

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YUKARI FIRAT HAVZASI AKIM ZAMAN SERİLERİNİN TRENDSEL
DAVRANIŞI: AYLIK, MEVSİMSSEL VE YILLIK ÖLÇEKTE DEĞERLENDİRME**

Gülçin TANAS SAVAŞ

Danışman: Prof. Dr. Neşe ERTUGAY

TEZ JÜRİ ÜYELERİ
Prof. Dr. Neşe ERTUGAY
Doc. Dr. Okan Mert KATİPOĞLU
Doc. Dr. Veysi KARTAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ERZİNCAN, 2026

© 2026 [Gülçin TANAS SAVAŞ]. Tüm hakları saklıdır.

ÖZET

YUKARI FIRAT HAVZASI AKIM ZAMAN SERİLERİNİN TRENDSEL DAVRANIŞI: AYLIK, MEVSİMSSEL VE YILLIK ÖLÇEKTE DEĞERLENDİRME

Gülçin TANAS SAVAŞ

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Neşe ERTUGAY

2026, 65 sayfa

Küresel iklim değişikliği, hidrolojik döngü üzerinde önemli etkiler yaratarak yağış rejimleri, buharlaşma, akım ve yeraltı suyu seviyeleri gibi hidrometeorolojik parametrelerde belirgin değişimlere yol açmaktadır. Bu bağlamda, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından akım trendlerinin uzun dönemli analizi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Fırat Havzası'nda yer alan üç akım gözlem istasyonuna ait ortalama 60 yıllık akım verileri kullanılarak, hidrolojik zaman serilerindeki trendsel değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, hem klasik hem de yenilikçi istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanan yöntemler arasında Yenilikçi Şen Trend (YŞT), Yenilikçi Şen Trend Eğim (YŞTE), Mann-Kendall (MK), Spearman Sıra Korelasyonu (SSK) ve Ardışık Mann-Kendall (ARMK) yer almaktadır. Bu yöntemler aracılığıyla akım verilerinde istatistiksel olarak anlamlı eğilimlerin yönü (artan, azalan ya da durağan), eğilimlerin büyüklüğü ve zaman içerisindeki olası değişim noktaları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Fırat Havzası'ndaki hidrolojik değişkenliğin mekânsal ve zamansal dağılımını ortaya koymakta; havza ölçeğinde su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine ve iklim değişikliğinin bölgesel etkilerinin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Trend analizi, Akım verileri, Yukarı Fırat havzası

ABSTRACT

TREND BEHAVIOR OF FLOW TIME SERIES IN THE UPPER EUPHRATES BASIN: EVALUATION ON A MONTHLY, SEASONAL, AND ANNUAL SCALE

Gülçin TANAS SAVAŞ

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and
Technology,**

Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Neşe ERTUGAY

2026, 65 pages

Global climate change has significant impacts on the hydrological cycle, leading to significant changes in hydrometeorological parameters such as precipitation regimes, evaporation, runoff, and groundwater levels. In this context, long-term analysis of streamflow trends is of great importance for the sustainable management of water resources. This study aimed to determine trend changes in hydrological time series using average 60-year streamflow data from three streamflow observation stations in the Euphrates Basin. Both classical and innovative statistical analysis methods were used within the scope of the study. The applied methods include the Innovative Şen Trend Method (ITA), Şen Trend Slope (ITAS), Mann-Kendall (MK), Spearman's Rank Correlation (SRC) and Sequential Mann-Kendall (SQMK). Using these methods, the direction of statistically significant trends in streamflow data (increasing, decreasing, or stationary), the magnitude of the trends, and possible change points over time were analyzed. The results reveal the spatial and temporal distribution of hydrological variability in the Euphrates Basin and contribute to the development of water management strategies at the basin scale and the assessment of the regional impacts of climate change.

Keywords: Trend analysis, Flow data, Upper Euphrates basin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanması sürecinde; sahip olduğuengin bilgi birikimi, akademik rehberliği ve değerli katkılarıyla her aşamada bana yol gösteren, karşılaştığım tüm güçlüklerde desteği ve yüreklendirici yaklaşımıyla yanımda olan çok kıymetli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Neşe ERTUGAY’a sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım. Bu çalışmam sürecinde değerli katkıları ve destekleriyle çalışmama önemli ölçüde katkı sağlayan Doç. Dr. Okan Mert Katipoğlu’na teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmamda AGİ verilerini temin ettiğim DSİ 8. Bölge Müdürlüğü personellerine çok teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim sürecinde başarılarımla gurur duyan ve bana her zaman güvenen sevgili annem Müzeyyen TANAS ve babam Zeki TANAS’a, teknik desteğini ve sabrını esirgemeyen kıymetli eşim ve meslektaşım Tamer SAVAŞ’a; her daim yanımda olan evlatlarım Ali Serdar, Yusuf Selim ve Bade Su’ya teşekkür ederim.

Gülçin TANAS SAVAŞ

Ocak, 2026

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Araştırmanın Amacı	3
1.2. Araştırmanın Önemi	3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Hidroloji ve Akım Kavramı.....	5
2.2. Havza Kavramı ve Fırat Havzası'nın Hidrolojik Özellikleri.....	5
2.3. İklim Değişikliği ve Akım Trendleri	6
2.4. Hidrolojik Zaman Serileri Analizi	7
2.5. Su Kaynakları Yönetimi ve Planlamada Trend Analizinin Yeri	7
2.6. Trend Analizi Yöntemleri.....	8
2.6.1. Akım Kuraklık İndisi.....	8
2.6.2. Mann-Kendall (MK) Testi.....	8
2.6.3. Şen Trend Eğim Yöntemi	8
2.6.4. Yenilikçi Şen Trend Yöntemi.....	9
2.6.5. Spearman Sıra Korelasyon Testi (SSK)	9
2.6.6. ArdışıkMann-Kendal (ARMK) Testi	9
2.6.7. Lineer Regresyon.....	9
2.7. Kaynak Özetleri.....	10
3. YÖNTEM	15
3.1. Çalışma Alanı ve Veriler	15
3.2. Yenilikçi Şen Trend (YŞT) ve Yenilikçi Şen Trend Eğim (YŞTE) Yöntemi	16
3.3. Mann-Kendall (MK) Testi.....	18
3.4. Ardışık Mann-Kendal (ARMK) Testi	19
3.5. Spearman Sıra Korelasyon Testi (SSK)	21
4. BULGULAR	22
4.1. Yenilikçi Şen Trend (YŞT) ve Yenilikçi Şen Trend Eğim (YŞTE) Yöntemi	22
4.2. Mann-Kendal Testi (MK).....	39
4.3. Spearman Sıra Korelasyonu (SSK)	43

5. TARTIşMA VE SONUÇ.....	56
KAYNAKÇA	59
ÖZGEÇMİş.....	65



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Fırat Havzası akım gözlem istasyonları	15
Tablo 2. D21A001 istasyonu akım verilerine ait YŞTE Analiz sonuçları	36
Tablo 3. E21A019 istasyonu akım verilerine ait YŞTE Analiz sonuçları.....	37
Tablo 4. E21A051nolu istasyonu akım verilerine ait YŞTE Analiz sonuçları.....	38
Tablo 5. MK metoduna ait istatistiksel sonuçlar	42
Tablo 6. SSK metoduna ait istatistiksel sonuçlar	44



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İstasyonlara ait konum haritası.....	16
Şekil 2. YŞT yönteminin yorumlanması (Şişman ve Kızılöz 2021).	17
Şekil 3. YŞT yöntemine dayalı eğilimlerin kavramsal gösterimi (Kesgin, 2025).	23
Şekil 4. D21A001 istasyonuna ait aylık YŞT analiz sonuçları	25
Şekil 5. D21A001 istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık YŞT analiz sonuçları	27
Şekil 6. E21A019 istasyonuna ait akım verilerinin aylık YŞT analiz sonuçları	29
Şekil 7. E21A019 istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık YŞT analiz sonuçları.....	31
Şekil 8. E21A051 nolu istasyonuna ait akım verilerinin aylık YŞT analiz sonuçları	32
Şekil 9. E21A051 nolu istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık YŞT sonuçları ..	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
AKİ	Akım Kuraklık İndisi
ARMK	Ardışık Mann Kendall
CL	Güven Aralık Değeri
DSİ	Devlet Su İşleri
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
Lag-1	1 Aylık Gecikme
MK	Mann-Kendall
n	Ana Zaman Serisi Veri Sayısı
NYİ	Normalleştirilmiş Yağış İndisi
p	Trend Anlamlılık düzeyi
R _i	Sıra İstatistiği
S	MK Test İstatistiği
Sign	İşaret Fonksiyonu
SSK	Spearman Sıra Korelasyonu
ŞTE	Şen Trend Eğim
$\bar{x}$	Birinci Zaman Serisi Ortalaması
x _j	j Zamanındaki Gözlem
$\bar{y}$	İkinci Zaman Serisi Ortalaması
YŞT	Yenilikçi Şen Trend
t	ARMK Test İstatistiği
TŞY	Thiel Şen Yaklaşımı
z	Trend Anlamlılık Seviyesi
ρ_{xy}	İlk Ve İkinci Yarılar Arasındaki Çapraz Korelasyon
r _{ssk}	SSK Test İstatistiği
SYŞT	Trend Eğimi
x _k	k Zamanındaki Gözlem
t _{ssk}	r _{ssk} 'nın test istatistiği
u(t)	İleriye Doğru Sıralı İstatistik
u'(t)	Geriye Doğru Sıralı İstatistik
σ_s	Trend Eğimi Standart Sapması
σ	Ana Zaman Serisinin Standart Sapması

1. GİRİŞ

Su, canlı yaşamının devamı ve sosyo-ekonomik gelişme açısından vazgeçilmez bir doğal kaynaktır. Tarih boyunca yerleşimlerin kurulması, tarımsal üretim ve ekonomik faaliyetler büyük ölçüde su kaynaklarının varlığına ve sürekliliğine bağlı olarak şekillenmiştir. Günümüzde ise nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi etmenler, mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı önemli ölçüde artırmaktadır.

Nüfus artışıyla birlikte sanayileşmenin hız kazanması, enerji talebinin yükselmesi ve tarımsal üretimde çeşitliliğin artması, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı giderek artırmaktadır. Bu süreçte özellikle fosil yakıtların yoğun kullanımı sonucu atmosfere salınan sera gazları, küresel ısınma başta olmak üzere pek çok çevresel sorunu beraberinde getirmektedir (Zhou vd., 2023). Küresel ısınmanın etkilerinin en belirgin biçimde hissedildiği doğal kaynakların başında ise su kaynakları gelmektedir. Yeryüzünün yaklaşık dörtte üçünü su kaplamasına rağmen, Dünya üzerindeki tatlı su kaynakları toplam su varlığının yalnızca %2,5'ini oluşturmaktadır (Ahmad vd., 2023). Bu sınırlı tatlı su potansiyeli, iklim değişikliği, nüfus artışı ve artan su talebiyle birlikte hem ekonomik hem de sosyal ve çevresel boyutlarda küresel ölçekte ciddi sorunlara yol açmaktadır. Nitekim mevcut eğilimlerin devam etmesi durumunda, su kıtlığı yaşayan nüfusun bir yüzyıl içinde yaklaşık 16 kat artacağı öngörülmektedir (Li vd., 2023). Bu nedenle, hayati öneme sahip ve kısıtlı bir doğal kaynak olan suyun, artan nüfusun gereksinimlerini karşılayabilmesi için etkin ve tasarruflu kullanımının sağlanması, aynı zamanda kuraklık riskini dikkate alan bütüncül planlama ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Wang vd., 2023).

Küresel iklim değişikliği; yağış rejimlerinde düzensizlikler, sıcaklık artışları, buharlaşma oranlarındaki yükseliş ve ekstrem hidrolojik olayların sıklığında artış gibi etkilerle hidrolojik döngüyü doğrudan etkilemektedir. Bu değişimler, özellikle nehir akımlarında azalma veya mevsimsel düzensizlikler şeklinde ortaya çıkarak su kaynaklarının planlanmasını ve yönetimini zorlaştırmaktadır. Yarı kurak ve karasal iklim özelliklerinin hâkim olduğu bölgelerde bu etkiler daha belirgin olup, hidrolojik kuraklık riski artmaktadır.

Türkiye, coğrafi konumu ve iklim özellikleri nedeniyle iklim değişikliğine karşı hassas ülkeler arasında yer almaktadır (Kırtorun ve Karaer, 2018; Türkeş, 2006). Özellikle Doğu ve

Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer alan büyük nehir havzalarında, uzun dönemli akım değişimlerinin izlenmesi su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda Fırat Havzası; tarımsal sulama, hidroelektrik enerji üretimi ve içme suyu temini açısından stratejik bir konuma sahip olup, akım rejimindeki olası değişimlerin bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hidrolojik zaman serilerinde meydana gelen uzun dönemli değişimlerin ortaya konulmasında trend analizleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Trend analizleri, akım verilerinde zaman içerisinde istatistiksel olarak anlamlı artış, azalış veya durağanlık durumlarının belirlenmesine olanak tanıyarak, geleceğe yönelik su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine bilimsel bir zemin sunmaktadır. Bu amaçla literatürde Mann-Kendall (Karakuş ve Güler, 2022), Spearman Sıra Korelasyonu ve Şen tarafından geliştirilen yenilikçi trend yöntemleri (Tugrul ve Hınıs, 2023; Aydın, 2023), gibi parametrik olmayan istatistiksel yaklaşımlar sıklıkla tercih edilmektedir.

Fırat Nehri, Doğu Anadolu'da membalanan, Türkiye ve Suriye'den sonra Basra Körfezi'ne ulaşarak sınır aşan diye değerlendirilen önemli bir akarsudur. Yukarı Fırat Havzası'nda nehrin hidrolojik rejimi, iklim koşulları, yükselti ve kar örtüsünün belirleyici etkiye sahiptir. Fırat Nehri kar erimesi ve yağışların birarda olduğu akım rejimi olan karma akarsu rejimi özelliği göstermektedir. İlkbaharda kar erimesine bağlı olarak akımlar yüksek seviyelere ulaşır, yazları ise azalan yağış ve artan buharlaşmadan dolayı ciddi düşüşler gözlenmektedir. Sonbahar ve kış aylarındaki akımlar ise rejim üzerinde daha az etkiye sahiptir.

Sınır aşan bir akarsu olan Fırat Nehri, bu hidrolojik özellikleri nedeniyle uluslararası su hukuku açısından stratejik öneme sahiptir. Akımın mevsimsel dağılımı; baraj işletimi, sulama ve taşkın yönetimi gibi konularda kıyıdaş ülkeler arasındaki ilişkileri doğrudan etkilemekte olup, nehrin hidrolojik rejiminin bilimsel olarak ortaya konulması bölgesel su yönetimi açısından büyük öneme sahiptir (Tuna ve Demir, 2022).

Bu tez çalışmasında, Fırat Havzası'nda yer alan akım gözlem istasyonlarından elde edilen uzun dönemli akım verileri kullanılarak, akım zaman serilerinin aylık, mevsimsel ve yıllık ölçeklerde trendsel davranışı incelenmiştir. Çalışmada farklı trend analiz yöntemlerinin birlikte uygulanmasıyla, akım rejimindeki değişimlerin yönü, büyüklüğü ve zamansal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulguların, Fırat Havzası'nda su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine ve iklim değişikliğine uyum süreçlerine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

1.1. Araştırmanın Amacı

İklim değişikliği ve artan insan faaliyetleri sonucunda su kaynakları üzerinde oluşan baskılar, kuraklık gibi doğal afetlerin sıklığını ve şiddetini artırmakta; bu durum, su yönetiminde yeni yaklaşımların benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye'nin önemli su havzalarından biri olan Fırat Havzası, iklim değişikliğine karşı hassas yapısı nedeniyle kuraklık eğilimlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, Fırat Havzası'na ait akım (debi) gözlem istasyonlarından elde edilen uzun dönemli akım verilerini kullanarak, bölgedeki su kaynaklarının akış rejimleri ile kuraklık eğilimlerini belirlemektir. Bu kapsamda; Yenilikçi Şen Trend (YŞT), Yenilikçi Şen Trend Eğim (YŞTE), Mann-Kendall (MK), Spearman Sıra Korelasyonu (SSK) ve Ardışık Mann-Kendall (ARMK) istatistiksel analiz yöntemleri uygulanarak akım serilerindeki trendsel değişimler incelenmiştir.

Çalışmada, aylık, mevsimsel ve yıllık ölçeklerde yapılan analizlerle, Fırat Havzası'nda meydana gelen akım değişimlerinin zamansal yapısını ortaya koymayı; bu değişimlerin olası kuraklık göstergeleri ile ilişkisini değerlendirmeyi ve böylece bölgeye özgü sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, Fırat Havzası'ndaki akım rejimindeki değişimlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek ve havza ölçeğinde su kaynakları yönetimine yönelik çıkarımlar yapmak ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında yürütülecek planlama ve politika geliştirme süreçlerine bilimsel zemin oluşturması açısından önemli veriler sunmaktadır.

1.2. Araştırmanın Önemi

İklim değişikliğinin etkileriyle birlikte artan su kıtlığı, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan ciddi tehditler oluşturmaktadır. Özellikle yarı kurak iklim kuşağında yer alan Türkiye'de su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, suyun zamansal ve mekânsal değişkenliğinin izlenmesi, kuraklık gibi su temelli afetlerin erken teşhisi ve yönetimi için hayati bir gerekliliktir. Fırat Havzası, Türkiye'nin hem hidrolojik hem de tarımsal açıdan stratejik öneme sahip havzalarından biridir. Ancak bu bölgede yaşanabilecek uzun süreli kuraklıkların, tarım, enerji üretimi ve içme suyu temini başta olmak üzere birçok sektöre olumsuz etkileri olacağı açıktır.

Bu nedenle, havzaya özgü akım verilerinin analiziyle kuraklık eğilimlerinin belirlenmesi, bölgesel su yönetimi politikaları açısından önemli bir veri tabanı sunmaktadır.

Bu araştırma, hem mevcut su kaynaklarının korunmasına yönelik bilimsel temelli çözümler geliştirilmesine hem de gelecekte yaşanması muhtemel kuraklık senaryolarına karşı alınabilecek önlemlerin planlanmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, farklı trend (eğilim) analiz yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak uygulanması, yöntemlerin güvenilirliğini değerlendirme açısından da literatüre özgün katkılar sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma hem akademik hem de uygulayıcı kurumlar için önemli bir referans niteliği taşımaktadır.



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Hidroloji ve Akım Kavramı

Hidroloji, yeryüzündeki suyun dağılımı, hareketi ve özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Hidrolojik döngü; yağış, yüzey akışı, yer altı akışı, buharlaşma ve terlemeden oluşur (Terzi vd.,). Bir havzada yüzeysel ve yer altı akışların birleşmesi ile oluşan suyun, belirli bir kesitten geçen miktarına akarsu akımı denir. Akarsu akımı hidrolojik döngünün en önemli bileşeni olarak havzanın bütününün durumunu gösterir. Taşkın kontrolü, havza ıslahı, içme suyu planlaması, tarım ve enerji üretiminde akım verileri kullanılır. Akarsu akımını etkileyen başlıca faktörler meteorolojik, fiziksel ve beşerî olarak sınıflandırılır. Meteorolojik faktörler; yağış türü, süresi, şiddeti, miktarı, sıcaklık ve buharlaşma; fiziksel faktörler, toprak tipi jeolojik yapı, bitki örtüsü ve beşerî faktörler; barajlar, göletler, sulama yapıları, şehirleşme olarak öne çıkar (Turoğlu, 2010). Akım verilerinin aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değişmesinden dolayı akım değerleri ve analizleri uzun süreçleri kapsar. Gözlemlenen veriler, bölgenin hidrolojisini anlamayı sağlarken modellenmiş veriler, hesaplamaların zamansal veya mekansal olarak yorumlanmasını sağlar (Huber, 2025).

2.2. Havza Kavramı ve Fırat Havzası'nın Hidrolojik Özellikleri

Havza, yağış sularının ortak bir akarsuya veya göle taşındığı kara parçasıdır. Fırat Havzası Türkiye'nin doğusundan (Erzincan, Erzurum, Elazığ, Bingöl, Muş) başlayıp Suriye ve Irak'a kadar uzanan çok geniş bir su toplama alanıdır. Ülkemizde yaklaşık 127.000 km² yüz ölçümüne sahip olup yüksek dağları, geniş platoları, derin vadileri olan bir topoğrafyaya sahiptir. Fırat Havzası, Karasu, Murat Nehri'nin Elazığ'ın batısında birleşmesi ile oluşan Fırat Nehri'nden ismini almıştır. Karasu, Murat, Peri Suyu, Tohma Çayı, Munzur Çayı gibi başlıca alt havzaları mevcuttur (Katipoğlu ve Acar, 2021).

DSİ tarafından su yönetimi ve planlama amacı ile Yukarı Fırat, Aşağı Fırat, Karasu ve Murat Havzası olarak dört ana havzaya ayrılmıştır. Fırat Havzası'nın iklimi, barındırdığı coğrafi bölgelere göre değişkenlik gösterir. Bunlardan Yukarı Fırat Havzası'nda, kışları sert ve karlı, yazları sıcak ve kurak olan karasal iklim özellikleri görülür. Yağışları genellikle kar şeklinde alan havzanın akımını da ilkbahardaki kar erimeleri belirlemektedir.

Fırat Havzası 31.61 km³ ortalama yıllık akışa, 8.3 L/sn/km² ortalama yıllık verime sahip ve su potansiyeli %17 olan bir havzadır (DSİ, 1997). Yıllık akım dağılımı düzensiz olmakla beraber akım rejimini çoğunlukla kar erimeleri belirler. Bu nedenle özellikle ilkbaharda taşkın riski oluşmaktadır.

2.3. İklim Değişikliği ve Akım Trendleri

İklim değişimi, yıllar ya da daha uzun dönemler boyunca gözlenen iklim ortalamalarındaki belirgin sapmalar şeklinde tanımlanmaktadır. Küresel ölçekte meydana gelen iklim değişiminin etkileri, coğrafi konuma bağlı olarak bölgeden bölgeye önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle, iklim değişiminin izlenmesi sürecinde meteorolojik değişkenlerdeki değişimlerin analizi büyük önem taşımaktadır (Karakuş, 2017).

İklim değişikliği Dünya üzerinde doğrudan ve dolaylı olarak, ekolojik sistemlerle beraber insan refahını olumsuz yönde etkilerken hidrolojik döngüyü de ciddi manada etkiler. İklim değişikliğinin hidrolojik süreç üzerindeki yağış, buharlaşma, toprak nemi, su sıcaklığı, akış hacmi, akış zamanlaması, büyüklüğü ve sıklığı gibi potansiyel etkileri gelecekte sel ve kuraklık gibi felaketlerin sıklığını ve yoğunluğunu artıracaktır. Dolayısıyla, değişikliğinin hidrolojik etkilerine ilişkin kantitatif tahminler, su kaynağı problemlerinin anlaşılmasında ve yönetilmesinde faydalı olacaktır (Özdemir, 2021).

