

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAHKİN IRMAĞI HAVZASINDA MORFOMETRİK, HİDRO-
METEOROLOJİK PARAMETRELER VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ
ETKİLEŞİMİNİN CBS VE UYDU VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAŞİM AYTAR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Sadık ALASHAN

BİNGÖL-2025

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAHKİN IRMAĞI HAVZASINDA MORFOMETRİK, HİDRO-
METEOROLOJİK PARAMETRELER VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ
ETKİLEŞİMİNİN CBS VE UYDU VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

Sadık ALASHAN danışmanlığında, Haşim AYTAR tarafından hazırlanan bu çalışma 13/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Doç. Dr. Erdinç İKİNCİOĞULLARI	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Sadık ALASHAN (Danışman)	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Zamansal olarak tarım devrimi öncesinde insan su ihtiyacını suyun kaynağına doğru mekansal değişikliklere (göç) giderek karşılarken, bugün suyu bulunduğu mekana kavuşturarak yapmaktadır. Hızla artan nüfusla birlikte suya olan talep de sürekli olarak yükselmektedir. Ancak su kaynakları yalnızca nüfus artışıyla değil, aynı zamanda kirlilik, küresel ısınma, iklim değişikliği ve diğer çevresel etkenlerin baskısı altındadır. Sanayi devrimi sonrası atmosferik dengelerin değişimiyle küresel ısınma etkileri varlığını hissettirmiştir. Yerleşim yerlerinin veya en azından büyük şehir bölgelerinin iklim değişikliğine karşı korunmaya muhtaçlıkları günümüzde tartışmaya açık bir konu olmuştur. Bu sebeple, mevcut su kaynaklarının ihtiyaçlar doğrultusunda planlanması ve yönetilmesi ile ilgili çalışmalar daha da önemlenecektir. Bu çalışmaların özünde, su miktarındaki zaman ve mekansal değişimlerin tezselsel (iddia ve kanıtı içinde) odaklı, bilimsel yöntemlerle analiz edilmesi yer almaktadır. Böylelikle, gelecekte ciddi bir sorun haline gelebilecek su sorunu önceden tespit edilerek lazım gelen önlemlere dair tesbit ve çıkarımlar yapılabilecektir.

Yüksek lisans öğrenimi ve tez çalışmaları boyunca yönlendirmelerine çok yüksek olgunlukta bir sabırla gerekli ve yeterli olan yoğunlaşmayı sürdürülebilir kılan Değerli Danışmanım Doç. Dr. Sadık ALASHAN Hocama teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca uzaktan yapılan, webinar toplantılarında bulunduğum süreçte tecrübelerinden yararlandığım Ahmad Abu ARRA, Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN Hocalarıma teşekkür ederim. Son olarak aileme, yeğenlerim Muhammed'e ve Ahmet'e manevi duruşlarından dolayı minnettarım.

Haşim AY TAR

Bingöl 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. İklim Değişikliği ve Hidroloji	5
1.1.1. İklim Değişikliği ve Sıcaklık	9
1.1.2. İklim Değişikliği ve Yağış	10
1.1.3. İklim Değişikliği ve Buharlaşma Terleme.....	10
1.1.4. İklim Değişikliği ve Toprak Nemi.....	11
1.1.5. İklim Değişikliği ve Yüzeysel Akış.....	11
1.1.6. İklim Değişikliği ve Jeomorfoloji.....	12
2. KAYNAK ÖZETLERİ	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Çalışma Alanı	25
3.1.1. Konumu	25
3.1.2. Genel Özellikleri.....	28
3.1.3. Havzanın Yükseltisi	28
3.1.4. Havzanın Topografyası.....	29
3.1.5. Havza Toprak Grupları	30
3.1.6. Havzada Arazi Kullanımı	31
3.1.7. Havzanın Bakışı.....	33
3.1.8. Havzanın Eğriselliği	34
3.1.9. Havzanın Hidrolojik Eğri Numaraları	35
3.1.10. Havzanın Akarsu Kolları	35
3.2. Havza Morfolojisi	39
3.3.1. Havzanın Çizgisel Morfolojisi.....	39

3.3.2. Havzanın Alansal Morfolojisi.....	42
3.3.3. Havzanın Yüzeysel Morfolojisi	47
3.3. Veri	48
3.4. Yöntem	49
3.4.1. Doğrusal Regresyon (Lineer Regresyon – LR)	51
3.4.2. Mann Kendall Testi (MK)	53
3.4.3. Mann Kendall Mertebe Korelasyon Testi (MK-MK).....	54
3.4.4. Yenilikçi Trend Analizi (Innovative Trend Analysis-ITA).....	55
3.4.5. Revize Yenilikçi Trend Analizi (ITA_R)	58
3.4.6. Yenilikçi Çokgen Trend Analizi (Innovative Polygon Trend Analysis – IPTA)	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
4.1. Yağış Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları	63
4.1.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları.....	63
4.1.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları	67
4.1.3. Mann Kendall Testi Sonuçları	69
4.1.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları	70
4.2. Sıcaklık Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları	73
4.2.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları.....	73
4.2.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları	75
4.2.3. Mann Kendall Testi Sonuçları	77
4.2.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları	78
4.3. Buharlaşma - Terleme (Evapotranspirasyon) Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları.....	81
4.3.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları.....	81
4.3.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları	84
4.3.3. Mann Kendall Testi Sonuçları	85
4.3.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları	87
4.4. Toprak Nemi Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları.....	90
4.4.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları.....	90
4.4.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları (ITA_R).....	93
4.4.3. Mann Kendall Testi Sonuçları	94
4.4.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları	95
4.5. Debi Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları	99
4.5.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları.....	99

4.5.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları (ITA_R).....	101
4.5.3. Mann Kendall Testi Sonuçları	102
4.5.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları	103
4.6. Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma Terleme, Toprak Nemi, Debi Parametrelerine ait Aylık IPTA Uygulama ve Sonuçları	106
4.6.1. Yağış Parametrelerine ait IPTA Sonuçları	106
4.6.2. Sıcaklık Parametrelerine ait IPTA Sonuçları.....	107
4.6.3. Buharlaşma Terleme (Evapotranspirasyon) Parametrelerine ait IPTA Sonuçları	107
4.6.4. Toprak Nemi Parametrelerine ait IPTA Sonuçları	108
4.6.5. Debi Parametrelerine ait IPTA Sonuçları	108
4.7. Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma Terleme, Toprak Nemi, Debi Parametrelerine ait Yıllık Mann Kendall Mertebe Korelasyon (MK-MK) Testi Uygulama ve Sonuçları.....	110
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	121
KAYNAKLAR	124
EKLER.....	134
EK A. Standart Normal Dağılım ‘z, tablosu.....	134
EK B. Vahkin Irmağı Havzası 1984-2022 yıllık uydu görüntüleri	135

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ppm	: Parts per million
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütünün İngilizce kısaltması
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programının İngilizce kısaltması
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin İng. kıs.
IPCC	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinin İngilizce kısaltması
CCCS	: Copernicus İklim Değişikliği Servisi'nin İngilizce kısaltması
ESOTC	: Avrupa İklim Durumu'nun İngilizce kısaltması
COP	: Taraflar Konferansının İngilizce kısaltması
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
DSİ	: Devlet Su İşleri
EEİİ	: Elektrik Etüt İşleri İdaresi
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
UA	: Uzaktan Algılama
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
km ³	: Kilometre küp
km ²	: Kilometre kare
mm	: Milimetre
sn	: Saniye
%	: Yüzde
m	: Metre
km	: Kilometre
π	: Pi
< , >	: Küçük, büyük
QGIS	: Quantum Geographic Information System
SRTM	: Uzay Mekiği Radar Topografya Misyonunun İngilizce kısaltması
SCS	: Toprak Koruma Servisinin İngilizce kısaltması
CN	: Eğri Numarasının İngilizce kısaltması

SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
GEE	: Google Earth Engine
NASA	: Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesinin İngilizce kısaltması
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumunun İng. kıs.
CHIRPS	: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ERA5	: ECMWF Reanalysis 5th Generation
ITA	: Innovative Trend Analysis
IPTA	: Innovative Polygon Trend Analysis
S-IPTA	: Standardized IPTA
ITA - CB	: ITA Change Boxes
ITA_R	: Revize Innovative Trend Analysis
MK	: Mann Kendall
LR	: Lineer Regresyon
Σ	: Toplam
ET	: Evapotranspirasyon
ÖF	: Örnek Fonksiyon
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
V	: Akış hızı
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
R	: Hidrolik yarıçap
J	: Hidrolik eğim
σ	: Trend sapma
s	: Trend eğim
z	: Standart skor
z_k	: Kritik z
H_0	: Başlangıç hipotezi – Trend yok
H_1	: Alternatif hipotez – Trend var
S	: MK test istatistiği
n	: Veri sayısı
sgn	: Signum
$^{\circ}\text{C}$	: Derece santigrat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye akarsu havzaları haritası	8
Şekil 3.1. Fırat Nehri havzası yükselti haritası	26
Şekil 3.2. Murat Nehri havzası yükselti haritası	27
Şekil 3.3. Vahkin Irmağı havzası üç boyutlu uydu ve lokasyon haritası	27
Şekil 3.4. Vahkin Irmağı'nın memba ve mansap yönüne 29 Temmuz 2024 tarihli fotoğrafları.....	27
Şekil 3.5. Vahkin Irmağı havzasının yükseklik haritası.....	29
Şekil 3.6. Vahkin Irmağı havzasının eğim haritası	30
Şekil 3.7. Vahkin Irmağı havzasının hidrolojik toprak grubu haritası	31
Şekil 3.8. Vahkin Irmağı havzasının arazi kullanımı/örtüsü haritası	32
Şekil 3.9. Vahkin Irmağı havzasının bakı haritası	34
Şekil 3.10. Vahkin Irmağı havzasının eğrisellik haritası	35
Şekil 3.11. Vahkin Irmağı havzasının eğri numaraları haritası.....	37
Şekil 3.12. Vahkin Irmağı havzasının akarsu kolları haritası	37
Şekil 3.13. Vahkin Irmağı havzasının arazi örtüsü, eğri numarası, toprak grubu, akarsu kolları ve eğim.....	38
Şekil 3.14. Vahkin Irmağı havzasının en, boy, çevre uzunlukları haritası.....	40
Şekil 3.15. Vahkin Irmağı havzasının hipsometrik eğrisi	44
Şekil 3.16. Doğrusal regresyonda artan - azalan trend tayini	52
Şekil 3.17. Hipotez ret ve kabul bölgeleri.....	54
Şekil 3.18. Mann Kendall Mertebe Korelasyon Testi.....	55
Şekil 3.19. Trend Durumları a) sabit b) monotonik (çok düzenli) artan c) monotonik (çok düzenli) azalan d) non-monotonik artan e) non-monotonik azalan	57
Şekil 3.20. Ardışık aylık veri için varsayımsal Yenilikçi Çokgen Trend Analiz (IPTA) şablonu	60
Şekil 4.1. Aylık yağış değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: CHIRPS)	64
Şekil 4.2. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: CHIRPS).....	67

Şekil 4.3. Aylık yağış değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: CHIRPS).....	71
Şekil 4.4. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: CHIRPS)	72
Şekil 4.5. Aylık sıcaklık değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)	74
Şekil 4.6. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5).....	75
Şekil 4.7. Aylık sıcaklık değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5).....	79
Şekil 4.8. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait Doğrusal Regresyon Sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5).....	80
Şekil 4.9. Aylık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate)	83
Şekil 4.10. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate).....	84
Şekil 4.11. Aylık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları	88
Şekil 4.12. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait Doğrusal Regresyon Sonuçları (Kaynak: TerraClimate).....	89
Şekil 4.13. Aylık toprak nem değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate)....	92
Şekil 4.14. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nem değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate)	93
Şekil 4.15. Aylık toprak nemi değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: TerraClimate).....	97
Şekil 4.16. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nemi değerlerine ait Doğrusal Regresyon Sonuçları (Kaynak: TerraClimate).....	98
Şekil 4.17. Aylık debi değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: GEOGloWS).....	100
Şekil 4.18. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: GEOGloWS)	101
Şekil 4.19. Aylık debi değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: GEOGloWS).....	104

Şekil 4.20. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (<i>Kaynak: GEOGloWS</i>).....	105
Şekil 4.21. Yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme (ET), toprak nemi, debi aylık değerlere ait IPTA sonuçları	109
Şekil 4.22. Yıllık yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemi ve debi değerlerine ait Mann Kendall Mertebe Korelasyon sonuçları (1981-2022) .	110
Şekil 4.23. s (ITA_R) ve b (LR) eğim değerlerine ait radar grafikleri	115

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünya su dengesi (Şen 2003)	7
Tablo 1.2. Türkiye akarsu havzalarının karakteristikleri (Şen, 2003).....	8
Tablo 3.1. Vahkin Irmağı havzasının arazi kullanımı/örtüsü.....	32
Tablo 3.2. Vahkin Irmağı havzası akarsu kollarının derecesi, uzunlukları ve çatallanma oranları	40
Tablo 3.3. Çatallanma oranı ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)	40
Tablo 3.4. Vahkin Irmağı havzasının çizgisel morfometri parametreleri	41
Tablo 3.5. Akarsu frekansı ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)	44
Tablo 3.6. Drenaj yoğunluğu ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)	45
Tablo 3.7. Drenaj tekstürü ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023).....	45
Tablo 3.8. Kanal bakım sabiti ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)	45
Tablo 3.9. Uzama oranı ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023).....	45
Tablo 3.10. Vahkin Irmağı havzasının alansal morfometri parametreleri	45
Tablo 3.11. Vahkin Irmağı havzasının rölyef morfometri parametreleri.....	47
Tablo 4.1. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait ITA_R sonuçları (Kaynak: CHIRPS).....	68
Tablo 4.2. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (Kaynak: CHIRPS)	69
Tablo 4.3. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Yağış)	72
Tablo 4.4. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait ITA_R sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)	76
Tablo 4.5. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)	78
Tablo 4.6. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Sıcaklık).....	80
Tablo 4.7. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme değerlerine ait ITA_R sonuçları (Kaynak: TerraClimate).....	85
Tablo 4.8. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (Kaynak: TerraClimate).....	86

Tablo 4.9. Mukayeseli ITA_R, MK ve LR sonuçları (ET)	89
Tablo 4.10. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nemi değerlerine ait ITA_R sonuçları (<i>Kaynak: TerraClimate</i>)	94
Tablo 4.11. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nemi değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (<i>Kaynak: TerraClimate</i>)	95
Tablo 4.12. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Toprak Nemi)	98
Tablo 4.13. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait ITA_R sonuçları (<i>Kaynak: GEOGloWS</i>)	102
Tablo 4.14. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (<i>Kaynak: GEOGloWS</i>)	103
Tablo 4.15. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Debi)	106
Tablo 4.16. İkinci yarım ve birinci yarım ($y - x$) arasındaki farkın işareti	111
Tablo 4.17. Belirleme katsayısının (R kare) yorumu	112
Tablo 4.18. ITA_R s (<i>slope</i>) ve LR b (<i>eğim</i>) arasındaki r (korelasyon) ile z -skor ve R^2 değerleri	113
Tablo 4.19. Yıllık ITA_R slope (s) ve LR eğim (b), ile z -skor ve R^2 değerleri	114
Tablo 4.20. Parametrelere ait korelasyon katsayıları (r)	116
Tablo 4.21. Çalışmaya ait karşılaştırmalı analiz sonuçları	117

VAHKİN IRMAĞI HAVZASINDA MORFOMETRİK, HİDRO-METEOROLOJİK PARAMETRELER VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLEŞİMİNİN CBS VE UYDU VERİLERİYLE ARAŞTIRILMASI

ÖZET

İlk çeyreği geride kalıp, ikinci çeyreğine geçilen dönemde 21. yüzyılın en önemli konularından birinin su olacağı ve buna bağlı gelişmelerin şimdiden ele alınarak, suyun petrolden daha pahalı ve önemli olacağı hususunda değişik görüşler ileri sürülmektedir. Bu görüşler özellikle hidro-meteorolojik parametreler üzerinde önemli etkilere sahip olan iklim değişikliği tartışmaları arasındadır. Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Fırat Nehri'nin Murat kolunda bulunan Vahkin Irmağı havzası incelenmiştir. Araştırma kapsamında, havza içerisinde 1981-2022 yılları arası ölçülen ortalama sıcaklık, toplam yağış, buharlaşma-terleme, toprak nemi ve ortalama debi/akım verileri kullanılarak trend analizi çalışmaları yapılmıştır. Havzaya ait yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi, debi parametrelerine ait CBS aracı ile uydudan sağlanan veriler kullanarak bu verilerin yıllık, sezonluk, aylık trendleri araştırılmıştır. İklim parametrelerindeki değişikliğin Vahkin Irmağı havzası üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu havza özelinde çok az bilimsel çalışma bulunduğundan, literatüre Vahkin Irmağı havzası özelinde, iklim değişikliği üzerine bir katkı kazandırılmak hedeflenmektedir. Araştırmada, yöntem olarak Yenilikçi Trend Analiz, Revize Yenilikçi Trend Analiz, Yenilikçi Çokgen Trend Analiz, Mann-Kendall Testi, Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi ve Doğrusal Regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre havza genelinde sıcaklıklarda anlamlı, monotonik (çok düzenli) artışlar gözlenirken, yağış olarak Kasım ayı ve Sonbahar sezonunda monotonik anlamlı azalış ile Ocak ayında monotonik, anlamlı artış dışında herhangi bir anlamlı, monotonik artış ya da azalış trendine rastlanılmamıştır. Fakat yağış parametrelerindeki değişim ağırlıklı olarak azalış şeklindedir. Buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon) olaylarında monotonik, anlamlı artış trendleri görülürken toprak neminde non-monotonik, anlamsız azalış trendleri hesaplanmıştır. Ayrıca, debi/akım değerlerinde monotonik, anlamlı azalış trendleri hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde, havzada gözlenen sıcaklık artışlarının buharlaşma-terleme, toprak nemi ve debi parametreleri üzerinde anlamlı etkilerinin olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vahkin Irmağı Havzası, Morfometri, Trend Analizi, İklim Değişikliği, Hidro-meteoroloji.

