eylül-Ağus	1.09	-0.09	0.41	1973-2017	45
19	E21A071	Ağus-Tem	1.11	-0.11	0.16	1977-2017	41
20	E21A073	Ekim-Eylül	1.17	-0.17	0.55	1977-2017	41
21	E21A076	Eylül-Ağus	1.16	-0.16	0.57	1983-2017	35
22	E21A077	Ekim-Eylül	1.10	-0.10	0.53	1986-2017	32
23	D21A013	Ekim-Eylül	1.02	-0.02	0.60	1975-2017	43
24	D21A140	Eylül-Ağus	1.79	-0.79	0.46	1974-2017	44
25	D21A186	Ekim-Eylül	1.47	-0.47	0.49	1984-2017	34
26	D21A210	Ara-Kas	1.20	-0.20	0.47	1985-2017	33
27	D21A264	Ara-Kas	1.59	-0.59	0.25	2002-2017	16
28	D21A279	Tem-Haz	1.01	-0.01	0.35	1998-2017	20
29	E26A003	Ekim-Eylül	1.57	-0.57	0.89	1965-2017	53
30	E26A010	Ekim-Eylül	1.51	-0.51	0.85	1963-2017	55
31	E26A012	Ağus-Tem	1.12	-0.12	0.50	1965-2017	53
32	E26A017	Ekim-Eylül	1.09	-0.09	0.78	1972-2017	46
33	E26A018	Tem-Haz	1.12	-0.12	0.48	1969-2017	49
34	E26A019	Ekim-Eylül	1.10	-0.10	0.73	1969-2017	49
35	E26A020	Ekim-Eylül	1.38	-0.38	0.60	1969-2017	49
36	E26A021	Kas-Ekim	1.21	-0.21	0.67	1971-2017	47
37	E26A024	Eylül-Ağus	1.45	-0.45	0.85	1972-2017	46
38	E26A025	Ekim-Eylül	1.18	-0.18	0.77	1972-2017	46
39	E26A026	Ekim-Eylül	1.52	-0.52	0.74	1972-2017	46
40	E26A031	Ekim-Eylül	1.24	-0.24	0.83	1988-2017	30
41	D26A012	Tem-Haz	1.82	-0.82	0.64	1997-2017	21
42	D26A032	Ekim-Eylül	1.31	-0.31	0.52	1989-2017	29
43	D26A039	Mart-Şub	1.06	-0.06	0.22	2000-2017	18
44	D26A063	Nis-Mart	1.63	-0.63	0.16	1991-2017	27

Çalışma Sınırlıklarında seçilen 45 alt havza için  $\epsilon p$  ve  $|\epsilon Ep|$  nokta kıymetleri kullanılarak Türkiye'nin alan dağılım haritaları sırasıyla Şekil4.3-1ve 4.3-1'te gösterilmiştir. Bu iki rakamdan da anlaşılacağı üzere  $\epsilon p$  ve  $|\epsilon Ep|$  kıymetleri ülke genelinde önemli farklılıklar göstermektedir.  $\epsilon p$  ve  $|\epsilon Ep|$  kıymetleri genellikle doğudan batıya ve kuzeyden güneye doğru artar. Başka bir deyişle, yüzey Debininin yağmura ve EP'ye duyarlılığının, iklim değişikliğinin nehir debisi üzerindeki etkisinin nispeten yüksek olduğu batı ve güney bölgelerine doğru önemli ölçüde artma eğiliminde olduğu bilinmektedir.

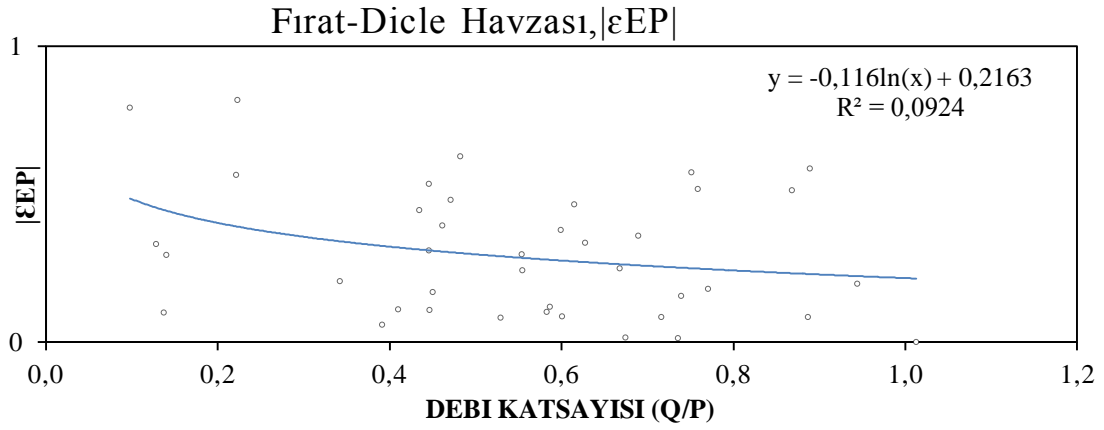


Şekil 4.3-2: Türkiye geneli için  $\varepsilon_p$  değerlerinin alansal dağılım haritası

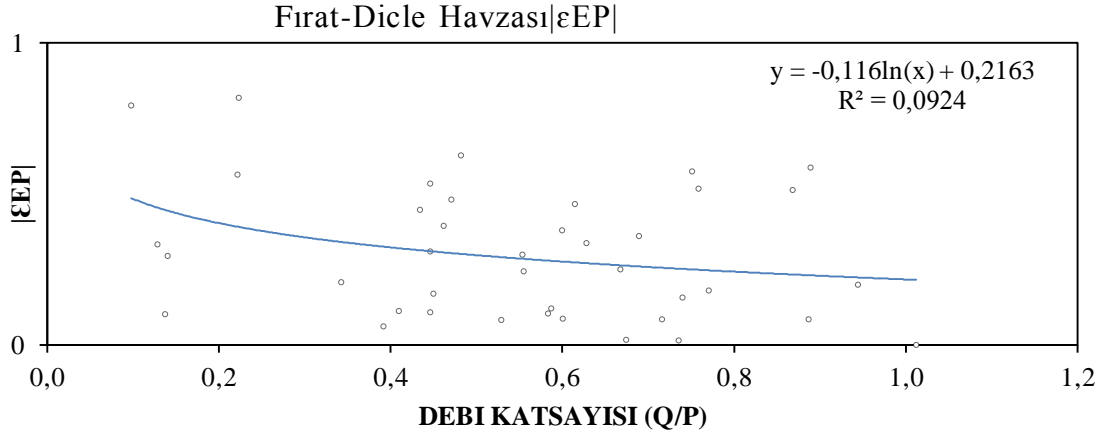


Şekil 4.3-3: Türkiye geneli için  $|\varepsilon_{Ep}|$  değerlerinin alansal dağılım haritası

Şekil 4.3-4ve 4.3-5'de gösterildiği gibi, Türkiye için  $\varepsilon_p$  ve  $|\varepsilon_{Ep}|$  ile debi faktörü ( $q/p$ ) arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. İki durumda da hesaplanan değişkenler arasında çok yüksek düzeyde olmasa da negatif korelasyonlar bulunmuştur. Dolayısıyla ele alınan havza veya bölgenin debi faktörü azaldıkça  $\varepsilon_p$  ve  $|\varepsilon_{Ep}|$  kıymetleri artmaktadır.  $\varepsilon_p + \varepsilon_{Ep} = 1.0$  olduğundan,  $\varepsilon_p$  kıymetindeki pozitif bir artışla  $\varepsilon_{Ep}$  kıymeti negatif olarak artar, bu nedenle nispeten düşük deşarj kıymetlerine sahip havzalar iklim değişikliğine daha duyarlıdır (Wang ve He, 2017).