Mevsimsel değişimler, yağış dağılımı ve buharlaşma oranları üzerinden akım verilerini etkiler. Türkiye'de karasal ve Akdeniz iklimlerinin etkili olduğu Fırat Havzası'nda kış aylarında yağış ve ilkbaharda kar erimeleri nedeniyle akım artarken, yaz aylarında buharlaşma nedeniyle akım düşer. Küresel ısınma ve iklim değişikliği, yağış desenlerini ve buharlaşmayı etkileyerek akım üzerinde doğrudan etki bırakır. Fırat Havzası gibi yarı kurak bölgelerde bu etki daha belirgin olup, su yönetimini zorlaştırabilir.

Fırat havzası gibi yarı kurak bölgelerde iklim değişikliğine bağlı olarak akım trendlerinin azalma yönünde olduğu söylenebilir. Bu da sıcaklıkların artması, yağış miktarlarının değişmesi, buharlaşma oranları gibi faktörlerin etkisindedir. İklim değişikliği, karın erime zamanının değişmesi, yağış rejimi değişikliği, taşkınlar ve kuraklık artışı gibi faktörlerle akımları etkiler. Uzun süreli akımlar gözlemlendiğinde ülkemizde azalan akımların olduğu görülmüş bu da iklim değişikliğinin etkilerini somut olarak ortaya çıkarmıştır (Zeynalzadeh, 2019).

2.4. Hidrolojik Zaman Serileri Analizi

Akım verilerini ölçmek için hidrolojik akım gözlem istasyonları (AGİ) kurulmuştur. Ülkemizde akım gözlem verileri Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından ölçülmektedir. Nehir akım debilerinin zaman serisi kullanılarak ileriye dönük tahmin yapılabilmektedir. Veriler ardışık olarak sıralandığında zaman serisi analizlerine uygun hale getirilir (Altunkaynak, ve Başakın, 2018).

Zaman serileri, belirli aralıklarla toplanan verilerin istatistiksel analizine dayanır. Akım verileri genellikle aylık, mevsimlik veya yıllık olarak analiz edilir. Bu analizlerde mevsimsellik, trend, değişkenlik ve durağanlık gibi durumlar incelenir (Katipoğlu vd., 2022).

2.5. Su Kaynakları Yönetimi ve Planlamada Trend Analizinin Yeri

Kuraklığın etkileri, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde daha belirgin olup, haftalar, aylar hatta on yıllar boyunca sürebilmektedir. Kuraklık, yavaş gelişen bir süreç olması nedeniyle başlangıç ve bitiş tarihleri net olarak belirlenemeyen doğal bir afettir. Bu nedenle hem doğrudan hem de dolaylı etkileri uzun yıllar boyunca hissedilebilir. Özellikle bir bölge için mevcut ve geçmişteki hidro-meteorolojik değişkenlerin değişimleri ve trendlerin bilgisi, nüfus artışı ve ekonomik büyümeden dolayı suya olan gereksinimin artması ve küresel ısınma, su ve enerji döngüsü kapsamında gelecekteki gelişim ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ile yakından ilişkilidir (Karakuş, 2017). İklim parametrelerinde meydana gelen değişimlerin su miktarları üzerindeki zamansal etkilerini incelemek, suya dayalı yatırımların planlanmasında önemlidir. Su kaynaklarındaki eğilimleri analiz eden çalışmalar, gelecekte geliştirilecek iklim değişikliği modelleri açısından da önemli bir referans oluşturmaktadır (Büyükyıldız ve Berktaş, 2004).

Ayrıca, uzun dönemli akım verileri; baraj inşaatı, tarımsal sulama, taşkın kontrolü ve kuraklık yönetimi gibi su kaynakları yönetiminde kritik rol oynamaktadır. Bu verilerden elde edilen trend analizleri, gelecekteki su taleplerinin karşılanabilirliğine dair önemli bilgiler sunar (Korkmaz ve Buğa, 2024).

2.6. Trend Analizi Yöntemleri

Zamanla artan ya da azalan sistematik değişimin verilerle ifade biçimine trend denilir. Trend analizi uzun vadeli değişimleri tespit etmek için hidrolojik zaman serilerine uygulanır ve zaman içerisinde anlamlı bir artış ya da azalma olup olmadığını ortaya koyar. Akım verilerindeki değişimler meteorolojik, fiziksel veya insan eli ile müdahale şeklinde olabilir. Trend analizinde yaygın olarak aşağıdaki yöntemler kullanılır.

2.6.1. Akım Kuraklık İndisi

Hidrolojik kuraklığın belirlenmesini sağlayan Akım Kuraklık İndisi 2008 yılında Nalbantis tarafından geliştirilmiştir. Aylık akım verileri kullanılarak hesaplanan yöntem çok fazla değişkene ihtiyaç duymamasından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir (Katipoğlu vd., 2022; Tabari vd., 2013).

2.6.2. Mann-Kendall (MK) Testi

Mann-Kendall Sıra Korelasyon Testi olarak da adlandırılan MK Testi, trend tespiti için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. İlk olarak Mann (1945) tarafından ortaya atılmış ve ardından Kendall (1975) tarafından bir zaman serisindeki verilerin sıralamasına dayanarak geliştirilmiştir. Analizin temel amacı, hidrolojik süreçlerdeki düzensizlikleri belirlemek ve ileriye dönük tahminlerde bulunmak için sıcaklık, yağış ve akış gibi zaman serisi verilerinin zaman içindeki eğilimlerini belirlemektir. Bu eğilimler zaman içinde artar veya azalır. Asıl olarak verideki anlamlı artış veya azalmaların belirlenmesidir. Zaman serisindeki trend varlığının belirlenmesinde kullanılan bu yöntem, verilerin belirli bir dağılıma uyması zorunluluğunu aramayan ve eksik verilerin varlığına müsaade eden bir sıralama testidir. Aynı zamanda parametrik olmayan bu test, uygulanan seride zamanla artma mı, azalma mı olduğunun grafiksel olarak ifade ederken trendin başlangıç noktasını da belirleyebilmektedir (Gümüş ve Yedigün, 2006; Yücel vd., 2022).

2.6.3. Şen Trend Eğim Yöntemi

Şen'in trend eğim yöntemi, Şen tarafından geliştirilmiş ve Hirsch tarafından önerilmiş olup, özellikle iklim değişikliği gibi hidro-meteorolojik alanlarda trendlerin doğrusal (lineer) değişimini belirlemek amacıyla kullanılan parametrik olmayan klasik bir trend analiz

yöntemidir. Zaman serilerinde (örneğin sıcaklık, akım, yağış verileri gibi) doğrusal bir eğim olup olmadığını analiz ederek trendin yönünü ve büyüklüğünü belirler. Mevcut verilerde doğrusal bir eğilim bulunduğunda, birim zamandaki değişimi istatistiksel olarak ortaya koyar ve eksik, hatalı ya da uç (ekstrem) değerlerden etkilenmeden güvenilir sonuçlar sunar. Genellikle Mann-Kendall trend testi ile kullanılır (Şen, 2012; Ergün vd., 2024; Dawood, 2017).

2.6.4. Yenilikçi Şen Trend Yöntemi

2012 yılında Şen tarafından geliştirilen Yenilikçi Şen Trend Yöntemi, diğer yöntemlere göre trendin var olup olmamasının yanı sıra hangi verilerde olduğunu da göstermesinden dolayı üstün kabul edilen bir yöntemdir (Şen, 2017). Bu amaçla, yenilikçi trend analizi son zamanlarda geliştirilmiş ve hidrolojik çalışmalarda başarıyla kullanılmıştır (Tosunoğlu ve Kisi, 2017).

2.6.5. Spearman Sıra Korelasyon Testi (SSK)

Spearman's Rho Yöntemi olarak da adlandırılan SSK, (Daniels testi olarak da bilinir) Mann-Kendall Yöntemi'nden daha az yaygın olsa da literatürde bu iki yöntemin bağımsız gözlemlere sahip zaman serileri için eşdeğer olduğu gösterilmiştir. Bu yöntem literatürde zaman serisi verilerinde trendin anlamlılığını ve verilerin gücünü test etmek için kullanılan yöntemlerden biridir (Hamed, 2016; Lobo ve Guntur, 2018).

2.6.6. ArdışıkMann-Kendal (ARMK) Testi

Mann-Kendall testinin genişletilmiş bir versiyonudur. ARMK Testi, serinin zaman içinde artıp artmadığını veya azalıp azalmadığını belirlemek için kullanılır. Test, sonuçları grafiksel olarak sunarak hem trendin var olup olmadığını hem de trendin ne zaman başladığını (kırılma veya değişim noktası) belirler (Zeybekoglu, 2023).

2.6.7. Lineer Regresyon

Değişkenler arasındaki ilişkileri modellemek için kullanılır. Klasik Regresyon Analizi'nde iki ya da daha çok sayıda rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin istatistiksel olarak anlamsal bir ilişkisi olup olmadığını belirler. Değişkenlerden biri bir değer aldığında, diğer değişken buna karşılık her zaman aynı değeri almaz. Yani değişkenler arasında fonksiyonel olmayan bir bağıntı vardır. Bu bağıntıyı gösteren matematiksel ifadeye regresyon denklemi denir. Herhangi iki değişken arasında anlamsal bir ilişki olup olmadığına karar vermek için yapılan regresyon analizine göre çoğunlukla korelasyon katsayısına veya

determinasyon katsayısına bakılmaktadır. Eğer korelasyon katsayılarının değeri 1'e yakın ise iki değişken arasındaki bağımlılığın güçlü olduğunu gösterir (Turhan, 2022; Nacar vd., 2018). Bu yöntem ile geçmiş yıllara ait akım değerleri kullanılarak ileriye yönelik akım değeri tahminleri yapılmakta ve elde edilen bulgular ile, akım rejimlerindeki uzun vadeli değişimleri belirlemeye olanak sağlar.

2.7. Kaynak Özetleri

Günümüzde artan nüfus, hızlı kentleşme ve yoğun endüstriyel faaliyetler, çevresel baskıları önemli ölçüde artırarak su kaynakları üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Özellikle sera gazı emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma, iklim sisteminde dengesizliklere neden olarak hidrolojik döngüyü etkilemekte; bu durum su kaynaklarının miktarında ve mevsimsel dağılımında önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bu bağlamda, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve geleceğe yönelik öngörüler geliştirebilmek amacıyla, akım verileri ve hidrolojik gözlemler üzerinden yürütülen bilimsel çalışmalar büyük önem taşımaktadır. İklim değişikliğinin su rejimi üzerindeki etkilerini değerlendiren bu araştırmalar, suyun miktarı, mevsimselliği ve taşkın/kuraklık gibi aşırı olayların sıklığı hakkında karar vericilere ve politika yapıcılara önemli bilgiler sunmaktadır.

Katipoğlu vd. (2022) Yeşilırmak Havzası'nda akım kuraklık indekslerinin trend analizini Mann Kendall (MK), Yenilikçi Şen Yöntemi (YŞY) ve Thiel Şen Yaklaşımı (TŞY) ile yapmışlardır. Yapılan çalışma ile aylık ve yıllık zaman dilimlerinde hidrolojik kuraklığın artma eğiliminde olduğu tespiti ile risk analizlerinin yönetilmesi, erken uyarı sistemi ve kuraklığa önlem alınması hususlarını vurgulamışlardır.

Tuğrul ve Hınıs (2023), çalışmalarında Türkiye'nin önemli bir ovası olan Konya Ovası'nda bulunan Apa Barajı havzasında akım ve yağış verilerine dayanarak Normalleştirilmiş Yağış İndisi (NYİ) ve Akım Kuraklık İndisi (AKİ) nin 3, 6, 9 ve 12 aylık yağışlarına tekabül eden indisleri ile kuraklık indisi hesaplanarak trend analizi yapılmıştır. Trend analizinde Mann Kendall, Spearman's Rho ve Yenilikçi Şen Trend Yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan Mann Kendall ve Spearman's Rho yöntemleri ile istatistiksel anlamlı trend bulunamazken, Yenilikçi Şen Trend Yönteminde kuraklık indisi %95 güven aralığında, istatistiksel anlamlı ve yukarı yönlü trend bulunmuştur.

Partal ve Yavuz (2019), Batı Karadeniz Bölgesinde 1960 ile 2015 yılları arasında 6 adet istasyona ait verileri kullanarak Standart Yağış İndisi ve De Morteen Yağış İndisini hesaplamış, bunların üzerine de Mann Kendall testi tatbik edilerek trend analizi yapılmıştır. 1 aylık Standart Yağış İndisi değerleri ile aşırı şiddetli kuraklık tespit edilirken daha uzun vadede belirgin bir eğilim tespit edilememiştir.

Gümüş vd. (2022) Türkiye'deki Dicle Nehri Havzası'ndaki 16 istasyonun aylık ve yıllık ortalama akış verilerinin eğilimlerini değerlendirmişlerdir. Monoton eğilimler Mann-Kendall testi kullanılarak, düşük, orta ve yüksek değerler ise Yenilikçi Trend Analizi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile, akış değerlerinin aylık ve yıllık bazda önemli ölçüde azalma eğiliminde olduğu görüldüğünden, sınıraşan ve farklı su yapılarına sahip bu havzada suyun etkin ve verimli kullanılması gerektiği ve yüksek ve orta akıştaki azalmanın planlama açısından ayrıntılı olarak izlenmesi gerektiği değerlendirilmiştir. Ayrıca, Yenilikçi Trend Analizi yönteminin, monotonik eğilim analizi yöntemlerine kıyasla uygulanması kolay olduğundan, eğilim analizinde güvenilir bir yöntem olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Benzer bir çalışmada, aylık, mevsimsel ve yıllık zaman ölçeklerinde Yukarı İndus nehri havzasındaki akış değişkenliği Mann-Kendall, Spearman's Rho and yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Yenilikçi Trend Analizi yönteminin uygulanabilirliği, Mann-Kendall, Spearman's yöntemleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Aylık, mevsimsel ve yıllık zaman ölçeklerinde tüm testler arasında geniş bir uyum ve önemli eğilimlere sahip testler arasında tam bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yüksek rakımlı kesimlerinde (>2000 m) önemli artış eğilimleri, düşük rakımlı kesimlerinde ise (<500 m) önemli azalış eğilimleri bulunmuştur. Ayrıca, Yukarı İndus Nehri Havzası'nın yüksek kesimlerinde mevsimsel ve yıllık akışlar artarken, kış aylarındaki akışlar hariç, düşük rakımlı kesimlerde azalmaktadır. Yaz aylarındaki akışlar, yüksek rakımlı kesimlerde genel olarak artış eğilimi göstermiştir ve bu durum su bulunabilirliğinde artışa yol açabilir ve dolayısıyla aşağı kesimlerdeki su taleplerini karşılamak için daha fazla depolama tesisine ihtiyaç duyulabileceği sonucuna varılmıştır (Ashraf, 2021).

Kahya ve Kalaycı (2004), trend tespit tekniklerinin 26 Türk havzasına uygulanması, ülkenin batı ve güneydoğu kesimlerinde belirgin trendlerin tespit edilmesini sağlamıştır. Trendlerin yönü genel olarak aşağı yönlü olduğu tespit edilmiştir.

Diop vd, (2018) yaptıkları çalışmada aylık, mevsimsel ve yıllık olmak üzere farklı ölçeklerdeki akış trendlerinin analizi yapılmıştır. Bu analiz için Bafing-Makana istasyonundaki Yukarı Senegal Nehri'nin 54 yıllık zaman dilimindeki (1961-2014) günlük akışları kullanılmıştır. İlk olarak, tüm zaman ölçeklerinde bir oto korelasyon tespiti incelenmiştir. Diğer yandan, korelasyonsuz yapısal zaman serileri için Mann-Kendall testi, değişen noktanın büyüklüğünü bulmak için Theil ve Sen'in eğim tahmin testi ve en olası değişim yılını tespit etmek için Pettitt testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, akıştaki en yüksek olay çoğunlukla Eylül ayında meydana gelmiştir. Mann-Kendall eğilim testi, yıllık akış eğiliminde gözle görülür bir düşüş göstermiş, ancak farklı değişim yıllarının entegre edilmesiyle, 1976'daki ilk kırılma noktası ile 1993'teki ikinci değişim noktası arasında dikkate değer bir düşüş eğilimi gösterdiğini ve akışın özellikle MAMJ (Kasım-Nisan arası) mevsiminde önemli bir azalma eğilimi gösterdiğini bulmuşlardır.

Kale ve Sönmez (2018) Kastamonu, Türkiye'deki Daday Çayı'nın akış trendinin aylık, mevsimsel ve yıllık analizlerini 1988 ve 2007 yılları arasında Mann-Kendall ve Spearman testleri ile analiz etmişlerdir. Sonuçlar, Daday Çayı'nın mevsimsel ve yıllık akış trendinin bu dönemde anlamlı bir azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Aylık ortalama akış trend analizleri ise, Şubat, Mart, Nisan ve Haziran ayları hariç tüm aylar için istatistiksel olarak anlamlı azalma trendlerinin olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, Daday Çayı'nın akış hızında bu dönem ve gelecek dönem için azalma eğilimleri öngörülmüştür.

Al-Hasani (2020)'de yaptığı bir çalışmada Irak, Dicle Nehri Havzası'nın yıllık ve mevsimsel akış değişimlerinin eğilimleri tespit etmek için Mann-Kendall, Spearman's Rho, Lineer Regresyon ve Sen's Slope testlerini son dokuz on yılda uzun vadeli akış, sıcaklık ve yağış verilerine uygulamıştır. Kış, ilkbahar ve yaz akışlarında önemli ölçüde azalan bir eğilimi tespit etmiştir.

Kuriqi vd. (2020) yapmış olduğu çalışma Hindistan'daki Godavari nehir havzasındaki beş istasyondan alınan akış verilerinin (1972-2011) değişkenliği ve eğilimleri araştırılmıştır. Gözlemlenen akış verilerindeki ölçülebilir değişimler Sen'in eğim yöntemi ile belirlenmiştir. Sen'in eğim eğilim analizinden elde edilen bulguları doğrulamak için parametrik olmayan Mann-Kendall ve Yenilikçi Eğilim Analizi yöntemi de uygulanmıştır. Her bir istasyon için her ayın mevsimsel değişimi için ortalama akış debisi ile yıllık ortalama, yıllık maksimum ve minimum akışlar analiz edilmiştir. Sonuçlar, üç istasyonun özellikle Kış ve İlkbahar aylarında

artan bir eğilim göstermiş, buna karşılık, diğer iki istasyon neredeyse tüm mevsimlerde azalan bir eğilim ortaya koymuştur. Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde tüm istasyonlarda önemli bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

Bu çalışmada, Birr Nehri havzasında yağış ve akış verileri arasındaki mevcut ilişkiler çeşitli istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Eğilimlerin belirlenmesi, değişim noktalarının tespiti ve hidrolojik değişkenliğin potansiyel itici güçlerinin ortaya konması amacıyla Mann-Kendall testi, Pettitt testi ve Sen'in eğim tahmincisi kullanılmıştır. Ayrıca, hidrolojik rejimdeki değişiklikleri değerlendirmek üzere aylık, mevsimsel ve yıllık zaman ölçeklerinde kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, yağış gözlem istasyonlarının büyük çoğunluğunda istatistiksel olarak anlamlı bir değişim tespit edilmediğini ortaya koymuştur. Buna karşın, akış verileri hem artan hem de azalan yönlü istatistiksel olarak anlamlı eğilimler sergilemiş; tüm istasyonlarda akış trendleri ve değişim noktalarının mekânsal ve zamansal açıdan tutarsız olduğu gözlemlenmiştir (Malede vd., 2022).

Arrieta-Castro vd. (2020) Haziran 1983-Temmuz 2019 arasındaki dönemde, nehrin ana yatağındaki yedi ölçüm istasyonundan alınan akış kayıtlarına dayanarak, Kolombiya'daki Meta Nehri'ndeki eğilimlerin tespiti ve analizini yapmışlardır. Eğilim tespiti ve nicelleştirilmesi için kullanılan yöntemler Mann-Kendall testi, modifiye Mann-Kendall testi ve Sen'in eğimi tahmincisiydi. Değerlendirilen 105 veri setinin %30' undan fazlasında istatistiksel olarak anlamlı eğilimler (%95 güven düzeyinde) tespit edilmiştir. Mann-Kendall testinden elde edilen sonuçlar, yukarı akış istasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı aşağı yönlü eğilimlerin ve aşağı akış istasyonlarında yukarı yönlü eğilimlerin varlığını, ikincisinin dik pozitif eğimler sunduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın bulguları, Meta Nehri Havzası'nda su kaynakları yönetimi ve sürdürülebilir planlama için değerli olduğunu ortaya koymaktadır.

Kanani vd, (2020) yaptığı çalışmada ise İran'ın kuzeybatısında yer alan Lighvan havzasında hidro-iklimsel veri serilerindeki eğilimleri belirlemek için Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Ayrıca, yıllık debi değerleri ve iklim değişkenlerindeki değişim noktalarını tespit etmek için Pettitt testi uyarlanmış ve debi veri serilerinde negatif bir eğilim olduğunu göstermiştir.

Birsan vd. (2014), Romanya'da bozulmamış akış rejimine sahip 44 nehir havzasından alınan günlük ortalama akış kayıtları (1961–2009 (25 istasyon) ve 1975–2009 (44 istasyon)), iki çalışma dönemi için parametrik olmayan Mann-Kendall testi ile eğilimler açısından analiz

etmişlerdir. Belirlenen ana eğilimler, 1961'den bu yana kış ve sonbahar akışlarında artış ve 1975'ten bu yana yaz akışında azalmadır. Akış eğilimleri, son 50 yılda meydana gelen sıcaklık ve yağıştaki son değişikliklerle iyi bir şekilde açıklanmıştır.

Bu çalışma, Fırat Havzası'ndaki akım zaman serilerinin aylık, mevsimsel ve yıllık ölçeklerde trendsel davranışını, klasik ve yenilikçi trend analiz yöntemlerini birlikte kullanarak kapsamlı bir biçimde değerlendirmektedir. Yenilikçi Şen Trend Yöntemi ve Şen Trend Eğim Yöntemi'nin Mann-Kendall ve Spearman Sıra Korelasyonu testleri ile karşılaştırmalı olarak uygulanması, yöntemlerin duyarlılıklarının ve sonuç uyumlarının ortaya konulmasını sağlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, Fırat Havzası özelinde akım rejimindeki uzun dönemli değişimleri çok ölçekli ve çok yöntemli bir yaklaşımla ele alarak, bölgesel su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliğine uyum stratejileri için özgün ve karşılaştırmalı bir bilimsel katkı sunmaktadır.

3. YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Çalışmada, Fırat Havzası'nda bulunan üç farklı istasyondan (D21A001, E21A019, E21A051) alınan aylık, mevsimlik ve yıllık akım verilerine sırasıyla Yenilikçi Şen Trend (YŞT), Yenilikçi Şen Trend Eğim (YŞTE), Mann-Kendall (MK), Spearman Sıra Korelasyonu (SSK) ve Ardışık Mann-Kendall (ARMK) yöntemleri uygulanarak akım değerleri hakkında tahminler yapılmıştır.