INVESTIGATION OF THE INTERACTION BETWEEN MORPHOMETRIC, HYDRO-METEOROLOGICAL PARAMETERS AND CLIMATE CHANGE IN THE VAHKIN STREAM BASIN USING GIS AND SATELLITE DATA

ABSTRACT

As the first quarter of the 21st century passes and the second begins, water is emerging as one of the era's most critical concerns. Many argue that it must be addressed urgently, as it is expected to surpass oil in both value and strategic significance. These views are largely shaped by climate change, which profoundly impacts hydro-meteorological dynamics. In this study, the Vahkin Stream Basin, located within the Murat branch of the Euphrates River in Turkey's Eastern Anatolia Region, has been examined. Within the scope of the research, a trend analysis has been conducted using data measured within the basin between the years 1981 and 2022, including average temperature, total precipitation, evapotranspiration, soil moisture, and average flow values. By employing satellite-derived data and utilizing Geographic Information Systems (GIS) tools, the annual, seasonal, and monthly trends of the parameters such as precipitation, temperature, evapotranspiration, soil moisture, and flow belonging to the basin have been analyzed. The aim is to reveal the impact of changes in climate parameters on the Vahkin Basin. Furthermore, as there are very few scientific studies specifically focusing on this basin, it is intended to contribute to the literature regarding climate change specifically within the context of the Vahkin Basin. As methodology, the study employs the Innovative Trend Analysis, the Revised Innovative Trend Analysis, the Innovative Polygon Trend Analysis, the Mann-Kendall Test, the Mann-Kendall Rank Correlation Test, and the Linear Regression method. According to the results obtained, significant, monotonic (uniform) increases in temperature have been observed throughout the basin, while in terms of precipitation, significant, monotonic decreases are found only in the month of November and during the Autumn season, and a significant, monotonic increase is observed in January; apart from these, no other months or seasons exhibit any significant, monotonic increasing or decreasing trends. However, the overall tendency in the precipitation parameter is toward a decrease. While significant, monotonic increasing trends have been identified in evapotranspiration processes, non-monotonic, insignificant decreasing trends have been calculated in soil moisture. Additionally; significant, monotonic decreasing trends have been observed in flow values. As a result of the research, it has been revealed that the observed increases in temperature within the basin have significant impacts on the parameters of evapotranspiration, soil moisture, and flow.

Keywords: Vahkin Stream Basin, Morphometry, Trend Analysis, Climate Change, Hydro-meteorology.

1. GİRİŞ

Tabiat ve beşeriyet münasebetleri ilk günden bugüne kadar akıl-mantık yolu ile ihtiyaçların sağlanması amaçlı bir seyir halinde süregelmektedir. Hiç şüphesiz bu ihtiyaçların en başında su gelmektedir. Hidrolojide yani su biliminde hayati bir önemi olan suyun dün, bugün ve yarını söz konusu olduğunda, bu durumu iklimin dün, bugün ve yarınından bağımsız ele almak eksik, kusurlu ve hatalı olacaktır. Son 30 yılın her 10 yılı, 1850'den itibaren kaydedilen küresel sıcaklık verilerine dayalı olarak hesaplanan tüm on yıllık dönemlerden ardışık olarak daha yüksek sıcaklıklara sahip olmuştur (Dikici, 2019). Hidrolojik ve meteorolojik araştırmalar, iklim değişikliği nedeniyle özellikle sera gazlarının artışı ve sıcaklık yükselmesinin, hidrolojik süreçler ve su kaynakları üzerinde, önemli etkiler yarattığını ortaya koymaktadır (Kankal ve Akçay, 2019). Küresel ölçekte etkileri hissedilen iklim sistemindeki değişikliklerin olası sonuçlarının incelendiği çeşitli modelleme çalışmaları, sıcaklık ve yağış parametrelerinde aşırı anomalilerin oluşacağına işaret etmektedir. Ortalama sıcaklıkta görülecek pozitif yönlü anomali ve yağış miktarında meydana gelecek negatif yönlü anomali, süresi ve büyüklüğü bakımından hidrolojik etkiler üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Kale, 2021).

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle kavramsal çerçevenin vurgulanması gerekmektedir. İklim ve iklim değişikliği kavramlarının ele alınması bu yönüyle önemli olacaktır. Öncelikle iklim kavramı Türk Dil Kurumu'na göre dört farklı şekilde tanımlanmıştır. Bunlardan ilki coğrafi terim olarak “Yeryüzünün herhangi bir yerinde hava olaylarına bağlı olarak gerçekleşen etkilerin uzun yılların ortalamasına dayanan durumu; abuhava” şeklindeyken, diğerleri sırasıyla “Ülke, yeryüzünün ekvator dan kuzey kutbuna kadar bölündüğü yedi bölgesinden her biri, bir şeyin kuvvetli biçimde hakim olduğu ortam” denilmektedir. Batı dillerine Latince vasıtasıyla Yunanca'dan alındığı ve etimolojik olarak Eski Yunanca'da “Güneş ışınlarının eğimi” olarak geçmektedir (URL-1). Burada iklim değişikliği kavramı da çeşitli tartışmaları da içerisinde barındırmaktadır. Dünyada yaşananlar bir iklim değişikliği mi?, iklim değişkenliği mi?, yoksa iklim salınımı mı? ya da iklim trendi mi?, iklim değişimi mi?, ya da belki de iklim dönüşümü mü? gibi sorular tartışılmaktadır. Bu soruların cevabı her ne olursa olsun öngörülemeyen iklim

düzensizlikleri, dünya genelinde önemli belirsizlikleri beraberinde getirmektedir. Beklenmedik ve hızlı bir şekilde gerçekleşen yağışlar, kuraklıklar, sıcak hava dalgaları, fırtınalar, donmalar gibi birçok hava olayı, bölgenin iklim karakteri dışında meydana gelerek iklim düzensizliklerini tetiklemektedir. Bu düzensizliklerin ardından, iklim sistemi genellikle eski düzenine dönse de, iklim düzensizliklerinin sıklığı ve sürekliliği, bölgenin iklim karakterini etkilemektedir (Coşkun, 2019).

İklim çalışmalarında birçok parametre yer alırken, yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi ve yüzeysel akış debisi, temel parametreler olarak ön plana çıkmaktadır. Bu parametrelerle ilgili veriler, yerel ve küresel ölçekte iklimdeki değişkenlikleri anlamaya dair önemli katkılar sunmaktadır. Bu parametreler, hem zamansal hem de mekânsal ölçekte önemli değişkenlikler göstermektedir. İklim karakterini belirlemede veya bir iklim özelliğinin değişimiyle ilgili yapılan araştırmada, yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi ve yüzeysel akış debisi gibi veriler önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu yüzden, iklim değişikliği üzerine gerçekleştirilen pek çok çalışma, özellikle trend analiz çalışmaları, bu parametrelere odaklanmaktadır (Lazaro vd. 2001; Tosic ve Unkasevic 2005; Addisu, vd. 2015; Asfaw vd., 2017).

Svante Arrhenius'un 1896 yılında iklim değişikliği ile ilgili yaptığı çalışmalar, atmosferdeki karbondioksit oranının sıcaklık üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu ortaya koymuştu. Bu çalışma, iklim değişikliği araştırmalarında önemli bir kilometre taşıdır (Arrhenius, 1896). Bugün, atmosferdeki karbondioksit seviyesi 280 ppm'den 418 ppm'e yükselmiş, bu da iklim değişikliği ve felaketlerinin artan etkilerinin temel sebeplerinden biri olarak kabul edilmiştir. Bu veriler, günümüzde iklim değişikliği ve sera gazları arasındaki ilişkilerin arttığını ve gelecekte daha şiddetli felaketlere yol açacağı öngörüsünü desteklemektedir. Bu konu, birçok iklim bilimci ve araştırmacı tarafından da vurgulanmaktadır (Hansen, 2009; Mann, 2012; Corinne vd., 2009; Gavin, 2010; Bill, 2010; Batan, 2014; Orhan, 2001; Eroğlu, 1997; Dabanlı, 2017).

“Küresel Isınma” ve “İklim Değişikliği” kavramlarının literatürde yer almasıyla birlikte, uluslararası düzeyde bu konulara bakış açısı geliştirilmiştir. 1873'te kurulan Uluslararası Meteoroloji Örgütü, 1945'te Birleşmiş Milletler tarafından geliştirilmiş ve 1950'de Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) olarak faaliyet göstermeye başlamıştır. 1972'de kurulan

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve 1988 yılında İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin kabulü ile birlikte iklim değişikliği, küresel bir mesele olarak kabul edilmiştir (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi [UNFCCC], 1988). 1997'de Kyoto Protokolü'nün imzalanmasının ardından, 5-7 yılda bir Dünya'nın iklim sistemine dair değerlendirme raporları hazırlayan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) etkin bir rol oynamaktadır (IPCC, 2021). İklim trendlerini izlemek amacıyla, Copernicus İklim Değişikliği Servisi (CCCS), Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ile birlikte 2023 Avrupa İklim Durumu Raporunu (ESOTC 2023) yayımlamıştır (Copernicus, 2023). Bu rapor, iklim koşullarındaki değişikliklerin yanı sıra, Yer Sistemi'ndeki genel değişimleri tanımlayıp analiz etmekte, önemli iklim olaylarını, bunların etkilerini ve insan sağlığına yönelik iklim politikaları ile eylemleri değerlendirmektedir. Ayrıca, ESOTC raporu, temel iklim göstergelerinin uzun vadeli gelişimine dair güncellemeler de sunmaktadır.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı COP29, 11-22 Kasım 2024 tarihlerinde Azerbaycan'ın başkenti Bakü'de gerçekleştirilmiştir. COP (Conference of the Parties - Taraflar Konferansı), 1995 yılından bu yana her yıl düzenlenen ve ülkelerin iklim politikalarını belirlediği en üst düzey toplantı serisidir (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı [UNFCCC], 2024). Bu konferans, iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası işbirliğini teşvik eden en önemli platform olarak kabul edilmektedir. COP zirvelerinin tarihindeki önemli kilometre taşları arasında, sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen Kyoto Protokolü'nün kabul edildiği COP3 (1997), küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlamayı amaçlayan Paris Anlaşması'nın imzalandığı COP21 (2015) ve fosil yakıtlardan çıkış kararı alınan COP28 (2023) yer almaktadır (UNFCCC, 1997; UNFCCC, 2015; UNFCCC, 2023). COP29'un temel hedefleri arasında, Paris İklim Anlaşması çerçevesinde küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlama hedefine ulaşılması, gelişmekte olan ülkelere iklim finansmanı desteği sağlanması ve COP28'de alınan fosil yakıtlardan aşamalı çıkış kararlarının uygulanabilirliğinin gözden geçirilmesi bulunmaktadır (UNFCCC, 2024).

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, yeryüzüne dair verilere daha hızlı ve güvenilir bir şekilde ulaşılabilmekte, bu verilerin analizi ve yorumlanması insanları doğru kararlar almaya teşvik etmektedir. Bu süreçte Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, zaman içindeki değişimleri görsel olarak tespit etmek

amacıyla Uzaktan Algılama (UA) teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Uydu teknolojilerinin temelleri 1940'lı yıllarda atılmış, 1957'de Sovyetler Birliği tarafından fırlatılan Sputnik-1 uydusuyla birlikte insanoğlu, sadece haberleşme ve iletişim alanında değil, aynı zamanda bu sistemlerin farklı kullanım alanları üzerine de çalışmalar yapmaya başlamıştır. Zaman içinde uydu, bilgisayar ve kamera sistemlerinin gelişmesiyle uzaktan algılama (UA) kavramı daha etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle büyük alanların incelenmesinde, geçmiş ve günümüz verilerine hızlı bir şekilde ulaşmak ekonomik ve teknik açıdan önemli bir avantaj sağlamış, bu da uzaktan algılamayı bilimsel çalışmaların vazgeçilmez bir unsuru haline getirmiştir (Okka, 2022).

Geçmiş verilerin doğru ölçülmesi, gelecekteki çalışmalara ışık tutar. Bu ölçümlerin düzenli yapılması gereklidir çünkü veri dizilerindeki küçük eksiklikler, verinin güvenilirliğini sorgulatabilir. Meteorolojik olayların sürekli ölçülmesi gereklidir fakat her nokta için istasyon kurmak hem pratik hem de ekonomik değildir. Bu nedenle belirli aralıklarla ölçüm yapılması yeterli olabilir, ancak bu bazı problemlere yol açabilir. İstasyonların yerlerinin belirlenmesi, istasyonlar arasında verilerin tahmin edilmesi ve eksik verilerin harita üzerinde interpolasyonla tamamlanması gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Veri işleme aşamasında öncelikli olarak eksiksiz ve homojen (tektürlü) veriler sağlanmalıdır. Verilerin işlenmesi iki temel yöntemle yapılır: grafikler, diyagramlar ve çizelgeler oluşturmak ve hesaplamalar ile anlamlı parametreler elde etmek. Verilerin açık, anlaşılır ve fiziksel yönü açıklanmalı, hesaplamaları kolay olmalı ve geçmiş verilere dayandırılmalıdır. Ayrıca, veriler rastgele hatalardan en az şekilde etkilenmeli ve tarafsız olmalıdır (Birpınar, 2004).

Hidro-meteoroloji, suyun hareketini ve atmosfer olaylarını inceleyen bilim dalıdır. Bu verilerdeki belirsizliklerin incelenmesinde istatistiksel yöntemler kullanılır. Bu istatistiksel işlemler, verilerden anlamlı sonuçlar ve tahminler elde edilmesine olanak sağlar. Hidro-meteorolojik veriler, sayısal ve sözel ifadelerle sunulabilir. Sayısal veriler yağış miktarı, sıcaklık gibi ölçümleri içerirken, sözel veriler “Sisli”, “Yağışlı”, “Kurak” gibi tanımlamaları kapsar (Şen, 2002). Bir hidro-meteorolojik veri dizisinde belirli zaman dilimlerinde meydana gelen değişimlerin analiz edilmesi gerekir. Bu analizler, veri dizisinin trendlerini, ekstrem değerlerini ve değişim aralıklarını ortaya koyar. Homojen bir veri dizisi, zamanla değişmeyen sabit parametreler içerir. Verilerin homojen olup olmadığını belirlemek için yapılan testler, veri dizisinin fiziksel koşullarının ve çevresel

faktörlerinin değişip değişmediğini inceler. Verilerin homojenliği, alt dizilerle yapılan karşılaştırmalarla incelenir. Eğer bir alt dizi, ana veri dizisinin parametreleriyle uyumluysa, veri dizisi homojen kabul edilir. Homojenlik testleri, genellikle aritmetik ortalama, standart sapma gibi parametreler kullanılarak yapılır. Elde edilen sonuçlar, verinin fiziksel şartlarının ne kadar sabit olduğunu gösterir. İnsan kaynaklı etkiler veya doğal olaylar, veri dizisinin homojenliğini bozabilir. Bu tür değişimler verilerin heterojen (çokturlu) hale gelmesine yol açar. Sistemik hatalar, cihazdan veya çevresel faktörlerden kaynaklanır ve genellikle veri dizisinin tümünü benzer şekilde etkiler. Bu hatalar ortalama değerleri etkiler, ancak standart sapma üzerinde bir etkisi olmaz. Rastgele hatalar ise okuma veya yazma hatalarından kaynaklanır ve genellikle düzeltilebilir.

Şen (2005), iklim değişikliğinin havzalar üzerinde çeşitli afetlere yol açabileceğini belirtmiştir. Bu afetlerin yanı sıra, iklim değişikliği geleceğe yönelik planlamalarda dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Dünyanın farklı bölgelerinde iklim değişikliği, hem kuraklık hem de taşkın gibi doğal afetlere neden olabilmektedir. Bu tür afetleri değerlendirmek için veri analizi büyük önem taşımaktadır.

Hidro-meteorolojik verilerde zamanla artan veya azalan trendler gözlemlenebilir. Bu trendler, iklim değişikliği gibi insan etkisiyle veya doğal olaylarla (volkanik patlamalar, milankoviç döngüsü gibi) ortaya çıkabilir. Bu trendlerin analizi için klasik Doğrusal Regresyon, Sen'in Trend Tahmincisi (Sen's trend estimator) ve Mann Kendall yöntemlerinin yanı sıra Şen Yenilikçi Trend Analiz (ITA) yöntemi ve türevleri istatistiksel araçlar kullanılabilir.