**Şekil 4.3-6:** Türkiye geneli için  $\varepsilon_p$  değerlerinin debi faktörü ile değişimi



**Şekil 4.3-7:** Türkiye geneli için  $|\varepsilon_{EP}|$  değerlerinin debi faktörü ile değişimi

#### 4.4.F-D Havzası

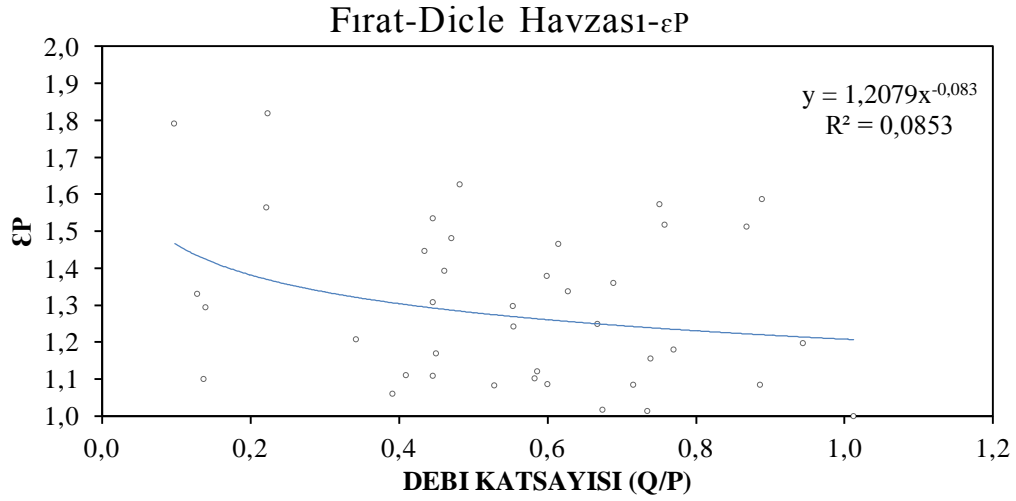
Tablo 4.4-1 Fırat Dicle Havzası'nın 45 alt havzası için hesaplanan  $\varepsilon_p$  ve  $|\varepsilon_{EP}|$  kıymetlerini göstermektedir. Burada incelenen küçük su havzaları, farklı yıllık döngü başlangıçlarına sahip görünüyor, ancak çoğu sonbahar ve yaz ile aynı zamana denk geliyor. Tablodan da anlaşılacağı üzere  $\varepsilon_p$  kıymeti 1,08 ile 1,83 arasında değişmekte,  $|\varepsilon_{EP}|$  kıymeti -0,11 ile -0,89 "arasında" değişmekte olup, ortalama kıymetler "sırasıyla 1,28 ve 0,28 olarak belirlenmiştir". Havza ortalama sının Türkiye ortalama sının biraz altında olduğunu görebilirsiniz. Böylece F-DHavzası'nda yağmurda %10 oranında bir artış (azalma) debide ortalama %13,9 oranında bir artış (azalmış) ve EP'de %10 oranında bir artış (azalmış) yağmurlarda ortalama bir artışa neden olacaktır. (Azalma) trafiği. Bu, %3,9'luk bir düşüş (artış) ile sonuçlanacaktır. Ortalama kıymet dikkate alındığında,  $\varepsilon_p$ 'nin  $|\varepsilon_{EP}|$ 'den büyük olması, Fırat Havzası'nın P'nin Debinina EP'den daha duyarlı olduğunu gösterir.

**Tablo 4.4-2:** F-D alt havzalar debi yağmur ve potansiyel buharlaşma hassasiyet faktörleri.

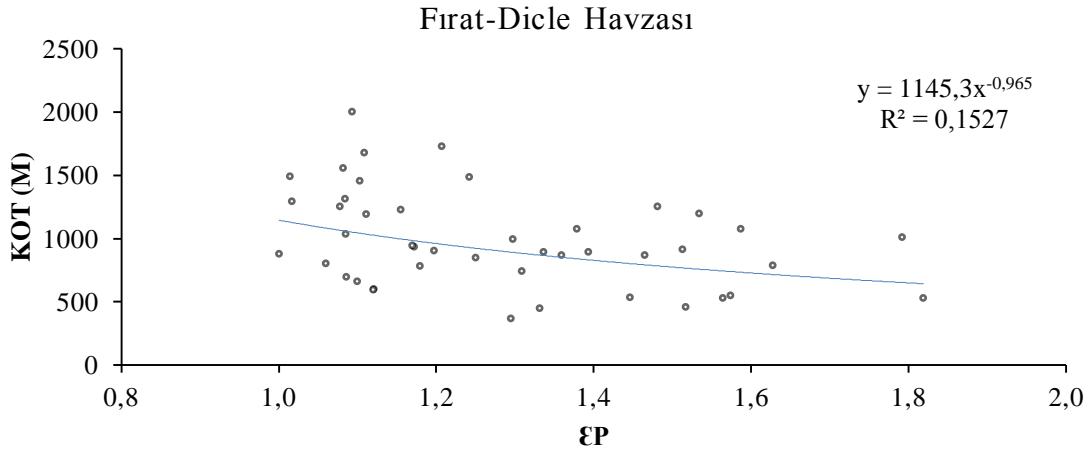
İndeks No:	Akım Gözlem İstasyonu No:	En Uygun Periyot	$\varepsilon p$	$\varepsilon Ep$	$R^2$ (P,Q)	Veri aralığı	Veri süresi	$ \varepsilon \theta $
1	E21A022	Eylül-Ağus	1.08	-0.08	0.46	1970-2017	48	1.03
2	E21A024	Ekim-Eylül	1.53	-0.53	0.36	1963-2017	55	0.59
3	E21A031	Ekim-Eylül	1.39	-0.39	0.62	1957-2017	61	0.57
4	E21A033	Kas-Ekim	1.00	0.00	0.52	1968-2017	50	0.65
5	E21A035	Eylül-Ağus	1.08	-0.08	0.72	1967-2017	51	0.37
6	E21A041	Mart-Şub	1.09	-0.09	0.34	1966-2017	52	0.74
7	E21A045	Eylül-Ağus	1.17	-0.17	0.65	1963-2017	55	0.09
8	E21A054	Ekim-Eylül	1.11	-0.11	0.18	1969-2017	49	1.08
9	E21A056	Ekim-Eylül	1.36	-0.36	0.63	1969-2017	49	0.58
10	E21A057	Ekim-Eylül	1.48	-0.48	0.77	1969-2017	49	1.55
11	E21A058	Eylül-Ağus	1.08	-0.08	0.68	1978-2017	40	0.88
12	E21A059	Kas-Ekim	1.56	-0.56	0.68	1969-2017	49	1.57
13	E21A060	Ara-Kas	1.29	-0.29	0.60	1969-2017	49	2.18
14	E21A064	Eylül-Ağus	1.30	-0.30	0.81	1969-2017	49	1.27
15	E21A065	Ekim-Eylül	1.33	-0.33	0.64	1969-2017	49	3.40
16	E21A066	Eylül-Ağus	1.25	-0.25	0.62	1970-2017	48	0.91
17	E21A067	Ağus-Tem	1.34	-0.34	0.62	1968-2017	50	0.67
18	E21A068	Eylül-Ağus	1.09	-0.09	0.41	1973-2017	45	0.48
19	E21A071	Ağus-Tem	1.11	-0.11	0.16	1977-2017	41	1.16
20	E21A073	Ekim-Eylül	1.17	-0.17	0.55	1977-2017	41	1.15
21	E21A076	Eylül-Ağus	1.16	-0.16	0.57	1983-2017	35	0.90
22	E21A077	Ekim-Eylül	1.10	-0.10	0.53	1986-2017	32	1.03
23	D21A013	Ekim-Eylül	1.02	-0.02	0.60	1975-2017	43	0.65
24	D21A140	Eylül-Ağus	1.79	-0.79	0.46	1974-2017	44	2.86
25	D21A186	Ekim-Eylül	1.47	-0.47	0.49	1984-2017	34	0.69
26	D21A210	Ara-Kas	1.20	-0.20	0.47	1985-2017	33	0.64
27	D21A264	Ara-Kas	1.59	-0.59	0.25	2002-2017	16	0.41
28	D21A279	Tem-Haz	1.01	-0.01	0.35	1998-2017	20	0.71
29	E26A003	Ekim-Eylül	1.57	-0.57	0.89	1965-2017	53	0.90
30	E26A010	Ekim-Eylül	1.51	-0.51	0.85	1963-2017	55	0.96
31	E26A012	Ağus-Tem	1.12	-0.12	0.50	1965-2017	53	0.62
32	E26A017	Ekim-Eylül	1.09	-0.09	0.78	1972-2017	46	0.84
33	E26A018	Tem-Haz	1.12	-0.12	0.48	1969-2017	49	0.49
34	E26A019	Ekim-Eylül	1.10	-0.10	0.73	1969-2017	49	3.18
35	E26A020	Ekim-Eylül	1.38	-0.38	0.60	1969-2017	49	1.02
36	E26A021	Kas-Ekim	1.21	-0.21	0.67	1971-2017	47	1.56
37	E26A024	Eylül-Ağus	1.45	-0.45	0.85	1972-2017	46	2.08
38	E26A025	Ekim-Eylül	1.18	-0.18	0.77	1972-2017	46	0.36
39	E26A026	Ekim-Eylül	1.52	-0.52	0.74	1972-2017	46	0.77
40	E26A031	Ekim-Eylül	1.24	-0.24	0.83	1988-2017	30	1.04
41	D26A012	Tem-Haz	1.82	-0.82	0.64	1997-2017	21	1.14
42	D26A032	Ekim-Eylül	1.31	-0.31	0.52	1989-2017	29	0.64
43	D26A039	Mart-Şub	1.06	-0.06	0.22	2000-2017	18	1.59
44	D26A063	Nis-Mart	1.63	-0.63	0.16	1991-2017	27	0.60
MAKS			1.82	0.00	0.89		61	3.40
MIN			1.00	-0.82	0.16		16	0.09
ORT.			1.28	-0.28	0.57		43	1.06

Burada elde edilen  $\varepsilon p$  ve  $\varepsilon Ep$  noktası kıymetleri kullanılarak F-DHavzası alan dağılım haritası Şekil 4.4-1 ve 4.4-2'de gösterilmiştir. Havzada  $\varepsilon p$  ve  $|\varepsilon Ep|$  değerlerinin güneye doğru daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla havzanın bu alanlarındaki akarsuların iklim değişikliğine nispeten duyarlı olduğu anlaşılmaktadır.