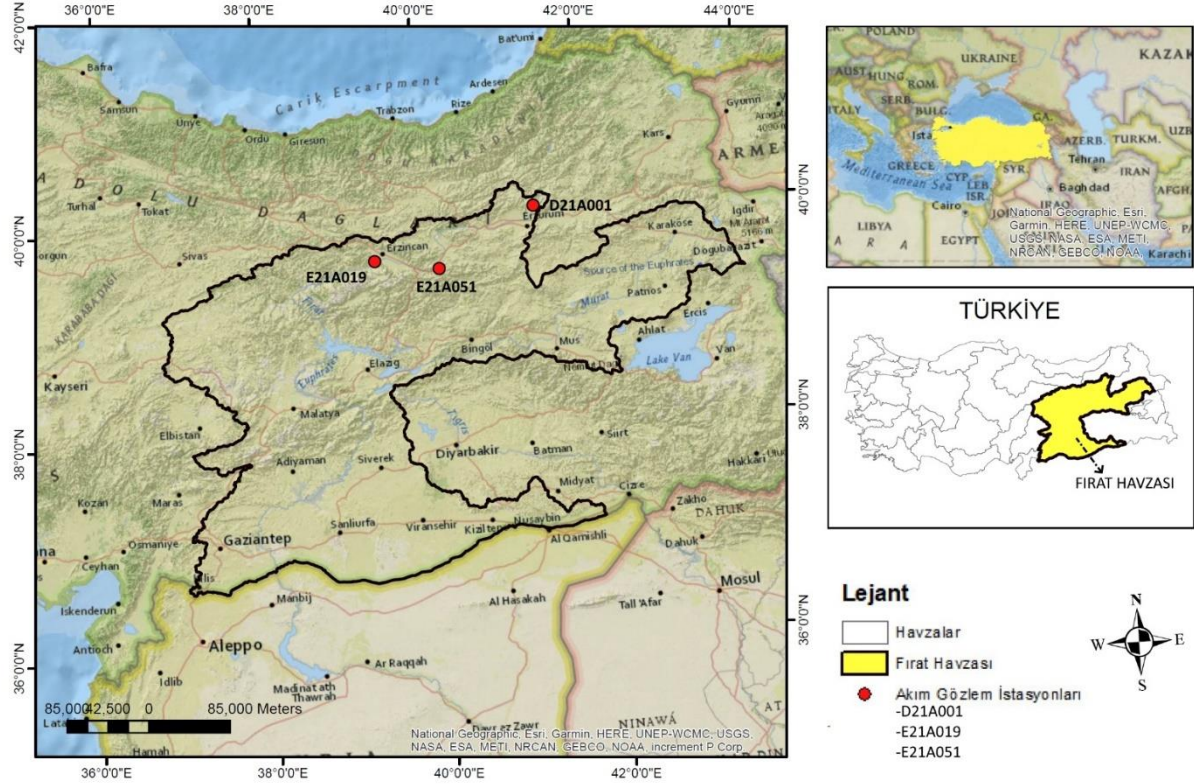
Fırat havzası, Türkiye'nin doğu, güneydoğu ve kısmen iç bölgelerini kapsayan çok geniş ve önemli bir su havzasıdır. Bu havza içinde yer alan Fırat'ın Türkiye'deki toplam su potansiyeli 121.560 km² yağış alanından 1013 m³/s (31,9 km³/yıl)'dır. Fırat Havzası, kendi içinde alt havza ya da bölüm denilebilecek çeşitli kısımlara ayrılır. Bunlar; Murat Nehri Havzası, Karasu Nehri Havzası, Yukarı Fırat Bölümü, Orta Fırat Bölümü, Aşağı Fırat Bölümü, Yan Kollar ve Alt Havzalar. Fırat Nehri'nin kaynağı Doğu Anadolu'da Murat Nehri (Ağrı–Van) ve Karasu Nehri (Erzurum) ile başlar, Elazığ ili sınırlarında birleşerek Fırat'ı oluştururlar. Doğudan batıya, sonra güneye kıvrılarak Güneydoğu Anadolu'dan geçip Suriye sınırından çıkar.

Bu çalışmada kullanılan veriler Karasu-Kırkgöze, Fırat Nehri- Kemah Boğazı ve Fırat Nehri- Demirkapı akım gözlem istasyonlarından alınmıştır. Bu istasyonların hepsi Fırat Nehri'nin kaynak kollarından olan Karasu Nehri üzerinde ya da onunla bağlantılı noktalarda yer almaktadır ve genellikle Erzurum–Erzincan hattında, yani Fırat Havzası'nın üst kesiminde bulunurlar.

Tablo 1. Fırat Havzası akım gözlem istasyonları

İstasyon No	İstasyon İsmi	Mevki	Koordinatlar (Enlem, Boylam)	Çalışma Aralığı
D21A001	Karasu-Kırkgöze	Erzurum-Tortum şosesinde Tafta ile Çıpak köyü arasındaki beton köprüdedir	40° 6' 0" K-41° 22' 0" D	1962-2023
E21A019	Fırat Nehri- Kemah Boğazı	Erzincan-Kemah karayolunun 12.kilometresi	39° 41' 00" K-39° 23' 36" D	1995-2023
E21A051	Fırat Nehri- Demirkapı (Sansa Boğazı)	Sansa Devlet Demiryolları İstasyonu civarı	39° 34' 42" K-40° 10' 08" D	1964-2023

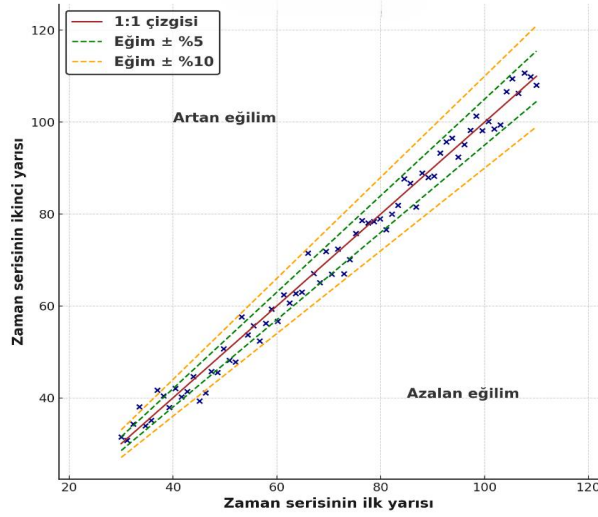
Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonlarına ait bilgiler ve ilgili yıllar Tablo 1’de, konum haritası Şekil 1’de verilmiştir. Verilen istasyonlara ait kullanılan akım verileri Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından düzenlenen akım gözlem yıllıklarından alınmıştır.



Şekil 1. İstasyonlara ait konum haritası

3.2. Yenilikçi Şen Trend (YŞT) ve Yenilikçi Şen Trend Eğim (YŞTE) Yöntemi

Bu yeni yöntem, seri otokorelasyonun varlığına duyarlı değildir. Öncelikle zaman serisi iki eşit parçaya bölünür ve bu parçalar ayrı ayrı artan düzende sıralanır. Daha sonra zaman serisinin ilk yarısı yatay eksen, ikinci yarısı ise dikey eksen çizilir ve üzerinde 1:1 (45°) düz bir çizgi bulunan bir grafik elde edilir. Veriler 1:1 ideal doğrusunda (45° doğrusu) toplanmışsa zaman serisinde trend yoktur. Veriler ideal doğrunun üst üçgen alanında bulunuyorsa zaman serisinde artan bir trend vardır. Veriler 1:1 doğrusunda alt üçgen alanında toplanmışsa zaman serisinde azalan bir trend vardır anlamına gelir (Şekil 2). Tüm noktalar azalan veya artan alanlarda toplanmışsa, bu durum tekdüze bir eğilim olarak ifade edilir. Böylece herhangi bir hidrometeorolojik veya hidroklimatik zaman serisinin düşük, orta ve yüksek değerlerinin trendleri bu yöntemle net bir şekilde belirlenebilir (Şen 2012; Şen 2014; Caloiero vd., 2018).



Şekil 2. YŞT yönteminin yorumlanması (Şişman ve Kızılöz 2021).

ŞTE analizi için Eşitlik (1)'de ifade edilen denklemde $s_{Y\hat{S}T}$; trend eğimini, n ; ana zaman serisinin veri sayısı, $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ ise birinci ve ikinci zaman serilerinin ortalamasıdır. Eşitlik (2) ise trend çizgisi denklemini elde etmek için kullanılmıştır. Eşitlik (3)'te verilen σ_s ; trend eğiminin standart sapmasını, ρ_{xy} ; ilk ve ikinci yarılar arasındaki çapraz korelasyon katsayısını, σ ise; ana zaman serisinin standart sapmasını ifade etmektedir. $s_{Y\hat{S}T}$ 'nin sıfır olması beklenir (Alashan, 2020). Denklem (4) kullanılarak elde edilen CL; güven aralık değerini (confidence limit, kritik limit) ifade etmektedir. Trend eğimi, alt ve üst güven aralık limit değerlerinin dışında ise zaman serisinde bir eğilim (anlamli trend) olduğu, güven aralık limit değerleri arasında ise anlamsız eğim (anlamsız trend) olduğu kabul edilir. Eğimin pozitif değerleri artan, negatif değerleri ise azalan bir eğilimi gösterir (Şen 2017).

$$s_{Y\hat{S}T} = \frac{2(\bar{x} - \bar{y})}{n} \quad (1)$$

$$y = x + s \quad (2)$$

$$\sigma_s = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{xy}} \quad (3)$$

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm s_{cri} \sigma_s \quad (4)$$

3.3. Mann-Kendall (MK) Testi

MK testi, zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir trendin varlığını ve yönünü belirlemek amacıyla kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. Testin uygulanmasında önce S istatistiği ve varyansı daha sonra S değerine bağlı olarak standart normal değişken olan z değeri hesap edilir. MK denklemi ile trendin büyüklüğü hesaplanır. Test istatistiği S değeri Denklem 5 ile belirlenmiştir (Gao vd., 2016).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (5)$$

Bu formül, veri setindeki tüm ikili karşılaştırmaları yapar. Verilen denklem 1’de “n”, veri serisinin uzunluğu, “ x_j ” ve “ x_k ” ($j > k$) ise serideki sıralı verileri göstermektedir. Yani x_j , j zamanındaki gözlemi, x_k ise k zamanındaki gözlemi ifade etmektedir. “sign” işaret fonksiyonu, iki veri arasındaki farkın pozitif mi, negatif mi, yoksa sıfır mı olduğunu belirler. Denklem 6 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} (x_j - x_k) < 0 & \text{ise } -1 \\ (x_j - x_k) = 0 & \text{ise } 0 \\ (x_j - x_k) > 0 & \text{ise } 1 \end{cases} \quad (6)$$

Zaman serisi verilerinde, özellikle çevresel verilerde (örneğin yağış, sıcaklık, akım gibi), bir gözlem değeri genellikle kendisinden önceki değerlerle ilişkilidir. Buna otokorelasyon veya bağımlılık denir. Zaman serisinde bağımlılık varsa, MK testi doğrudan kullanıldığında hatalı sonuçlar verebilir. Çünkü bu testin temel varsayımı, veri noktalarının birbirinden bağımsız olmasıdır. Eğer zaman serisinde bağımlılık yoksa (yani ardışık veriler birbirinden bağımsızsa) varyans hesabı aşağıdaki denklem (7) ile yapılır:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (7)$$

Varyans hesabından sonra MK testinin önemli olup olmadığını belirlemek için S değerine bağlı olarak hesaplanan standart normal değişken z değeri, kritik z değeri karşılaştırılır (örneğin %95 güven düzeyi için $z = 1.96$). S’nin önemli (istatistiksel olarak anlamlı) olup olmadığını test etmek için z değeri aşağıdaki denklemle (8) hesap edilir:

$$z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{eğer } S > 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{eğer } S = 0 \text{ ise} \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{eğer } S < 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (8)$$

MK trend tespiti için önemli iki parametre vardır. Bu parametreler, trendin gücünü gösteren anlamlılık düzeyi ve değişimin yönünü ve hızını gösteren eğim büyüklüğü tahminidir. Trend anlamlılık seviyesi olarak ifade edilir ve eğer $|z| \leq z_\alpha$ olursa H_0 hipotezi kabul edilir ve trend vardır. $|z| > z_\alpha$ olması durumunda ise H_0 reddedilir ve trend yoktur (Alifujiang vd., 2020). Bulunan sonuca göre $z > 0$ artan trendi, $z < 0$ azalan trendi $z = 0$ ise trendin olmadığını göstermektedir.

MK testinde seri korelasyonunun etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilen hem pozitif hem de negatif seri korelasyonuna sahip seriler için kullanılan yöntemle ait gecikme ve korelasyon hesabı Denklem 9-10'da verilmiştir. (Yu vd., 2002; Esmailpour vd., 2021; Katipoğlu, 2022).

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

$$-\frac{-1 - 1.96\sqrt{n-2}}{n-2} \leq r_i \leq \frac{-1 - 1.96\sqrt{n-2}}{n-2} \quad (10)$$

Bu durumda serinin %5 anlamlılık düzeyinde bağımsız olduğu ve trend testi öncesi ön arındırmaya gerek olmadığı varsayılır. Aksi halde arındırma uygulanır.

3.4. Ardışık Mann-Kendal (ARMK) Testi

Dünya genelinde birçok çalışmada trend analizi için kullanılan ARMK testi güçlü yönlerinden biri, normal dağılım göstermeyen zaman serileri için uygunluğudur. Trendin zaman içindeki değişimini belirleyebilmek için $u(t)$ ve $u'(t)$ 'nin sıralı değerlerinin değişimi analiz edilmiştir. Kısaca trendi belirlemek yerine trend değişim noktası belirlenmiştir. Bu yöntem, ilerici $u(t)$ ve gerici $u'(t)$ olmak üzere iki seriden oluşmaktadır. ARMK testinin uygulama adımlarının ilk

aşamasında test istatistiği olan t değeri her sıralama için önceki sıralamalardan daha küçük olanların sayılmasıyla elde edilen n_i değerlerinin toplanmasıyla hesaplanır (Denklem 11). Burada, $u(t)$, birim standart sapması olan standartlaştırılmış bir değişkendir. Her x_i elemanı için test istatistikleri, kendisinden önceki n_i eleman sayısının x_j ($i > j$) hesaplanmasıyla bulunur, dolayısıyla $\text{rank}(x_i) > \text{rank}(x_j)$. t 'lerin matematiksel ortalaması Denklem (12) ile varyansı Denklem (13) ve test istatistiği Denklem (14) ile hesaplanır (Zeybekoğlu, 2023; Temeliyeh vd., 2022; Katipoğlu, 2022).

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (11)$$

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (12)$$

$$\text{Var}(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (13)$$

$$u(t) = \frac{(t - E(t))}{\sqrt{\text{Var}(t)}} \quad (14)$$

u değerleri, değerinin sıfırdan küçük veya büyük olmasına bağlı olarak artan veya azalan bir eğilim gözlemlendiğinde anlamlıdır. Küçük ve kısa vadeli eğilimleri, sıçrama noktalarını ve zaman serisi eğiliminin başlangıç noktalarını belirlemek için, $u'(t)$ değerleri, ileri seriye benzer şekilde, ancak serinin sonundan başlanarak geriye doğru hesaplanır. Matematiksel ortalama, varyans ve $u'(t)$ istatistiği sırasıyla 15 ila 17 arasındaki denklemlerde ifade edilmiştir.

$$E'(t) = \frac{[N - (i-1)(N-i)]}{4} \quad (15)$$

$$V_t = \frac{[N - (i-1)(N-i)][2(N - (i-1)) + 5]}{75} \quad (16)$$

$$u'_t = -\frac{\sum t' - E'(t)}{\sqrt{V'(t)}} \quad (17)$$

Yukarıdaki değerler hesaplandıktan sonra zaman serisindeki ani değişimi tespit etmek için, u ve u' değerleri bir grafik şeklinde çizilir. Bu grafikler farklı türde değişiklik gösterebilir. u ve u' eğrilerinin kesişme noktası kritik aralık içindeyse ve u eğrisi kritik sınırı terk edip tekrar aralığa dönerse, değişiklikler ani olacaktır. u eğrisi anlamlı aralıktan (%95 güven aralığı: 1,96) çıktıktan sonra aralığa geri dönmezse, trend anlamlı olacaktır. Pozitif değerlere doğru pozitif bir eğilim ve negatif değerlere doğru negatif bir eğilim olacaktır. Bahsedilen iki eğri kritik aralık içinde birbiriyle çarpışır ve kritik aralığı terk etmezse veya kesişme olmazsa veya eğriler zaman serisinin sonuna doğru birkaç kez çakışırsa, zaman serisinde anlamlı bir trend yoktur (Alijani vd., 2011; Temileyh vd., 2022).

3.5. Spearman Sıra Korelasyon Testi (SSK)

Spearman's Rho Yöntemi olarak da adlandırılan Spearman Sıra Korelasyon (SSK) yöntemi doğrusal ve doğrusal olmayan eğilimler için kullanılan basit bir yöntemdir. Sıra istatistiği R_i , verileri en küçüğünden en büyüğüne veya en büyüğünden en küçüğüne doğru sıralayarak belirlenir. SSK test istatistiği (r_{ssk}) Denklem 18 ile hesaplanabilir.

$$r_{ssk} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - i)^2}{n^3 - n} \quad (18)$$

Burada i kronolojik sırayı, n ise serideki toplam veri noktası sayısını temsil eder. r_{ssk} 'nin test istatistiği (t_{ssk}) Denklem 19 ile hesaplanabilir.

$$t_{ssk} = r_{ssk}(n - 1) \quad (19)$$

Burada test istatistiği t_{ssk} , t-dağılımını, $v=n-2$ serbestlik derecesi ve α anlamlılık düzeyini gösterir. Bu testte, sıfır hipotezi (H_0) zaman serisindeki tüm verilerin bağımsız ve aynı dağılımda olduğu, alternatif hipotez (H_1) ise artış veya azalış eğilimleri olduğu şeklindedir.

Hesaplanan t_{ssk} değeri seçilen anlamlılık düzeyi değerinden büyükse, zaman serisinde önemli eğilimler olduğu sonucuna varılır. Pozitif t_{ssk} değerleri, zaman serisindeki yükseliş eğilimlerini, negatif t_{ssk} değerleri ise düşüş eğilimlerini gösterir. (Sonali ve Kumar, 2013; Shadmani vd., 2011;)

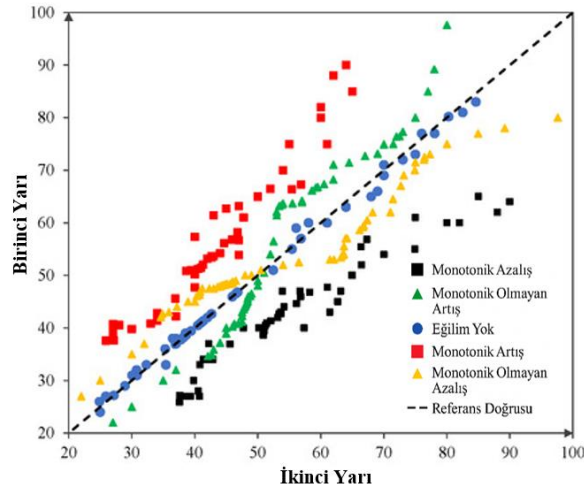
4. BULGULAR

Su kaynaklarındaki akımlar, hidrolojik ve iklimsel çalışmalar açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, akım değerlerindeki değişimlerin ortaya konulması; su depolama, taşkın kontrolü, sulama yönetimi ve planlama çalışmalarında karar vericilerin daha gerçekçi ve sürdürülebilir stratejiler geliştirmelerine yardımcı olur. Bu çalışmada, Fırat Havzası'nda yer alan akım gözlem istasyonlarından elde edilen uzun dönemli akım verileri kullanılarak akım serilerindeki trendsel değişimler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Analizlerde, farklı istatistiksel yöntemlerin güçlü ve tamamlayıcı yönlerinden yararlanmak amacıyla Yenilikçi Şen Trend (YŞT), Şen Trend Eğim (ŞTE), Mann-Kendall (MK), Spearman Sıra Korelasyonu (SSK) ve Ardışık Mann-Kendall (ARMK) testleri uygulanmıştır. Bu yöntemler aracılığıyla akım serilerinde eğilim yönü ve büyüklüğü, trendin başlangıç zamanı, istasyonlar arası farklılıklar, mekânsal ve zamansal değişimlerle birlikte değerlendirilmiştir. Trendin varlığının belirlenmesinde MK ve SSK testleri, trend eğilimlerinin belirlenmesinde ŞTE ve trendin hangi yıllarda başladığını belirlemek için ise ARMK testleri kullanılmıştır (Soydan vd., 2016).

4.1. Yenilikçi Şen Trend (YŞT) ve Yenilikçi Şen Trend Eğim (YŞTE) Yöntemi

İlk aşamada, akım serilerindeki eğilimlerin yönünü ve büyüklüğünü belirlemek amacıyla YŞT ve YŞTE yöntemleri uygulanmıştır. YŞT yöntemi ile serilerin alt ve üst yarıları karşılaştırılarak pozitif, negatif veya trend içermeyen durumlar istasyon bazında tespit edilmiş; YŞTE yöntemi ile de bu eğilimlerin istatistiksel olarak anlamlılık düzeyleri ve eğim değerleri hesaplanarak %95 güven aralıkları ile değerlendirilmiştir. Bu iki yöntem birlikte kullanılarak, hem trendin görsel ve niteliksel değerlendirmesi yapılmış hem de niceliksel olarak eğilim büyüklüğü ortaya konulmuştur.

YŞT grafikleri yorumlanırken veri kümesinin ortalamasından küçük ve büyük değerler karşılaştırılır. Ayrıca, eğilimleri görsel olarak yorumlarken, verilerin çoğu ortanca çizginin üzerinde kalıyorsa artan bir eğilim, altında kalıyorsa azalan bir eğilim olarak ifade edilir. Noktalar ortanca çizgiye hem alttan hem de üstten yakın ise belirgin bir eğilim olmadığını gösterir. Ayrıca noktalar $\pm$ %5 sapma çizgisinin dışında yer aldığından, bu düşüş istatistiksel olarak anlamlı kabul edilebilir. Ayrıca Şekil 3'te gösterilen grafiğe göre monoton artış (1:1 çizgisinin üzerindeki noktalar), monoton azalma (1:1 çizgisinin altındaki noktalar), monoton olmayan artış ve azalma (çizginin üstünde ve altında dönüşümlü olarak dağılmış noktalar) ve eğilim yok (1:1 çizgisi boyunca kümelenmiş noktalar) şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 3. YŞT yöntemine dayalı eğilimlerin kavramsal gösterimi (Kesgin, 2025).

Şekil 4’te D21A001 istasyonuna ait aylık YŞT grafikleri sunulmaktadır. Ocak ayında özellikle düşük akım değerlerinde yaklaşık %5 oranında azalma eğilimi gözlenirken, yüksek akım değerlerinde ise ortalama %5’in üzerinde artış eğilimi tespit edilmiştir. Şubat ayında genel olarak artış yönlü eğilim hâkim olmuş, bu eğilim özellikle küçük akım değerlerinin bulunduğu aralıklarda daha belirgin hale gelmiştir. Mart ayında ise monotonik (tek yönlü) artış gerçekleşmiştir. Ocak–Mart aylarında düşük akım değerlerinde sınırlı bir azalma eğilimi görülürken, yüksek akım değerlerinde genellikle artış yönlü eğilimlerin baskın oluşu bölgedeki yağışların ve kar örtüsünün etkisiyle kış döneminde artan yüzey akışına bağlanabilir.