1.1. İklim Değişikliği ve Hidroloji

Su bilimi anlamına gelen hidroloji atmosferin aşağı tabakalarında bulunan suyun ortaya çıkışı, çevrimi/alış-verişi, dağılımı, bunların fiziksel ve kimyasal özellikleri, içinde bulundukları çevre ve canlılarla olan karşılıklı ilişkilerini inceleyen, suyun her periyot ve konumda (atmosfer (hava küre), litosfer (kaya küre), hidrosfer (su küre) ve biyosfer (canlı küre)) hareketini inceleyen bilim dalıdır. Su bilimlerini iyi bir biçimde anlamak için doğadaki su çevrimini incelemek gerekir. Güneş enerjisi ve yerçekimi kuvvetlerinin karmaşık etkileri sonucu katı, sıvı ve gaz hallerinden birinde bulunan su, hava küre

(atmosfer), kaya küre (litosfer) ve su küre (hidrosfer) arasında hiç durmadan dolaşıp durur. Her ne kadar dünyadaki su miktarının oldukça az bir kısmı atmosferde bulunuyorsa da, atmosfer ile kıtalar ve okyanuslar arasındaki su alışverişi çok fazladır. Dünyanın su kaynakları genel olarak hava (meteoroloji) ve atmosfer (hava küre) olayları ile bulundukları konumun coğrafi koordinatları ve yükselti (topografya) durumları ile kısa ve uzun vadeli ölçekte yakından ilgilidir. Kısa vadede ortaya çıkan hava değişimleri, meteorolojik (atmosfer fiziği) olaylar şeklinde ortaya çıkıp tahmini olarak 3-4 gün sonrası için sağlıklı bilgiler veremez. Uzun vadeli hava olayları ise kısa vadeli olayların uzun zaman ortalamaları şeklindeki değişimleri iklim olarak adlandırılmakta ve mevsimsel değişimlerden başlayarak yıllık, on yıllık ve yüz yıllık tahminler belli senaryolar neticesinde ele alınmaktadır. (Şen, 2002; 2009). Dolayısıyla aslında bu durumu bir ‘dönüşüm’ olarak algılamak meselenin anlaşılmasında fayda sağlayabilir. Bir dönüşüm söz konusu ise o halde mevcut durumun sürdürülebilirliğine engel olan değişime sebep olan durumların ortaya konulması gerekmektedir. Arrhenius (1896) atmosferdeki karbondioksit oranının sıcaklık üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu ortaya koyduktan sonra bugün, atmosferdeki karbondioksit seviyesinin yaklaşık iki katına çıkmasının, iklim değişikliği ve felaketlerinin artan etkilerinin temel sebeplerinden biri olarak kabul görmüştür (Parry vd., 2007; Thomas vd., 2016; Pachauri vd., 2007; Field vd., 2014).

İklim değişikliği, hidrolojik döngü (su çevrimi) ve su kaynaklarının yerel, bölgesel ve küresel düzeydeki yönetimi ve dağılımı üzerinde giderek daha büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Bu nedenle, dünya genelinde su kaynaklarının mekânsal ve zamansal davranışlarında, iklim değişikliğine bağlı değişiklikler ve değişkenlikler gözlemlenebilmektedir.

Tablo 1.1'e göre, dünya su dengesine bakıldığında, suyun %97'sinin tuzlu olduğu ve bu nedenle içme suyu veya tarımda kullanılabilir nitelikte olmadığı görülmektedir. Kalan %3'lük dilim ise 35 milyon km³ tatlı sudan oluşmaktadır. Ancak, bu tatlı su da Dünya yüzeyine eşit (veya uniform) şekilde dağılmamıştır.

Tablo 1.1. Dünya su dengesi (Şen 2003)

Su Türleri	Hacim (x10 ³ km ³)	Toplam Suyun Yüzdesi
Karalardaki su		
Tatlı su gölleri	125	0,009
Tuzlu göller ve iç denizler	104	0,008
Nehirlerin anlık su hacimleri	1,25	0,0001
Zemin nemi ve vadoz su	67	0,005
4000 m'ye kadar yeraltı suyu	8350	0,61
Buzullar ve dağ tepelerindeki buzullar	29200	2,16
Karalar toplamı	37800	~2,80
Atmosfer	13	0,001
Okyanuslar	1320000	97,3
Genel toplam	1360000	100,0
Yıllık Buharlaşma		
Okyanuslardan	350	0,025
Karalardan	70	0,005
Genel toplam	420	0,031
Yıllık Yağış		
Okyanuslar üzerine	320	0,024
Karalar üzerine	100	0,007
Genel toplam	420	0,031
Yıllık Akış		
Nehir ve dağ buzlarından okyanuslara	38	0,003
Yeraltı suyundan okyanuslara	1,6	0,0001
Genel toplam	39,6	0,0031

Şekil 1.1 ve Tablo 1.2’de Türkiye’nin akarsu havzaları ve karakteristikleri gösterilmektedir. Türkiye 26 adet akarsu havzasına ayrılmıştır. Bunlardan 4’ü denize ulaşmayan kapalı havzalardır: Burdur Gölleri Havzası, Akarımak/Afyon Suları Havzası, Konya Kapalı/Orta Anadolu Havzası ve Van Gölü Havzası. 6 tanesi müteferrik havza olup, Müteferrik Batı Akdeniz, Müteferrik Orta Akdeniz/Antalya, Müteferrik Batı Karadeniz, Müteferrik Doğu Akdeniz, Müteferrik Marmara ve Müteferrik Doğu Karadeniz Havzalarıdır. Geriye kalan 16 havza ise nehir havzası olarak sınıflandırılmaktadır (Cebe, 2007). Türkiye’deki 26 akarsu havzasının ortalama su potansiyeli Tablo 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye akarsu havzaları haritası

Tablo 1.2'ye göre, Türkiye'de en yüksek ortalama su potansiyeline sahip havza %17 ile Fırat Havzası olup, 31,60 km³ yıllık ortalama akışa sahiptir. En düşük su potansiyeline sahip havza ise %0,3 ile Akarımak- Afyon Suları Havzası olup, yıllık ortalama akışı 0,45 km³'tür. Fırat (%17) ve Dicle (%11,5) havzaları, Türkiye'nin yıllık akış potansiyelinin %30'unu karşılamaktadır. Doğu Karadeniz (%8), Antalya (%5,9), Batı Karadeniz (%5,3), Batı Akdeniz (%4,8) ile beraber toplamda su potansiyeli olarak Türkiye'nin yarısını karşılamaktadırlar. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam yağış miktarı 523 km³, ortalama yıllık toplam akışı ise 190 km³'tür. Bu durumda, yıllık ortalama akışın yıllık ortalama yağışa oranı %36'dır.

Tablo 1.2. Türkiye akarsu havzalarının karakteristikleri (Şen, 2003)

Havza adı	Alan (km ²)	Ortalama yıllık yağış (mm)	Ortalama yıllık akış (mm)	Ortalama akış katsayısı	Potansiyel yıllık verim (1/sn/km ²)	Ortalama Potansiyel (%)
1. Fırat	127304	582	248,2	0,43	8,3	17
2. Dicle	56616	814	437,4	0,54	13,1	11,5
3. Doğu Karadeniz	24077	1291	581,2	0,43	19,5	8
4. Antalya	19577	910	574,1	0,63	24,2	5,9
5. Batı Karadeniz	29598	803	339,2	0,42	10,6	5,3
6. Batı Akdeniz	20953	865	370,3	0,43	12,4	4,8
7. Marmara	24199	766	316,2	0,41	11	4,5
8. Seyhan	20450	629	345,2	0,55	12,3	4,3
9. Ceyhan	21982	758	328	0,43	10,7	3,9

Tablo 1.2. Devamı Türkiye akarsu havzalarının karakteristikleri (Şen, 2003)

Havza adı	Alan (km ²)	Ortalama yıllık yağış (mm)	Ortalama yıllık akış (mm)	Ortalama akış katsayısı	Potansiyel yıllık verim (1/sn/km ²)	Ortalama Potansiyel (%)
10. Kızılırmak	78180	459	80,6	0,18	2,6	3,5
11. Sakarya	58180	534	103,7	0,19	3,6	3,4
12. Çoruh	19872	540	327,1	0,61	10,1	3,4
13. Yeşilırmak	36114	556	153,4	0,28	5,1	3,1
14. Susurluk	22399	730	238,8	0,33	7,2	2,9
15. Aras	27548	462	201,1	0,44	5,3	2,5
16. Konya Kapalı	53850	437	62,4	0,14	2,5	2,4
17. B. Menderes	24976	656	118,1	0,18	3,9	1,6
18. Doğu Akdeniz	22048	669	556,5	0,83		
19. Van Gölü	19405	507	133,5	0,26	5	1,3
20. Kuzey Ege	10003	730	220	0,3	7,4	1,1
21. Gediz	18000	639	100,6	0,16	3,6	1,1
22. Meriç Ergene	14560	640	85,9	0,13	2,9	0,7
23. K. menderes	6907	740	162,2	0,22	5,3	0,6
24. Asi	7796	837	153,9	0,18	3,4	0,6
25. Burdur Gölleri	6374	436	48,6	0,11	1,8	0,3
26. Akarırmak	7605	472	59,2	0,13	1,9	0,3

Ayrıca hidrolojide sıkça kullanılan havza kavramı sosyolojik ve tarihsel bağlamlarıyla beraber ele alındığında ilkçağdan itibaren su kenarlarına yerleşmiş insanların doğal idari sınırlarını oluşturan bir coğrafik yapı olarak düşünülebilir. Zira ilk medeniyetlerin sınırları nehir havzalarının sınırlarından müteşekkildi. Yine havza, gündelik hayatta evlerin ıslak hacimli mahallerinden mutfak ve banyoda bulunan lavabolara benzetilebilir. Bir çeşit minyatür havza olan lavaboların gider kısmı havzaların çıkış ağzına teşbih edilebilir.

1.1.1. İklim Değişikliği ve Sıcaklık

Atmosferin sıcaklığı, güneşten gelen kısa dalgalı ışınlar ile yeryüzünden yansıyan uzun dalgalı ışınlar tarafından belirlenir (ışığın en küçük birimi foton, birden fazla fotonun oluşturduğu ışık demeti ışın olarak adlandırılır. Uzaklık-kısalık dalganın rengiyle ilgilidir. Uzaklaşması durumunda mavi, yaklaşması durumunda kırmızı rengini alır).

Hava sıcaklığı, cisimlerden uzakta, örneğin bir meteoroloji istasyonunda ölçüldüğünde serbest hava sıcaklığını ifade eder. Şehirleşme neticesinde meteoroloji istasyonlarının serbest hava sıcaklığını ölçme olasılığı azalmaktadır ve insan faaliyetleri sonucunda atmosferin doğal yapısı etkilenmiştir. Artan sera gazları, ozon tabakasının incelmesi; küresel ısınmayı arttırmış ve sıcaklıkları yükseltmiştir (Şen, 2009). Buzulların hacminde azalma, denizlerin yükselmesi, göllerdeki su sıcaklıklarının artması ve güncel ölçümler bunu doğrular niteliktedir.

1.1.2. İklim Değişikliği ve Yağış

Yağış, havanın soğuması sonucunda ortaya çıkar. Yükseklik, basınç, sıcaklık farklarıyla ortaya çıkan yağış sıvı veya katı şeklinde yağmur, kar, dolu olarak görülebilmektedir. Yağışlar, zaman ve mekânda su dengesindeki değişkenliğin ana kaynaklarından biridir. Yağışlardaki değişiklikler, hidroloji ve su kaynakları üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bir su havzasında zamanla meydana gelen hidrolojik değişkenlik, günlük, mevsimsel, yıllık ve on yıllık süreçlerde yağışlardaki dalgalanmalara bağlı olarak ortaya çıkar. Mevsimsel yağışlardaki değişiklikler, alansal olarak daha değişken olup, bir bölgenin klimatolojisinde meydana gelen değişimlere bağlıdır. İklim değişikliği, Dünya'nın yüzeyindeki sıcaklıkların artmasına neden olarak ekstrem hava olaylarının sıklığını ve şiddetini artırmaktadır. Bu artan sıcaklıklar, yağışların kar formunda düşme ihtimalinin azalmasına neden olabilir. Şu anda, kar yağışı düşen marjinal bölgelerde ileriki süreçte neredeyse hiç kar yağışı düşmeyebilir (Şen, 2005).

1.1.3. İklim Değişikliği ve Buharlaşma Terleme

Buharlaşma (evaporasyon) kara yüzeyinden, açık su yüzeylerinden, topraktan, sıg zemin suyundan, bitki örtüsü üzerinde tutulan sulardan ve bitkilerdeki terleme (transpirasyon) yoluyla gerçekleşir. İklim değişikliği, bahsi edilen tüm faktörleri aynı anda etkileme potansiyeline sahiptir. Sıcaklık ve yağış, evapotranspirasyon (ET) sürecini önemli ölçüde etkiler. Sıcaklık arttıkça, buharlaşma hızı yükselir, çünkü yüksek sıcaklık suyun buharlaşmasını hızlandırır ve bitkilerin su kaybını artırır. Yağışlar ise doğrudan evapotranspirasyonu etkileyerek, bitkilerin suya erişimini sağlar; yağış miktarının arttığı bölgelerde toprakta nem seviyesi yükselir, bu da bitkilerin daha fazla suyu

buharlaştırmasına olanak tanır. Ancak, yağışın azalması veya düzensizleşmesi, su kaynakları potansiyelinin azalmasına yol açarak evapotranspirasyon miktarını sınırlar.

1.1.4. İklim Değişikliği ve Toprak Nemi

Toprakta biriken nem, içinde yaşayan canlılar ve bilhassa tarım için önemli olup, buharlaşma miktarını etkileyerek yeraltı suyu beslenmesi ve yüzeysel su akışının oluşumunu da etkiler. Topraktaki nem; toprak özellikleri, su emme kapasitesi veya çatlama durumlarına bağlı olarak etkisini gösterir. Bu durum deney aletleri kullanılmadan da gözlemlenebilir.

İklim değişikliği açısından sıcaklık, yağış, buharlaşma ve terlemedeki genel trendler toprak neminin zamansal ve konumsal miktarını değiştirmektedir. Çünkü yüksek sıcaklıklar, buharlaşma ve terlemeyi artırarak toprak neminin hızla kaybolmasına neden olur, özellikle yağışın az olduğu durumlarda daha fazla etkili olur. Dolayısıyla toprak nemindeki değişimler, sıcaklık, yağış, buharlaşma-terleme parametrelerindeki trendlere paralel seyreder.

1.1.5. İklim Değişikliği ve Yüzeysel Akış

Yüzeysel akış, nehir akışının su havzası alanına bölümü olarak tanımlanabilir. Kısa süreler boyunca bir su toplama havzası çıkış noktasından geçen suya genellikle “Nehir akışı” denir. İklim değişikliği tesiri ile sel ve kuraklık gibi birçok hidrolojik ekstrem olaylar meydana gelebilmektedir (Şen 2009).

Sıcaklık, yağış, buharlaşma terleme ve toprak nemi, yüzeysel akışı etkileyen önemli bileşenlerdir. Yağışın miktarı ve yoğunluğu, toprak nemini artırarak yüzeysel akışı tetikler; özellikle toprak doymuş hale geldiğinde oluşan artık su, zemin yüzeyinde akararak yüzeysel akışı meydana getirir. Sıcaklık arttığında, buharlaşma ve terleme olayı hızlanır, bu da toprağın nemini azaltarak suyun zeminde birikmeden toprağa ve havaya su buharı olarak karışmasını sağlar, bu da yüzeysel akışı azaltır. Ancak, toprak nemi yeterli olduğunda, fazla suyun yer altı su seviyelerine ulaşması yerine yüzeysel akışa dönüşme olasılığı artar.

Buharlaşma ve terlemenin azalması, özellikle aşırı yağış durumlarında suyun toprak tarafından emilmemesine ve yüzeysel akışın artmasına neden olur.

1.1.6. İklim Değişikliği ve Jeomorfoloji

Nehir yatağı üzerindeki erozyon ve sedimentasyon/tortul birikimleri, çoğunlukla zaman içinde nehir akışında, özellikle geri dönüş sıklığında meydana gelen değişimlerle tayin edilmektedir. Drenaj ağının yoğunluğu, iklimin topografya (arazinin/yer/toprak parçası/yüzey şekilleri fiziği) zerindeki etkisini yansıtmaktadır (Şen, 2005; 2009). Sıcaklık, yağış, buharlaşma (terleme), toprak nemi ve yüzeysel akış, jeomorfolojik süreçleri doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu etkileşimler, arazi şekillerini ve toprak özelliklerini zaman içinde değiştirir.

Sıcaklık artışı, buharlaşma ve terleme hızını artırarak toprak nemini azaltır. Düşük nem, toprak yapısını sertleştirir ve yüzeysel akışın hızını artırır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklar ve düşük nem, toprakların çatlamasına neden olur; bu da yüzey akışının yönünü değiştirir veya suyun emilmesini engeller, yüzeysel akışın daha fazla erozyona yol açmasını sağlar. Yağış miktarının artması, yüzeysel akışın hızlanmasına ve toprak erozyonunun artmasına yol açar. Bu, akarsu yataklarının şekil almasını ve nehir vadilerinin derinleşmesini sağlar. Şiddetli yağışlar, özellikle toprak nemi yüksekse, suyun hızla yüzeyden akmasına ve eğimli arazilerde çığ düşüşleri veya toprak kaymaları gibi jeomorfolojik olaylara neden olur. Buharlaşma ve terleme, toprakta suyun kaybını artırarak, özellikle kuru bölgelerde yüzeysel akışın daha sınırlı hale gelmesine neden olur. Bununla birlikte, fazla suyun buharlaşması, toprak yüzeyinde daha az su birikmesine yol açar ve bu da erozyonun nlenmesine veya yer şekillerinin daha az değişmesine neden olur. Toprak nemi, suyun toprak tarafından emilme kapasitesini belirler. Yüksek toprak nemi, suyun yer altına geçmesini kolaylaştırırken, nem seviyesi düşükse, su yüzeyde akar ve erozyon, lleşme veya akarsu yatağının yeniden şekillenmesi gibi jeomorfolojik süreçlere yol açar. Ayrıca, yeterli toprak nemi, bitki örtüsünü destekleyerek toprağın stabilitesini arttırır ve erozyon riskini azaltır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Trend, bir rastgele değişkenin zaman içindeki artış veya azalışını ifade eder. Trend analizi yapılırken parametrik ve parametrik olmayan testler olmak üzere iki yöntem kullanılır. Çoğunlukla parametrik olmayan testler tercih edilir, çünkü bu testler kısa süreli, rastgele ve düzensiz gözlemlerle ilgili sorunları ortadan kaldırabilir. Ayrıca, verilerin dağılımına ve parametrelerine bağlı kalmadan analiz yapabilme avantajına sahiptirler. Parametrik olmayan testler arasında en yaygın kullanılanlardan biri klasik yöntemlerden Mann-Kendall testidir. Bir diğeri ise yayınlandığı 2012 yılından itibaren bini aşkın atıf alan Şen Yenilikçi Trend Analizi yöntemidir.