**Şekil 4.4-6:** F-D Havzası için  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  değerlerinin debi faktörü ile değişimi



**Şekil 4.4-7:** F-D Havzası için  $\epsilon_p$  ve KOT değerlerinin debi faktörü ile değişimi

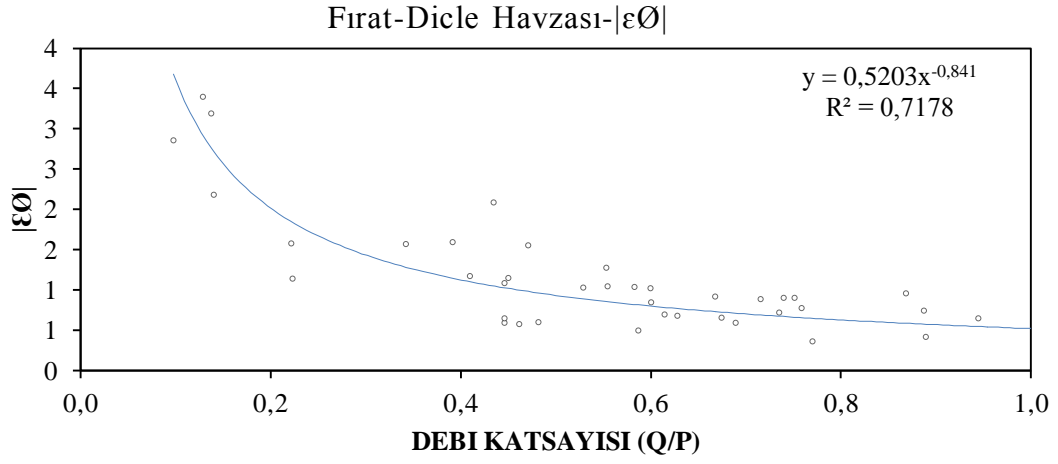
F-D Havzası için nokta kıymetleri kullanılarak bölgesel dağılım haritaları Şekil 4.4-3 ve 4.4-4'te gösterilmiştir. Havzadaki  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  değerlerinin güneybatıya doğru gidildikçe daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, havza içindeki bu alanlardaki Debinin iklim değişikliğine nispeten duyarlı olduğu anlaşılabilir.

#### 4.5. F-D Havzasının kuraklık Göstergesi

Tablo 4.5-1'de görüldüğü gibi F-D havzasında kuraklık göstergesi ortalaması 1,06 hesaplanmıştır kuraklık göstergesi sınıflandırması göz önüne alındığında havzanın az nemli bir iklim özelliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Havzada Debinin kuraklık göstergesine olan hassasiyetini belirlemek için hesaplanan  $\epsilon_0$  kıymetleri Tablo 4.5-2de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi havza genelinde  $\epsilon_0$  kıymeti -0,34 ile -0,09 arasında değişmekte olup ortalama kıymeti -1,06'dir. Bu kıymetlere dayanarak, F-D havzasında kuraklık göstergesinde %10 oranında bir artış Debinin ortalama ise %11,7 bir azalmaya maruz kalacaktır.



ölçeğinde akım azaldıkça iklim değişikliğine duyarlılığın artacağı görülmektedir.



Şekil 4.5-3: F-D Havzasında  $|\varepsilon_0|$  değerlerinin debi faktörü ile değişim

## 5.TARTIŞMA

Avrupa'da başlayan sanayi devrimi ile birlikte fosil yakıtların insan faaliyetleri tarafından aşırı enerji olarak kullanılmasına aşılanmıştır. Buna bağlı olarak arazi kullanım modellerinde meydana gelen değişiklikler, ormansızlaşma ve sanayileşme, son yıllarda iklim değişikliğinin olumsuz etkisinin arttığı yeni bir tarihsel sürece girmiştir. Bu etkiler giderek artan bir hızla incelenmektedir. Etkileri gösterilmeye başlandı. Bu süreçte, dünya genelinde yükselen deniz seviyeleri, yükselen sıcaklıklar ve sıcak hava dalgaları, azalan buzullar, doğal afetler, özellikle sel, kuraklık ve orman yangınlarının sıklığı ve şiddetinin artması gibi iklim değişikliği etkileri gözlemlenmiştir ve bu etkiler devam edecektir. Bu yüzyılda bu etkilerin artarak devam edeceği öngörülebilir.

Yeryüzünde tüm hayat şekillerinin vazgeçilmez unsuru olan suyun miktarı, kaynakları ve kalitesi olumsuz etkileri giderek daha fazla hissedilen iklim değişikliğinin tehdidi altında bulunmaktadır. Dünyanın bazı bölgelerinde kuraklık olaylarının şiddet ve sıklığında artışlar yaşanırken; diğer bazı bölgelerinde ise düzensiz ve aşırı yağmurlar sebebiyle sel ve heyelan gibi doğal afetlere daha fazla rastlanmaktadır. Öte yandan, iklim değişikliğinin etkisinin yanı sıra nüfus artışı ve çevre sorunları gibi diğer sebeplerle bazı bölgelerde tarım ve sanayi başta olmak üzere içme suyu ve şebeke suyu temininde ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Dünya bunları göz önünde bulundurarak, çeşitli ülkelerde su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve iklim değişikliğine uyum için iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisinin araştırılması son derece önemlidir. Küresel iklim değişikliği konusunda yapılan bazı çalışmalarda, Türkiye “yüzyılın sonuna kadar Avrupa ve Orta Asya'daki en “aşırı iklim” olaylarından birine sahip olacağı tahmin ediliyor. Öte yandan elde edilen gözlemlere göre Türkiye ikliminde küresel değişimlere benzer değişimler gözlenmektedir. Sonuç olarak, Türkiye'nin bazı bölgeleri artan sıcaklıklar ve azalan yağmurlar nedeniyle yüzey ve yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımında şimdiden ciddi sorunlarla karşı karşıyadır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin nehir debileri üzerindeki etkilerinin araştırılması, özellikle su bütçeleri açısından havza bazında çok önemli hale gelmiştir.

Bu tez çalışması ile Türkiye genelinde baraj etkisinde bulunmayan 45 alt havzada nehir akımları üzerinde iklim değişikliği etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Buna göre, seçilen alt havzalarda yıllık ortalama akımların yağmur ve potansiyel buharlaşmadaki değişimlere olan hassasiyeti iklim esnekliği yöntemiyle incelenmiştir. Böylece, Türkiye’de ilk kez söz konusu yöntem ile ülke genelinde ve havza ölçeğinde yıllık ortalama yağmur (P) ve potansiyel buharlaşmadaki (Ep) değişimlerin yıllık ortalama akımlar (Q) üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar alt bölümlerde özetlenmiştir.

### 5.1. Yıllık Ortalama Akımların Eğilim Analizi

Çalışma kapsamında ilk olarak, Türkiye genelinde seçilen alt havzalar içerisinde en az 32 yıllık akım verisine sahip 44 alt havzada Mann-Kendal Sıra Bağlatılı ilişkiler denetimi ile eğilim analizi gerçekleştirilerek nehir akımlarının zamansal eğilimleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Türkiye'nin Fırat-Dicle Havzası genelinde eğilim analizine tabi tutulan alt havzaların yaklaşık olarak %76,7'sinde (112 adet) yıllık ortalama akımlarda azalma eğilimi tespit edilirken artma eğilimi gösterenlerin oranı ise yaklaşık olarak %22,6 (33 adet) olarak belirlenmiştir. Buna göre, akım verilerinde

azalma eğilimi tespit edilen alt havza sayısının nispeten fazla olduğu görülmektedir. Bunlar içerisinde %5 ve daha az anlamlılık seviyesinde istatistik bakımdan önemli azalma eğilimine sahip olan alt havza sayısı ise 44 olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, akım verisinde artma eğilimi gösteren alt havzalar arasında yalnızca 1 tanesinde artma eğiliminin %5 anlamlılık seviyesinde istatistik bakımdan önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre; Kuzey Ege, Büyük Menderes, Yeşilirmak, Seyhan, Çoruh ve Van Gölü havzaları haricindeki yerlerde %5 ve daha az anlamlılık seviyesinde önemli eğilime sahip değişen sayılarda alt havzalar olduğu gözle çarpmaktadır.