Nisan ayında tüm verilerde %5 ortalamasını aşmadığı için anlamlı bir trend göstermemiş ancak orta değerlerde %5 ortalamanın altında azalan trend olduğu söylenebilir. Sıcaklıkların artmaya başlaması ile Mayıs ayında ise monotonik bir azalma, gözelenmiştir. Bu durum, artan sıcaklık ve buharlaşma ile ilgili olabilir.

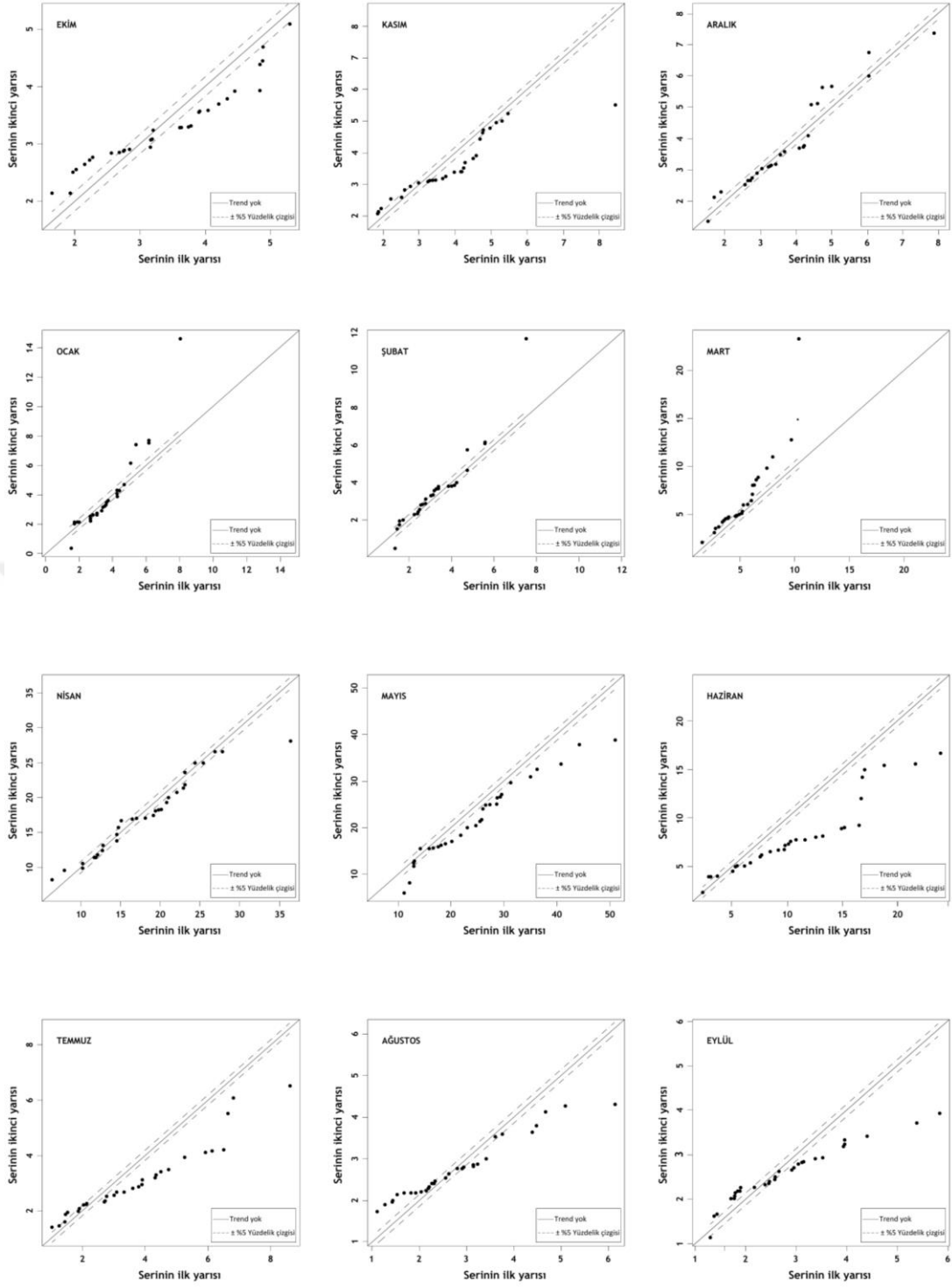
Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise monotonik olmayan azalış gözlenmiştir. Ayrıca Ağustos ayında düşük akım değerlerinde bir miktar artış gerçekleşmiştir. Bu azalma eğilimi Ekim aylarında da kısmen devam ederek yüksek akım değerleri arttıkça artma eğilimine geçmiştir. Yaz aylarında (Haziran–Eylül) eğilimler genellikle monotonik olmayan azalma özellikle Haziran ve Temmuz aylarında sıcaklıkların en yüksek seviyelere ulaşmasıyla akım

değerlerinde düşüşler belirginleşmiş, ancak Ağustos ayında düşük akım değerlerinde geçici bir artış gözlenmesi lokal yağışlar ile açıklanabilir.

Kasım ayında düşük akım değerlerinde %5'lik artış, yüksek akım değerlerinde %5'lik azalma, orta akım değerlerinde ise azalma eğilimi artmıştır. Kasım ayında düşük akım değerlerinde artış olmasına rağmen, orta ve yüksek akım değerlerinde azalma eğilimi mevsim geçişlerinde yağış rejimindeki düzensizliklerin etkisini yansıtmaktadır.

Aralık ayında eğilimler yeniden artış yönüne dönmüş, ancak bu artış monotonik olmayan bir artış sergilemiştir. Bu durum, akımın yıl sonuna doğru kısmen toparlandığını ancak sistematik bir artış göstermediğini işaret etmektedir.





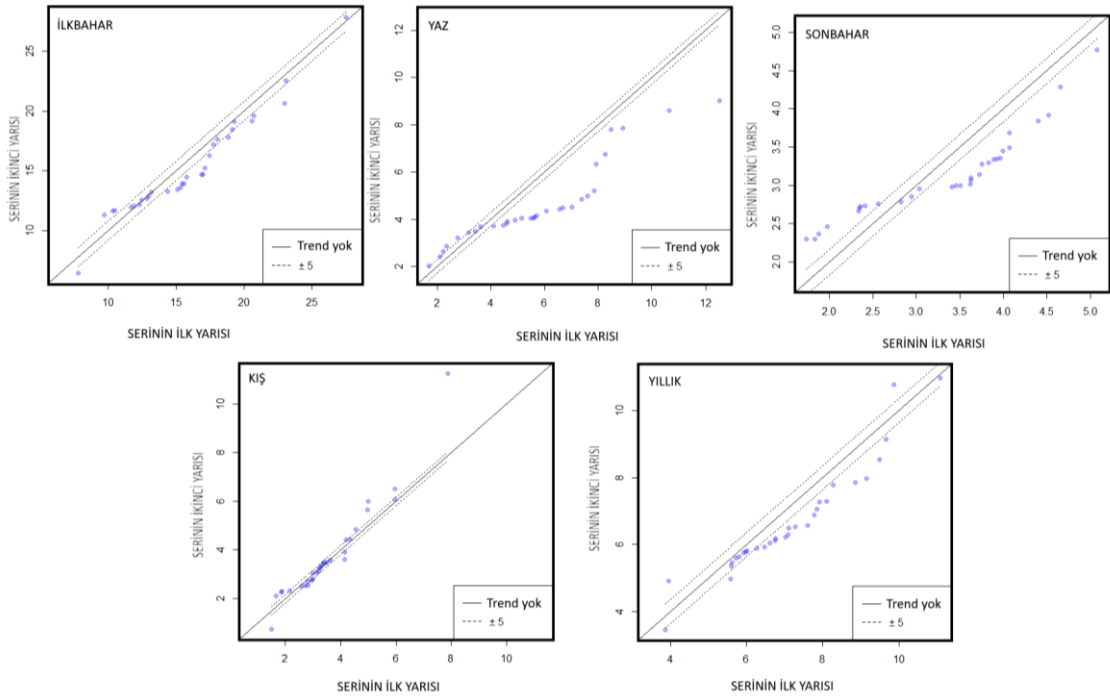
Şekil 4. D21A001 istasyonuna ait aylık YŞT analiz sonuçları

Aynı istasyonun Şekil 5'teki mevsimsel YŞT grafikleri incelendiğinde, en önemli eğilim Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde monoton olmayan azalma eğilimi görülmüştür. İlkbahar mevsiminde düşük ve orta akım değerlerinde monoton olmayan azalma, yüksek değerlerde ise

anlamalı bir trend yoktur. Kış mevsiminde ise düşük akım değerlerinde anlamalı tren olmamakla birlikte daha yüksek değerlerde artış eğilimi göstermiştir. Bu durum, bölgedeki yağışların ve kar örtüsünün etkisiyle kış döneminde artan yüzey akışına bağlanabilir. Akım değerlerinin mevsimsel olarak farklılıklar göstermesi su yönetimi için yapılacak planlamalar açısından önem arz etmektedir. Yıl genelinde akım serileri, kış aylarında artış, ilkbahar ve yaz aylarında azalış, sonbaharda ise kararsız bir eğilim göstermiştir. Bu değişimlerin temel nedenleri arasında mevsimsel sıcaklık farkları, yağış rejimi, buharlaşma oranı ve kar erimelerinin zamansal dağılımı yer almaktadır. Dolayısıyla, Fırat Havzası'nda akım davranışları büyük ölçüde iklimsel faktörlerin mevsimsel etkilerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Şekil 5'te yer alan yıllık dönem grafiğinde genel olarak azalan bir akım trendinin olduğu görülmektedir. Yıllık dönem grafiğinde gözlenen azalan akım trendi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından kritik bir uyarı niteliği taşımaktadır. Akarsu debilerinde veya yeraltı su seviyelerinde ortaya çıkan uzun vadeli azalış, su arzı ile talebi arasındaki dengeyi bozabilir. Bu durumda içme ve kullanma suyu temininde zorluklara, tarım ve sulama faaliyetlerinde verim kayıplarına, enerji üretimi (özellikle hidroelektrik) açısından kapasite daralmalarına yol açabilmektedir. Dolayısıyla bu eğilim, entegre havza yönetimi, su tasarru(t) u stratejileri, yağmur suyu hasadı gibi yöntemlerle su verimliliğinin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Azalan akım trendi, küresel iklim değişikliği ile de doğrudan ilişkilendirilebilir. Yağış rejimlerinde düzensizlik, buharlaşma oranlarının artışı, kar örtüsünün azalması ve erime zamanlamasındaki değişiklikler gibi süreçler su döngüsünü değiştirmektedir. Bu durum, bazı bölgelerde kuraklığın şiddetlenmesine, su kaynaklarının hem nicelik hem de nitelik bakımından azalmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda azalma trendi su yönetiminde iklim uyum politikalarını zorunlu hale getirerek iklim senaryolarına dayalı modellemeler, uzun vadeli su yönetim planlamaları, doğa temelli çözümler (ör. sulak alanların korunması) ile farklı stratejiler geliştirilmektedir.

Sonuç olarak, yıllık dönem grafiğinde görülen azalan akım eğilimi, hem küresel ısınmanın olumsuz etkilerini hem de su kaynakları yönetiminde daha etkin, uygulanabilir ve bütüncül yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5. D21A001 istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık YŞT analiz sonuçları

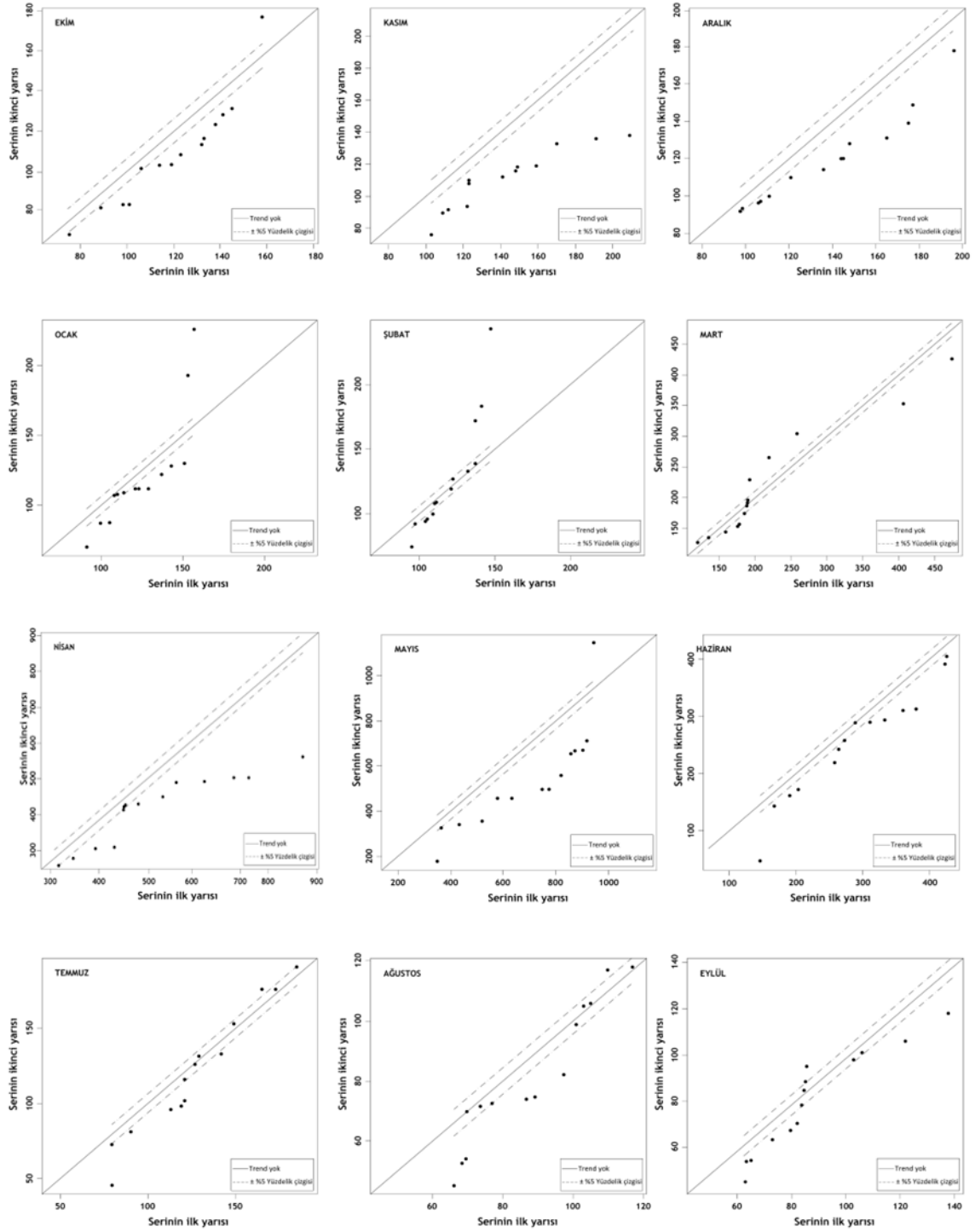
Şekil 6’da gösterilen E21A019 istasyonuna ait aylık YŞT grafiklerinin analizi sonucunda Ocak ayında düşük ve orta akımlarda negatif trendin baskın, yüksek akım değerlerinde artış eğilimi göstermiş. Yani seride genel bir düşüş olsa da ekstrem değerlerde artış eğilimi mevcuttur. Bu da trendin monotonik olmadığını, farklı akım düzeylerinde zıt yönlü eğilimler bulunduğunu (bazı aralıklarda azalış, bazılarında artış) göstermektedir.

Şubat ayı düşük akım değerlerinde azalma görüldüğünden negatif trend, yüksek değerlerde akım trendinde artış gözlemlendiğinden pozitif bir trend olduğunu ortaya koyuyor. Orta değerlerde ise istatistiksel olarak anlamlı bir trend bulunmamakla birlikte genel olarak akım serisinde monotonik olmayan bir trend artışı mevcuttur. Mart ayında serinin ikinci yarısındaki değerler genellikle ilk yarısına göre biraz daha yüksek. Dolayısıyla seride zayıf pozitif bir trend (artış eğilimi) vardır. Ancak noktalar genellikle güven sınırlarının (± 5) içinde kaldığı için bu artış istatistiksel olarak güçlü bir trend değil; düşük seviyede veya kararsız bir artış eğilimi olarak yorumlanabilir. Nisan, Mayıs ve Haziran ayları genel olarak azalan yönlü bir trendin bulunduğunu göstermektedir.

Temmuz ve Ağustos ayları için genel olarak hafif artış yönlü bir trend olmakla birlikte düşük değerlerde azalan trend orta değerlerde noktalar genel olarak $\pm 5\%$ sınırları içinde olduğundan,

trend istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yüksek değerlerde ise bir artış eğilimi olduğu söylenebilir. Eylül ayında düşük değerlerde negatif trend, orta değerlerde pozitif trendi yani akımın arttığını gösteriyor. Yüksek değerlerde ise hafif azalma eğilimi ile negatif trendi işaret ediyor. Ekim, Kasım ve Aralık ayları için grafik, genel olarak azalan bir trend göstermekte ve monotonik bir azalma olduğu söylenebilir.





Şekil 6. E21A019 istasyonuna ait akım verilerinin aylık YŞT analiz sonuçları

Şekil 7’de verilen E21A019 istasyonuna ait mevsimsel YŞT analizi sonuçlarına göre, akım serileri belirgin şekilde mevsimsel farklılıklar göstermektedir. Kış mevsiminde düşük ve orta akım değerlerinde genel olarak azalma eğilimi, yüksek akım değerlerinde ise artış eğilimi

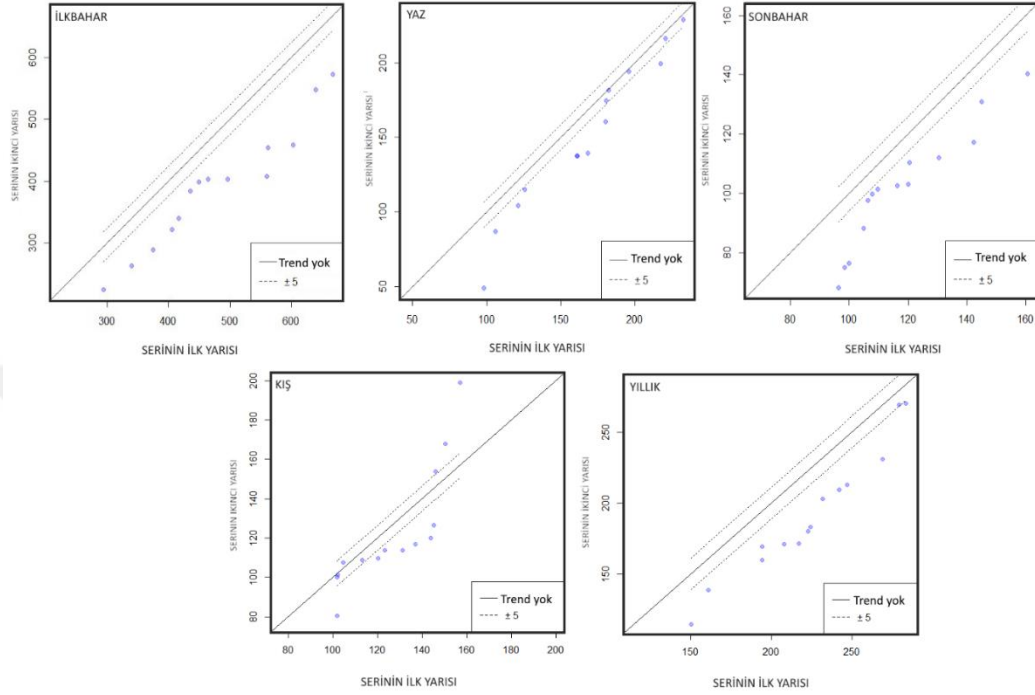
gözlenmiştir. Bu durum, kış döneminde artan yağışlar ve kar örtüsünün etkisiyle ortaya çıkan yüksek akımların etkisini yansıtmaktadır. İlkbahar mevsiminde kar erimeleriyle birlikte akımların artması beklenmekle birlikte, sıcaklıkların hızla yükselmesi ve buharlaşma oranının artması sonucunda azalan yönlü trend baskın hale gelmiştir.

Yaz mevsiminde genel olarak monotonik azalma hâkimdir. Bu durum, yaz döneminde yaşanan yerel konvektif yağışlar, tarımsal sulama faaliyetleri ve buharlaşma artışı gibi hidroklimatik faktörlerin etkisini yansıtmaktadır. Sonbahar mevsiminde akım serilerinin genel olarak azalan eğilim göstermesi yağışların düzensizliği ve sıcaklıkların görece yüksek seyretmesi, akım değerlerinde istikrarsız bir düşüşe neden olmuştur.

Genel olarak E21A019 istasyonunda akım serilerinin mevsimsel değişimi, iklimsel faktörlerin (yağış, sıcaklık, buharlaşma) yanı sıra hidrolojik tepkilerin zamansal farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bu değişimler büyük ölçüde bölgesel iklim koşulları, yağış rejimi farklılıkları, sıcaklık artışları, buharlaşma oranları ve mevsimsel hidrolojik döngüler ile açıklanabilir. Bu sonuçlar, Fırat Havzası'nda akımın mevsimsel dağılımının iklimsel dalgalanmalara duyarlı olduğunu ve hidrolojik rejimin yıl içinde değişken bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Şekil 7'da verilen E21A019 istasyonuna ait yıllık YŞT analizi sonuçlarına göre, yıl boyunca grafikteki noktaların çoğu, trend çizgisinin altında konumlanmıştır. Bu durum, serinin genelinde azalan bir eğilim olduğunu göstermektedir. Özellikle düşük ve orta değerlerde noktalar eğilim çizgisinin altında ve $\pm 5\%$ sınırlarının dışında yer almakta; bu da gözlenen düşüşün istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek akım değerlerinde bazı noktalar trend çizgisine oldukça yakın seyretmekte, bu da yüksek akımlarda eğilimin zayıfladığını veya durağanlaştığını düşündürmektedir. Ancak serinin genel yapısı, düşük ve orta akım değerlerinin etkisiyle negatif yönlü bir trendin baskın olduğunu göstermektedir. Monotonik bir azalma söz konusudur. Yıllık bazda değerlendirildiğinde, istasyon genelinde akım değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalan bir eğilim söz konusudur. Bu eğilim, düşük ve orta akım düzeylerinde belirgin şekilde ortaya çıkarken, yüksek akım değerlerinde nispeten daha zayıf seyretmektedir. Dolayısıyla istasyonun uzun dönem akım rejimi, kuraklık etkisi altında giderek zayıflayan bir hidrolojik davranış sergilemektedir.

Bu yıllık azalış eğilimi, muhtemelen havzada gözlenen sıcaklık artışları, yağışlardaki düzensizlikler ve buharlaşma oranlarının artması gibi iklimsel faktörlerle ilişkilendirilebilir. Özellikle son yıllarda kurak dönemlerin sıklaşması, yüzey akımlarında azalmaya yol açmış olabilir.