Literatürde iklim değişikliğinin hidrolojik parametrelere etkisinin incelendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda iklimsel ve hidro-meteorolojik analizlerde farklı trend yöntemleri uygulanmıştır. İklim değişikliğinin hidrolojik parametrelere etkisi ile ilgili yapılan çalışmalarda, akarsu havzalarında hidrolojik döngü bileşenlerinden yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi ve yüzeysel akış debisindeki zamansal değişimi konu alan çalışmalar çok dikkat çekmektedir.

Uluslararası düzeyde nehir debisi ve bunları etkileyen parametrelerin iklim değişikliği karşısındaki davranışı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Alifujiang vd. (2021) tarafından Orta Asya'daki Issyk Kul Havzasında yıllık ve mevsimsel akarsu akımları Yenilikçi Trend Analizi anlamlılık testiyle birlikte uygulanmış ve sonuçlar Mann-Kendall (MK) testi ile karşılaştırılmıştır. Havzanın kuzeyinde akış yüzdeleri %46,15'ten %25,64'e düşerken, Yenilikçi Trend Analizi yöntemi benzer şekilde %39,2'den %29,4'e bir azalma hesaplamıştır. Mevsimsel akımlarda, Kış ve Yaz aylarında belirgin artış trendleri tespit edilirken, Sonbahar ve İlkbaharda daha değişken trendler gözlenmiştir. Akhundzadah (2024) tarafından Afganistan'daki beş ana nehir; Kabul, Helmand, Harirud-Murghab, Kuzey ve Amu Derya havzalarında sıcaklık, yağış ve nehir debisi trendleri, Yenilikçi Trend Analizi, Mann-Kendall testi, Sen'in Trend Tahmincisi yöntemleri ile uydudan sağlanan 1980-2022 yıllarına ait iklimsel ve hidrolojik değişkenler değerlendirilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık 1,5°C artış gösterirken, yağışta 1,2 mm azalma ve nehir debisinde -128

m³/s düşüş tespit edilmiştir. İklim değişikliğinin etkilerinin özellikle ülkenin batısında daha belirgin olduğu vurgulanmıştır. Chandole vd. (2019) tarafından Hindistan'ın Gujarat eyaletindeki Aşağı Tapi Nehri havzasında hidro-meteorolojik parametrelerin mekânsal ve zamansal trendleri analiz edilmiştir. Mann-Kendall testi, Sen'in Yönelim Tahmincisi ve Yenilikçi Trend Analiz yöntemleri kullanılarak 1928-2013, 1955-2013 ve 1970-2013 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış değişimleri değerlendirilmiştir. Yıllık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıkların artış gösterdiğini ve yıllık yağış miktarının farklı zaman periyotlarında pozitif trend sergilediği belirtilmiştir. Analizlerin mekânsal dağılımı CBS programı kullanılarak görselleştirilmiş ve trendlerin arazi kullanımı değişiklikleriyle ilişkili olabileceği belirlenmiştir. Gedefaw vd. (2018) tarafından Etiyopya'daki Awash Nehri havzasında iklimsel ve hidrolojik değişkenlerin trend analizi gerçekleştirilmiştir. Mann-Kendall testi, Sen'in Trend Tahmincisi ve Yenilikçi Trend Analiz yöntemleri kullanılarak yağış, sıcaklık ve nehir debisi değişimleri incelenmiştir. Bazı bölgelerde yağış artış gösterirken, sıcaklıkta genel olarak anlamlı bir artış trendi belirlenmiş ve nehir akışında düşüş trendleri tespit edilmiştir. Cui vd. (2017) 1960-2015 yılları arasında Çin'in Yangtze Nehri havzasındaki yıllık ve mevsimsel hava sıcaklığı ile yağış trendleri analiz edilmiştir. Mann-Kendall Testi, Sen'in Yönelim Tahmincisi ve Yenilikçi Trend Analizi kullanılarak sıcaklık ve yağış değişkenlerindeki uzun vadeli trendler değerlendirilmiştir. 1980 sonrası sıcaklık artış hızının daha yüksek olduğu, yağışların 1960-2015 arasında genel olarak arttığı ve 1980 sonrasında azalma trendinde olduğu belirlenmiştir. Özellikle Kış ve İlkbahar sıcaklıklarında belirgin artışlar gözlenirken, mevsimsel yağışların bölgesel farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir.

Ayrıca Alashan (2018b), Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yöntemi geliştirilerek ITA-Değişim Kutuları (ITA-CB) yaklaşımı önerilerek, zamansal veri setlerinin trend değişimlerini daha ayrıntılı ve sayısal olarak inceleme imkânı sunduğunu belirtilmiştir. Türkiye (Diyarbakır), İngiltere (Oxford) ve ABD (Mississippi)'den elde edilen sıcaklık, yağış ve akarsu debisi verileri üzerinde uygulanan ITA-CB yöntemi, ITA yöntemine kıyasla daha detaylı ve güvenilir trend değerlendirmeleri sağladığı yazar tarafından ifade edilmiştir. Diyarbakır'daki sıcaklık serisinde belirgin bir artış trendi olduğu, Oxford'daki yağış verilerinde farklı trendlerin bulunduğu ve Mississippi'deki nehir debisinde değişken ancak genel olarak artış gösteren trendler olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, literatürde ülke genelinde gerçekleştirilen debi analiz çalışmaları da mevcuttur. Büyükkaracıoğlu (2019) tarafından hidrolojik (akım) verilerin değişkenlik analizi yapılmış ve Türkiye'nin 26 havzasında akarsu akımlarında trend olup olmadığı 9 ayrı yöntemle araştırılmıştır. Mann-Kendall, Spearman Rho ve Şen Yenilikçi Trend Analizi gibi yöntemler kullanılarak havzalardaki akım değişimleri incelenmiş, bazı (sadece birkaç istasyonda) bölgelerde azalma trendleri, geri kalanlarda -ülkenin tamamına yakın kısmında- trend olmadığı ileri sürülmüştür. İklim değişikliği, arazi kullanımı ve su kaynakları yönetiminin akarsu akımları üzerindeki etkilerini anlamak için hidrolojik trend analizlerinin önemine vurgu yapılmıştır. Cebe (2007) tarafından Türkiye'nin 26 akarsu havzasından 4'ünün kapalı havza, 6'sının müteferrik havza, 16'sının nehir havzası ve 16 istasyonla Fırat Havzasının en çok, 1'er istasyonla Küçük Menderes, Burdur Gölü, Afyon Suları Kapalı havzalarının en az AGİ'ye sahip olduğu belirtilerek 24 havzada toplam 108 akım gözlem istasyonuna ait Elektrik Etüd İşleri İdaresi (EEİİ) tarafından ölçülmüş aylık ortalama akım verileri Mevsimsel Mann-Kendall ve χ^2 testleri kullanılarak analiz edilmiştir. Türkiye'nin batı, orta ve güney bölgelerinde akarsularda genellikle azalan bir trendin olduğu, kuzey bölgelerinde ise belirgin bir değişim gözlenmediği belirtilmiştir. Say (2006) tarafından Türkiye'deki 26 havza ve bu havzalara ait toplam 83 istasyonda nehir akımları mevsimlik verilerinin parametrik (zaman serisi, en küçük kareler yöntemi) ve non-parametrik (Spearman'ın Rho testi, Seasonal Kendall testi, Mann-Kendall testi, Sen'in trend tahmincisi) yöntemlerle trend analizi gerçekleştirmiştir. Genelde azalan yönde trend belirlenmiş ve havzalardaki su kaynaklarının planlanmasında daha rasyonel davranılması gerektiği ortaya konmuştur.

Ülke genelinde buharlaşma verileri üzerinde yapılan çalışmalara örnek olarak, Bacanlı ve Tanrikulu (2017) tarafından Ege Bölgesi'nde 25 meteoroloji istasyonuna ait aylık buharlaşma verileri, Mann Kendall Testi ve Yenilikçi Trend Analiz yöntemleri ile analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, Yaz aylarında mevsimlik buharlaşmada %12 azalma ve %24 artış trendi belirlenmiş, Kuşadası, Bornova, Gediz ve Bolvadin'de artış, Muğla, Manisa, Aydın, Tavşanlı ve İzmir'de ise azalma trendleri tespit edilmiştir. Aylık değerlendirmelerde bazı istasyonlarda trend süreklilik gösterirken, trend süresinin 3 ila 7 ay arasında değiştiği belirtilmiştir. Aydın vd. (2010) tarafından Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesindeki gözlem istasyonlarındaki buharlaşma verilerinin 1975-2006 yılları arasındaki trendleri Mann-Kendall Sıra Korelasyon testi ile analiz edilmiştir. Marmara, Ege, Akdeniz,

Güneydoğu Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde genel olarak buharlaşmada artış trendi gözlenmiştir. Özellikle Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Ekim aylarında artış trendleri daha belirgin olmuştur. Ancak, Nisan ve Eylül aylarında bazı bölgelerde azalma trendleri tespit edilmiştir.

Bazı araştırmacılar ise belli bir havza kapsamında akış değerleri üzerine trend çalışmaları gerçekleştirmiştir. Güçlü (2019) tarafından iklim değişikliğinin anlık yüksek akımlara etkisi Meriç-Ergene havzasında incelenmiştir. Yenilikçi Trend Analizi ile yapılan trend analizinde, genel olarak monoton olmayan artış trendi tespit edilmiştir. Farklı tekerrür sürelerine göre yapılan sıklık hesaplarında, bazı debi değerlerinde azalma görülse de özellikle yüksek değerlerde belirgin artış trendleri saptanmıştır. Ergün vd. (2024) Küçük Menderes havzasında 1972-2023 yılları arasındaki aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verileri, Mann-Kendall ve Sen'in Trend Tahmincisi yöntemleriyle analiz edilmiştir. Yağış verilerinde anlamlı bir trend belirlenmezken, sıcaklık verilerinde tüm istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Nispi nem verilerinde ise bazı istasyonlarda anlamlı azalışlar gözlenmiş, ancak tüm bölgede genel bir trend belirlenemediği tespit edilmiştir. Dikici (2019) tarafından Asi Nehri havzasında 1970-2016 yılları arasındaki yağış, akış, buharlaşma, sıcaklık ve yeraltı suyu verilerinin yıllara göre nasıl bir değişim gösterdiği detaylı olarak incelenmiş ve verilerin yıllık trend (Mann-Kendall) analizi yapılmıştır. Sıcaklıkların istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde arttığı, yağış miktarında ise belirgin bir değişim olmadığı, buharlaşma analizinde iki istasyonda artan, birinde azalan ve birinde de değişim olmadığı tespit edilmiştir. Hidrolojik veriler incelendiğinde, Asi Nehri üzerindeki akış miktarının azaldığı ve bazı yeraltı suyu seviyelerinde düşüşler yaşandığı tespit edilmiştir. Kale (2021) tarafından Akarımak Kapalı havzasında yapılan hidrolojik kuraklık analizinde, 1966-2011 yılları arasındaki akım verileri kullanılarak Akarsu Kuraklık indisi hesaplanmış ve kuraklık trendleri belirlenmiştir. Trend analizi için Mann-Kendall ve Mann-Kendall Sıra Korelasyon testleri uygulanmış, 1980'lerin ortalarından itibaren hidrolojik kuraklığın süresi ve şiddetinin arttığı tespit edilmiştir. Anık (2021) vd. tarafından Doğu Karadeniz havzasındaki 17 akım gözlem istasyonunun yıllık anlık maksimum akım verileri, Mann-Kendall, Yenilikçi Trend Analizi-Değişim Kutuları (ITA-CB) yöntemleriyle incelenmiştir. Mann-Kendall testine göre üç istasyonda azalan, bir istasyonda artan trend gözlenirken, Yenilikçi Trend Analizi yöntemine göre hiçbir istasyonda belirgin bir trend bulunmamıştır. Yenilikçi Trend Analiz-

Değişim Kutuları yöntemi ise farklı veri sınıflarında hem artan hem de azalan trendleri ortaya koyarak trend tespit etme duyarlılığının diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğunu vurgulanmıştır. Kır ve Güldal (2022) tarafından Antalya ve Isparta'da 1971-2018 yılları arasındaki aylık ve yıllık yağış verilerinin trend analizi yapılmıştır. Mann-Kendall yöntemi herhangi bir anlamlı trend göstermezken, Sen'in Trend Tahmincisi ve Şen'in Yenilikçi Trend Analiz yöntemleri bazı aylık ve yıllık verilerde artan ve azalan trendler tespit etmiştir. Farklı yöntemlerin farklı sonuçlar vermesi nedeniyle, yağış trendlerini anlamak için birden fazla analizin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Çeribaşı ve Doğan (2015) tarafından Batı ve Doğu Karadeniz ile Sakarya havzasındaki akım verileri trend analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho testlerine göre Batı Karadeniz ve Sakarya havzasındaki bazı istasyonlarda akımın azalan bir trend gösterdiği, Doğu Karadeniz havzasında ise belirgin bir trendin olmadığı tespit edilmiştir. Akım değişimlerinin iklimsel değişikliğinden, hidroelektrik santraller ve su kullanımı gibi faktörlerden etkilendiği vurgulanmıştır. Yüce vd. (2018) tarafından Seyhan havzasında yapılan yağış trend analizinde, 1964-2016 yılları arasındaki yıllık toplam yağış verileri Mann-Kendall, Spearman'ın Rho, Sen'in Trend Eğim ve Mann-Kendall Mertebe Korelasyon testleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Pınarbaşı istasyonunda her iki güven aralığında, Çamardı istasyonunda ise yalnızca %85 güven aralığında azalan bir trend tespit edilmiştir. Kartal vd. (2024) tarafından Kızılırmak havzasında 1970-2023 yılları arasındaki sıcaklık, yağış, buharlaşma ve akım verileri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, yıllık ortalama sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı artışlar gözlenirken, yağış değerlerinde genel olarak azalma trendi tespit edilmiştir. Buharlaşma değerlerinde Kastamonu dışında tüm istasyonlarda artış gözlenmiş, ancak anlamlı bir trend belirlenmemiştir. Akım değerlerinde ise Kanak Çayı – Kaleboğazı ve Kızılırmak Nehri – Bulakbaşı istasyonlarında artış gözlenirken, diğer istasyonlarda azalış trendi tespit edilmiştir. Büyükyıldız ve Berktaş (2004) tarafından Sakarya havzasında 1960-2000 yılları arasındaki aylık toplam yağış verileri, Mann-Kendall, Spearman'ın Rho, Sen'in T ve Mevsimsel Mann-Kendall testleri kullanılarak analiz edilmiştir. İstasyonların yarısında %5 anlamlılık seviyesinde azalan trendler belirlenmiş, bulunan trendlerin %80'i azalma, %20'si ise artış yönünde olmuştur. Ekim ve Ağustos aylarında bazı istasyonlarda artış trendleri gözlenirken, diğer aylarda genellikle azalma trendleri tespit edilmiştir. Yerdelen (2013) tarafından Susurluk havzasında yapılan trend analizinde, yıllık ortalama akım verilerinin genel olarak azalan bir trend gösterdiği tespit edilmiştir. 1965 ile 1987 yılları