## 5.2. Debinin Yağmur ve Potansiyelbuharlaşıma Olan Hassasiyeti

Türkiye'nin Fırat-Dicle havzasından seçile 45 alt havzada yağmur ve potansiyel buharlaşma duyarlılık katsayıları (sırasıyla  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$ ) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; tüm Havza için  $\epsilon_p$  kıymetleri 1.0 ile 2.87 arasında değişirken,  $|\epsilon_{Ep}|$  kıymetleri 0.0 ile -1.87 arasında değişip, ortalama kıymetleri ise sırasıyla 1.55 ile -0.55 olarak belirlendi. Bu nedenle Türkiye'de yağmura %10'luk bir artış (azalma) debida ortalama %15,5 bir artışa (azalmaya) neden olurken, öte yandan potansiyel buharlaşmada %10 artışın (azalmanın) ise yağmurlara neden olacağı bilinmektedir. Debida ortalama %5.5 bir azalma (artış). Burada ortalama kıymetler karşılaştırıldığında  $\epsilon_p$  kıymetinin  $|\epsilon_{Ep}|$  kıymetinden büyük olması Türkiye üzerinden debinin  $E_p$ 'ye göre  $P$ 'ye daha duyarlı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma için seçilen alt havzalara ait  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  'nin noktasal kıymetleri kullanılarak elde edilen alansal dağılım haritaları incelendiğinde,  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  değerlerinin ülke genelinde önemli farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Burada,  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  değerlerinin genel olarak doğudan batıya ve kuzeyden güneye doğru arttığı gözle çarpmaktadır. Buna göre, Debinin yağmur ve  $E_p$ 'ye olan hassasiyetinin batı ve güney bölgelerine doğru belirgin bir şekilde artış eğiliminde olduğu ve dolayısıyla bu bölgelerde iklim değişikliğinin akarsu akımları üzerindeki etkisinin nispeten daha fazla olduğu sonucuna varılmaktadır.

Fırat-Dicle havzasında seçilen 45 alt havzalar genelinde  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  kıymetleri ile debi faktörü ( $q/p$ ) arasında doğrusal olmayan bir bağlantı olduğu tespit edilmiştir. Her iki durumda da, değişkenler arasında çok yüksek düzeyde olmasa da negatif korelasyonlar bulundu. Bu nedenle, nispeten düşük deşarj katsayılarına sahip havzaların iklim değişikliğine daha duyarlı olduğu anlaşılabilir.

Türkiye havzaları için ayrı ayrı yapılan kıymetlendirmelerde, havzaların  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  ortalama kıymetleri arasında bariz birtakım farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Türkiye ortalama kıymetlerinden nispeten daha düşük kıymetler, genellikle ülkenin doğu, orta ve kuzey bölgelerindeki havzalarda elde edilmiştir. Buna göre, nehir akımlarının yağmur ve  $E_p$ 'deki değişimlere karşı hassasiyetinin ülkenin batı ve güney bölgelerindeki havzalarda daha fazla olduğu görülmektedir. Havzalarda noktasal kıymetler yardımıyla oluşturulan alansal dağılım haritaları, her bir havza içerisinde  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  iklim esnekliği katsayılarının değişimini görebilmemize imkân sağlamaktadır. Ayrıca, havzalarda debi faktörü ile  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  kıymetleri arasında elde edilen bağıntılar,  $\epsilon_p$  ve  $|\epsilon_{Ep}|$  kıymetlerindeki değişime karşı havza genelinde debi hassasiyetini belirlemeye yardımcı olmaktadır.

### 5.3. Debinin Kuraklık İndeksine Olan Hassasiyeti

Bu çalışma kapsamında göz önüne alınan 45 adet alt havzanın kuraklık göstergesi ( $\emptyset=Ep/P$ ) ortalaması 1,26 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, kuraklık göstergesi esas alınarak önerilen iklim rejimi sınıflamasına göre Türkiye'nin az nemli bir iklim özelliğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'nin Fırat-Dicle Havzasından seçilen alt havzalarda Debinin kuraklık göstergesi hassasiyeti faktörünün ( $\epsilon_0$ ) ortalama kıymeti -1,66 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, Türkiye genelinde kuraklık göstergesinde %10'luk bir artışın debida ortalama %16,6'lık bir azalışa neden olacağı görülmektedir.

Bölgeden seçilen alt havzalar için hesaplanan  $\epsilon_0$ 'nin noktasal kıymetleri yardımıyla elde edilen alansal dağılım haritası incelendiğinde,  $|\epsilon_0|$  değerlerinin genel olarak doğudan batıya doğru bir artış eğiliminde olduğu fark edilmektedir. Nispeten büyük kıymetlere daha çok ülkenin batısında yer alan havzalarda rastlanmaktadır. Dolayısıyla, bu bölgelerde Debinin iklimsel değişimlere karşı daha hassas olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'nin F-D nehir havzalarında göz önüne alınan alt havzalar için hesaplanan  $\epsilon_0$  ve debi faktörü ( $q/p$ ) kıymetleri arasında lineer olmayan bir bağıntı bulunduğu tespit edilmiştir. Burada görüldüğü üzere  $|\epsilon_0|$  kıymetleri debi faktöründeki azalışla birlikte artma eğilimindedir. Dolayısıyla, Havza genelinde debitaki azalmalarla birlikte iklim değişikliğine karşı hassasiyetin arttığı görülmektedir.

### 5.4. Son Kıymetlendirmeler ve Öneriler

Bu çalışmada, daha tutarlı ve güvenilir sonuçların elde edilmesi amacıyla her havzada olabildiği kadar çok sayıda alt havza belirlenmeye çalışılmıştır. Göz ardına olamamsı üzere burada sadece baraj etkisinde olmayan nehir akımları göz önüne alınmıştır. Bundan dolayı, bazı havzalarda az sayıda alt havza ile çalışılmıştır. Alt havza sayısını etkileyen bir diğer önemli etken ise akım verisi süresidir. Bu çalışmada olabildiği kadar yeterli uzunlukta akım verisi sahip olan alt havzalar seçilmiştir. Ancak, bazı durumlarda zorunlu olarak nispeten az sayıda verisi bulunan alt havzalar da göz önüne alınmıştır.

Hidrolojik modeller iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine muhtemel etkilerinin kıymetlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan kıymetlendirmelerde uygun bir modelin kullanılması ve yeterli düzeyde kalibre edilmesi halinde genellikle güvenilir tahmini sonuçlar elde edildiği anlaşılmaktadır. Yalnız, havza bazında uygun bir hidrolojik model yapısının tanımlanması ve çalıştırılması için gerekli verilerin temin edilmesi her zaman kolay olmamaktadır. Ayrıca, hidrolojik süreçlerin mekansal değişkenlik ve ölçek etkileri veya eksik temsili sebebiyle havza parametre kıymetlerinde birtakım belirsizlikler ortaya çıkmakta ve model sonuçları olumsuz yönde etkilenmektedir. Dolayısıyla, hataların en aza indirilmesi için belli sayıda model parametresinin genellikle zor ve zahmetli bir kalibrasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir.

Son yıllarda iklim esnekliği yaklaşımları, iklim değişikliğinin nehir debileri üzerindeki etkilerini incelemek için hidrolojik modellere alternatif olarak dünya çapında

yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada görüldüğü gibi, Türkiye'deki barajdan etkilenmeyen nehir debilerinin yağmur değişimlerine ve potansiyelbuharlaştırma kıymetlerine duyarlılığını belirlemek için etkin bir şekilde kullanılmıştır. Buradan elde edilen araştırma sonuçlarının Türkiye'deki su havzalarındaki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi konusundaki araştırmalara önemli katkılar sağlayacağı umulmaktadır.

Esasında iklim esnekliği yönteminin uygulaması nispeten kolay ve anlaşılır olup ihtiyaç duyulan hidrometeorolojik veriler debi, yağmur ve potansiyelbuharlaştırma hidro elektrik sistemleri abında kullanılan sıcaklıktan ibarettir. Bu yöntemde nispeten yüksek çözünürlüklü bölgesel iklim modelleriyle elde edilen yağmur ve sıcaklık tahminlerinin kullanılması, özellikle havza bazında iklim değişikliği etkilerine karşı gerçekleştirilecek uyum çalışmaları için önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

Son olarak, bu çalışmada göz önüne alınan alt havzalarda tarımsal sulama veya başka amaçlarla akarsudan su çekilmesinin söz konusu olması durumunda Akım Gözlem

İstasyonu verilerinin mümkün mertebe doğallaştırılması yoluna gidilebilir. Bu şekilde elde edilen akım kıymetleri ile yapılacak analiz sonuçlarının, burada sunulan bulgularla karşılaştırılması ile insan faaliyetlerinin etkisinin ortaya çıkarılabileceği tahmin edilmektedir.