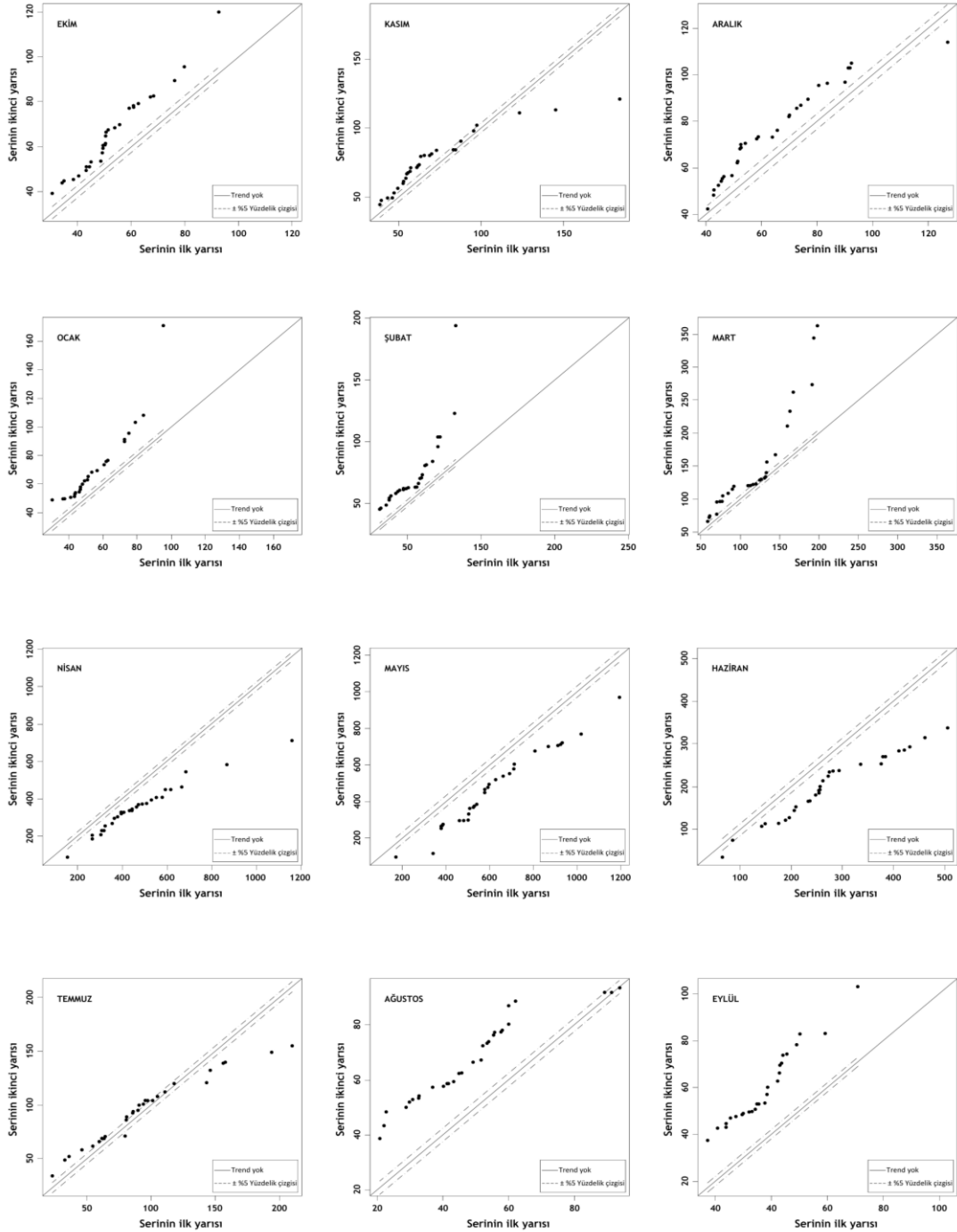


Şekil 7. E21A019 istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık YŞT analiz sonuçları

Şekil 8’de E21A051 istasyonuna ait verilen aylık YŞT analiz grafiklerine göre; Ocak ve Şubat aylarında trend artışı gözlenmiştir. Burada genel olarak monotonik artış trendi mevcuttur. Mart ayında genel olarak artan trend gözlenmekle beraber, düşük akım değerlerindeki artma eğilimi orta değerlerde yerini anlamlı olmayan trende bırakmıştır.

Sıcaklıkların artması ile Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında azalan yönlü trend görülmektedir. %5 oranında azalma eğilimi Nisan ayında düşük akımlarda daha sık gözlenirken Mayıs ve Haziran aylarında orta akımlarda gözlenmiştir. Bu aylar için genel olarak monotonik azalış olduğu söylenebilir. Temmuz ayında düşük ve orta akımlardaki artış ve yüksek akımlardaki azalma monotonik olmayan azalma olarak değerlendirilmektedir. Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında genel olarak artan bir trend gözükmeyle birlikte Ekim ayında düşük akım değerlerindeki yükseliş kısmen azalmıştır. Bu üç ay da genel olarak monotonik artış görülmektedir. Ekim ayında düşük akımlardaki kısmi düşüş Kasım ayında devam ederek

monotonik olmayan azalmaya gerilemiştir. Yani Kasım ayında yüksek akımlarda azalma trendi gözlemlenirken düşük akımlardaki artış trendi gerilemiştir. Aralık ayına bakıldığında ise genel itibari ile trend artışı olduğu söylenebilir.



Şekil 8. E21A051 nolu istasyonuna ait akım verilerinin aylık YŞT analiz sonuçları

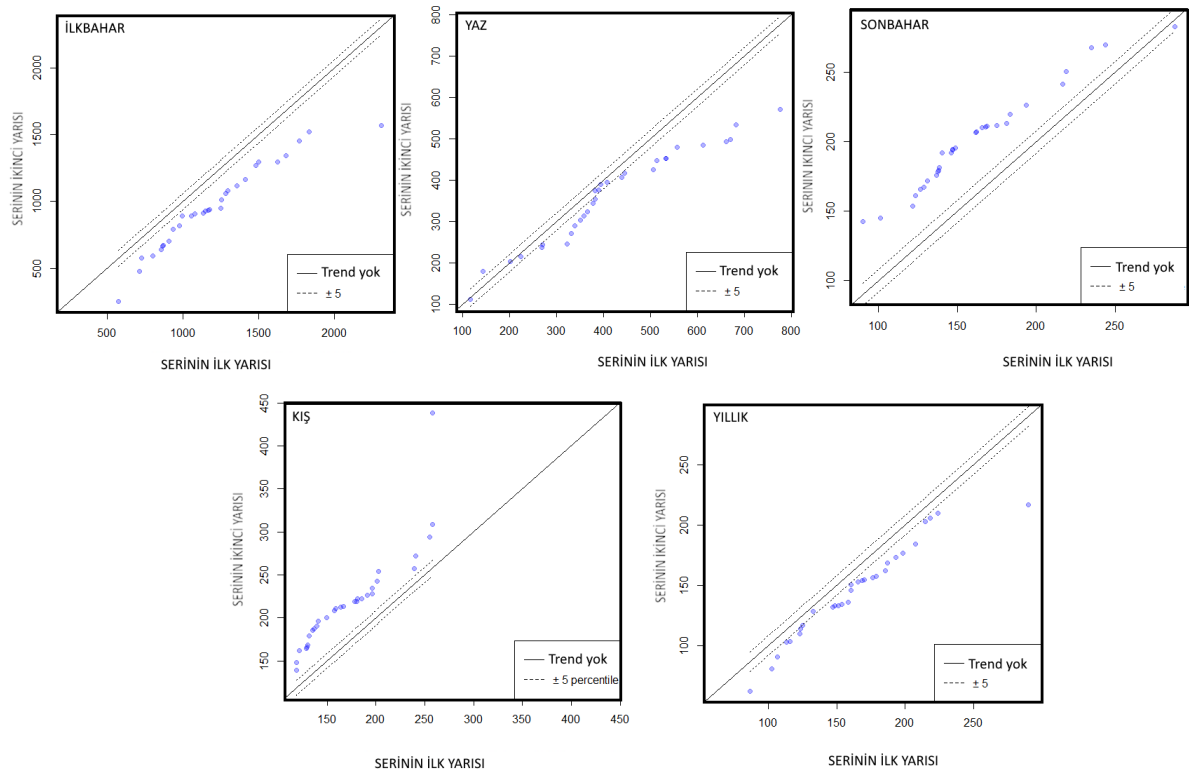
Şekil 9’da E21A051 istasyonuna ait akım verilerinin yıllık ve mevsimlik YŞA sonuçlarına göre sonbahar ve kış mevsimi grafiklerinde noktaların büyük çoğunluğu trend çizgisinin üstünde yer

almaktadır. Bu durum, artan bir eğilimin hâkim olduğunu göstermektedir. Noktaların büyük bir kısmı $\pm\%5$ sınırının da üzerinde konumlandığı için bu artış istatistiksel olarak anlamlı kabul edilebilir. Bu durum, sonbahar aylarında yağışların yeniden başlaması ve yüzey akışının artmasına bağlı olarak pozitif trendin ortaya çıkmasıyla açıklanırken kış aylarında gözlenen artış ise kar yağışları ve artan yağış miktarlarının akım değerlerini yükseltmesinden kaynaklanmaktadır. Dönem genelinde akım değerlerinin yükselme eğiliminde olduğu söylenebilir.

İlkbahar döneminde, noktaların genel olarak trend çizgisinin altında yer aldığı görülmektedir. Bu, serinin azalan (negatif) bir eğilim gösterdiğini ifade eder. Noktaların büyük kısmı $\pm\%5$ sınırına yakın olsa da bazıları bu sınırın dışında kalmakta ve bu durum istatistiksel olarak anlamlı bir azalma eğilimine işaret etmektedir. İlkbaharda kar erimelerinin tamamlanması ve sıcaklıkların yükselmesiyle birlikte buharlaşmanın artması akım miktarlarının düşmesine neden olmuş olabilir.

Yaz dönemi grafiğinde noktaların bir kısmı trend çizgisinin altında, bir kısmı ise çizgiye yakın konumlanmıştır. Bu durum, genel olarak azalan bir trend olduğunu, fakat bu azalmanın monotonik olmadığını göstermektedir. Yaz aylarında artan sıcaklık ve buharlaşma oranı, yüzey akımlarında azalmaya neden olmakta; ancak zaman zaman kısa süreli yağışlar veya yerel akım artışları nedeniyle eğilim tam anlamıyla sabit bir düşüş olarak gözlenmemektedir. Dönem genelinde negatif yönlü fakat zayıf bir eğilim hâkimdir.

Yıllık YŞT grafiğinde noktaların büyük bölümü trend çizgisinin alt kısmında yoğunlaşmış ve $\pm\%5$ bandının dışında kaldığından genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı azalan bir trendin mevcut olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. E21A051 nolu istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık YŞT sonuçları

Tüm istasyonlara ait elde edilen bulgular Fırat Havzası genelinde eğilimlerin mekânsal dağılımını ve istasyonlar arasındaki farklılıkları net bir şekilde göstermektedir. İstasyonlar arasındaki trend farklılıkları, hidrolojik ve klimatolojik değişkenlerin yanı sıra bölgesel insan etkilerinden de kaynaklanmaktadır. Her bir istasyonun bulunduğu havzanın yağış rejimi, sıcaklık yapısı, arazi kullanımı ve jeolojik özellikleri akım trendlerini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, yüksek rakımlı veya dağlık bölgelerde kar erimelerine dayalı akımların yoğun olması, mevsimsel değişimlerin belirginleşmesine neden olurken; alçak alanlarda veya yerleşim bölgelerine yakın istasyonlarda insan faaliyetleri (baraj, sulama, su çekimi, sanayi kullanımı vb.) trend davranışını değiştirmektedir. Ayrıca, havza yüzeyindeki geçirimsizlik oranı, bitki örtüsündeki değişim ve toprak nemi gibi faktörler de akımın tepki süresini etkileyerek farklı istasyonlarda pozitif veya negatif eğilimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Klimatik olarak, özellikle son yıllarda artan sıcaklık ve buharlaşma oranları bazı istasyonlarda düşüş eğilimlerini güçlendirirken, düzensiz yağış rejimine sahip bölgelerde kısa süreli fakat yüksek akımlar pozitif trendlere yol açmıştır. Dolayısıyla, istasyonlar arası farklılıklar; iklimsel değişkenlik, hidrolojik koşullar ve insan kaynaklı baskıların mekânsal heterojenliği ile açıklanabilir.

YŞTE eğim yönteminde ise trendin varlığı ve yönü ile trendin şiddeti de belirlenmektedir. Grafikselsel YŞT yönteminde %5 aralık çizgisini referans alarak YŞTE yöntemi %95 güven aralıkları ile değerlendirildi. Eğim değeri güven aralıklarının içindeyse anlamsız trend, güven aralıklarının dışında ise anlamlı trend vardır. Eğim değeri negatif ise azalan trend pozitif ise artan trend anlamını taşımaktadır. Aynı zamanda indikatör değeri de trendin yönünü gösteren kısaca akımın artma-azalma eğilimini (trendini) ortaya koymak için kullanılan bir “gösterge”dir.

Fırat Havzası’na ait üç akım gözlem istasyonunda yapılan YŞTE yöntemi değerlendirmeleri sonucunda, istasyonlar arasında hem aylık hem de mevsimsel ölçekte belirgin farklılıklar gözlenmiştir. Analizler, akım değerslerinin dönemsel olarak değışen eğilimlerini ve bu eğilimlerin şiddetlerini ortaya koymuştur

D21A001 istasyonu akım değerslerindeki eğilimi analiz için uygulanan YŞTE yönteminden elde edilen analiz sonuçları ve eğimin yönü Tablo 2’de gösterilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, Ocak, Şubat ve Mart aylarında artan yönde bir trend belirlenmiş, bu artışın en zayıf olduğu ayın Ocak olduğu görölmüştür. Nisan ayında trendin yön değıştirdiği ve azalış eğilimine geçtiği, bu azalışın Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında şiddetini artırarak devam ettiği tespit edilmiştir. Ağustos ayında akım değerslerinde yeniden bir azalış gözlenmiş, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ise bu azalan eğilim devam etmiştir. Aralık ayında ise artış yönlü, ancak düşük şiddette bir trend gözlenmiştir.

Mevsimsel olarak değerlendirildiğinde, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde belirgin bir trend bulunmazken, sonbaharda azalan, kış aylarında ise artan bir trend gözlenmiştir. Yıllık bazda yapılan değerlendirmede, genel eğilimin azalma yönünde olduğu ve bu azalmanın Ocak ayındaki trend şiddetiyle paralellik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 2. D21A001 istasyonu akım verilerine ait YŞTE Analiz sonuçları

D21A001 İstasyonu					
	Eğim	%95 güven aralığı alt limiti (CL)	%95 güven aralığı üst limiti (CL)	Gösterge	Eğim yönü
Ocak	0,007694069	0,005973527	-0,005973527	0,653815545	↑
Şubat	0,008954214	0,004355112	-0,004355112	0,850464519	↑
Mart	0,005773207	0,011315487	-0,011315487	0,850464519	↑
Nisan	-0,018626431	0,011181322	-0,011181322	-0,320461178	↓
Mayıs	-0,09673257	0,01527266	-0,01527266	-1,22768093	↓
Haziran	-0,087866805	0,01210354	-0,01210354	-2,535735736	↓
Temmuz	-0,02037461	0,003271511	-0,003271511	-1,725566229	↓
Ağustos	-0,00182102	0,001545977	-0,001545977	-0,202241997	↓
Eylül	-0,00780437	0,001853535	-0,001853535	-0,860289057	↓
Ekim	-0,002924038	0,001919494	-0,001919494	-0,267950796	↓
Kasım	-0,009344433	0,00352974	-0,00352974	-0,760887985	↓
Aralık	0,000114464	0,002900738	-0,002900738	0,009490122	↑
İlkbahar	0,004118799	0,008072846	-0,008072846		
Yaz	0,003173746	0,006220542	-0,006220542		
Sonbahar	-0,006690947	0,002130917	-0,002130917	-0,622117586	↓
Kış	0,005587582	0,003697694	-0,003697694	0,487885396	↑
Yıllık	-0,01505992	0,00380732	-0,00380732	-0,654473169	↓

Tablo 3'te E21A019 nolu istasyonu akım verilerine ait YŞTE analiz sonuçları verilmiştir. Bu istasyona ait analizlerde, Ocak ayında düşük şiddette azalan bir trend belirlenmiştir. Şubat ve Mart aylarında düşük şiddette artan yönlü eğilim gözlenmiştir. Nisan ve Mayıs aylarında trendin azalma yönünde şiddetlendiği, ancak Haziran ayında yön değiştirerek artış gösterdiği belirlenmiştir. Temmuz'dan Kasım ayına kadar yeniden azalan trend eğilimi devam etmiş, Aralık ayında ise trendin yönü tekrar artışa dönmüştür. En belirgin azalma Mayıs ayında, en güçlü artış ise Aralık ayında görülmüştür.

Mevsimsel açıdan incelendiğinde, ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde artan eğilimler gözlenmiş ve bu dönemler arasında trend şiddetleri benzerlik göstermiştir. Buna karşılık, sonbahar

mevsiminde belirgin bir azalan trend ortaya çıkmıştır. Yıllık ölçekte elde edilen azalan trend, sonbahar mevsimiyle benzer özellikler göstermektedir.

Tablo 3. E21A019 istasyonu akım verilerine ait YŞTE Analiz sonuçları

E21A019 İstasyonu					
	Eğim	%95 güven aralığı alt limiti (CL)	%95 güven aralığı üst limiti (CL)	Gösterge	Eğim yönü
Ocak	-0,1857381	0,4543104	-0,4543104	-0,2164954	↓
Şubat	0,597672	0,3643382	-0,3643382	0,7272518	↑
Mart	0,35507891	0,69595467	-0,69595467	0,95442568	↑
Nisan	-7,3681869	1,4455701	-1,4455701	-2,0341928	↓
Mayıs	-10,824249	3,1350159	-3,1350159	-2,265281	↓
Haziran	0,2986279	0,5853107	-0,5853107	0,9691762	↑
Temmuz	-0,4699587	0,15491131	-0,19160684	-0,53198914	↓
Ağustos	-0,453925	0,15491131	-0,15491131	-0,7469745	↓
Eylül	-0,5396393	0,2256207	-0,203165	-0,8877372	↓
Ekim	-0,7636421	0,2256207	-0,2256207	-0,9272047	↓
Kasım	-2,1820753	0,3680369	-0,3680369	-2,1388763	↓
Aralık	0,09424266	0,18471562	-0,18471562	0,97081111	↑
İlkbahar	0,3645995	0,2417271	-0,2417271	0,9681361	↑
Yaz	0,1233301	0,2417271	-0,2417271	0,9791088	↑
Sonbahar	-1,1617856	0,17669872	-0,17669872	-1,42162274	↓
Kış	0,1966445	0,7146149	-0,3854233	0,8339645	↑
Yıllık	-2,1694945	0,2483507	-0,2483507	-1,4096758	↓

Tablo 4.'de E21A051 nolu istasyonun akım verilerine ait YŞTE analiz sonuçları verilmiştir. Bu istasyonda Ocak, Şubat ve Mart aylarında şiddetli artış yönlü trend belirlenmiştir. Nisan ayında trendin yönü azalan tarafa dönmüş ancak eğilim şiddetini önemli ölçüde kaybetmemiştir. Mayıs

ayında trend bir miktar artış göstermiş, Haziran ve Temmuz aylarında ise azalan trend eğilimi gözlenmiştir. Ağustos'tan Aralık ayına kadar olan dönemde yeniden artış yönlü trendler tespit edilmiş ve bu dönemde en güçlü artış Eylül ayında gerçekleşmiştir.

Tablo 4. E21A051nolu istasyonu akım verilerine ait YŞTE Analiz sonuçları

E21A051 İstasyonu					
	Eğilim	%95 güven aralığı alt limiti (CL)	%95 güven aralığı üst limiti (CL)	Gösterge	Eğim yönü
Ocak	0,52511111	0,06606398	-0,06606398	2,86033897	↑
Şubat	0,65422222	0,11645596	-0,11645596	3,68107894	↑
Mart	1,0506667	0,2150581	-0,2150581	2,7094609	↑
Nisan	-4,0788889	0,3118565	-0,3118565	-2,6123978	↓
Mayıs	0,1773296	0,3475661	-0,3475661	0,9837797	↑
Haziran	-2,49655556	0,18182422	-0,18182422	-2,72794428	↓
Temmuz	-0,01066667	0,0782451	-0,0782451	-0,03356919	↓
Ağustos	0,60755556	0,05129868	-0,05129868	3,74897748	↑
Eylül	0,74222222	0,03634532	-0,03634532	5,85947189	↑
Ekim	0,40955556	0,02468299	-0,02468299	2,30900996	↑
Kasım	0,13122222	0,08578263	-0,08578263	0,55527768	↑
Aralık	0,34944444	0,04801704	-0,04801704	1,62225137	↑
İlkbahar	-8,1016667	0,7823416	-0,7823416	-2,0230114	↓
Yaz	-1,8996667	0,2829968	-0,2829968	-1,3617789	↓
Sonbahar	1,283	0,07045967	-0,07045967	2,37433646	↑
Kış	1,5287778	0,216328	-0,216328	2,6508317	↑
Yıllık	-0,59912963	0,08945753	-0,08945753	-1,10323021	↓

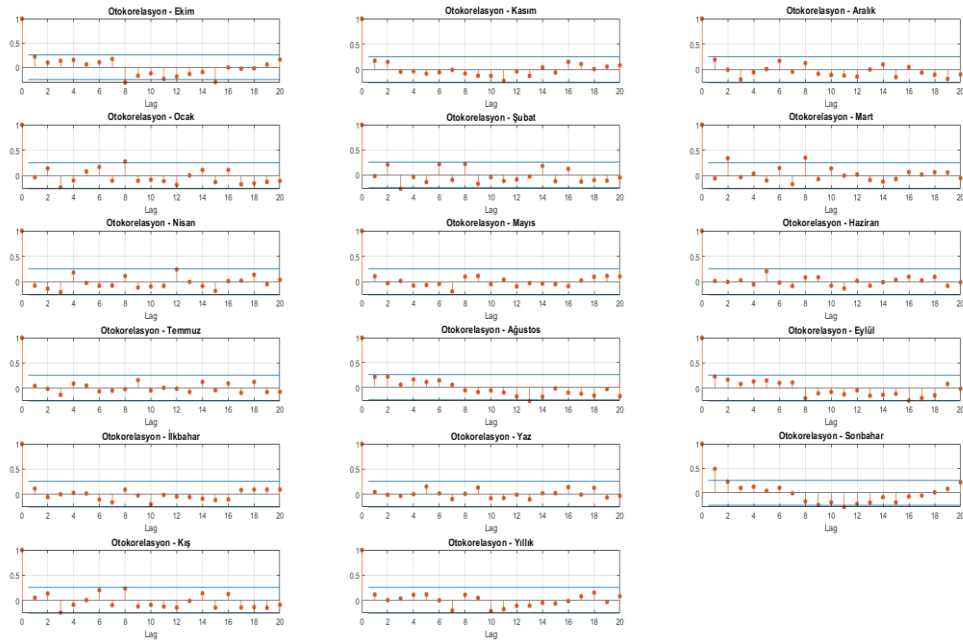
Mevsimsel analiz sonucunda, ilkbahar ve yaz dönemlerinde azalan, sonbahar ve kış dönemlerinde ise artan trendler ön plana çıkmıştır. Yıllık ölçekte yapılan değerlendirmede, azalan yönlü trendin özellikle yaz mevsimiyle paralellik gösterdiği saptanmıştır.