arasında farklı istasyonlarda değişim noktaları belirlenmiş, özellikle 1980'lerin başında akım değerlerinde belirgin dūřuřlar görülmüştür. Mann-Kendall ve homojenlik testleri ile yapılan analizlerde, 6 istasyondan 5'inde %95 güven aralığında trend başlangıç yılları ve değişim yılları D ll k (İst. No: 302) ile Yahyak y (316) istasyonlarında 1982 yılında, K   kilet (311) ile Akcasusurluk (317) istasyonlarında 1981 yılında ve Ge it  y (321) istasyonunda 1965 yılında azalma trendinin başladığı tespit edilmiştir. Dereli (328) istasyonunda ise azalma trendi görülmesine rağmen trend başlangıç yılı belirlenememiştir. Cořkun (2020) tarafından Türkiye'nin Doęu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Aras-Kura Nehri kapalı havzasında 1970-2018 yılları arasındaki sıcaklık, yağış ve akım verilerinin mevsimlik ve yıllık trend (Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho) analizi yapılmıştır. Sonuçlara göre, havza genelinde ortalama sıcaklıklarda anlamlı artış gözlenirken, yağış sadece Ardahan ve Kars'ta artış göstermiş, diğer istasyonlarda belirgin bir trend bulunmamıştır. Akım verilerinde ise Kağızman istasyonunda artış, Sarısu Nonak istasyonunda azalış tespit edilmiş, genel olarak sıcaklık artışlarının yağış ve akım üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Köyceęiz ve B y k yıldız (2023) tarafından Konya Kapalı havzasındaki yağış değişkenliği, 1971-2020 yılları arasındaki aylık yağış verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Yenilikçi  okgen Trend Analizi (IPTA) ve Trend  okgen Yıldız Konsepti yöntemleri uygulanarak, yağış verilerinin dönemsel özellikleri ve aylar arası geçiş trendleri grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Havzanın çoęu istasyonunda aylık yağışlarda genel bir artış trendi gözlenirken, özellikle sonbaharın ilk aylarında yüksek artış, yaz aylarında ise belirgin d şuş trendleri tespit edilmiştir. Öztürk ve Cebeci (2021) tarafından Büyük Menderes Havzasında yapılan trend analizinde, Aydın, Denizli ve Uřak illerine ait uzun yıllar boyunca ölçülen aylık yağış, sıcaklık ve akım verileri incelenmiştir. Mann-Kendall trend analiz yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, Denizli ve Uřak'ta sıcaklıkların istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı, Aydın'da ise sıcaklık artışının anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Yağış verilerinde genel bir trend tespit edilmezken, Uřak'ta yalnızca Nisan ayında anlamlı bir artış gözlenmiştir. Akım analizinde ise havzadaki iki istasyonda belirgin bir azalma trendi tespit edilmiş, bu durum sıcaklık artışı ve yağış değişimlerinin su kaynakları üzerindeki etkisini göstermektedir. Dabanlı (2017) tarafından iklim değişikliğinin Akarçay havzasındaki yağış ve sıcaklık parametrelerine etkisi, istatistiksel alt ölçekleme ve trend analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Geliřtirilen model ile, 2011–2100 yılları arasında havzada ortalama yağış değerlerinin değişmeyeceği ancak aşırı yağışların artacağı, sıcaklıkların ise yıllık %0,3–0,4

oranında yükseleceği öngörülmüştür. ITA yöntemi kullanılarak klasik yöntemlere göre daha detaylı ve güvenilir trend belirlemeleri yapılmış, sıcaklık ve yağışlarda genel artış trendleri saptanmıştır. Türkiye genelinde 250 meteoroloji istasyonunun 80 yıllık verileri kullanılarak yapılan kuraklık analizinde, mevsimsel ve yıllık kuraklık alanlarının değişim dinamikleri detaylı biçimde ortaya konmuştur. Gelecekte iklim değişikliğinin hidro-meteorolojik riskleri artıracağı belirtilmiştir. Yine Dabanlı vd. (2025) tarafından 1871–2020 döneminde Akdeniz havzasındaki yağışların uzun vadede genel olarak sabit kaldığını, ancak yıl ve mevsim bazında yüksek zamansal değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bazı alt bölgelerde ve dönemlerde belirgin trendler gözlenirse de bunlar çoğunlukla atmosferik dolaşımdaki içsel değişkenliklerle açıklanmakta, insan kaynaklı etkiler sınırlı kalmakta, model simülasyonları da gözlemsel verilerle uyumlu şekilde belirgin bir uzun vadeli yağış azalması göstermemektedir. Bölgenin artan kuraklık riski esas olarak sıcaklığa bağlı buharlaşma talebindeki artıştan kaynaklanmakta olduğu belirtilmiştir. Özfidaner vd. (2019) tarafından, Antalya ve Alanya istasyonlarında 1975-2018 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık verileri, Mann-Kendall Sıra Korelasyon testi ile analiz edilmiştir. Her iki istasyonda da yıllık ortalama sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı bir artış trendi tespit edilmiştir. Antalya'da yıllık sıcaklık artışı $0,036^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$, Alanya'da ise $0,071^{\circ}\text{C}/\text{yıl}$ olarak belirlenmiş olup, bu durum iklim değişikliğiyle ilişkilendirilmiştir. Aydın ve Öz (2021) Van Gölü havzasında 1968-2017 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verileri, Mann-Kendall, Spearman'ın Rho ve Şen'in Yenilikçi Trend Analiz yöntemleri ile analiz edilmiştir. Erciş ve Ahlat istasyonlarında yağışların istatistiksel olarak anlamlı şekilde azaldığı, diğer istasyonlarda ise belirgin bir trend olmadığı tespit edilmiştir. Sıcaklık verileri incelendiğinde, Erciş ve Ahlat dışındaki tüm istasyonlarda anlamlı bir artış trendi gözlenmiş, bu durumun bölgedeki kuraklık riskini artırabileceği belirtilmiştir.

Vahkin Irmağı havzasının içinde yer aldığı Fırat ve Dicle havzası hidrolojik parametrelerine ait trend çalışmaları uluslararası literatürde yerini almaktadır. Alashan vd. (2015) tarafından Murat Nehri havzasındaki 7 adet akım gözlem istasyonunun, 1969-2000 yılları arasındaki yıllık ortalama akım değerlerine ait ölçüm verileri kullanılmış ve su gücü potansiyelindeki değişimler incelenmiştir. Bu veriler, Şen Yenilikçi Trend Analiz yöntemi ile incelenerek iklim değişikliğinin etkileri belirlenerek su gücü potansiyelinde belirgin zamansal değişiklikler tespit edilmiş, hacimsel değişimlerin daha sınırlı olduğu

belirtilmiştir. Sonuçlar, su gücü potansiyelindeki bu dalgalanmaların yönetimi için depolamalı hidroelektrik santrallerinin önemini vurgulamaktadır. Aydın vd. (2015) tarafından Keban Barajı'na yönelik yapılan trend çalışmasında, küresel iklim değişikliğinin barajın rezervuar hacmi üzerindeki etkileri 1974-2011 yılları arasındaki sıcaklık, yağış ve buharlaşma verileri kullanılarak grafiksel değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, sıcaklık ve buharlaşma parametrelerinde artış trendleri görülürken, yağış miktarının genellikle azalma yönelimi gösterdiği ve bu durumun rezervuar hacminde dalgalanmalara neden olduğu belirtilmiştir. Yıldırım (2015) tarafından yapılan çalışmada, Orta Fırat havzasındaki beş farklı akım gözlem istasyonunda ölçülen akımlar için trend analizi yapılmıştır. Kullanılan yöntemler arasında Mann-Kendall, Sen'in T ve Şen Yenilikçi Trend Analiz yöntemleri bulunmaktadır. Analizler sonucunda, bazı istasyonlarda anlamlı bir akım azalması tespit edilirken, diğer istasyonlarda belirgin bir trend görülmemiştir. Özellikle Şen Yenilikçi Trend Analiz yönteminin, görsellik açısından daha anlaşılır sonuçlar sunduğu ve diğer yöntemlerle tutarlı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Batur vd. (2013) tarafından Fırat Nehri havzasında 1964-2008 yılları arasında 10 farklı kar gözlem istasyonunun verileri kullanılarak Mann-Kendall testi ile uzun dönemli kar derinliği değişimleri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, 1990'lardan itibaren yıllık ortalama kar derinliklerinde belirgin bir azalma tespit edilmiş, bu azalışın Kış yağışlarının azalması ve Kış-İlkbahar sıcaklıklarının artması ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Ecer (2009) tarafından yapılan çalışmada, iklim değişikliğinin GAP bölgesindeki su kaynakları üzerindeki etkileri incelenmiş ve çalışma alanı olarak Fırat Nehri havzası seçilmiştir. Mann-Kendall, Spearman'ın Rho ve Sen Trend Tahmincisi yöntemleri kullanılarak, 21 akım gözlem istasyonu ve 38 meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık, yağış, nem ve akım verileri üzerinde trend analizi yapılmıştır. Ayrıca, CBS tabanlı harita bindirme (overlay mapping) yöntemi kullanılarak hidrolojik parametrelerdeki değişimler mekânsal olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, Fırat havzasının batı, güney ve güneybatı kesimlerinde minimum akımlarda azalan trendler olduğu, bunun sıcaklık artışları ve nem değişimleriyle ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Gümüş (2006) tarafından yapılan çalışmada, Fırat havzasında yer alan 22 akım gözlem istasyonunun yıllık ortalama, minimum ve maksimum akım değerleri analiz edilerek trendlerin varlığı ve nedenleri araştırılmıştır. Mann-Kendall, Spearman Rho, Mann-Kendall Mertebe Korelasyon ve Sen Trend Tahmincisi yöntemleri kullanılarak akım verileri üzerinde parametrik olmayan trend analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, Aşağı Fırat havzasındaki iki istasyonda yıllık ortalama akımlarda azalma trendi, minimum

akımlarda ise on istasyonda azalma ve bir istasyonda artış trendi tespit edilmiştir. Maksimum akımlarda anlamlı bir trend belirlenemezken, bağıl nem ile akımlar arasında anlamlı bir ilişki olduğu ve baraj inşaatlarının özellikle Atatürk ve Hacıhıdır Barajları ile akım trendleri arasında korelasyon olduğu belirtilmiştir. Özcan vd. (2017) Fırat havzasında ekstrem yağış olaylarının hidrolojik bileşenler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, 1967-2011 yılları arasındaki nehir debisi ve askıda katı madde konsantrasyon verileri, Tropik Yağmur Ölçüm Misyonu uydusunun verileri, kullanılarak yapılan değerlendirmede ekstrem yağış olaylarının sediment taşınımını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Yıldız (2019) tarafından Fırat havzasındaki hidrolojik kuraklık analizi, 16 akım gözlem istasyonunun verileri kullanılarak Akım Kuraklık indeksi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, 1990-2011 dönemindeki kuraklıkların, 1968-1989 yıllarına kıyasla daha şiddetli olduğu ve kuraklık trendinin arttığı belirlenmiştir. En kurak dönemlerin 1973, 1989, 2001 ve 2008 yıllarında, aşırı nemli dönemlerin ise 1969 ve 1988 yıllarında yaşandığı tespit edilmiştir. Acar ve Gönençgil (2024) Fırat havzasındaki 7 hidrometre istasyonundan 30 yıllık nehir debisi ve askıda katı madde verilerini analiz ederek ekstrem yağış olaylarının hidrolojik bileşenlere etkisini incelemiştir. Uydu verileri kullanılarak ekstrem yağışların askıda katı madde taşınımını önemli ölçüde artırdığı, toplam sediment akışının %55'inin ve toplam debinin %50'sinin ekstrem olaylarla ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, aşırı yağışların erozyon, sediment taşınımı ve barajların ekonomik ömrü üzerindeki olumsuz etkilerini vurgulamıştır. Altürk (2009) tarafından, Fırat ve Dicle havzalarındaki nehirlerin akım zamanlarının erken kar erimelerinden nasıl etkilendiğini analiz edilmiştir. Merkez Zaman yöntemi kullanılarak akım zamanındaki değişimler belirlenmiş, Mann-Kendall testi ile trend analizi yapılmış ve Sen'in T testi ile farklı zaman dilimlerindeki değişimlerin istatistiksel anlamlılığı incelenmiştir. Bölgedeki sıcaklık artışının nehir akımlarını öne çektiği ve bu değişimin önemli olduğu belirtilmiştir. Alivi vd. (2021) tarafından Fırat-Dicle havzasında yıllık ortalama akımlar üzerinde iklim değişikliğinin etkileri, İklim Esnekliği metodu kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlara göre, yağışta meydana gelen %10'luk bir azalış, akışta ortalama %15'lik bir azalışa neden olduğu, potansiyel evapotranspirasyondaki %10'luk bir artışın ise akışta ortalama %5'lik bir azalmaya yol açtığı belirtilmiştir. Avşaroğlu (2019) tarafından Dicle Nehri havzasındaki 16 akım gözlem istasyonuna ait aylık ortalama akım değerleri analiz edilmiştir. Mann-Kendall testi, Spearman'ın Rho testi ve Şen'in (2012) grafiksel trend analizi (Yenilikçi Trend Analizi) yöntemi kullanılarak

uzun dönemli değişimler belirlenmiş, Şen'in Yenilikçi Trend Analizi yöntemi ile trend yönleri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, istasyonların büyük bir kısmında özellikle Kasım ayında belirgin bir azalma trendi tespit edilirken, Ağustos ayında bazı istasyonlarda akım artışları gözlemlenmiştir. Çalışma, havzanın batı kesimindeki istasyonlarda düşük akım değerlerinde belirgin azalmalar olduğunu ortaya konmuştur.

Fırat ve Dicle Havzası sınırları içerisinde yer alan bazı bölgeler üzerinde kuraklık analiz çalışmaları da mevcuttur. İzol (2023) tarafından Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çölleşmeye yönelik alanları belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Aridite indeksi, Normalleştirilmiş Yağış Anomalisi indeksi ve Kuraklık indeksi kullanılarak uzun vadeli yağış ve sıcaklık verileri analiz edilmiş, Modifiye Mann-Kendall Testi ve Doğrusal Regresyon yöntemi ile iklim değişkenlikleri incelenmiştir. Sonuçlar, bölgedeki sıcaklık artışı ve yağış değişkenliğinin çölleşme riskini artırdığına işaret etmiştir. Dölek vd. (2015) tarafından Muş ve çevresinde hidrolojik kuraklık analizi yapılarak, 1960-2014 yılları arasındaki yağış ve akım verileri değerlendirilmiştir. Normalleştirilmiş Yağış indeksi, Kümülatif Eklenik Sapma ve Debi-Süreklilik indisi yöntemleri kullanılarak kuraklık dönemleri belirlenmiş ve özellikle doğu-kuzeydoğu kesimlerinin hidrolojik kuraklıktan daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, uzun vadeli yağış artışlarının bölgedeki hidrolojik kuraklık riskini azalttığı, ancak kuraklık yönetimi açısından yüzeysel akımlardaki değişimlerin dikkatle izlenmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Esen (2021) tarafından, Vahkin Irmağı havzası ile aynı il sınırları içinde bulunan, Göynük Çayı havzasında (Bingöl) yapılan hidro-klimatolojik analizde, 1970-2017 yılları arasındaki sıcaklık, yağış ve akım verileri incelenerek uzun dönemli trendler hesaplanmıştır. Mann-Kendall testi, Doğrusal Regresyon analizi, Kendall Tau ve Spearman Rho korelasyon testleri uygulanmış; sıcaklık değerlerinde artış, yağış ve akım değerlerinde ise azalma trendleri tespit edilmiştir. Çalışmada, sıcaklık artışlarının yağış ve akım miktarlarını olumsuz etkilediğini, özellikle yaz aylarında su potansiyelinde belirgin azalmanın yaşandığını ortaya koymuştur. Yükseler (2019) tarafından, küresel iklim değişikliğinin Bingöl Göynük Çayı'nın akış potansiyeline etkisi incelemiştir. İklim değişikliği nedeniyle yağış, sıcaklık, nispi nem ve rüzgâr gibi parametrelerin değiştiği ve bu durumun akarsu akış rejimini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Çalışmada, Mann-Kendall, Şen Yenilikçi Trend Analizi ve Doğrusal Regresyon analizi gibi yöntemler kullanılarak trend

analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında mevsimsel değişimlerdeki bulguları farklı açıdan yorumlamak için akarsudaki pik debiler de incelenmiş ve akarsudaki pik debilerde bir azalma trendi olduğu ortaya konulmuştur.

Vahkin Irmağı havzası özelinde ise, literatürde potansiyel çığ, erozyon durumu ve rehabilitasyon projelerine dair olmak üzere üç adet çalışmaya rastlanılmıştır. Aydın vd. (2014) Bingöl İli Vahkin Irmağı havzasında potansiyel çığ başlama bölgelerini tespit etmeye çalışmıştır. Çalışmasında 10 m piksel çözünürlüğüne sahip haritalar kullanarak 1000 ile 4000 m yükseklikleri arasında çalışmanın alanının % 19,6'sına karşılık gelen 3799 adet potansiyel çığ başlama bölgesi tespit etmiştir. Yüksel vd. (2015) Vahkin Irmağı havzasının erozyon durumunu eğim, drenaj yoğunluğu, NVDI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) ve arazi kullanım parametrelerini kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Havzanın %17'sinde erozyon duyarlılığının çok yüksek, %12'sinde yüksek, %53'ünde orta düzey ve %20'sinde çok düşük olduğunu ifade etmiştir. Bitki örtüsü ve eğimin erozyon üzerinde önemli etkisi olduğunu ileri sürmüşlerdir. Baydaş vd. (2018) Vahkin Irmağı havzası dâhil olmak üzere 4 mikro havzada Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi'nin (MNHRP) memnuniyet araştırmasını anketlerle gerçekleştirmiş ve halkın bu projeleri memnuniyetle karşıladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmada, İklim değişikliğinin hidro-meteorolojik parametrelere etkisinin havza düzeyinde incelenmesi için, Murat Nehri havzasının önemli bir kolu olan Vahkin Irmağı havzası seçilmiştir. Havzaya ait hidrolojik döngü bileşenleri yağış, sıcaklık, buharlaşma – terleme, toprak nemi, yüzeysel akış parametrelerine ait verileri Coğrafi Bilgi Sistemleri aracılığıyla uydudan elde edilmiş Microsoft Office-Excel programı kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar grafiklerle görselleştirilmiştir.