## KAYNAKÇA

## Makaleler

- Aawar, T., Khare, D. 2020. Assessing the effects of climate change on river flow through hydrological modeling using SWAT models: a case study from Afghanistan. *Earth System and Environmental Modeling*, 6, 1427-1437. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00759-0>.
- Abbott, M. B., J. C. Bathurst, J. A. Cunge, P.E. O'Connell, and J. Rasmussen. 1986. An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen, 'SHE', 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modeling system. *Journal of Hydrology*, 87, 45-59.
- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V.K. 2020. Impacts of Global Climate Change on the Tigris-Euphrates River Basin. *Journal of Geoscience and Geotechnical Engineering*, 10(1), 49-98.
- Afshar MH, Şorman AT, Tosunoğlu F, Bulut B, Yılmaz MT, Mehr AD 2020. Assessment of climate change impacts on mild and extreme drought events using copulas over Ankara, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1045–1055.
- Ahmed A.U., Alam M. 1999. Develop climate change scenarios using atmospheric circulation models. In: Huq S, Karim Z, Asaduzzaman M, Mahtab F (eds) *Vulnerability and adaptation to climate change in Bangladesh*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9325-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9325-0_2).
- Aktürk, G. 2017. Türkiye'de farklı karakterdeki havzalarda yetersiz yağmurun çeşitli hidrolojik sistemlere etkilerinin araştırılması. Doktora Tezi, Amerikan İnşaat Mühendisliği, Bilim ve Teknoloji Akademisi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Albek., E. 2007. Küresel Isınma ve Su Kaynaklarına Etkisi, *TTMD Dergisi*, 47, 20-21.
- Alivi, A., Yıldız, O., Aktürk, G., 2021. İklim esnekliği yaklaşımıyla F-DNehri Havzası'nın yıllık ortalama Debinina iklim değişikliğinin etkileri, *Journal of the Fakülte Mühendislik ve Mimarlık, Gazi Üniversitesi*, 36 (3), 1449-1466. DOI: 10.17341/gazimmfd.739556.=m=
- Arıtürk, S.K., Ustaoglu, B. 2020. Salda Gölü Havzasında değişen iklim koşullarının etkilerinin belirlenmesi, *Anadolu Kültür Araştırmaları Dergisi*, 4(3), 233-249. makale
- Arora, V.K. 2002. İklim Değişikliğinin Yıllık Debi Üzerindeki Etkisini Kıymetlendirmek için Kuraklık Endeksinin Kullanılması. *Hidroloji Dergisi*, 265, 164-177.

- Balov, M. 2021. Impact of climate change on the floods in Bursa, Turkey. *International Journal of Engineering Technology IJET*, 6(4), 62-68. DOI: 10.19072/ijet.809818.
- Barnett, T., Malone, R., Pennell, W., Stammer, D., Semtner, B., Washington, W. 2004. The Effects of Climate Change on Water Resources in the West: Introduction and Overview. *Climatic Change*, 62, 1-11. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000013695.21726.b8>.
- Bathurst, J.C., 1986. Sensitivity analysis of European hydrological systems in highland watersheds. *Journal of Hydrology*, 87, 103-123.
- Bilici, Ö., Everest, A. 2017. 29 Aralık 2016 Mersin selinin meteorolojik analizi ve iklim değişikliği ile bağlantıları. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 22(38), 227-250.
- Bindlish, R., Barros, AP 2000, "Precipitation decomposition from one-way coupling of atmospheric and hydrological models in complex terrain regions," *Global and Planetary Change*, 25, 111-132.
- Bozkurt, D., Sen, O.L. 2011. Precipitation in the Anatolian Peninsula: Sensitivity to SST Elevation in Surrounding Seas. *Climate Dynamics* 36, 3-4, 711-726.
- Bozkurt, D., Sen, O.L. 2013. Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161.
- Bozkurt, D., Turuncoglu, U., Şen, O.L., Öno1, B., Dalfez, H. 2012. Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models in the Eastern Mediterranean-Black Sea region: a reference period assessment. *Climate Dynamics*, 39(1-2), 207-225.
- Buydko, MI, 1963. Evaporation under natural conditions, Israel Science Translation Program, Washington.
- Ceylan, A. 2005. İklim etkileri ve su kaynaklarının verimli kullanımı. 22 Mart Dünya Su Günü Paneli, İklim Değişikliğinin Suya Etkisi ve Enerji Konferansı, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Chandio, A.A., Öztürk, I., Akram, W., Ahmad, F., Mirani, A.A. 2020. Hububat Verimini Etkileyen İklim Değişikliği Faktörlerinin Ampirik Analizi: Türkiye'den Kanıt. *Çevre Bilimi Kirliliği Res* 27, 11944-11957. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07739-y>.
- Chang, J., Zhang, H., Wang, Y., Zhu, Y. 2016. İklim değişkenliğinin ve insan faaliyetinin debi değişiklikleri üzerindeki etkisini kıymetlendirin. *Hidroloji ve Yer Sistemi Bilimi*, 20, 1547-1560.
- Chatterjee, M., Roy, D., Das, S., Mazumdar, A. 2014. İklim değişikliği altında su kaynakları kıymetlendirmesi: Damodar Nehri Havzası, Hindistan. *ARNP Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 9(11), 2183-2191.

- Chen, M., Pollard, D., Barron, E.J. 2003. Comparison of future climate change in North America simulated by two regional models, *J. Geophysical Research*, 108, 4348, doi:10.1029/2002JD002738, D12.
- Chiew, F. 2006. Estimating the elasticity of precipitation in Australian rivers, *Hydrology*, 51(4), 613-625.
- Çetin, Ö., Eylen, M., Üzen, N.. 2008. GAP Bölgesinde İklim Değişikliği İçin Etkili Sulama Stratejileri, TMMOB İklim Değişikliği Sempozyumu, 264-281, 13-14 Mart, Ankara. Donner, L.J., Large, W.G., 2008. Annual Review of Climate Modeling, *Environment, and Resources*, 33 (1), 1-17.
- Dunne, T., Leopold, L.B, *Water in Environmental Planning*. Edited by W.H. Freeman & Company.(1978)
- Dunne, T., *Scientific principles of water resource management*. National Academy of Sciences Press, p. 127 (1982)
- Edwards, P.N. *The History of Climate Modeling*. *Wire Climate Change*, 2: 128-139. <https://doi.org/10.1002/wcc.95> .(2011).
- Eğilim Analysis of Electricity Flows in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289, 128-144. Kahya, E., Kalaycı, S. 2004.
- Feng, D. ve Beighley, E.: 2020. İklim değişikliği etki kıymetlendirmesi için hidrolojik model bileşenlerinden hidrolojik debilerdeki ve mevsimsellikteki belirsizliklerin belirlenmesi, *Hydrol. Earth System Science*, 24, 2253-2267.
- Fıstıkoğlu, Ö., Biberöğlu, E. 2008. Küresel iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisi ve uyum önlemleri, TMMOB İklim Değişikliği Belirtileri, 238-252, 13-14 Mart, Ankara.
- Fistikoglu, O., Okkan, U. 2011. Statistical reduction of monthly rainfall using NCEP/NCAR reanalysis data for the Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydrological Engineering*, 16(2), 157-164. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000300. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0000300>.
- Fu G, Barber ME, Chen S, 2007a. Impacts of Climate Change on Regional Hydrological Systems in the Spokane River Basin, *Journal of Hydrological Engineering*, 12(5), 452-461.
- Fu, G., Charles, S.P., Chiew, F.H.S. 2007b. A two-parameter index of runoff climate resilience for assessing the impact of climate change on annual runoff, *Water Resources Research*, 43, W11419.
- Fujihara Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., Kojiri, T., 2008. Assessing climate change impacts on water resources in the Seyhan River Basin, Turkey:

- Hydrological simulations using dynamic reduced data. *Journal of Hydrology*, 353(1-2), 33-48.
- Galip, A. 2006. Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları, *Diller Tarih ve Coğrafya Fakültesi Dergisi*, Ankara Üniversitesi 46 (2), 29-43.
- Gedney, N., Cox, P.M., Betts, R.A., Huntingford, C., Stott, P.A. 2006. Evidence for direct carbon dioxide effects in continental river runoff records. *Nature* 439(7078): 835-838.
- Gleck, P.H. 1986. Methods for assessing regional hydrological impacts of global climate change. *Journal of Hydrology*, 88, 97-116.
- Gleck, P.H. 1987. Development and Definition of a Water Balance Model for Climate Impact Assessment: Modeling the Sacramento Basin, *Water Resources Research*, 23(6), 1049-1061.
- Gleck, P.H. 1990. Vulnerability of water systems. *Climate Change and U.S. Water*, P. E. Wagoner (ed.), John Wiley & Sons. Company, pp. 223-240.
- Gong L, Xu C, Chen D, Halldin S, Chen YD 2006. Sensitivity of Penman-Monteith reference evapotranspiration to major climatic variables in the Yangtze River Basin. *Journal of Hydrology*, 3, 620-629.
- Grose MR, Brown JN, Narsey S, Brown JR, Murphy BF, Langlais C, Gupta AS, Moise AF and Irving DB. 2014. Western Tropical Pacific Climate System CMIP5 Global Climate Model Simulation Evaluation and Comparison with CMIP3. *International Journal of Climatology*, 34, 3382-3399. <https://doi.org/10.1002/joc.3916>.
- Hallegart, S.; Laycock, F. de Perthuis, C. 2011. Designing strategies to adapt to climate change: An economic framework. Policy Research Working Paper; no. WPS 5568. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/3335> License: CC BY 3.0 IGO.
- Hamid, K.H. 2008. Eğilim evidence in hydrological data: Mann-Kendall eğilim denetim is under scaling hypothidro elektrik sistemleri. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 350-363.
- Hamlet, A.F., Lettenmaier, D.P. 1999. Impacts of climate change on hydrology and water resources in the Columbia River Basin. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(6), 1597-1623.
- Hargreaves, G.H., Samani, ZA. 1985. Reference crop evapotranspiration. *Applied Technology Agriculture*, 1(2), 96-99..

- Hu, S., Liu, C., Zheng, H., Wang, Z., Yu, J. 2012. Assessing the impact of climate variability and human activities on river flow in the Baiyangdian water source. *Journal of Geographical Sciences*, 22(5), 895-905.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Science Foundation. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., et al. (eds)]. Cambridge University Press: Cambridge and New York.
- İDEP, 2012. İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara (<https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner591.pdf>).
- J Lelieveld, P Hadjinicolaou, E Kostopoulou, J Chenoweth, M El Mayar, C Giannakopoulos, C Hannides, MA Lange, M Tanarhte, E Tyrlis and Xoplaki, E., 2012. Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Journal of Climate Change*, 114(3-4), 667-687.
- Kaczmarek, Z Arnell, N.W., Starkel, L. 1996. Climate, Hydrology and Water Resources. Water management in the face of climate/hydrological uncertainty, International Institute for Applied Systems Analysis, The Netherlands, 3-29.
- Kadioğlu , M. Eğilims in surface air temperature data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 511-520. 1997 .
- Kadioğlu, M. Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine İlişkin İkinci Ulusal Bildirgesi, Türkiye'nin Doğal Afetler ve İklim Değişikliği Projesi faaliyetlerini desteklemek. 2012.
- Kanber, R, Baştuğ, R., Büyüктаş, D., Ünlü, M., Kapur, B. 2010. Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynakları ve Tarımsal Sulama Üzerindeki Etkisi, TMMOB ZMO, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Konferans Tutanakları Cilt 1, 11-15 Ocak, s. 83-118, Ankara.
- Karaman, S., Gökalp, Z. 2020. Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(1), 59-66.
- Klemes, V. 1979. Unreliability of reservoir performance reliability estimates based on short flow records. *Reliability in Water Management*, EA McBean, KW Hipel, and TE Unny, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, KA, Oki, T., Sen, Z., Shiklomanov, I.A. 2007. Freshwater resources and their management. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden

- PJ, Hanson CE (eds) 2007 Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, UK, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 73-210.
- Legesse, D., Vallet-Coulomb, C., Gasse, F. 2003. Hydrological responses to climate and land-use change in tropical African watersheds: a case study in south-central Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 275(1-2), 67-85.
- Lettenmaier, D. P., Gan, T.Y. 1990, "Hydrologic sensitivities of the Sacramento-San Joaquin River Basin, California, to global warming. *Water Resources Research*, 26(1), 69-86.
- Liu, X., Liu, W., Xia, J. 2013. Comparison of water flow sensitivity to drought index in Danjiangkou Reservoir and Miyun Reservoir basins, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(3-4), 683-691.
- Livesley G.H. 1994. Modelling the effects of climate change on water resources - a review. In: Frederick K.D., Rosenberg N.J. (Eds.) *Assessing the Impact of Climate Change on Natural Resource Systems*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-0207-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0207-0_8).
- Long, G.W. 1997. Modeling Columbia River flow with data from regional climate models. *Water Resources Research*, 33(6), 1275-1285.
- M Demircan, Ö Demir, H Atay, O Eskiöğlü, B Yazıcı, A Tuvan, A ve Akçakaya, 2014. Turkey Climate Change Predictions and New Scenarios, Conference on Climate Change and Climate Dynamics, 2014, CCCD, Istanbul, 8-10. September 2014 (<http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/8-ClimatChangeProjectionsForTurkey.pdf>).
- Ma, H., Yang, D., Tan, S.K., Gao, B., Hu, Q. 2010. Effects of climate variability and human activities on runoff reduction in the Miyun Reservoir watershed. *Journal of Hydrology*, 389(3-4), 317-324.
- Main River Basins. *Advances in Meteorology (Special Issue: Hydrological Processes in Changing Climate, Land Use, and Cover Change)*, vol. 2015, Article ID 924572, 8 pages, <https://doi.org/10.1155/2015/924572>.
- Man, H.B. 1945. Nonparametric determinants against eğilim, *Econometrika*, 13(3), 245-259.
- Mehr, A.D., Sorman, AU, Kahya, E., Afshar, AH. 2020. Impact of climate change on meteorological drought using SPI and SPEI: a case study in Ankara, Turkey. *Journal of Hydrological Sciences*, 65(2), 254-268.

- Memiş, L., Düzgün, S. 2020. Kentsel Alanlarda İklim Değişikliği ve Taşkınlar: Beşikdüzü Taşkın Vakası (2016). Karadeniz Uluslararası Bilim Dergisi, 1 (45), 252-279.
- Mendoza, P.A., Clark, M.P., Mizukami, N., Gutmann, E.D., Arnold, J.R., Brekke, L.D., Rajagopalan, B. 2016. How do hydrological modelling decisions affect the performance of climate change impacts? *Hydrological Processes*, 30, 1071-1095. doi: 10.1002/hyp.10684.
- Meyer, G. K., Orlob, GT, Jokiel, C. 1996. Effects of climate change on water quality in California's Central Valley. *Water management in the face of climate/hydrological uncertainty*, International Institute for Applied Systems Analysis, The Netherlands, 274-299.
- Nan, Y., Bao-hui, M., Chun-kun, L., 2011. Analysis of the impact of climate change on water resources. *Procedia Engineering*, 24, 643-648.
- Okkan, U., Fistikoglu, O. 2014. Assessing the impact of climate change on runoff by statistical downscaling and the hydrological model GR2M. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 343–361. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1005y>.
- Okkan, U., Kirdemir, U. 2016. Scale down monthly precipitation using a CMIP5 climate model running under RCP. *Meteorological Applications*, 23, 514-528. <https://doi.org/10.1002/met.1575>.
- Önol, B. 2012. Effects of coastal topography on climate: High-resolution simulations of regional climate models. *Climate Research*, 52, 159–174. doi: 10.3354/cr01077.
- Önol, B., Ünal, Y. 2014. Climate modelling assessment of the Turkish climate zone. *Regional Environmental Change* 14, 1921-1935.
- Özdoğan, M. 2011. Effects of climate change on snow availability in the Euphrates-Tigris River Basin. *Hydrology and Earth System Science*, 8, 3631-3666.
- Özdoğan, M. 2011. Modelling the impact of climate change on wheat yields in northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141(1-2), 1-12.
- Öztürk, K. 2002. Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. *Gazi Eğitim Enstitüsü Dergisi*, Gazi Üniversitesi, 22(1), 47-65.
- Panagouli, D. 1991. Hydrological responses to climate change in a mid-sized mountain watershed. *Hydrological Sciences*, 36(6), 525-547.