İstasyonlara ait YŞTE verilerini değerlendirdiğimizde Fırat Havzası'nda akım rejiminin belirgin bir mevsimsellik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak, kış ve sonbahar döneminde artan, yaz ve ilkbahar dönemlerinde ise azalan yönlü eğilimlerin baskın olduğu

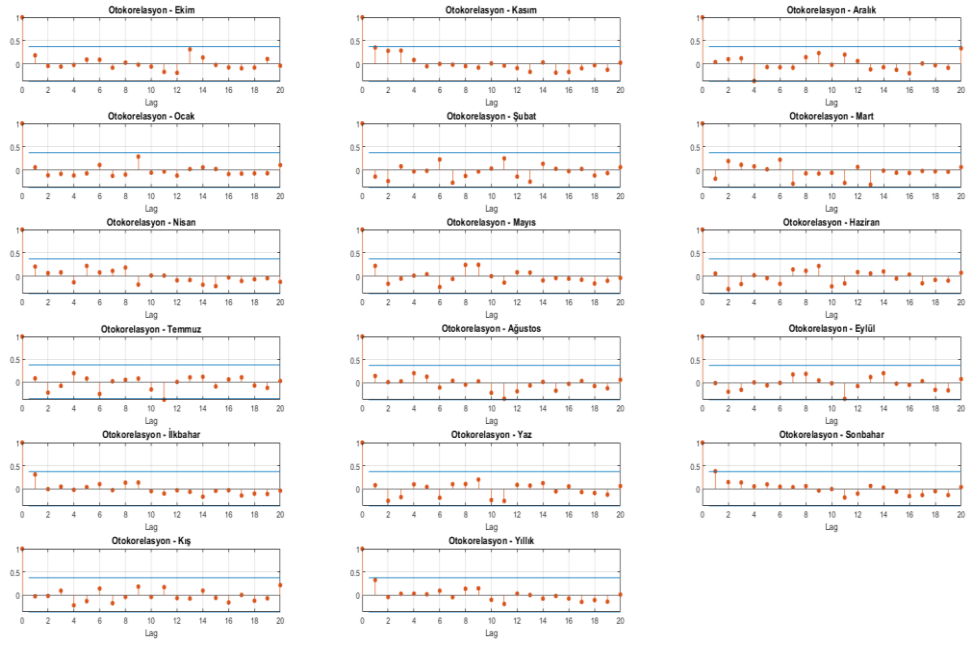
görülmektedir. Bu durum, yağış ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak akım değerlerinde gözlenen doğal mevsimsel dalgalanmalarla uyumludur. Yıllık bazda çoğu istasyonda azalan trendlerin öne çıkması, havzada uzun dönemli su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından dikkatle izlenmesi gereken bir duruma işaret etmektedir. YŞTE yöntemi ile elde edilen sonuçlar, klasik trend analizlerinden farklı olarak hem eğilim yönünü hem de şiddetini ortaya koyarak, havza ölçeğinde akım değişimlerinin dinamik yapısına ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır.

4.2. Mann-Kendal Testi (MK)

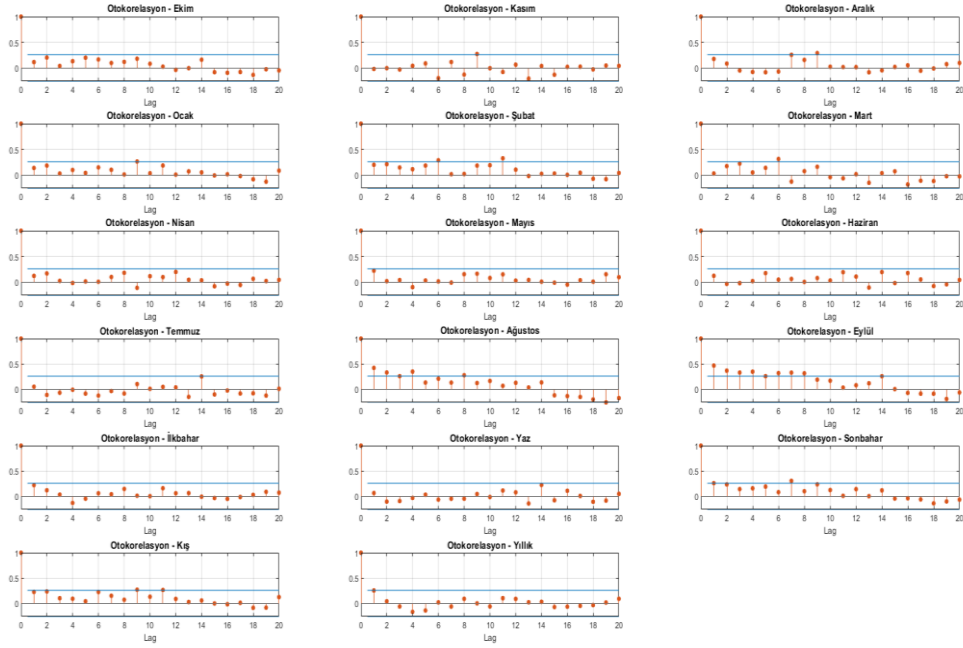
Çalışmada kullanılan parametrik olmayan MK testinde verilerin büyüklüğü değil sıralamaları önemlidir (Burn ve Elnur, 2002). Bu nedenle değişkenler rastgele dağılır. Bu teste başvurmadan önce testin ön şartı olan içsel bağımlılık durum değerlendirmesi yapılmış ve içsel bağımlılık değerleri hesaplanarak güven limitleri incelenmiştir (Katipoğlu vd., 2022). Üç istasyona ait her bir zaman periyodu için elde edilen otokorelasyon (lag-1; bir aylık gecikme ilişkisi) değerleri güven limitleri içerisinde kaldığı Şekil 10-13 grafiklerinden de görülmektedir.



Şekil 10. D21A001 istasyonuna ait aylık, mevsimlik ve yıllık zaman periyodundaki 1 aylık gecikme (lag-1) değerlerine ait oto korelasyonlar.



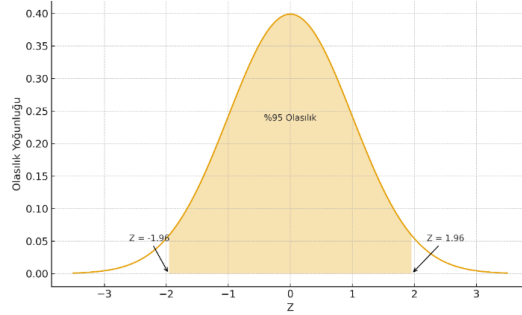
Şekil 11. E21A019 istasyonuna ait aylık, mevsimlik ve yıllık zaman periyodundaki 1 aylık gecikme (lag-1) değerlerine ait oto korelasyonlar.



Şekil 12. E21A051 istasyonuna ait aylık, mevsimlik ve yıllık zaman periyodundaki 1 aylık gecikme (lag-1) değerlerine ait oto korelasyonlar

MK trend analizi, incelenen zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı trendin bulunup bulunmadığını ve trendin yönünü belirlemek amacıyla uygulanmış ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Analizlerde, anlamlılık düzeyi $\alpha = 0.05$ olarak seçilmiş olup bu düzey için %95

güven aralığı esas alınmıştır (Şekil 13). Buna göre, z değerinin ± 1.96 aralığında kalması trendin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, bu aralık dışında bulunması ise anlamlı bir trendin varlığını göstermektedir. Ayrıca p değerinin 0.05'ten küçük olması da trendin anlamlı olduğuna işaret etmektedir. Trendin yönü z değerinin işareti ile belirlenerek; ($\uparrow$) anlamlı artan trend, ($\downarrow$) anlamlı azalan trend ve ($\leftrightarrow$) trend yok şeklinde sembolleştirilmiştir.



Şekil 13. Standart normal dağılım eğrisi

Ay, mevsim ve yıllık sonuçların değerlendirmesi ile elde edilen eğim bulguları sonucunda D21A001 istasyonunda aylık değişimlerde genel olarak istatistiksel olarak anlamlı bir trend görülmemiştir. Ancak Haziran, Eylül, Yaz, Sonbahar ve Yıllık değerlere bakıldığında $z < -1.96$ ve $p < 0.05$ koşulları sağlanmakta olup bu dönemlerde anlamlı azalan trend tespit edilmiştir. Bu durum, ilgili dönemlerde ölçülen değerlerin zaman içinde azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Yıllık düzeyde azalma trendinin ortaya çıkması, uzun dönemli düşüşün belirginleştiğini göstermesi açısından önemlidir.

E21A019 istasyonunda aylık ve mevsimsel olarak yaygın bir azalan trend gözlenmiştir. Özellikle Ekim, Kasım, Nisan, Mayıs, İlkbahar, Sonbahar ve Yıllık değerlerde $p < 0.05$ ve $z < -1.96$ bulunmuştur. Buna göre istasyon genelinde belirgin ve yaygın bir azalma eğilimi söz konusudur. Bu durum, seride zamana bağlı olarak düzenli bir düşüşün sürdüğünü ifade eder.

E21A051 istasyonunda farklı dönemlerde hem artan hem azalan trendlerin birlikte görüldüğü daha karmaşık bir yapı söz konusudur. Ocak, Şubat, Ağustos, Eylül, Sonbahar ve Kış dönemlerinde anlamlı artan trend belirlenmiştir. Nisan, Mayıs, Haziran, İlkbahar ve Yıllık dönemlerde ise anlamlı azalan trend tespit edilmiştir.

Tablo 5. MK metoduna ait istatistiksel sonuçlar

Aylar	D21A001			E21A019			E21A051		
	p	Z	Eğim	P	Z	Eğim	P	Z	Eğim
Ekim	0,191	-1,305	↔	0,039	-2,063	↓	0,075	1,779	↔
Kasım	0,258	-1,129	↔	0,001	-3,132	↓	0,269	1,103	↔
Aralık	0,226	-1,208	↔	0,051	-1,950	↔	0,061	1,868	↔
Ocak	0,266	-1,111	↔	0,058	-1,894	↔	0,003	2,901	↑
Şubat	0,831	-0,212	↔	0,441	-0,769	↔	0,000	3,469	↑
Mart	0,101	1,640	↔	1	0	↔	0,351	0,931	↔
Nisan	0,779	-0,279	↔	0,037	-2,082	↓	0,001	-3,220	↓
Mayıs	0,118	-1,561	↔	0,021	-2,307	↓	0,001	-3,106	↓
Haziran	0,040	-2,046	↓	0,320	-0,994	↔	0,006	-2,736	↓
Temmuz	0,093	-1,676	↔	0,535	-0,619	↔	0,908	0,114	↔
Ağustos	0,307	-1,020	↔	0,464	-0,731	↔	0,008	2,621	↑
Eylül	0,046	-1,992	↓	0,338	-0,956	↔	$7,4 \cdot 10^{-5}$	3,960	↑
İlkbahar	0,319	-0,996	↔	0,013	-2,476	↓	0,003	-2,933	↓
Yaz	0,043	-2,016	↓	0,358	-0,919	↔	0,124	-1,537	↔
Sonbahar	0,016	-2,387	↓	0,005	-2,757	↓	0,008	2,640	↑
Kış	0,496	-0,680	↔	0,133	-1,500	↔	0,001	3,220	↑
Yıllık	0,046	-1,992	↓	0,015	-2,419	↓	0,043	-2,015	↓

MK trend analizi sonuçları, incelenen zaman serilerinde trend davranışlarının istasyonlar arasında belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle E21A019 istasyonunda gözlenen yaygın ve anlamlı azalan trendler, bölgesel ölçekte uzun dönemli kuraklaşma eğiliminin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık E21A051 istasyonunda mevsimsel olarak değişen artış ve azalış yönleri, lokal mikroklimatik koşulların ve mevsimsel

döngülerin belirleyici rol oynadığını düşündürmektedir. Bununla birlikte trendlerin yalnızca bölgesel veya mevsimsel faktörlerle açıklanamayacağı açıktır. Yeraltı ve yüzey suyu etkileşimleri, arazi kullanım değişiklikleri (tarımsal sulama yoğunluğu, kentleşme, orman alanlarının daralması gibi), buharlaşma ve terleme oranları, atmosferik dolaşım sistemleri, kar örtüsü sürekliliği ve topografik yapının etkileri trendlerin yön ve büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Özellikle son yıllarda artan sıcaklık ve yağış rejimindeki düzensizlikler, küresel iklim değişikliğinin bölgesel ölçekte hem hidrolojik hem de meteorolojik süreçler üzerindeki etkisinin giderek arttığını göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışma, trendlerin yalnızca istatistiksel bir sonuç olmanın ötesinde, iklimsel değişimlerin su kaynakları, hidrolojik denge ve ekosistem sürdürülebilirliği açısından oldukça öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

4.3. Spearman Sıra Korelasyonu (SSK)

SSK trend analizi, incelenen zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı trendin bulunup bulunmadığını ve trendin yönü ve gücünü belirlemek amacıyla uygulanmış ve Tablo 6'da verilmiştir. Analizlerde, anlamlılık düzeyi 0.05 olarak seçilmiş olup bu düzey için % 95 güven aralığı esas alınmış ve şu şekilde değerlendirme yapılmıştır:

Anlamlılığı ifade eden p değeri $p < 0.05$ ise trend istatistiksel olarak anlamlı, $p \geq 0.05$ ise trend istatistiksel olarak anlamlı değildir. SSK katsayısı -1 ile $+1$ arasında değer almakta olup, mutlak değeri ilişkinin gücünü, işareti ise trend yönünü göstermektedir. Trend yönü $+1$ ise artan trend vardır ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Trend yönü -1 ise azalan trend vardır ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Trend yönü 0 ise trend yoktur veya istatistiksel olarak anlamlı değildir. Trendin gücünü ifade eden r_{SSK} değeri $+1$ ise güçlü pozitif trend (zamanla değerler artıyor), -1 ise güçlü negatif trend (zamanla değerler azalıyor), 0 ise trend zayıf ya da yoktur.

SSK analizleri sonucunda Tablo 6'da gösterildiği gibi D21A001 istasyonunda belirgin ve istatistiksel olarak anlamlı trend göstermemiş kış ve ilkbahar dönemleri ile çoğu ayda p-değerlerinin 0.05'ten büyük olması, trendlerin istatistiksel olarak desteklenmediğini ve değişimlerin rastlantısal olabileceğini göstermektedir. Aylık bazda değerlendirildiğinde Haziran ayında gözlenen negatif ve anlamlı korelasyon katsayıları, zaman içerisinde değerlerin sistematik biçimde düştüğünü göstermektedir. Yaz ve sonbahar dönemlerinde ise anlamlı düzeyde azalma eğilimlerin belirginleştiği görülmektedir. Yıllık değerlere ait trend ise azalma yönünde olmasına rağmen sınırdan anlamlılık düzeyinde olduğundan, uzun dönemli düşüşün var

olabileceğini işaret etmektedir. Kısaca, değişkenin özellikle yaz ve sonbahar dönemlerinde zamanla azaldığını, diğer dönemlerde ise belirgin ve istatistiksel olarak anlamlı bir trend bulunmadığını göstermektedir. Bu durum, mevsimsel hidrolojik döngü ve atmosferik koşulların, değişkenin uzun dönem davranışı üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir. Bu istasyon genel olarak zayıf-negatif (azalan) trend göstermektedir.

E21A019 nolu istasyonda hem aylık hem mevsimsel hem de yıllık ölçekte güçlü ve tutarlı bir azalan trend vardır. r_{SSK} değerleri -0.38 ile -0.54 arasında değişmekte olup orta-güçlü negatif trend anlamına gelir. Bu istasyon uzun vadede belirgin şekilde azalan eğilim göstermiştir.

E21A051 nolu istasyona baktığımızda Aralık, Ocak, Şubat, Ağustos ve Eylül aylarında artan trend baskındır. Nisan, Mayıs, Haziran aylarında azalan trend görülmektedir. Bu istasyonda trend yönü mevsimsel olarak değişken olup kış ve geç yaz aylarında artış, ilkbahar sonu ve yaz başında azalış eğilimindedir. Yıllık olarak ise zayıf düzeyde azalan eğilim vardır.

Tablo 6. SSK metoduna ait istatistiksel sonuçlar

Aylar	D21A001 istasyonu				E21A019 istasyonu				E21A051 istasyonu			
	r_{SSK}	t	p	Eğim Yönü	r_{SSK}	t	p	Eğim Yönü	r_{SSK}	t	p	Eğim Yönü
Ekim	-0,16	-1,28	0,21	0	-0,41	-2,33	0,03	-1	0,24	1,91	0,06	0
Kasım	-0,13	-1,01	0,32	0	-0,54	-3,32	0,00	-1	0,16	1,26	0,21	0
Aralık	-0,17	-1,34	0,19	0	-0,38	-2,14	0,04	-1	0,26	2,06	0,04	1
Ocak	-0,17	-1,31	0,19	0	-0,35	-1,94	0,06	0	0,38	3,11	0,00	1
Şubat	-0,03	-0,21	0,83	0	-0,13	-0,66	0,52	0	0,44	3,69	0,00	1
Mart	0,20	1,59	0,12	0	-0,01	-0,06	0,95	0	0,14	1,11	0,27	0
Nisan	-0,03	-0,23	0,82	0	-0,39	-2,20	0,04	-1	-0,41	-3,38	0,00	-1
Mayıs	-0,21	-1,65	0,10	0	-0,43	-2,47	0,02	-1	-0,40	-3,31	0,00	-1
Haziran	-0,27	-2,13	0,04	-1	-0,17	-0,89	0,38	0	-0,35	-2,80	0,01	-1
Temmuz	-0,21	-1,69	0,10	0	-0,10	-0,50	0,62	0	0,03	0,22	0,83	0
Ağustos	-0,12	-0,97	0,33	0	-0,15	-0,80	0,43	0	0,34	2,73	0,01	1
Eylül	-0,24	-1,89	0,06	0	-0,18	-0,93	0,36	0	0,54	4,82	0,00	1
İlkbahar	-0,13	-1,01	0,32	0	-0,44	-2,54	0,02	-1	-0,37	-3,00	0,00	-1
Yaz	-0,29	-2,31	0,02	-1	-0,17	-0,90	0,37	0	-0,19	-1,45	0,15	0
Sonbahar	-0,29	-2,31	0,02	-1	-0,50	-2,96	0,01	-1	0,35	2,88	0,01	1
Kış	-0,11	-0,84	0,41	0	-0,26	-1,41	0,17	0	0,42	3,48	0,00	1
Yıllık	-0,25	-1,99	0,05	0	-0,45	-2,59	0,02	-1	-0,26	-2,02	0,05	-1

Bu durum yaz aylarında artan sıcaklık, güneşlenme süresi ve potansiyel buharlaşmayla birlikte toprak neminin azalması ve yüzey suyu akışının zayıflaması, ölçülen çevresel değişkene doğrudan etki eden temel faktörler arasındadır. Bu süreçlerin devamında sonbahar döneminde yağışların rejim ve miktar bakımından düzensizleşmesi, su dengesinin kısa dönemde toparlanmasını güçleştirmekte ve azalma yönlü trendlerin sürmesine zemin hazırlamaktadır. Dolayısıyla yaz ve sonbaharda tespit edilen anlamlı düşüşler, yalnızca istatistiksel bir sonuç değil, aynı zamanda bölgesel hidrolojik stresin ve iklimsel kuraklaşma eğiliminin göstergesidir.

Bölgesel ve mevsimsel etkilerin yanı sıra, arazi kullanımındaki değişimler (tarım alanlarının genişlemesi, yoğun yeraltı suyu kullanımı, kentleşme ve geçirimsiz yüzey artışı), bitki örtüsünün yapısal dönüşümü, yüzey ve yeraltı suyu etkileşim dengesindeki bozulmalar trend davranışını anlamlı ölçüde yönlendirmektedir. Son yıllarda küresel iklim değişikliğinin etkisiyle sıcak hava dalgalarının sıklığının artması, yağış değişimi ve meteorolojik kuraklık olaylarının daha sık görülmesi negatif eğilimlerin sürekliliğini destekleyen önemli çevresel faktörlerdir. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, tarımsal sulama, kuraklık ve ekosistemin korunması açısından önemli uyarılar içermektedir.

4.4. Ardışık Mann-Kendall (ARMK)

ARMK analizi sonucunda elde edilen $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri, istasyonlara ait akım zaman serisi boyunca akım değerlerinde dönemsel değişimlerin ve olası eğilim kırılma noktalarının varlığını ortaya koymaktadır. Grafiklerde $u(t)$ eğrisinin zaman içinde pozitif/negatif yönde belirgin sapmalar göstermesi, seride artan ya da azalan bir eğilim olabileceğine işaret etmektedir. $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin kesiştiği noktalar ise, akım rejiminde olası bir değişim ya da trend başlangıcının yaşandığı kritik dönemleri göstermektedir. Eğrilerin güven sınırlarını aşması durumunda ise eğilim istatistiksel olarak anlamlı hale gelmektedir. Bu kapsamda, ARMK sonuçları istasyonun uzun dönem akım davranışında belirgin bir yönelimin ve muhtemel yapısal değişimin varlığını işaret ederek, hidrolojik süreçlerin zaman içindeki değişimine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

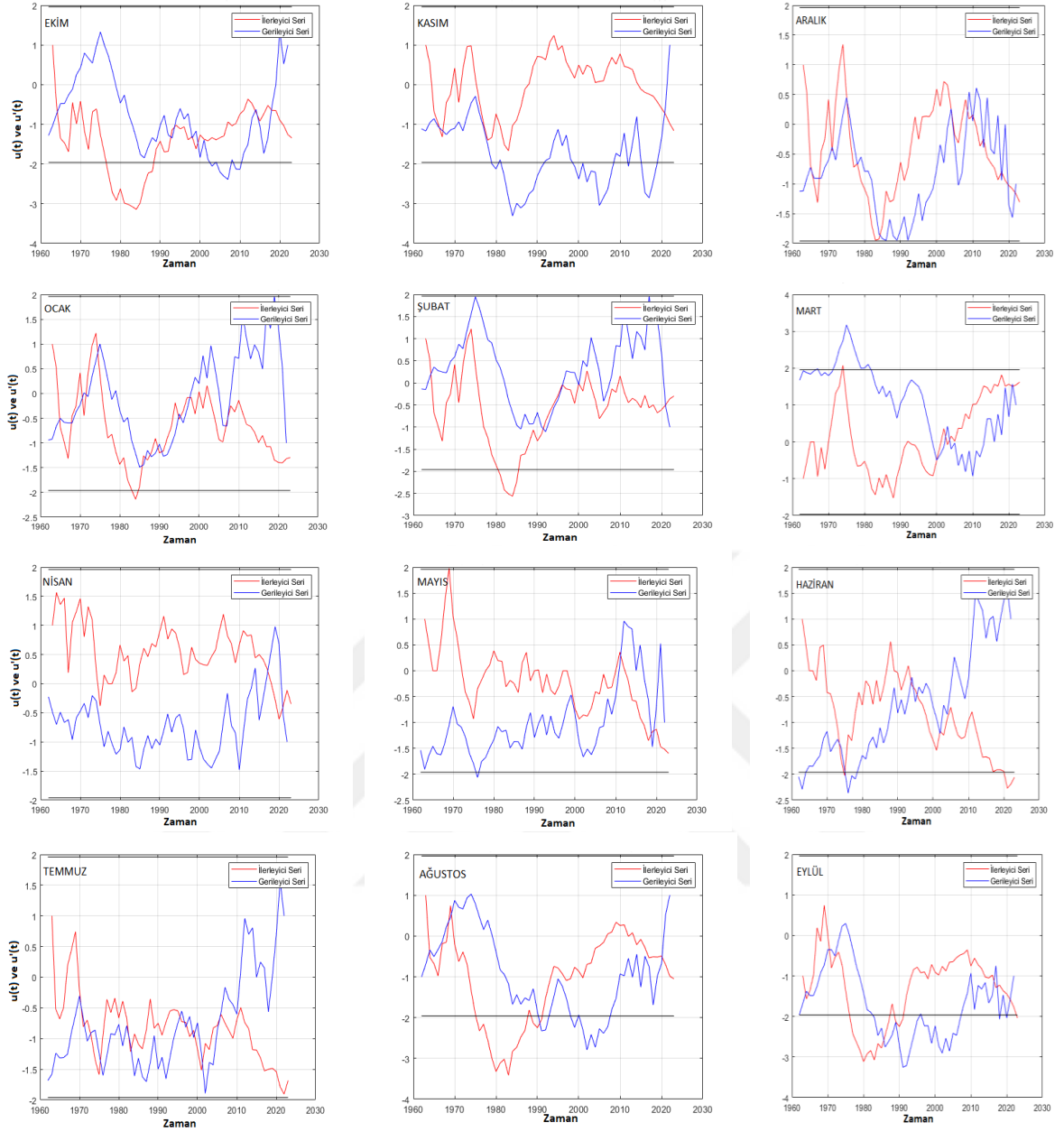
D21A001 nolu istasyonuna ait aylık akım değerlerinin ARMK yöntemi test sonucu grafikleri Şekil 14'te gösterilmiştir. Grafiklerde kırmızı eğri $u(t)$ (ileriye doğru sıralı istatistiği), mavi eğri $u'(t)$ (geriye doğru sıralı istatistik) değerlerini göstermektedir. ARMK yönteminde: $u(t)$ ve $u'(t)$

eğrilerinin kesiştiği yıl; potansiyel kırılma yılı, eğriler ± 1.96 sınırını aşarsa; istatistiksel olarak anlamlı trend, sınırı aşmazsa; trend istatistiksel olarak anlamsızdır.