Tezin giriş bölümünde, iklim değişikliğinin hidro-meteorolojik parametreler üzerindeki etkileri, dünya su dengesi, türkiye akarsu havzaları üzerine kısa bir değerlendirmeye vurgu yapılmıştır. İkinci bölümde, daha önce yapılmış ve yayımlanmış çalışmalara ilişkin literatür bilgileri sunulmuş; üçüncü bölümde çalışma alanı morfometrik parametreler yönünden detaylı bir şekilde ele alınmış, veri ve yöntem ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemler doğrultusunda uygulamalar ve elde edilen sonuçlar dördüncü bölümde ele alınmıştır. Bu bölümde, elde edilen bulgular üzerine detaylı

değerlendirmeler yapılmıştır. Son olarak, beşinci bölümde sonuçlar ve öneriler sunulmuştur. Ekler bölümünde Google Earth Engine Time Lapse kaynaklı 1984-2022 uydu görüntüleri verilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı iklim değişikliğinin havza bazında hidro-meteorolojik bileşenlerinde nasıl bir etki oluşturduğu sorusuna cevap arayıp ve havzaya ait hidro-jeomorfolojik karakteristiklerini belirlemektir. Bu amaçla havzaya ait yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi ve yüzeysel akış gibi hidrolojik döngünün bileşenleri göz önünde bulundurularak havza özelinde akış parametreleri üzerindeki değişimler ile havzaya ait morfolojik parametreler incelenmiştir. Vahkin Irmağı havzasına ait bu parametrelerdeki trendlerin hesaplanmış ve morfometrik parametrelerin belirlenmiş olması hem iklim değişikliğinin yerel etkileri hem de bölgenin planlama ve yatırım faaliyetlerinde yapılacak ön fizibilite aşamasında, önemli bir bilgi kaynağı olabilmesi açısından, önem arz etmektedir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Fırat Nehri havzasının alt havzalarından olan Vahkin Irmağı havzasına ait yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi ve debi parametreleri üzerindeki trendleri belirlemek üzere geleneksel yöntemlerden Doğrusal Regresyon (Linear Regression - LR), Mann – Kendall (MK), Mann – Kendall Mertebe Korelasyon Testi (MK–MK) ve literatüre yeni kazandırılan yenilikçi yöntemlerden Yenilikçi Trend Analiz (Innovative Trend Analysis-ITA), Revize Yenilikçi Trend Analiz (Revised Innovative Trend Analysis-ITA_R) ile Yenilikçi Çokgen Trend Analiz (Innovative Poligon Trend Analysis- IPTA) yöntemleri kullanılmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

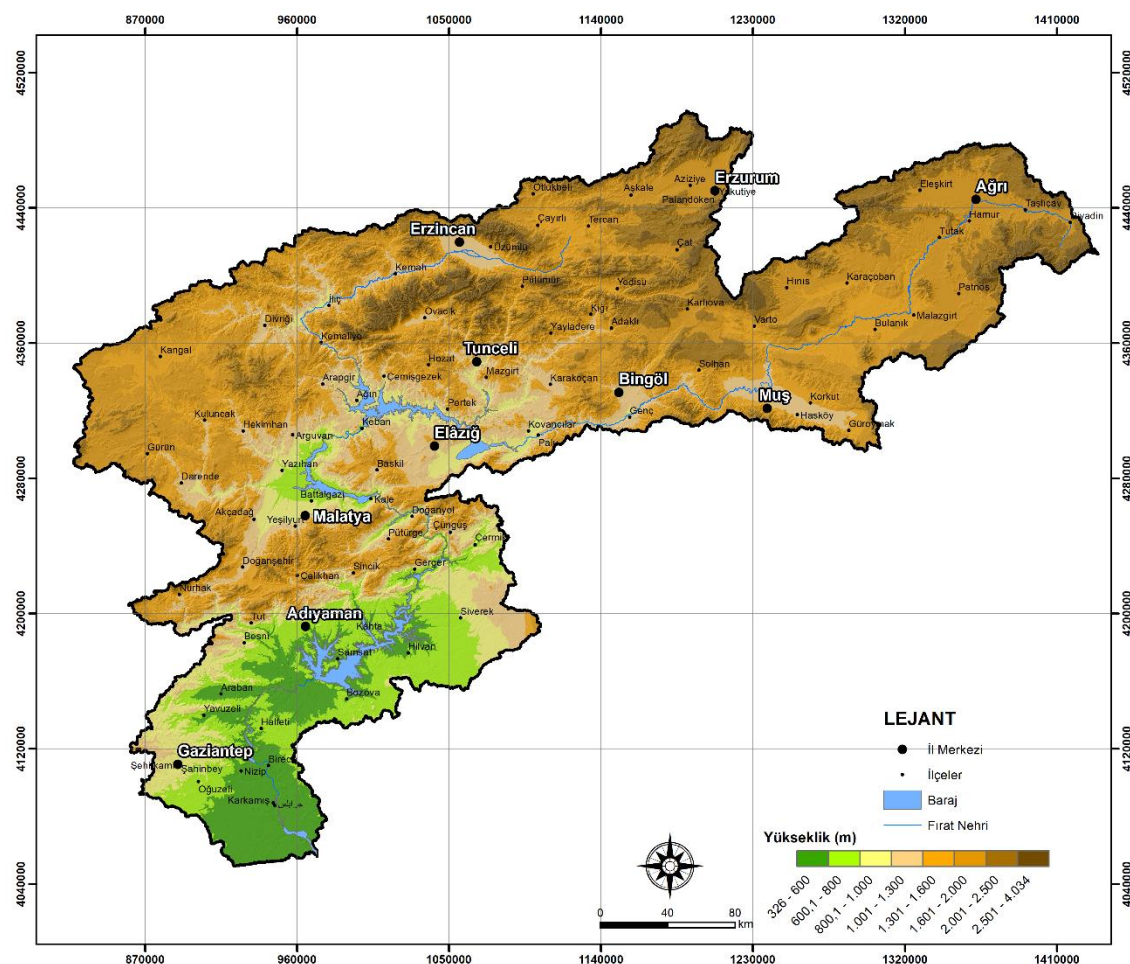
3.1.1. Konumu

Fırat Nehri havzasının önemli bir bölümü olan Murat Nehri havzasına sularını taşıyan Vahkin Irmağı havzası Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde Bingöl İli Genç İlçesi'nin kuzeydoğu tarafında konumlanmaktadır. Şekil 3.1'de Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat Nehri havzasında yükselti 300 m ile 4000 m arasında değişmektedir. En doğusunda Ağrı, kuzeyinde Erzurum, Erzincan orta bölgesinde Muş, Bingöl, Tunceli, Elazığ ve güneyinde Malatya, Adıyaman, Gaziantep illerini kapsamaktadır. Şekil 3.2'de Fırat Nehri havzasının bir kolu olan Murat Nehri havzasında yükselti 800 ile 4000 m arasında değişmektedir. Murat Nehri havzası sınırlarında kuzeyde Ağrı, güneyde Muş, Bingöl, Tunceli ve Elâzığ illeri bulunmaktadır.

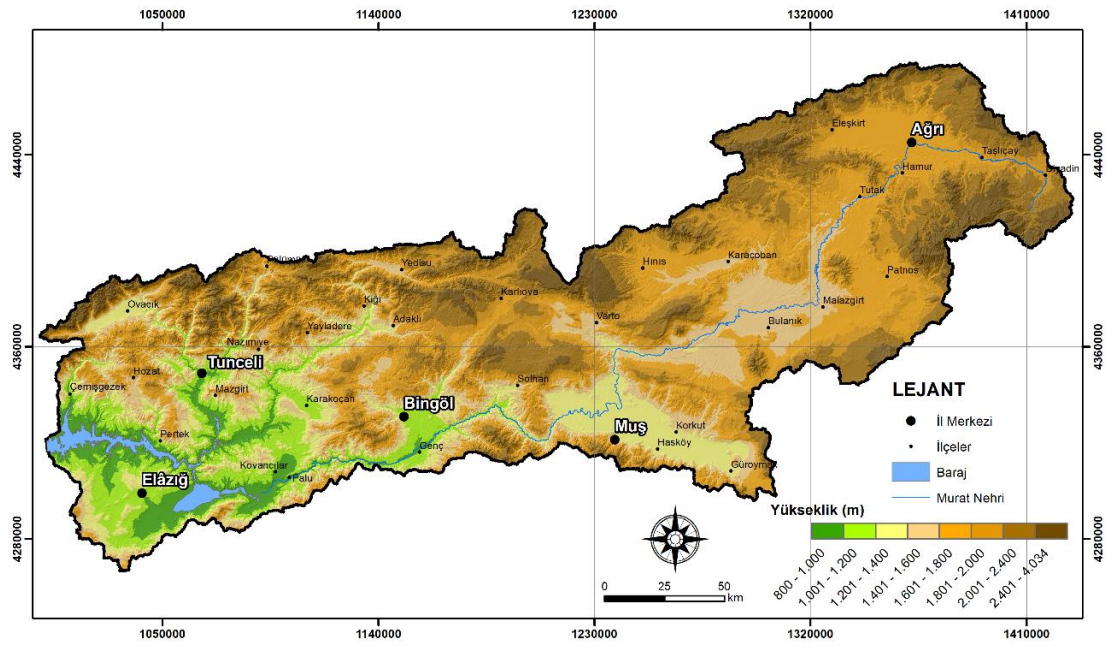
Çalışma alanı, Bingöl Genç sınırları içinde yer alan Vahkin Irmağı havzası en yüksek 2937 metre ve en düşük 1024 metre arasında konumlanmaktadır. Vahkin Irmağı havzasının uydu görüntüsü Şekil 3.3 üzerinde verilmektedir. Bingöl İli'nin güneyinde meydana gelen yağış sularını Vahkin Irmağı havzası toplamaktadır. Vahkin Irmağı Genç Ovası'nda Murat Nehri'ne dökülmektedir. Havzada yükselti farkı fazla, arazi eğimi yüksektir ve karasal iklim özellikleri görülmektedir.

Akarsu akışları yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük dönemlere göre değişmektedir. Şekil 3.4 üzerinde Vahkin Irmağı'nın mansap ve memba yönünde 29 Temmuz 2024 tarihinde çekilmiş havza fotoğrafları bulunmaktadır. Düşük döneme ait bu görüntüde ırmağın debisinin kurumadığı ve sediment birikimi görülmektedir. Vahkin Irmağı'nın çıkışına yakın bu noktada, kum ve çakıl oranının yüksek olduğu görülmektedir.

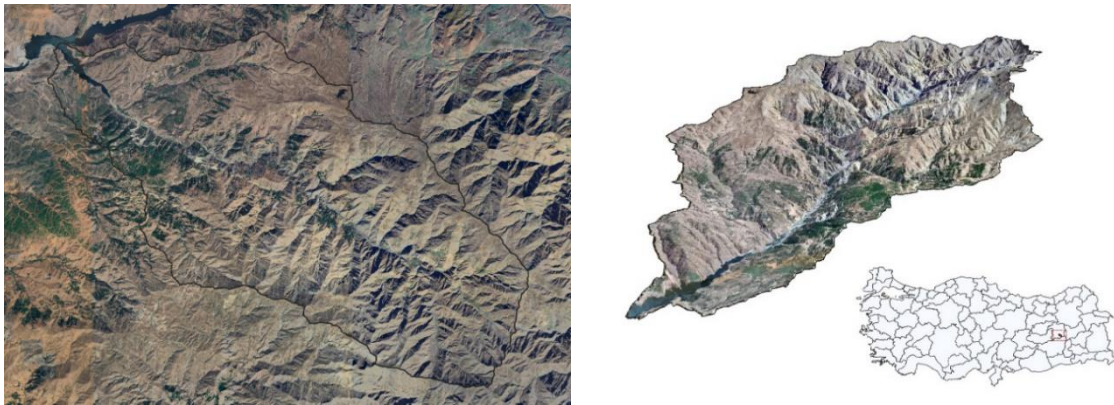
Bu araştırmamanın konusu olan çalışma alanı; Yigitler Deresi, Yenisu Çayı, Vahkin Çayı veya bölge halkı tarafından genel olarak Çem şeklinde isimlerle anılmakla beraber, Şen (2003) tarafından yapılan, akarsular küçükten büyüğe doğru çay, dere, ırmak ve nehir şeklindeki sınıflandırmaya göre, çalışma alanı Vahkin Irmağı olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.1. Fırat Nehri havzası yükselti haritası



Şekil 3.2. Murat Nehri havzası yükselti haritası



Şekil 3.3. Vahkin Irmağı havzası üç boyutlu uydu ve lokasyon haritası



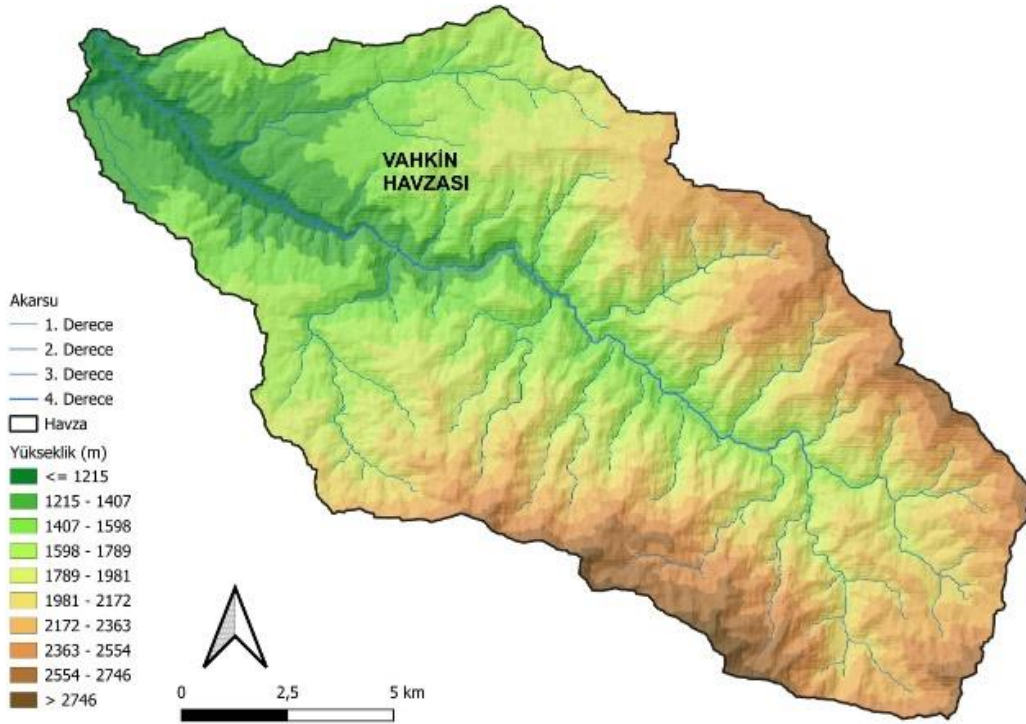
Şekil 3.4. Vahkin Irmağı'nın memba ve mansap yönüne 29 Temmuz 2024 tarihli fotoğrafları

3.1.2. Genel Özellikleri

Vahkin Irmağı havzası üzerinde yapılan çalışmaya göre; söz konusu havza için alanı 202 km² (orta boy havza), çevresi 71 km, uzunluğu 25 km, genişliği 8 km, maksimum yükseklik 2937 m, minimum yükseklik 1024 m, ortalama yükseklik 1980 m (dağlık arazi), ortalama eğim 22° ve %40 (dik havza), bakı değeri 1913 m (yüksek kabartma), toplam akarsu uzunluğu 195 km (uzun havza), akarsu ortalama çatallanma oranı 2,41 (ideal havza), akarsu uzunluk oranı 2,28; drenaj yoğunluğu 0,96 (çok az drene edilmiş), akarsu sıklığı 0,97 (düşük sıklıkta), form faktörü 0,3 (uzun şekilli havza), uzama oranı 0,62 ve dairesellik oranı 0,49 olarak tespit edilmiştir.