- Panagoulia, D., Dimou, G. 1995. Groundwater-Stream Interactions Under Climate Change,” Human Impacts on Freshwater Ecosystems and Water Use (Proceedings of the Boulder Symposium), IAHS Publication No. 230.
- Partal, T., Kahya, E. 2006. Eğilim Analysis in Turkish Precipitation Data, Hydrological Processes, 20, 2011-2026.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y. et al. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467, 43–51. <https://doi.org/10.1038/nature09364>.
- Pike, J. 1964. The estimation of annual runoff from meteorological data in a tropical climate. *Journal of Hydrology*, 2 (2), 116-123.
- 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.
- Poschlod, B., Willkofer, F., Ludwig, R. 2020. Impact of Climate Change on the Hydrological Regimes in Bavaria. *Water*, 12(6), Article No: 1599. <https://doi.org/10.3390/w12061599>.
- Ragab, R., Prudhomme, C. 2002. Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Challenges for the 21st Century. *Biosystems Engineering*, 81(1), 3-34.
- Salewicz, K. 1996. Impact of climate change on the Lake Kariba hydropower scheme. *Water Resources Management in the Face of Climatic/Hydrologic Uncertainties*, International Institute for Applied Systems Analysis, the Netherlands, 300-321.
- Sankarasubramanian A., Vogel, R.M., Limbrunner, J.F. 2001. Climate elasticity of streamflow in the United States. *Water Resources Research*, 37(6), 1771-1781.
- Schaake, J.C. 1990. *From Climate to Flow*, Editor: Waggoner, P.E., Climate Change and U.S. Water Resources, New York, John Wiley and Sons, 177-206.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B. and Warner, J. F. 2012. Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52, 175–191.
- Serbeş, Z.A., Yıldırım, T., Mengü, G.P., Akkuzu, E., Aşık, Ş., Okkan, U. 2019. Temperature and precipitation projections under Ar4 scenarios: The case of Kucuk Menderes Basin, Turkey. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(1), 44-51. <https://hdl.handle.net/20.500.12462/10617>.

- Seymenov, K. 2020. 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.
- Sharma, H. and J. Singh, "Run off river plant: status and prospects", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, vol. 3, iss. 2, pp. 210- 213, July, 2013.
- Sönmez, A.Y., Kale, S. 2020. Climate change effects on annual streamflow of Filyos River (Turkey). Journal of Water and Climate Change, 11 (2): 420–433.
- Sun, S., Chen, H., Ju, W., Song, J., Zhang, H., Sun, J., Fang, Y. 2013. Effects of climate change on annual streamflow using climate elasticity in Poyang Lake basin, China. Theoretical and Applied Climatology, 112 (1-2), 169-183.
- Surfleet, C.G., Tullos, D., Chang, H., Jung, I.W. 2012. Selection of hydrologic modeling approach hidro elektrik sistemleri for climate change assessment: A comparison of model scale and structures. Journal of Hydrology, 464–465, 233-248.
- Swain, S.S., Mishra, A., Sahoo, B., Chatterjee, C. 2020. Water scarcity-risk assessment in data-scarce river basins under decadal climate change using a hydrological modelling approach. Journal of Hydrology, 590, 125260. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125260>.
- Şen, O.L., Unal, A., Bozkurt, D., Kindap, T. 2011. Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections. Environmental Research Letters, 6, 024012, doi:10.1088/1748-9326/6/2/024012.
- Şen, Ö.L. 2013. Türkiye'de iklim değişikliğinin bütünsel resmi. Türkiye'de İklim Değişikliği Kongresi (TİKDEK 2013), 3-5 Haziran, İstanbul.
- Şen, Z. 2005. İklim Değişikliği ve Su Kaynaklarına Etkisi. 22 Mart Dünya Su Günü Paneli, İklim Değişikliğinin Su ve Enerji Kaynaklarımıza Etkisi Bildiriler Kitabı. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Şen, Z. 2012. Innovative Eğilim Analysis Methodology. Journal of Hydrologic Engineering, 17(9), 1042-1046.
- Şen, Z. 2017. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri, Su Vakfı İklim Bülteni Sayı 3, pp. 15, İstanbul.

- Tayanç, M., İm, U., Doğruel, M., Karaca, M. 2009. Climate change in Turkey for the last half century. *Climatic Change*, 94, 483–502, <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9511-0>.
- Temur T. 2017. Susurluk Havzası Sıcaklık ve Yağmur Eğilimleri, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2017, İstanbul.
- Teutschbein, C., Seibert, J. 2010. Regional Climate Models for Hydrological Impact Studies at the Catchment Scale: A Review of Recent Modeling Strategies, *Geography Compass*, 4(7), 834-860.
- Toros, H. 2012. Spatio-Temporal Variation of Daily Extreme Temperatures over Turkey. *International Journal of Climatology*, 1047-1055.
- Turan, E.S. 2018. Türkiye'nin İklim Değişikliğine Bağlı Kuraklık Durumu. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(1), 63-69, DOI: 10.213247/dacd.357384.
- Turc, L. 1953. Le bilan d'eau des Sols: relations entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Ann Agron*, 5, 491-569.
- Türkeş, M., Turp M.T., An N., Ozturk T., Kurnaz M.L. 2020. Impacts of Climate Change on Precipitation Climatology and Variability in Turkey. In: Harmancioglu N., Altinbilek D. (eds) *Water Resources of Turkey*. World Water Resources, vol 2. Springer, Cham.
- Turp, M. T. , Öztürk, T. , Türkeş, M., Kurnaz, M. L. 2014. RegCM4.3.5 Bölgesel İklim Modelini Kullanarak Türkiye ve Çevresi Bölgelerinin Yakın Gelecekteki Hava Sıcaklığı ve Yağmur Klimatolojileri İçin Öngörülen Değişikliklerin İncelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23 (1) , 1-24.
- Türkeş, M. 1998. Influence of Geopotential Heights, Cyclone Frequency and Southern Oscillation on Rainfall Variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 649-680.
- Türkeş, M. 1999. Vulnerability of Turkey to Desertification with Respect to Precipitation and Aridity Conditions. *Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*, 363-380.
- Türkeş, M. 2008. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 45-64.
- Türkeş, M. 2012. Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.

- Türkeş, M. 2020. İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretim ve Gıda Güvenliğine Etkileri: Bilimsel Bir Kıymetlendirme. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29 (1), 125-149.
- Türkeş, M., Koç, T., Sariş, F. 2009. Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29, 1056-1074.
- Uzuner, G.Ç, Gökcan, M., Karateke, V., Güven, E., Öztopal, A. 2021. Balıkesir Yıllık Maksimum Yağmurlarının Eğilim Analizi, *Su Vakfı Bülteni: Sayı 001, Su Vakfı, İstanbul*.
- Ümit, Y., Güler, C., ÖnoI, B., Rode, M., Jomaa, S. 2021. Modelling of the Discharge Response to Climate Change under RCP8.5 Scenario in the Alata River Basin (Mersin, SE Turkey). *Water*, 13(4): 483. <https://doi.org/10.3390/w13040483>.
- Ünal, Y., Tan, E., Menten, S. 2013. Summer Heat Waves Over Western Turkey Between 1965 and 2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 339-350.
- Ünal, Y.S.; Deniz, A.; Toros, H.; Incecik, S. 2012. Temporal and Spatial Patterns of Precipitation Variability for Annual, Wet, and Dry Seasons in Turkey. *International Journal of Climatology*, 392-405.
- Wang, H., He, K. 2017. 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.
- Wang, H., Yu, X. 2015. Sensitivity analysis of climate on streamflow in north China. *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 391–399 <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1289-6>.
- Wang, W., Shao, Q., Yang, T., Peng, S., Xing, W., Sun, F., Luo, Y. 2013. 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.
- Yano T, Aydin M, Haraguchi T. 2017. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. *Sensors*, 7(10), 2297-2315. <https://doi.org/10.3390/s7102297>.
- Yavuz, H., Erdoğan, S. 2012. Spatial analysis of monthly and annual precipitation eğilims in Turkey. *Water Resources Management*, 26, 609-621.
- Yenigün, K., Gümüş, V., Bulut, H. 2008. Eğilims in steramflow of the Euphrates basin, Turkey. *Water Management*, 161(4), 189-198.

- Yenigün, K., Ülgen, M. 2016. İklim değişikliği ekseninde maksimum akım verilerindeki eğilimler ve baraj güvenliğine etkisinin izlenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7 (2), 343-353.
- Yıldız, V. “Numerical simulation model of run of river hydropower plants: concepts, numerical modeling, turbine system and selection, and design optimization”, M. Sc. Thidro elektrik sistemleri is, University of California, California, USA, 2015.
- Yildiz, O., Barros, A.P. 2005. Climate Variability and Hydrologic Extremes-Modeling the Water and Energy Budgets in the Monongahela River Basin, Editors: De Jong, C., Colins, D., Ranzi, R., Climate and Hydrology in Mountain Areas, John Wiley and Sons, New York, 303–318.
- Yildiz, O., Barros, A.P. 2007. Elucidating vegetation controls on the hydroclimatology of a mid-latitude basin. *Journal of Hydrology*, 333, 431–448.
- Yilmaz, A.G., Imteaz, M.A. 2011. Impact of climate change on runoff in the upper part of the Euphrates basin. *Hydrological Sciences Journal*, 56 (7), 1265-1279.
- Yu, Z., Lakhtakia, M.N., Yarnal, B., White, R.A., Miller, D.A. Frakes, B., Barron, E. J., Duffy, C. Schwartz, F.W. 1999. Simulating the river-basin response to atmospheric forcing by linking a mesoscale meteorological model and hydrologic model system. *Journal of Hydrology*, 218, 72-91.
- Yucel, I., Güventürk, A., Sen, O.L. 2015. Climate change impacts on snowmelt runoff for mountainous transboundary basins in eastern Turkey. *International Journal of Climatology*, 35, 215-228. <https://doi.org/10.1002/joc.3974>.
- Zhang, Y., Li, H. 2019. Reggiani, P., Climate variability and climate change impacts on land surface, hydrological processes and water management. *Water*, 11 (7), 1492.
- Zheng, H., Zhang, L., Zhu, R., Liu, C., Sato, Y., Fukushima, Y. 2009. Responses of streamflow to climate and land surface change in the headwaters of the Yellow River basin. *Water Resources Research*, 45 (7), 641-655.
- Zhou, X., Zhang, Y., Yang, Y. 2015. Comparison of Two Approachidro elektrik sistemleri for Estimating Precipitation Elasticity of Streamflow in China’s.