Ayların büyük çoğunluğunda (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Temmuz ve Eylül), $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin ± 1.96 güven aralığını aşmadığı, dolayısıyla istatistiksel olarak anlamlı bir trendin bulunmadığı belirlenmiştir. Ekim ayında 1970'ler, 1990'lar ve 2010'lar; Ocak ayında ise 1970 ve 1995 yılları civarında eğrilerin kesiştiği görülse de bu kesişim noktalarında $u(t)$ ve $u'(t)$ değerleri güven aralığı içerisinde kaldığından, bu durumlar istatistiksel olarak anlamlı görülmeyp, trend yönündeki rastlantısal dalgalanmalara işaret etmektedir.

İlkbahar ve yaz aylarını temsil eden Mayıs, Haziran ve Ağustos aylarında, özellikle 2000'li yıllardan itibaren $u(t)$ eğrisinin pozitif bölgede yükselme eğilimi gösterdiği gözlemlenmektedir (örneğin Mayıs ayında 2005'ten sonra). Bu durum, akımda zayıf bir artış eğiliminin geliştiğini düşündürse de $u(t)$ değerleri hiçbir dönemde ± 1.96 kritik sınırını aşmamaktadır. Dolayısıyla bu yükselişler, istatistiksel olarak $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde tesadüfi dalgalanmalardan ayırt edilememekte ve anlamlı bir trend olarak değerlendirilememektedir.

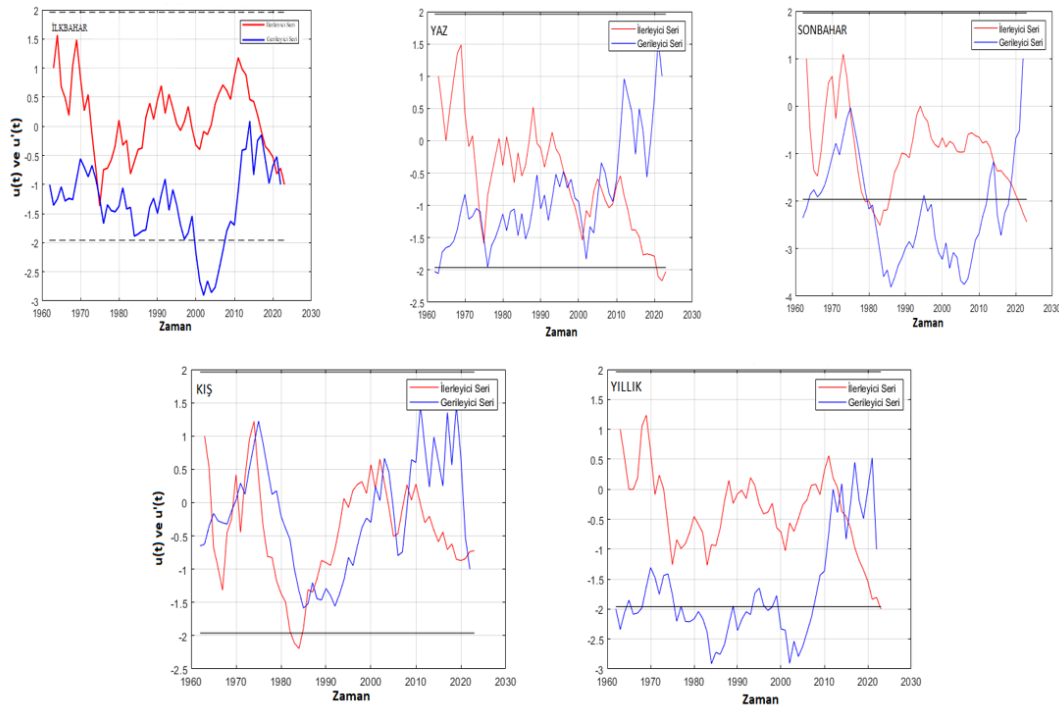
Genel olarak bakıldığında, tüm aylarda gözlenen dalgalanmalar güven aralıkları içinde kalmakta hem artış hem azalış yönünde istatistiksel olarak anlamlı, güçlü bir eğilim bulunmamaktadır.



Şekil 14. D21A001nolu istasyonuna ait akım verilerinin aylık ARMK sonuçları

Şekil 15'te verilen ARMK analizinden elde edilen mevsimlik ve yıllık $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri, D21A001 istasyonunun akım rejiminde dönemsel dalgalanmaların yanı sıra belirgin eğilim değişimlerinin olduğunu ortaya koymaktadır. İlkbahar mevsiminde $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin özellikle 1980'lerin başında kesişmesi, akım davranışında bu dönemde bir kırılma yaşandığına işaret etmektedir. Yaz sezonunda her iki eğrinin uzun yıllar boyunca birbirinden ayrılarak seyretmesi, akım değerlerinde tutarlı bir eğilim oluşmadığını, ancak dönemsel dalgalanmaların baskın olduğunu göstermektedir. Sonbahar grafiklerinde $u(t)$ eğrisinin 1990 sonrası belirgin

şekilde düşüş eğilimine girmesi ve $u'(t)$ ile kesiştiği noktalar, bu mevsimde akımların uzun yıllar boyunca azalma yönlü bir değişim göstermiş olabileceğine işaret etmektedir. Kış mevsiminde ise iki eğrinin 2000’li yıllar sonrasında giderek yakınlaşması, bu dönemde akım yapısında yeniden bir yön değişiminin oluştuğunu göstermektedir. Yıllık seri grafiğinde $u(t)$ eğrisinin 1970–1990 aralığında nispeten yüksek değerlere sahipken 2000’li yıllar sonrası düşüş göstermesi, istasyon akımlarında uzun dönemli bir azalma eğiliminin öne çıktığını ortaya koymaktadır. Genel olarak, ARMK grafikleri istasyon akımlarının mevsimsel olarak farklı tepkiler verdiğini, ancak özellikle 1990 sonrası dönemde çeşitli mevsimlerde eğilim kırılmalarının ve yön değişimlerinin belirginleştiğini göstermekte, böylece akım rejiminin zamansal değişimini bütüncül olarak değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.



Şekil 15. D21A001nolu istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık ARMK sonuçları

E21A019 nolu istasyonuna ait aylık akım değerlerinin ARMK yöntemi test sonucu grafikleri Şekil 16'da gösterilmiştir. Grafiklerin analizine göre aylık akım değerlerinde genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı bir trend bulunmadığı belirlenmiştir. Sonbahar ayları olan Ekim, Kasım ve Aralık için $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrilerinin dönem içinde birkaç noktada kesişmesine rağmen eğrilerin düşük seviyelerde seyretmesi ve anlamlılık sınırını aşmaması, bu aylarda akımların uzun dönemli bir artış ya da azalış eğilimi göstermediğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde kış aylarını temsil eden Ocak, Şubat ve Mart eğriler dalgalı bir yapı sergilemekte ve zaman

zaman kesişmekle birlikte ± 1.96 güven sınırına ulaşmadığından, bu dönemlerdeki akım değişimleri rastlantısal dalgalanmalar kapsamında değerlendirilmektedir.

İlkbahar ayları olan Nisan ve Mayıs aylarında da akım serileri genel olarak durağan bir yapı göstermiş, $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri arasındaki kesişmeler bir kırılma yılına işaret etse de eğriler anlamlılık sınırını aşmadığı için bu aylarda istatistiksel olarak güvenilir bir trend tespit edilmemiştir. Yaz aylarını oluşturan Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise $u(t)$ eğrilerinde yer yer hafif yükselme eğilimleri gözlense de bu eğilimler istatistiksel açıdan anlamlı değildir; $u'(t)$ eğrilerinin davranışı ve eğriler arası kesişmeler incelendiğinde akım değerlerinin uzun dönemli olarak kararlı kaldığı anlaşılmaktadır. Sonbaharın başlangıcını temsil eden Eylül ayında da eğrilerde görülen kesişmeler ve dalgalanmalar anlamlılık sınırına ulaşmadığı için bu ayda da belirgin bir trendten söz etmek mümkün değildir.

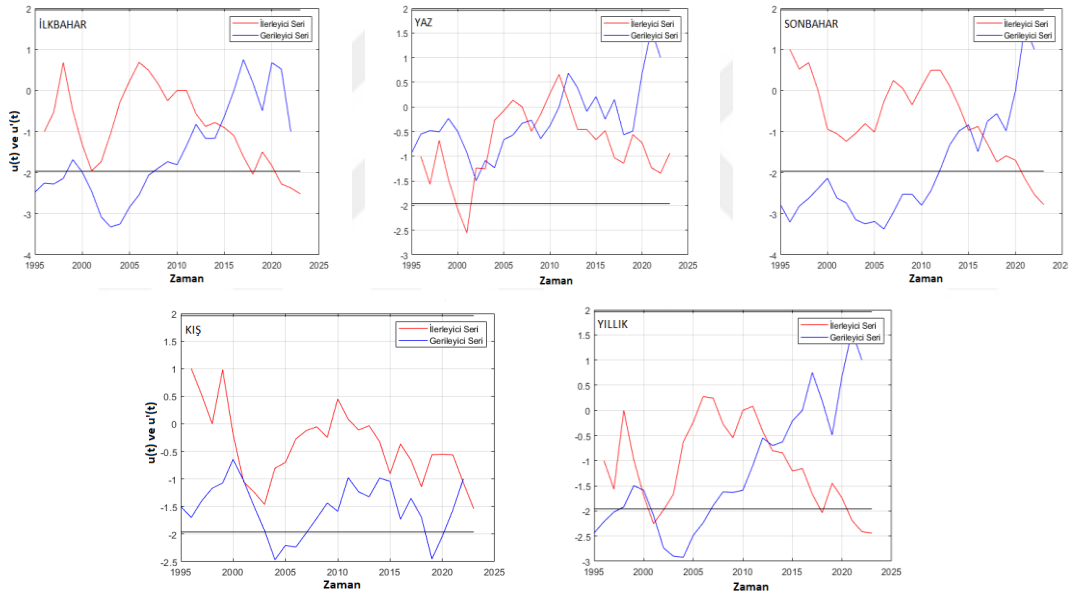
Tüm aylık veriler birlikte değerlendirildiğinde, aylık akım serilerinde güçlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir artış veya azalış eğilimi olmadığı, değişimlerin büyük ölçüde doğal akım oynaklığı içerisinde seyrettiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 16. E21A019 nolu istasyonuna ait akım verilerinin aylık ARMK sonuçları

E21A019 istasyonuna ait Şekil 17’de verilen ARMK analiz sonuçları, akım rejiminin 1995–2025 yılları arasında mevsimsel ölçekte belirgin dalgalanmalar ve dönemsel eğilim kırılmaları içerdiğini göstermektedir. İlkbahar mevsiminde $u(t)$ eğrisinin özellikle 2000’li yılların başında negatif değerlere doğru hareket ederken $u'(t)$ ile kesişmesi, bu dönemde akım rejiminde anlamlı bir yön değişimi yaşandığına işaret etmektedir. 2010 sonrasında $u(t)$ ’nin pozitif değerlere yükselmesine karşın $u'(t)$ ’nin aşağı yönlü seyri, mevsimde zaman zaman artış eğilimi görülse de bunun uzun dönemli ve istatistiksel olarak güçlü bir trende dönüşmediğini göstermektedir. Yaz mevsiminde hem $u(t)$ hem $u'(t)$ eğrilerinin 2010 sonrası daha belirgin dalgalanmalar

göstermesi ve eğrilerin birden fazla noktada kesişmesi, bu dönemde akım davranışının istikrarlı bir eğilimden çok değişken bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Sonbaharda $u(t)$ eğrisinin 2005 sonrası sürekli azalan değerler alması ve $u'(t)$ ile yaklaşık 2015 yılında kesişmesi, bu mevsimde uzun dönemli bir azalış eğiliminin baskın hâle geldiğini göstermektedir. Kış mevsiminde ise $u(t)$ eğrisinin 2000'lerin başında pozitif değerlere sahipken zamanla düşmesi, $u'(t)$ eğrisinin de özellikle 2010 sonrası yükselmesi, akım rejiminde 2005–2015 aralığında belirgin bir eğilim dönüşümü yaşandığını göstermektedir. Yıllık seri grafiğinde $u(t)$ eğrisinin 2000'li yılların ortasında pozitif değerlere yakın seyrederken 2015 sonrası belirgin biçimde düşmesi, istasyonda uzun vadede akım miktarlarında azalma yönünde bir eğilim olduğuna işaret etmektedir. Genel olarak ARMK sonuçları, ikinci istasyonda özellikle 2005–2015 döneminde çeşitli mevsimlerde eğilim kırılmalarının belirginleştiğini, son yıllarda ise akım davranışının daha çok azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 17. E21A019 nolu istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık ARMK sonuçları

E21A051 nolu istasyonuna ait aylık akım değerlerinin ARMK yöntemi test sonucu grafikleri Şekil 18'de gösterilmiş ve diğer iki istasyona göre daha güçlü ve farklı eğilimler içermektedir. ARMK analizine göre aylık akım değerlerinin uzun yıllara yayılan eğilimleri incelendiğinde özellikle 1970'lerden günümüze kadar olan süreçte birçok ayda belirgin bir akım azalması dikkat çekmektedir.

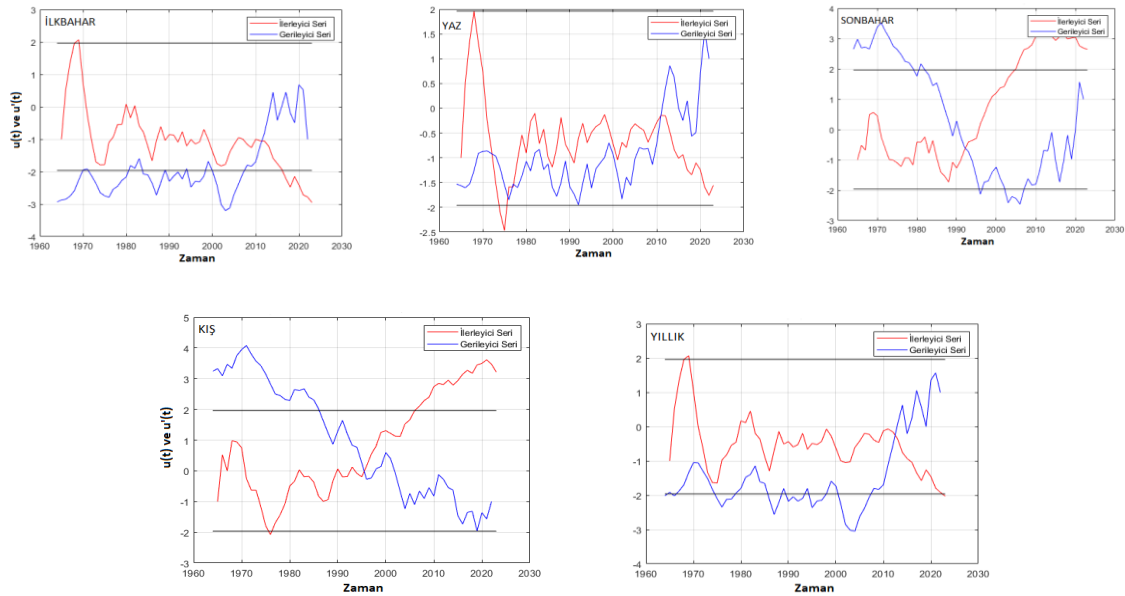
Sonbahar aylarını oluşturan Ekim, Kasım ve Aralık grafiklerinde $u(t)$ eğrisinin yıllar içinde sürekli yükselmesi ve $u'(t)$ eğrisinin ise belirgin biçimde düşmesi, özellikle 1990'lardan sonra eğrilerin 2000'li yıllarda kesişmesi bu aylarda uzun dönemli ve güçlü bir akım azalış trendine işaret etmektedir. Benzer biçimde kış aylarında, özellikle Ocak ve Şubat aylarında $u(t)$ değerlerinin 1980 sonrası belirgin şekilde yükselmesi ve $u'(t)$ değerlerinde düzenli bir düşüş görülmesi, akımların yıllar içinde istikrarlı biçimde azaldığını göstermektedir. Mart ayındaki eğilim daha dalgalı olmakla birlikte, 2000 sonrası $u(t)$ 'nin yükseliş eğilimi ve $u'(t)$ 'nin düşüşü, bu ayda da orta kuvvette bir azalış eğiliminin baskın olduğunu ortaya koymaktadır. İlkbahar ayları incelendiğinde, Nisan ayında hem $u(t)$ hem $u'(t)$ eğrilerinin birbirine yakın seyretmesi ve sık sık kesişmesi nedeniyle anlamlı bir trend bulunmamaktadır. Mayıs ayında ise özellikle 1990 sonrası $u(t)$ 'nin düşüş eğilimi ve $u'(t)$ 'nin hafif yükselişi, bu ayda zayıf fakat pozitif bir artış eğilimine işaret etmiştir. Yaz mevsiminde Haziran ayı genel olarak durağan seyretmiş, eğriler yıllar boyunca belirgin bir yön değiştirmemiştir; ancak Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında $u(t)$ eğrisinin özellikle 1980 sonrasında güçlü biçimde yükselmesi ve $u'(t)$ 'nin aynı dönemlerde düşmesi, bu ayların tamamında uzun süreli, belirgin ve kuvvetli bir akım azalış trendinin varlığını göstermektedir. Ağustos ve Eylül aylarında ise bu eğilim çok daha nettir ve grafikler kırılma yılları olarak 2000'li yılların başını işaret etmektedir. Tüm bu değerlendirmeler birlikte ele alındığında, 50 yıla yakın uzun dönemli akım verileri birçok ayda azalan akım koşullarını yansıtmaktadır; yalnızca Nisan ve Haziran aylarında belirgin bir trend bulunmazken Mayıs ayı zayıf bir artış eğilimi göstermektedir. Bunun dışında yılın büyük çoğunluğunda akım değerleri, özellikle 1990 sonrası belirginleşen bir şekilde, azalma yönünde istatistiksel olarak desteklenen süreklilik içeren eğilimler sergilemektedir.



Şekil 18. E21A051 nolu istasyonuna ait akım verilerinin aylık ARMK sonuçları

Üçüncü E21A051 istasyonuna ait Şekil 19’da verilen ARMK analiz sonuçları, 1950-2025 yılları arasında akım rejiminin mevsimsel ve yıllık ölçekte önemli yapısal değişimler gösterdiğini ortaya koymaktadır. İlkbahar mevsiminde $u(t)$ eğrisinin özellikle 1960-1980 döneminde yüksek ve pozitif değerlere ulaşmasının ardından zamanla azalarak $u'(t)$ eğrisiyle

kesişmesi, bu yıllarda akım miktarlarında önce belirgin bir artış eğilimi, ardından ise eğilimin zayıflayarak yön değiştirdiğine işaret etmektedir. Yaz mevsiminde $u(t)$ eğrisinin 1950–1970 döneminde güçlü pozitif değerlere ulaşması ve $u'(t)$ 'nin aynı dönemde negatif bölgede seyretmesi, mevsimsel akımlarda geçmişte belirgin bir artış eğiliminin hâkim olduğunu göstermektedir; ancak 1980 sonrası her iki eğrinin de birbirine yaklaşarak daha düzensiz bir yapıya bürünmesi, bu mevsimde eğilimin giderek zayıf ve dalgalı hâle geldiğini yansıtmaktadır. Sonbahar grafiğinde $u(t)$ eğrisinin özellikle 1960–1990 aralığında pozitif bölgede kararlı bir artış eğilimi göstermesi, bu mevsimde uzun yıllar boyunca akım artışlarının baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın $u'(t)$ eğrisinin 2000 sonrası belirgin şekilde yükselmesi ve $u(t)$ eğrisiyle kesişmesi, son dönemlerde eğilimin yön değiştirmeye başladığını göstermektedir. Kış mevsiminde ise iki eğri arasındaki belirgin ayrışma dikkat çekmektedir: $u(t)$ eğrisinin 1960 sonrası sürekli azalan değerlere sahip olması ve $u'(t)$ 'nin ters yönde güçlü bir artış eğilimi göstermesi, istasyonda kış akımlarının uzun dönemli ve istatistiksel olarak anlamlı bir azalma eğilimi içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Yıllık seri grafiğinde $u(t)$ eğrisinin 1950'li ve 1960'lı yıllarda pozitif değerlere sahipken 1990 sonrası uzun süre negatif bölgede kalması, istasyonun uzun vadeli toplam akım miktarlarında genel bir düşüş eğilimine işaret etmektedir. Bu bulgular, üçüncü istasyonda özellikle kış ve yıllık serilerde belirgin azalma eğilimlerinin öne çıktığını, buna karşın geçmiş dönemlerde bazı mevsimlerde artış eğilimlerinin zamanla zayıflayarak tersine döndüğünü göstermekte olup akım rejimindeki uzun vadeli değişimlerin güçlü bir göstergesidir.