3.1.3. Havzanın Yükseltisi

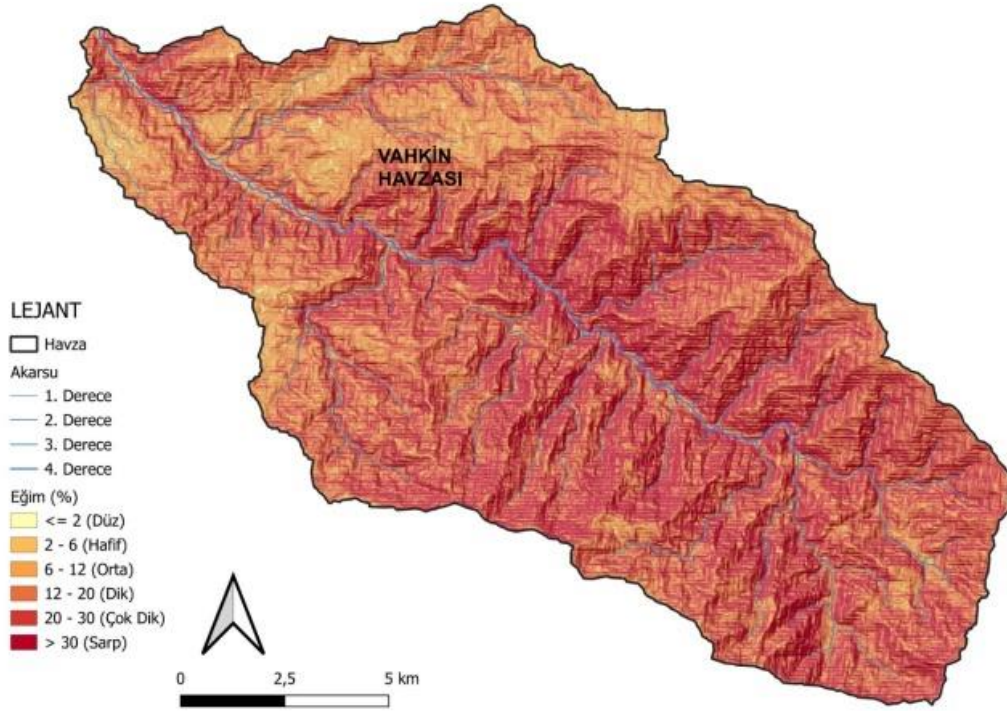
Vahkin Irmağı havzası sayısal yükseklik model haritası, 27 metrelik (1 açısall saniye) hassasiyetle QGIS yazılımının SRTM Downloader eklentisi kullanılarak sayısal yükseklik modelinden havza koordinatları sınırlandırılarak elde edilmiştir (Şekil 3.5). Vahkin Irmağı havzasının en yüksek yeri 2937 metre ve en alçak yeri 1024 metre olarak hesaplanmaktadır. Aradaki yükseklik farkı 1913 metre gibi yüksek bir değere sahiptir. Yükselti farkının fazla olduğu Vahkin Irmağı havzasında oldukça yüksek alanların olduğu görülmektedir. Havzanın kuzeybatı kısımları nispeten düşük kotlu arazileri kapsarken güneydoğu kısımları yüksek kotlu arazileri kapsamaktadır. Havzanın en düşük kotunun 1024 metre olması dağlık bir havza olduğunu göstermektedir. Havzanın güneydoğu kısmındaki yüksek kotlu araziler düşük sıcaklıkların ve kar örtüsünün kış aylarında hâkim olmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca bahar aylarında meydana gelen yüksek akışlar bu biriken kar örtüsünün erimesinden meydana gelmektedir. Akarsu havzasının yüksekliğinin ani değiştiği kısımlarda eğim fazla, akarsu aşındırması fazla, tedrici değiştiği yerlerde ise eğim az ve akarsu aşındırması az olmaktadır.



Şekil 3.5. Vahkin Irmağı havzasının yükseklik haritası

3.1.4. Havzanın Topografyası

Topoğrafya, akışın bir nehre ne kadar hızlı ulaşacağıyla ilgili bilgi sağlar. Manning denkleminde göre eğim yükseldikçe akış hızı da artmaktadır ($V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$). Dik ve dağlık bölgelerde düşen yağış, drenaj havzasındaki birincil nehre düz veya hafif eğimli alanlardan daha hızlı ulaşacaktır. Vahkin Irmağı havzasında rakımın yüksek olduğu alanlarda arazi eğiminin de fazla olduğu görülmektedir. Vahkin Irmağı havzasında eğim %30 'dan fazla olup havza oldukça sarp ve zor bir araziden oluşmaktadır. Bu durum, aşındırmayı ve yüksek sediment biriktirmesini beraberinde getirmektedir. Dahası, akışa geçecek olan yağışın kısa zamanda akarsu çıkış noktasına ulaşmasını sağlamaktadır. Vahkin Irmağı havzasının güneydoğu kesimleri kuzeybatı kesimlerine göre daha dik görülmekte yani arazi eğimi daha fazladır. Vahkin Irmağı'nın mansap kısımları düz (<%2), hafif (%2 - %6) ve orta eğimli (%6 - %12) arazilerden oluşurken memba kısımları genellikle dik (%12 - %20), çok dik (%20 - %30) ve sarp (>%30) arazilerden meydana gelmektedir. Havzanın %1'lik kısmı düz, %4'lik kısmı hafif, %15'lik kısmı orta, %27'lik kısmı dik, %30'lik kısmı çok dik ve %23'lik kısmı sarp arazileri kapsamaktadır (Şekil 3.6 ve 3.13).



Şekil 3.6. Vahkin Irmağı havzasının eğim haritası

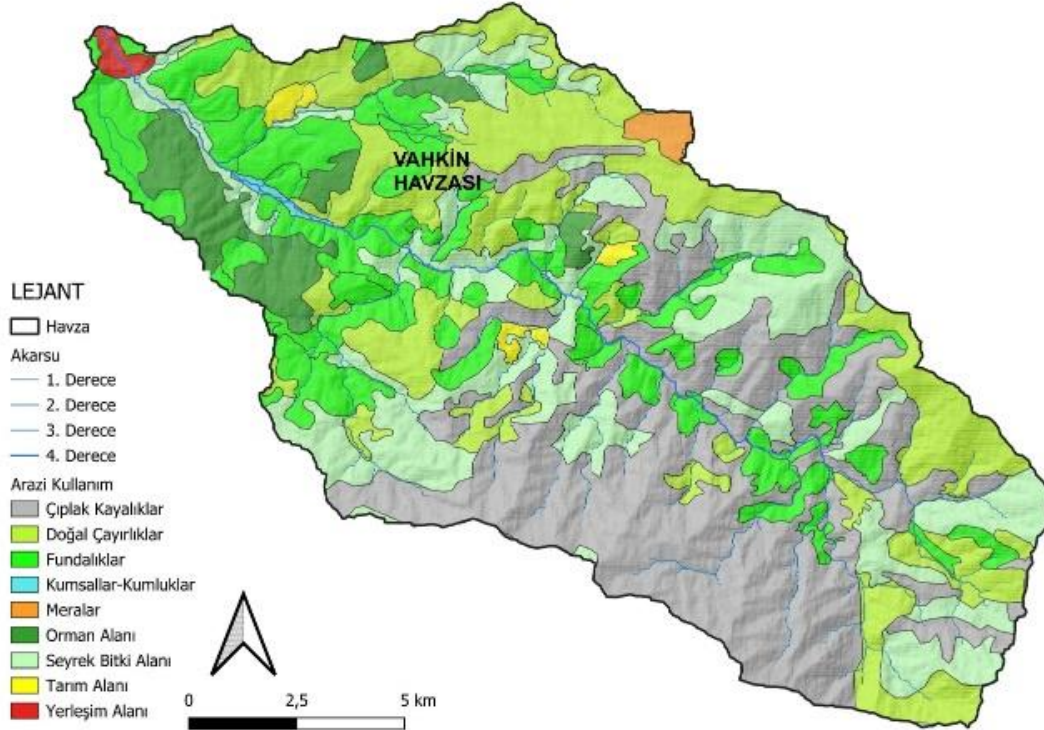
3.1.5. Havza Toprak Grupları

Havzaların hidrolojik analizinde dört ana grupta sınıflandırılan toprak grubunu belirlemek gerekmektedir (Öztürk ve Batuk, 2011). A grubu topraklar iyi drenaj kapasitesine ve düşük akış potansiyeline sahipken B grubu topraklar orta derecede drenaj özelliğine ve normal akış potansiyeline sahiptir. Vahkin Irmağı havzasında A ve B toprak gruplarına rastlanmamıştır. C grubu topraklar düşük drenaj özelliğine ve yüksek akış kapasitesine sahiptir. Vahkin Irmağı havzasında bu toprak grubuna, toplam havza alanının %5’lik dilimine karşılık gelen düşük bir oran ile rastlanmıştır. Meralar, fundalıklar, orman alanı, doğal çayırliklar, seyrek bitki alanları, yerleşim alanları ve çıplak kayalıklar bu toprak grubunda çok az oranda bulunmaktadır. D grubu topraklar suyla temas ettiklerinde şişen kil topraklar ve sık toprakları kapsamaktadır. Bu toprak grubu çok düşük drenaj özelliğine ve çok yüksek akış kapasitesine sahiptir. Sonuçta, Vahkin Irmağı havzasındaki tüm arazi örtülerinde D hidrolojik toprak grubu %95’lik ve C hidrolojik toprak grubu %5’lik bir paya sahiptir (Şekil 3.7 ve 3.13).

karşılık gelmektedir. Yapı alanı; yapı alanları, büyük yollar, park yapıları ve konutlar, evler, yoğun köyler/kasabalar/şehirler, asfalt yollar ve betondur. Vahkin Irmağı havzasında bu gruba giren yerleşim alanı 92 hektar alan ile %0,45'lik dilime karşılık gelmektedir (Şekil 3.8 ve Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Vahkin Irmağı havzasının arazi kullanımı/örtüsü

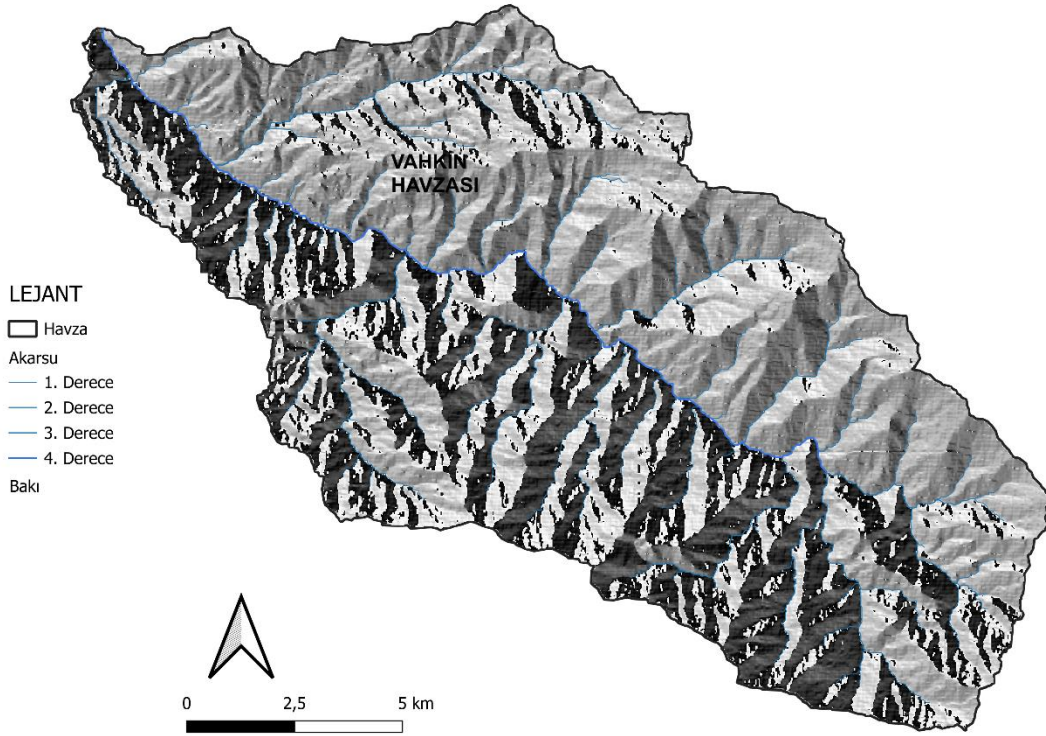
Arazi Kullanım	Alan (Ha)	%
Çıplak Kayalıklar	5.937	29,36
Doğal Çayırliklar	4.566	22,58
Fundaliklar	4.091	20,23
Kumsallar-Kumluklar	46	0,23
Meralar	124	0,61
Orman Alanı	1.052	5,20
Seyrek Bitki Alanı	4.144	20,49
Tarım Alanı	170	0,84
Yerleşim Alanı	92	0,45
Toplam	20.223	100,00



Şekil 3.8. Vahkin Irmağı havzasının arazi kullanımı/örtüsü haritası

3.1.7. Havzanın Bakısı

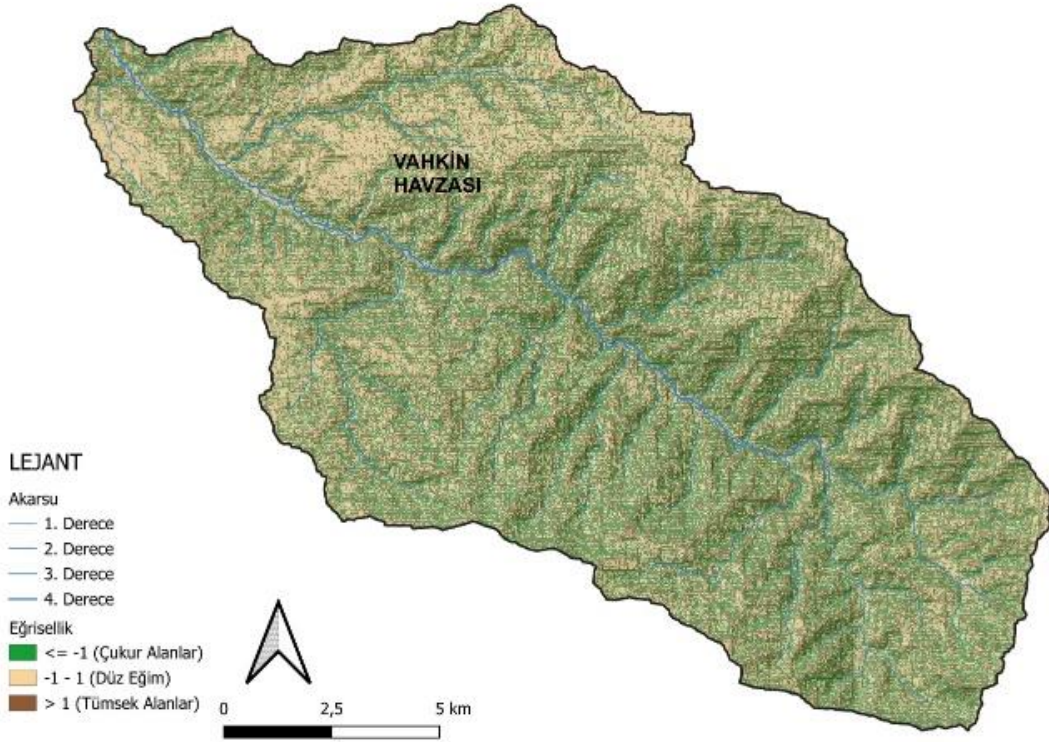
Bakı haritaları, güneşin yön (xy) ve yükseklik (z) açısı değerleri ile sayısal yükseklik modelinde gölgeleri hesaplanan, iki boyutlu düzlemde üç boyut algısı yaratan haritalardır (URL-2). Havzaya ait yüzeydeki alçak ve yüksek yüzeysel alanları rölyef/kabartma haritaları temsil etmektedir. Vahkin Irmağı havzasında bakı haritasında güney cephesinde yükseltme ve çökertmeler kuzey cephesinde yani ana akarsu kolunun havzayı tam ikiye böldüğü sağlı sollu iki parçasının birbirine kıyasen yükseltme ve çökertmelerinde bariz farklılıklar dikkat çekmektedir. Güney cephesinin oyuk ve tıraşlamalarının kuzey cephesine göre oldukça fazla olması göze çarpmaktadır (Şekil 3.9). Bu cephede aşındırmanın görece fazla olduğu görülmektedir. Bakı, toprak nemini belirleyen faktörlerden olup, kuzeye bakan yamaçlarda güneşlenme süresinin daha kısa olması güneye bakan yamaçlara göre aşındırmanın daha fazla olmasına neden olmaktadır. Kuzeye bakan yamaçlar üzerindeki toprakların sızma kapasitelerinin düşük olması, bu yamaçların oranının fazla olması ve sızma ile su kaybı oranının az olması, yüzeysel akışa geçen su miktarının artmasını sağlamaktadır. Toprak nemi arttıkça sızma azalmakta ve yüzeysel akış artmaktadır (Avcı, 2018). İnceleme alanındaki bakı haritasına göre havzalarda kuzeye bakan yamaçların aşındırmasının görece güneye bakan yamaçlardaki aşındırmadan fazla olmasının sebebi bakı olduğu söylenebilir. Yenisu Fay hattı da Vahkin Irmağı havzasının membaından başlayıp mansaba kadar devam ederek bu doğrultuda bulunmakta (URL-3) ve Vahkin Irmağı ile Murat Nehri kesişim noktasının yaklaşık 2 km akış aşağısında kurulu Aşağı Kaleköy Barajı'na kadar ulaşmaktadır (URL-4).



Şekil 3.9. Vahkin Irmağı havzasının bakı haritası

3.1.8. Havzanın Eğriselliği

Eğrisellik, curvature, haritasında çukur, düz, tümsek alanlar havza için belirlenebilmektedir. Vahkin Irmağı havzasında çukur alanlar yeşil, tümsek alanlar kahverengi ve düz alanlar sarı renk ile temsil edilmektedir (Şekil 3.10). Bu gösterime göre çukur alanların oldukça yoğunlukta olduğu ve bununla beraber çığ, heyelan, taşkın gibi doğa olaylarının yaşanabileceği görülmektedir. Düz eğimli alanlar genellikle havzanın mansap kısımlarında (kuzeybatı) görülürken çukur alanlar genellikle havzanın memba kısımlarında (güneydoğu) görülmektedir.



Şekil 3.10. Vahkin Irmağı havzasının eğrisellik haritası

3.1.9. Havzanın Hidrolojik Eğri Numaraları

Vahkin Irmağı havzası için eğri numaraları arazi kullanım ve toprak grubu ele alınarak SCS modelde kullanılan CN değerlerinden oluşturulmuştur (Şekil 3.11). Havza eğri numaraları maksimum 91 olarak elde edilmiştir ve havzanın güneydoğu bölgesindeki çıplak alanlarda görülmektedir. Ormanlıklar ve doğal çayırliklar genellikle eğri numarasının en düşük olduğu (CN=70) alanları göstermektedir. Eğri numarası CN=80 değeri %40'lık bir dilimle en çok paya sahiptir (Şekil 3.11). Bu dilimi %30'luk bir oranla CN=85 değeri takip ederken, CN=83 değeri ise %19'luk bir dilime denk düşmektedir.