### **Tezler**

- Akyürek, M. 2003. Türkiye'de Yıllık Ortalama Trafik Eğilim Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Enstitüsü. (tez)

- Binarbaşı, O., “Mikro Hidroelektrik Santrali Tabanlı Mikroişlemci Tabanlı Hız Yönetim Sisteminin Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- Erlat, E. 2009. İklim Sistemi ve İklim Değişikliği, Eger Üniversitesi Yayınları, Edebiyat Fakültesi Yayın No. 155, İzmir, S25-26; 30-32.
- Mearns, L.O., Gleick, P.H., Schneider, S.H. 1990. climate forecast. *Climate Change and U.S. Water*, P. E. Wagoner (ed.), John Wiley & Sons. Company, pp. 87-137.
- Nash L.L., Gleick P.H. Sensitivity of Colorado Basin Water Flow to Climate Change. *Journal of Hydrology*, 125(3-4): 221-241. 1991.
- Obeyskera, J., Barnes, J., Nungesser, M. 2015. Climate Sensitivity Operational and Regional Hydrological Models Predicting Greater Florida Everglades Ecosystem Responses to Climate Change, *Environmental Management*, 55, 749–762 DOI 10.1007/s00267-014-0315-x.
- Okkan, U. 2013. İklim değişikliğinin nehir debileri üzerindeki etkilerinin kıymetlendirilmesi. Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ, Dokuz Ellur Üniversitesi, İzmir.
- Okkan, U., Inan, G. 2015. Statistical Reduction of Monthly Reservoir Inflows in the Kemer Basin, Turkey: Using Machine Learning Methods, Multiple GCMs, and Emission Scenarios. *International Journal of Climatology*, 35: 3274-3295. <https://doi.org/10.1002/joc.4206>.
- Özdoğan, M., 2011. Climate change affects the availability of snow water in the Euphrates-Tigris River Basin. *Hydrology and Earth System Science*, 8, 3631-3666.
- Palazzi E, Mortarini L, Terzago S, Hardenber JV 2019. Altitude-dependent warming in high spatial resolution global climate model simulations. *Climate Dynamics*, 52, 2685-2702. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4287-z>.
- Şen, O. 2019. İklim ve hidrolojik modeller ile Rize'de bulunan su havzalarının taşkın risk tayini. Doktora Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Toros, H. 1993. Klimatolojik Serilerden Türkiye İkliminde Eğilim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Tosunoğlu, F. 2014. Türkiye’deki Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklıkların Atmosferik Salınımlarla Olan İlişkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Üstün, H.G. 2008. İklim Değişiminin Su Kaynakları Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Yıldırım, A. 2015. Eğilim Analizi Yöntemleri: Orta Fırat Havzası Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

### **Kitaplar**

- Carter, T.R., Parry, M.L., Nishioka, S., Harasawa, H. 1992. A preliminary guide to assessing the impacts of climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.
- European Small Hydropower Association, Guidelines on how to develop small hydropower plants, 2004.
- Fowler, A. 1999. Potential impacts of climate change on water resources in the Auckland Region (New Zealand), Climate Research, 11, 221-245.
- IPCC, 2019. Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson- Delmotte, H.-O. Pörtner, DC Roberts, Zhai P, Slade R, Connors S, van Diemen R, Ferrat M, Haughey E, Luz S, Neogi S,
- Kadioğlu, M. Bildiğimiz havanın sonu, küresel iklim değişikliği ve Türkiye. Sia Kitap, İstanbul. 2001.
- Kendall, M.G. 1948. Sıralı Yöntemler, Griffin, Oxford, İngiltere.
- Loucks, D.P., Stedinoer, J.R., Haith, DA. 1981. Planning and analysis of water resource systems. Prentice Hall, Inc., p. 559.
- Miller, J.R., Russell, GL. 1992. The impact of global warming on river runoff. Journal of Geophysical Research, 97(D3), 2757-2764.
- Milly PCD, Betancourt J, Falkenmark M, Hirsch RM, Kundzewicz ZW, Lettenmaier DP, Stouffer RJ 2008. Stability is dead: The place for water management. Science, 319(5863), 573-574.

- Milly PCD, Betancourt J, Falkenmark M, Hirsch RM, Kundzewicz ZW, Lettenmaier DP, Stouffer RJ 2008. Stability is dead: The place for water management. *Science*, 319(5863), 573-574.
- Mohawesh, O.E., Talazi, S.A. 2012. Comparison of Hargreaves and FAO56 equations to estimate monthly evapotranspiration in semi-arid and arid environments. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(3), 321-334.
- Oki, T., Musiake, K., Matsuyama, H., Masuda, K. Global atmospheric moisture balance and runoff in major river basins. *Hydrological Processes*, 9, 655–678. (1995)
- Önol, B., Semazzi, F. 2009. Regionalization of climate simulations in the Eastern Mediterranean. *Climate Journal*, 1944-1961.
- Pathak M, Petzold J, Portugal Pereira J, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (Eds.)]. in print.
- Tatlı, H., Turkes, M. 2008. Türkiye'deki 2006/2007 kuraklığı ile geniş ölçekli atmosferik değişkenler arasındaki bağlantının lojistik regresyonla belirlenmesi, IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı: 516-527. İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, 25-28 Mart 2008, İstanbul.
- Türkeş, M. 2003. Küresel İklim Değişikliği ve Gelecekteki İklimimiz. İçinde: M. Türkeş, (ed.), 23 Mart Dünya Meteoroloji Günü Kutlaması Gelecekteki İklimimiz Paneli, Bildiriler Kitabı: 12-37, Meteoroloji Genel Müdürlüğü: Ankara.

## **Raporlar**

- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Fundamentals of Physical Science. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., et al. (eds)]. Cambridge University Press: Cambridge and New York.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Fundamentals of Physical Science. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., et al. (eds)]. Cambridge University Press: Cambridge and New York.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: Fundamentals of Physical Science. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental*

Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. . Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.

Kaczmarek, Z., Krasuski, D., Sensitivity of water balance to climate change and variability, IIASA Working Paper WP-91-047, 1991.

MGM, 2015. Yeni Senaryolar Kapsamında Türkiye İklim Tahmini ve İklim Değişikliği, TR2015-CC, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

Şen Z, Uyumaz A., Öztopal A., Cebeci M., Küçükmehtemoğlu M., Erdik T., Sırdaş S., Şahin A.D., Geymen A., Ceylan V., Oğuz S., Karsavran Y., 2010. İklim Değişikliğinin İstanbul ve Türkiye Su Kaynakları Geleceğine Tesirleri Projesi Nihai Raporu. İSKİ Projesi, 552 sayfa.

SYGM, 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fikli%20su%20kaynaklar%20B1na%20etkisi/Iklim\\_NihaiRapor.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fikli%20su%20kaynaklar%20B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf).

SYGM, 2020. İklim Değişikliği ve Uyum. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fikli%20su%20kaynaklar%20B1na%20etkisi/iklimkita p2020.pdf>.

Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2013. The Drought Indices Calculator (DriC), 8th International Conference of EWRA, Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context, Porto, Portugal, 1333-1342, 26-29 June 2013.

### **Web Siteleri**

WWF Türkiye. 2010. Türkiye'nin Yarınları Projesi Sonuç Raporu, Doğal Hayatı Koruma Vakfı. <https://www.wwf.org.tr/?3420/turkiyeninyarinlarraporu.2021>

[www.dsi.gov.tr/FaaliyetRaporlari-Istatistikler.2021](http://www.dsi.gov.tr/FaaliyetRaporlari-Istatistikler.2021)

[www.euas.gov.tr/FaaliyetRaporlari.2021](http://www.euas.gov.tr/FaaliyetRaporlari.2021)

[www.teias.gov.tr/FaaliyetRaporlari-Istatistikler.2021](http://www.teias.gov.tr/FaaliyetRaporlari-Istatistikler.2021)