Şekil 19. E21A051 nolu istasyonuna ait akım verilerinin mevsimlik ve yıllık ARMK sonuçları

Üç istasyonda gerçekleştirilen ARMK analizleri, akım rejimlerinin zaman içinde hem mevsimsel hem de yıllık ölçekte önemli değışimler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak tüm istasyonlarda 1970-1990 dönemleri arasında akım serilerinde belirgin dalgalanmaların bulunduğu, 1990 sonrası dönemde ise eğilim kırılmalarının daha sık görüldüğü anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, eğilimlerin yönü ve şiddeti istasyonlar arasında farklılık göstermekte ve bu durum akım rejiminin mekânsal olarak heterojen bir yapıya sahip olduğunu düşündürmektedir.

Mevsimsel ölçekte değerlendirildiğinde, ilkbahar akımlarında üç istasyonda da uzun yıllar boyunca dalgalı bir seyir izlenmiş, ancak eğilimler genellikle zayıf ve dönemsel olarak yön değıştiren bir yapıda ortaya çıkmıştır. İkinci ve üçüncü istasyonlarda 2000 sonrası dönemde eğrilerin kesişmesi, bu mevsimde mevsimsel akım davranışının yeniden yapılanma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Yaz mevsiminde ise özellikle ikinci istasyonda eğilimlerin belirgin şekilde düzensiz ve kısa dönemli dalgalanmalarla karakterize olduğu, buna karşın üçüncü istasyonda geçmişte güçlü artış eğilimlerinin bulunduğu ancak zamanla bunun zayıfladığı görülmüştür. Sonbahar akımlarında üç istasyon arasında daha net karşılaştırılabilir bir yapı ortaya çıkmakta; ilk ve ikinci istasyonlarda 1990 sonrası dönemde akımların azalış eğilimine girdiği, üçüncü istasyonda ise geçmiş dönemlerde belirgin artış eğilimleri görülmesine rağmen son yıllarda eğilimin tersine dönmeye başladığı anlaşılmaktadır. Kış mevsimi ise istasyonlar arasında en belirgin farklılıkların gözleendiği dönemdir. İlk istasyonda kış akımları zaman içinde dalgalı bir yapı gösterirken, ikinci istasyonda bu mevsimde eğilimler 2005 sonrası belirgin biçimde değışmiş; üçüncü istasyonda ise kış akımlarının istatistiksel olarak anlamlı bir azalış eğilimi gösterdiği dikkat çekmiştir.

Yıllık seriler karşılaştırıldığında ise, üç istasyonun tamamında uzun vadeli bir azalış eğiliminin giderek baskın hâle geldiği görülmektedir. İlk istasyonda bu eğilim 2000’li yıllar sonrası belirginleşirken, ikinci istasyonda 2010 sonrası dönemde keskin bir düşüş eğilimi dikkat çekmektedir. Üçüncü istasyonda ise yıllık akımlardaki azalma eğilimi daha erken dönemlerde başlamış ve daha süregelen bir karakter kazanmıştır. Bu durum, bölgesel ölçekte toplam akım miktarlarında uzun vadeli düşüş eğilimlerinin yaygınlaşmakta olduğu yönünde önemli bir işaret olarak değerlendirilebilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Fırat Havzası'nda yer alan üç akım gözlem istasyonuna (D21A001, E21A019, E21A051) ait uzun dönemli aylık, mevsimsel ve yıllık akım serileri; YŞT, YŞTE, MK, SSK ve ARMK yöntemleri ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, havza akım rejiminin hem mekânsal hem de mevsimsel açıdan belirgin bir değişim süreci içerisinde olduğunu ve uzun vadede ağırlıklı olarak azalan eğilimlerin öne çıktığını göstermektedir.

Uygulanan yöntemler açısından değerlendirildiğinde, öncelikle, YŞT ve YŞTE yöntemleri, klasik parametrik olmayan testlere göre akım serilerini daha ayrıntılı biçimde inceleme olanağı sunmuş; özellikle düşük, orta ve yüksek akım düzeylerindeki eğilimleri birbirinden ayırarak istasyonlar arası hidrometeorolojik farklılıkları netleştirmiştir. Düşük akım değerlerinde azalma, yüksek akım değerlerinde ise kısmen artış veya durağanlık gözlenmesi, akım rejiminde asimetrik bir değişim olduğunu, yani havzanın hem kurak dönemlerde su yetersizliğine hem de bazı dönemlerde ekstrem akım olaylarına duyarlı hâle geldiğini ortaya koymaktadır. MK ve SSK testleri ise, eğilimlerin istatistiksel anlamlılığını sayısal olarak ortaya koyarak YŞT bulgularını desteklemiş; ARMK testi ise eğilimlerin zaman içindeki gelişimini ve olası kırılma yıllarını belirleme açısından tamamlayıcı rol oynamıştır.

İstasyon bazında değerlendirildiğinde, D21A001 istasyonunda aylık ölçekte genel olarak zayıf eğilimler öne çıkmakta, özellikle Haziran, yaz mevsimi ve sonbaharda azalan trendler belirginleşmektedir. YŞTE sonuçlarına göre Ocak–Mart aylarında artan, Nisan–Kasım döneminde azalan, Aralık ayında ise zayıf artan eğilimler tespit edilmiştir. MK ve SSK analizleriyle Haziran, yaz ve sonbahar dönemlerinde anlamlı veya sınırda anlamlı azalan trendler desteklenmiş; yıllık ölçekte “sınırda” da olsa azalan yönlü bir eğilim ortaya çıkmıştır. Bu durum, istasyonun bulunduğu alt havzada akım rejimindeki bozulmanın henüz sınırlı fakat hissedilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

E21A019 istasyonu, çalışmanın en belirgin ve güçlü azalan trendlerini ortaya koyan istasyonudur. YŞTE sonuçlarında özellikle Nisan ve Mayıs aylarında yüksek şiddette azalan eğilimler; MK ve SSK testlerinde ise Nisan, Mayıs, Ekim, Kasım, İlkbahar, Sonbahar ve Yıllık serilerde istatistiksel olarak anlamlı negatif trendler saptanmıştır. r_{SSK} değerlerinin -0.38 ile -0.54 arasında değişmesi orta–güçlü bir negatif trendi işaret etmektedir. Yıllık bazda belirgin azalma, bu istasyonun bulunduğu alt havzada uzun dönemli kuraklaşma eğiliminin güçlü bir

göstergesi olarak yorumlanabilir. Artan sıcaklıklar, yağış rejimindeki düzensizlikler, buharlaşma artışı ve muhtemel su kullanım baskıları, bu eğilimlerin başlıca nedenleri arasında sayılabilir.

E21A051 istasyonunda ise mevsimsel açıdan daha karmaşık fakat anlamlı bir desen söz konusudur. Kış ve sonbahar mevsimlerinde YŞT, MK ve SSK sonuçları genel olarak artan yönlü trendlere işaret ederken; ilkbahar ve yaz mevsimlerinde azalan veya zayıf negatif eğilimler hâkimdir. Ocak, Şubat, Ağustos ve Eylül aylarında artan; Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında azalan trendler görülmüştür. Yıllık bazda ise istasyon hafif ama istatistiksel olarak anlamlı bir azalan eğilim sergilemektedir. ARMK analizleri, özellikle 1980 sonrası ve 2000’li yıllar itibarıyla birçok ayda akım değerlerinde belirgin azalış trendleri ve olası rejim değişiklikleri olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, istasyonun bulunduğu alanın hem iklimsel dalgalanmalara hem de muhtemel antropojenik etkilere duyarlı olduğunu göstermektedir.

Mevsimsel açıdan, kış mevsiminde birçok istasyonda artan veya durağan eğilimler; yağışların ve kar örtüsünün etkisiyle yüzey akımlarının kısmen toparlandığını göstermektedir. İlkbahar ve yaz dönemlerinde ise özellikle kar erimesinin tamamlanması, artan sıcaklık ve buharlaşma oranları ile tarımsal su talebinin yükselmesi sonucunda azalan eğilimler baskın hâle gelmiştir. Bu durum, tarım ve sulama yönetimi açısından kritik önemdedir. Sonbahar mevsiminde istasyonlar arası farklılıklar belirginleşmektedir. E21A019 ve D21A001’de azalan eğilimler görülürken E21A051’te artan trendlerin ortaya çıkması, Fırat Havzası içinde alt havzalar bazında hidrolojik ve iklimsel heterojenliğin güçlü olduğuna işaret etmektedir.

Yıllık bazda üç istasyonda da azalan yönlü trendlerin öne çıkması, Fırat Havzası’nda uzun vadeli su potansiyelinin zayıfladığına dair önemli bir göstergedir. Bu azalan eğilimler; içme-kullanma suyu temini, tarımsal üretim, sulama altyapısının sürdürülebilirliği, hidroelektrik enerji kapasitesi ve ekosistemlerin sürekliliği açısından ciddi riskler doğurabilecek niteliktedir. Özellikle E21A019 istasyonunda gözlenen güçlü azalma trendleri ve E21A051’te mevsimsel rejim değişimleri, havza ölçeğinde su arz-talep dengesinin iklimsel değişiklikler ve insan faaliyetleri nedeniyle kırılgan hâle geldiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, Fırat Havzası’ndaki akım zaman serilerinin mekânsal açıdan heterojen bir yapı sergilediğini, mevsimsel ölçekte belirgin dalgalanmalar içerdiğini ve uzun vadede ağırlıklı

olarak azalan bir eğilim gösterdiğini ortaya koymuştur. Farklı trend analiz yöntemlerinin birlikte uygulanması, havza genelinde akım rejiminin dinamik ve iklimsel dalgalanmalara duyarlı bir karaktere sahip olduğunu açık biçimde göstermiştir. Bu kapsamda Yenilikçi Şen Trend ve Şen Trend Eğim yöntemlerinin Mann-Kendall, Spearman Sıra Korelasyonu ve Ardışık Mann-Kendall testleri ile kullanılması; eğilimlerin yönü, şiddeti, istatistiksel anlamlılığı ve zamansal gelişimi hakkında bütüncül bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlamıştır. Elde edilen bulgular, Fırat Havzası'nda su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde iklim değişikliğinin etkilerinin mutlaka dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle yaz aylarında belirginleşen azalan akım eğilimlerinin, sulama planlaması ve baraj işletme politikalarında göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, su kullanım verimliliğini artırmaya yönelik modern sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması, düşük akım dönemlerinde su kayıplarının azaltılmasına ve su arz-talep dengesinin korunmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, akım gözlem istasyonlarının veri sürelerinin uzatılması ve ölçüm ağının güçlendirilmesi, gelecekte gerçekleştirilecek trend ve kuraklık analizlerinin güvenilirliğini artıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma Fırat Havzası'ndaki akım rejiminin uzun dönemli değişimini çok yöntemli bir yaklaşımla değerlendirerek, iklim değişikliği ve artan su talebi koşullarında su kaynakları yönetimine yönelik bilimsel bir çerçeve sunmaktadır. Elde edilen sonuçların, havza ölçeğinde planlama çalışmalarına katkı sağlaması ve iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesinde yol gösterici olması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, S., Jia, H., Ashraf, A., Yin, D., Chen, Z., Xu, C., & Ahmed, R. (2023). Water resources and their management in Pakistan: A critical analysis on challenges and implications. *Water-Energy Nexus*.
- Akın, B. (2019). Tuz Gölü Havzası'nın kuraklık analizi. *Ulusal Çevre bilimleri araştırma dergisi*, 2(1), 44-56.
- Alashan, S. (2020). Combination of modified Mann - Kendall method and Şen innovative trend analysis. *Engineering Reports*, 2(3), e12131.
- Al-Hasani, A. A. (2021). Trend analysis and abrupt change detection of streamflow variations in the lower Tigris River Basin, Iraq. *International Journal of River Basin Management*, 19(4), 523-534.
- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J., Maihemuti, B., Emin, B., & Groll, M. (2020). Innovative trend analysis of precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan. *Atmosphere*, 11(4), 332.
- Alijani, B., Mahmoudi, P., Salighe, M., & Rigi Chahi, A. (2011). Study of annual maximum and minimum temperatures Changes in Iran. *Geographical Research*, 26(102), 101-122.
- Altunkaynak, A., & Başakın, E. (2018). Zaman serileri kullanılarak nehir akım tahmini ve farklı yöntemlerle karşılaştırılması. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 11(1), 92-101.
- Arrieta-Castro, M., Donado-Rodríguez, A., Acuña, G. J., Canales, F. A., Teegavarapu, R. S., & Kaźmierczak, B. (2020). Analysis of streamflow variability and trends in the meta river, Colombia. *Water*, 12(5), 1451.
- Ashraf, M. S., Ahmad, I., Khan, N. M., Zhang, F., Bilal, A., & Guo, J. (2021). Streamflow variations in monthly, seasonal, annual and extreme values using Mann-Kendall, Spearmen's Rho and innovative trend analysis. *Water Resources Management*, 35(1), 243-261.
- Aydın, M. (2023). Elazığ İli Yağış Verilerinin Trend Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(1), 159-173.
- Birsan, M.V., Zaharia, L., Chendes, V., & Branescu, E. (2014). Seasonal trends in Romanian streamflow. *Hydrological Processes*, 28(15), 4496-4505.
- Burn, D. H., & Elnur, M. A. H. (2002). Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of hydrology*, 255(1-4), 107-122.

- Büyükıldız, M., & Berktaş, A. (2004). Parametrik olmayan testler kullanılarak sakarya havzasi yağışlarının trend analizi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 19(2), 23-38.
- Caloiero, T., Coscarelli, R., & Ferrari, E. (2018). Application of the innovative trend analysis method for the trend analysis of rainfall anomalies in southern Italy. Water Resources Management, 32(15), 4971-4983.
- Dalkılıç, H.Y. (2019). Yağışların trend analizi. Erzincan University Journal of Science and Technology, 12(3), 1537-1549., 12(3), 1537-1549.
- Dawood, M. (2017). Spatio-statistical analysis of temperature fluctuation using Mann–Kendall and Sen’s slope approach. Climate dynamics, 48(3), 783-797.
- Diop, L., Yaseen, Z.M., Bodian, A., Djaman, K., & Brown, L. (2018). Trend analysis of streamflow with different time scales: a case study of the upper Senegal River. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 24(1), 105-114.
- Ergün, M., Fırat, B., Tuncer, G., & Sönmez, O. (2024). Küçük Menderes Havzasında Mann-Kendall ve Şen’in Eğimi Yöntemleri Kullanılarak Meteorolojik Değişkenlerin Trend Analizi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 14(2), 1-12.
- Esmailpour, M., Ghasemi, A. R., Khoramabadi, F., & Rashedi, S. (2021). Spatiotemporal variability of trend in extreme precipitations using fuzzy clustering over Northwest Iran. Earth Science Informatics, 14(4), 2123-2132.
- Goto, S., Levec, J., & Smith, J. M. (1975). Mass transfer in packed beds with two-phase flow. Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development, 14(4), 473-478.
- Gümüş, V., & Yenigün, K. (2006). Aşağı Fırat Havzası akımlarının trend analizi ile değerlendirilmesi. Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11, 13.
- Gümüş, V., Yıldız, M. S., & Şimşek, O. (2018). Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi: Murat Nehri-Palu Örneği. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3), 297-301.
- Gumus, V., Avsaroglu, Y., & Simsek, O. (2022). Streamflow trends in the Tigris river basin using Mann–Kendall and innovative trend analysis methods. Journal of Earth System Science, 131(1), 34.
- Habulin, M. and Knez, Z. (2001) “Activity and stability of lipases from different sources in supercritical carbon dioxide and near- critical propane”, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 76(2), 1260-1266.
- Hamed, K. H. (2016). The distribution of Spearman’s rho trend statistic for persistent hydrologic data. Hydrological Sciences Journal, 61(1), 214-223.

- Huber, R. (2025). Hydrologic Decision Support in the Nile Basin: Creating Status and Outlook Products from the GEOGLOWS Hydrologic Model.
- Kâhya, E., & Kalaycı, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of hydrology*, 289(1-4), 128-144.
- Kale, S., & Sönmez, A. Y. (2018). Trend analysis of mean monthly, seasonally and annual streamflow of Daday Stream in Kastamonu. *Marine Science and Technology Bulletin*, 7(2), 60-67.
- Kanani, R., Fakheri Fard, A., Ghorbani, M. A., & Dinpashoh, Y. (2020). Trend analysis of the streamflow in the Lighvan River Hydrometric Stations (upstream and downstream). *Journal of Watershed Management Research*, 11(22), 11-19.
- Karakus, C. B. (2017). Trend analysis methods for hydro-meteorological parameters. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 3(2), 22-32.
- Karakuş, C. B., & Güler, Ü. A. (2022). Mann-Kendall trend analizi ile Sivas ilindeki sıcaklık ve yağış trendlerinin belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1-1.
- Katipoğlu, O. M., & Acar, R. (2021). Fırat Havzası'ndaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklık haritalarının çeşitli enterpolasyon metotları ile belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 298-317.
- Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N., & Dalkılıç, H. Y. (2022). Yeşilırmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 422-442.
- Katipoğlu, O. M. (2022). Analyzing the trend and change point in various meteorological variables in Bursa with various statistical and graphical methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(3), 1295-1320.
- Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods.
- Kesgin, R. İ. T. (2025). Revisiting Trend Stability Using Mann-Kendall and Wilcoxon Signed-Rank Tests Through Innovative Method Comparisons. *Sustainability*, 17(23), 1-22.
- Khani Temelیه, Z., Khani Temelیه, S., Khani Temelیه, H., & Mirabbasi, R. (2022). Investigating the Trend of Temperature Changes in Isfahan Station, Iran Using the ArdışıkMann-Kendall Method. *Water Harvesting Research*, 5(2), 217-228.
- Kırtorun, E., & Karaer, F. (2018). Su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2), 151-159.
- Korkmaz, M.S., & Buğa, B. (2024). Konya Meke Gölü ve Çevresi İçin Meteorolojik Kuraklık Analizi. *Euraclı'24*, 116.

- Kuriqi, A., Ali, R., Pham, Q. B., Montenegro Gambini, J., Gupta, V., Malik, A., & Dong, X. (2020). Seasonality shift and streamflow flow variability trends in central India. *Acta Geophysica*, 68(5), 1461-1475.
- Li, J., Shen, Z., Liu, G., Jin, Z., & Liu, R. (2023). The effect of social economy-water resources-water environment coupling system on water consumption and pollution emission based on input-output analysis in Changchun city, China. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138719.
- Lobo, M., & Guntur, R. D. (2018, December). Spearman's rank correlation analysis on pu'(t) lic perception toward health partnership projects between Indonesia and Australia in East Nusa Tenggara Province. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1116, No. 2, p. 022020). IOP Pu'(t) lishing.
- Malede, D. A., Agumassie, T. A., Kosgei, J. R., Linh, N. T. T., & Andualem, T. G. (2022). Analysis of rainfall and streamflow trend and variability over Birr River watershed, Abbay basin, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 7, 100528.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- McAdams, W. H. (1942) "Heat Transmission 2nd ed.", Mc Graw Hill, New York, 278-292.
- Nacar, S., Kankal, M., & Hınıs, M. A. (2018). Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) ile günlük akarsu akımlarının tahmini-Haldizen Deresi örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 38-47.
- Okka, C. T., & Durduran, S. S. Ermenek Barajı Havzasında SPI ve SPEI indisleri kullanılarak kuraklık analizi tahmini.
- Özdemir, A. (2021). İklim değişikliğinin havza ölçeğinde akım ve sediman miktarına etkilerinin değerlendirilmesi: Yuvacık Baraj Gölü Havzası. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 45(1), 129-154.
- Özfıdaner, M., Şapolyo, D., & Topaloğlu, F. (2018). Seyhan havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7(1), 57-64.
- Pamuk, G., Özgürel, M., & Topçuoğlu, K. (2004). Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1).
- Shadmani, M., Marofi, S., & Roknian, M. (2012). Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. *Water resources management*, 26(1), 211-224.
- Sonali, P., & Kumar, D. N. (2013). Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. *Journal of Hydrology*, 476, 212-227.

- Soydan, N. G., Gümüş, V., şimşek, O., Gerger, R., & Ağun, B. (2016). Seyhan Havzası aylık ortalama akım ve yağış verilerinin trend analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(2), 319-327.
- şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046.
- şen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635-642.
- şen, Z. (2017). Innovative trend analyses. In *Innovative Trend Methodologies in Science and Engineering* (pp. 175-226). Cham: Springer International Publishing.
- şişman, E., & Kizilöz, B. (2021). The application of piecewise ITA method in Oxford, 1870–2019. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3), 1451-1465.
- Terzi, Ö., Taylan, E. D., & Baykal, T. *Hidroloji-Problem Çözömlü*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Tokgöz, S., & Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesinde Yıllık Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Yenilikçi şen ve Mann-Kendall Yöntemleri ile Trend Analizi. *J Inst Sci Technol* 10 (2): 1107–1118.
- Tosunoglu, F., & Kisi, O. (2017). Trend analysis of maximum hydrologic drought variables using Mann–Kendall and şen's innovative trend method. *River Research and Applications*, 33(4), 597-610.
- Tuğrul, T., & Hınıs, M. A. (2023). Konya Apa Barajı Havzasında Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Trend Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 151-163.
- Tuna, M., & Demir, E. (2022). Sınıraşan Sular ve Türkiye. *Journal of Academic Social Science Studies*, 15(91).
- Turhan, E., Çulha, B. D., & Değerli, S. (2022). Akım kuraklık indeksi yönteminin farklı zaman ölçekleri için hidrolojik olarak değerlendirilmesi: Arsuz ovası örnek çalışması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 25-36.
- Turoğlu, H. (2010). Yapılaşmanın doğal akım yönü ve akım birikimi üzerindeki etkileri. *TÜCAUM*, 6, 29-36.
- Uysal, G. A. (2022). Bursa bölgesinde Zaman Serileri, SPI ve SPEI kuraklık Indisleri kullanarak kuraklık Analizi üzerine Bir araştırma (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Wang, W., Lv, Y., Liu, H., & Cao, Z. (2023). Recent advances in application of polypyrrole nanomaterial in water pollution control. *Separation and Purification Technology*, 125265.

- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological processes*, 16(9), 1807-1829.
- Yücel, A., Markovic, M., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Ertop, H., Jagosz, B., ... & Jaku'(t)owski, T. (2022). Investigation of annual lake water levels and water volumes with Şen Innovation and Mann-Kendall rank correlation trend tests: example of Lake Eğirdir, Turkey. *Water*, 14(15), 2374.
- Zeynalzadeh, M. (2019). Değişen İklim Şartları Altında Fırat-Dicle Havzasında Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği Sorunu.
- Zeybekoğlu, U. (2023). Temperature series analysis of the Hirfanli Dam Basin with the Mann-Kendall and ArdişikMann-Kendall tests. *Turkish Journal of Engineering*, 7(4), 306-313.
- Zhou, F., Zhang, W., Jiang, A., Peng, H., Li, L., Deng, L., & Wang, H. (2023). Spatial-temporal variation characteristics and coupling coordination of the “water resources–water environment–water ecology” carrying capacity in the Three Gorges Reservoir Area. *Ecological Indicators*, 154, 110874.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Erzurum’da doğdu. Lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladı.

2009 yılından bu yana Devlet Su İşleri (DSİ) 82. Şube Müdürlüğünde kontrol mühendisi olarak görev yapmaktadır. Mesleki çalışmalarını ağırlıklı olarak su yapıları, hidrolik projeler ve mühendislik uygulamaları alanlarında sürdürmektedir.

Evli ve üç çocuk annesidir.