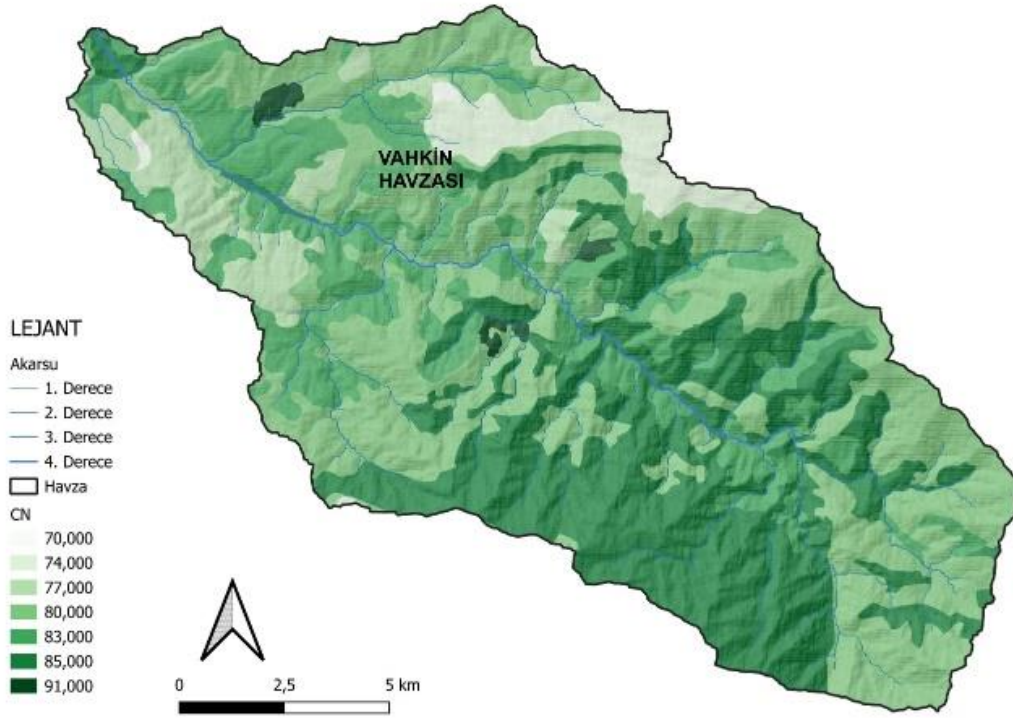
3.1.10. Havzanın Akarsu Kolları

Vahkin Irmağı drenaj havzasında, Strahler yöntemine göre eşik değeri belirlenerek birinci derece, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece akarsu kolları hesaplanmıştır (Şekil 3.12 ve Tablo 3.2). Çatallanma oranı, havza drenaj yoğunluğu Tablo 3.6'da verilen sınır aralıklarına göre düşüktür. Ana kol uzunluğu olan dördüncü derece kol yaklaşık olarak tüm

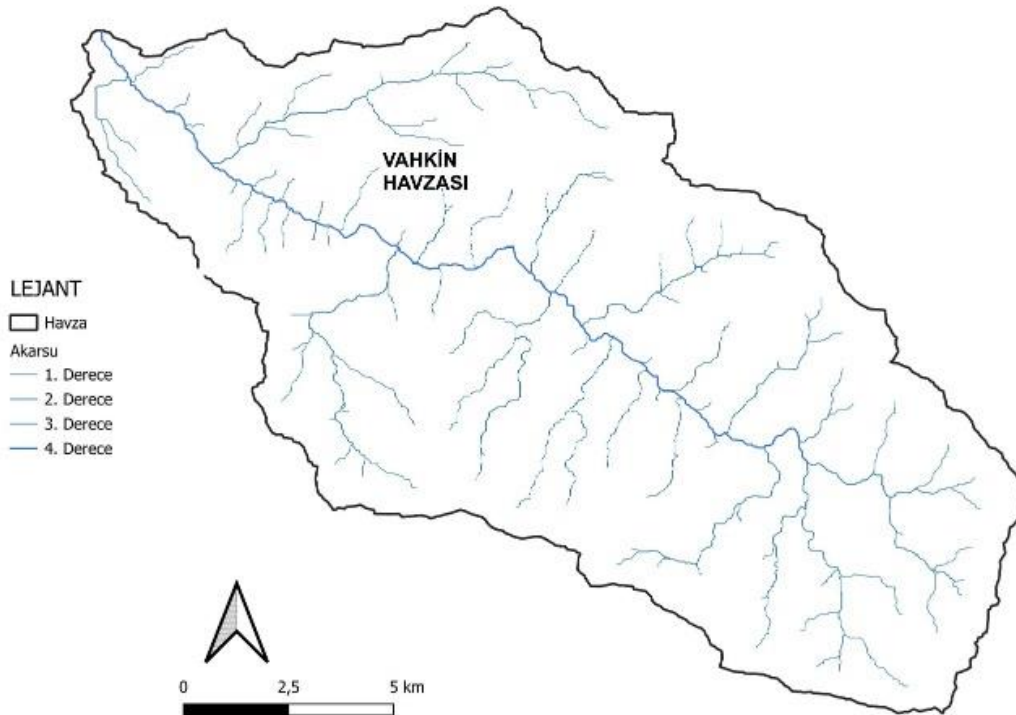
kolların uzunluğunun %13'üne tekabül etmekte olup şekilde daire grafiğinde gösterilmektedir (Şekil 3.13). Strahler ile Shreve yönteminde 1.kol tarifi aynıdır. Shreve yönteminde ilk akarsu kolundan sonraki her kolun derecesi, kendisini meydana getiren kolların derecelerinin toplamına eşit iken; Strahler yönteminde ise aynı büyüklükteki kolların derecesi toplanarak derecelendirme bir fazlasıyla devam ettirilmektedir.

Tablo 1.2 'ye göre Fırat havzasına ait yıllık ortalama yağış 582 mm'dir. Ortalama yıllık akış 282,2 mm'dir. Ortalama akış katsayısı 0,43 yani yağışın yüzde 43'ünün akışa geçtiği hesaplanmaktadır. Vahkin Irmağı havzasında ortalama yıllık toplam yağış 778 mm olduğundan (uydu günlük yağış verilerinden aylık ortalama yağış verilerine ve bu verilerden yıllık toplam yağış verileri elde edilmiştir. 2021 yılı 573 mm toplam yağış değeri ile en düşük yağış değerine sahipken, 1988 yılı 1043,65 mm toplam yağış değeri ile en büyük yağış değerine sahiptir (Şekil 4.20). Tüm yıllar için ortalama toplam yağış değeri yaklaşık 778 mm olarak hesaplanmıştır. Yağış değerleri zamanla birlikte konumla da değişmektedir. Yağış değerleri hesaplanırken noktasal yağış değeri yerine havza alanını gösteren alanın ortalama yağış değeri hesaplanmıştır. Fırat havzası akış katsayısına göre yıllık toplam akış yüksekliği $334 (778 \cdot 0,43)$ mm olarak elde edilmektedir. Havza alanı 202 km² ve 1 yıl $(365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)$ 31,536,000.00 saniye olarak düşünüldüğünde debisi yaklaşık 2,14 m³/s $(0,334 \cdot 202,000,000.00 / 31,536,000.00)$ olarak tahmin edilmektedir. Potansiyel yıllık verim değerine göre ise 1,68 m³/s $(8,3 \cdot 202,000,000.00 / 10^9)$ olarak elde edilmektedir. Havza yıllık yağış verileri Fırat havzasına göre yüksek olduğundan debi değerinin bu değerden daha yüksek olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.20 ve Tablo 4.13).

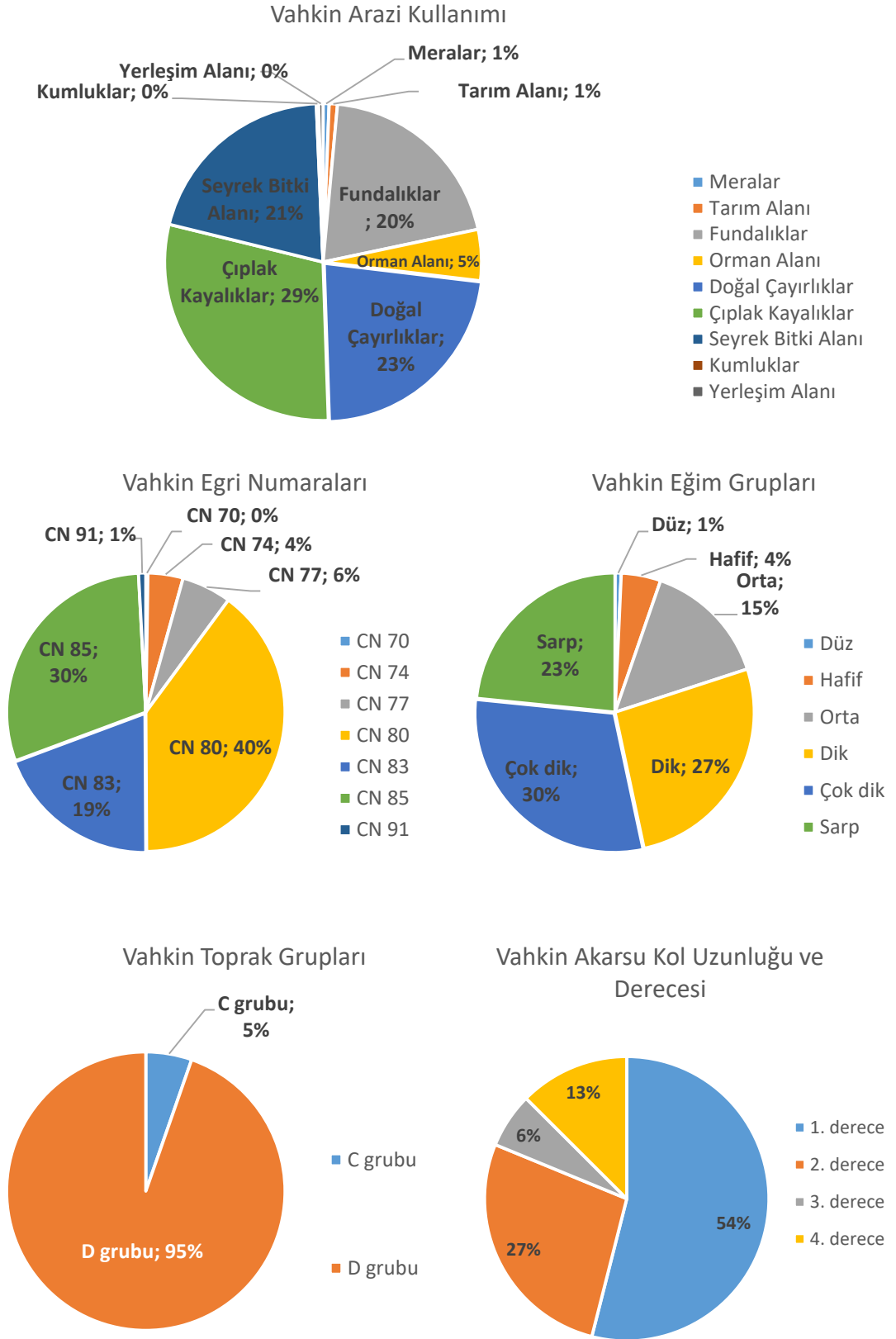
Şekil 3.13'de Vahkin Irmağı havzasının arazi örtüsü, eğri numarası, toprak grubu, akarsu kolları ve eğim grupları için dairesel grafikler görülmektedir. Bu grafiklerde, her bir parametre için alansal yüzde dağılım miktarları verilmektedir.



Şekil 3.11. Vahkin Irmağı havzasının eğri numaraları haritası



Şekil 3.12. Vahkin Irmağı havzasının akarsu kolları haritası



Şekil 3.13. Vahkin Irmağı havzasının arazi örtüsü, eğri numarası, toprak grubu, akarsu kolları ve eğim grupları dairesel grafiği

3.2.Havza Morfolojisi

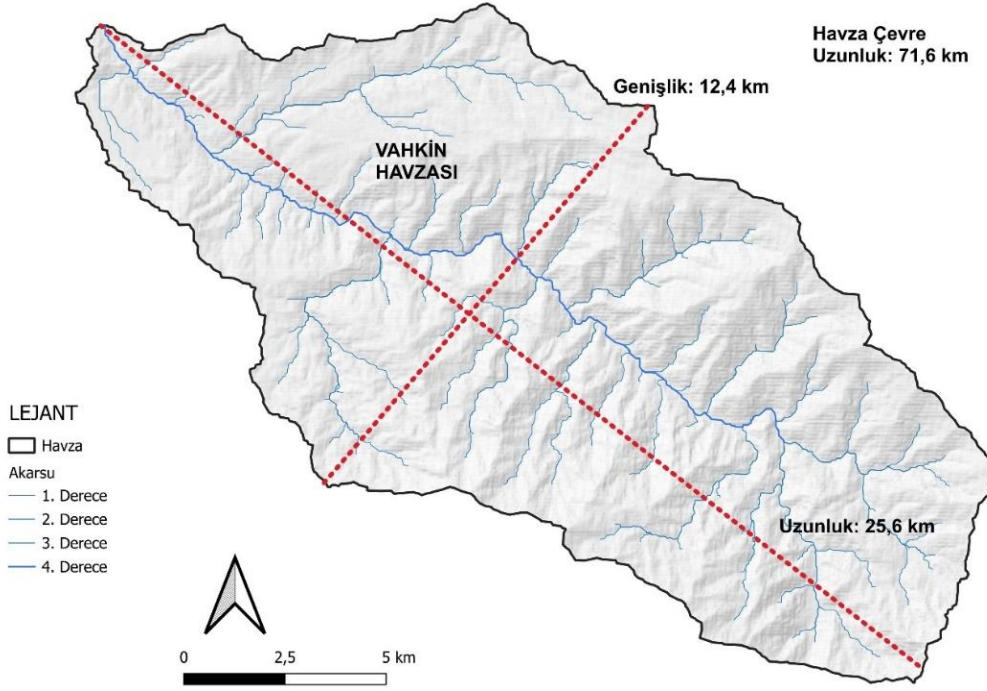
Çalışmada, morfolojik parametrelerin hesaplanması ve bunların değerlendirilmesi amacıyla havza sınırları ve morfometrik analiz parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan veriler CBS ortamında QGIS 3.36 programı SRTM eklentisinden SYM ve ArcGeek Calculator eklentisinde Watershed Morphometric Analysis modülü ile belirlenmiştir. Morfometrik parametreler çizgisel (lineer), alansal (areal) ve rölyef (yüzeysel) morfometrik parametreler olarak sınıflandırılarak sembol ve formüller Tablo 3.4, Tablo 3.10, Tablo 3.11’da gösterilmiştir (Tesema, 2021; Thomas, vd. 2011; Coşkun ve Öztürk, 2022; Görgülü ve Göl, 2021; Çıtak vd. 2023; Almeida, 2015; Vijayan, 2014; Khanchoul, 2017).

Shekar vd. (2023) ‘Havza Morfometrik Analizi’ arama terimini kullanarak SCOPUS veri tabanında yapılan bir literatür taramasında, toplamda 895 bilimsel makale ortaya çıkarmıştır. Dikkate değer bir şekilde, yayın sayısında önemli bir artış gözlemlenmiş olup, bu yayınların çoğunluğunun (yüzde 80) son on yılda ortaya çıktığını ifade etmiştir. Bu durum neticesinde, morfometrik analiz alanında, özellikle havzalarla ilgili olarak, belirgin ve son zamanlarda bir araştırma ilgisi ve çıktısında artış olduğu görülmüştür. Hesaplanan parametreler için sınır değerler öne sürülmüştür.

3.3.1. Havzanın Çizgisel Morfolojisi

Vahkin Irmağı 25 km havza uzunluğuna, 12,4 km havza genişliğine ve 71,6 km havza çevresine sahiptir (Şekil 3.14). Havza uzunluk ve alan oranlarına bakıldığında 3,14 şekil katsayısı (L^2/A) değeri söz konusu havzanın uzun ve ince olduğunu göstermektedir.

Akarsu drenaj ağı belirlenirken herhangi bir evin önünde akan yağmur suyu akışının oluşturduğu doğal kanallar bile çizdirilebilir. Ancak bu durum sayısal yükseklik modellerinde yoğunluğun artması anlamına gelmektedir. Bu bakımdan en ideal havza alanı, eşik değeri, belirlendikten sonra derece sayısı ayarlanır.



Şekil 3.14. Vahkin Irmağı havzasının en, boy, çevre uzunlukları haritası

Tablo 3.2. Vahkin Irmağı havzası akarsu kollarının derecesi, uzunlukları ve çatallanma oranları

Akarsu Derece Numarası	Akarsu Derece Sayısı	Akarsu Derece Uzunluğu (km)	Akarsu Çatallanma Oranı
1	99	105,1	
2	50	53,09	1,98
3	10	12,2	5,00
4	38	24,4	0,26
Toplam	197	194,79	2,41

Vahkin Irmağı havzasında çatallanma oranı 1,98 ve Tablo 3.3’de verilen sınır aralığına göre 3’ten küçük değer havzanın ideal havza özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.3. Çatallanma oranı ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)

Açıklama	Aralık
İdeal havza	< 3
Havzanın drenaj deseni, jeolojik özellikler tarafından bozulmamış	3 ile 5
Havza uzamış ve jeolojik yapılar havzayı kontrol ediyor	> 5

Tablo 3.4’de Vahkin havzasının çizgisel morfometri parametreleri verilmiştir. Havza çevresi 71,63 km, havza uzunluğu ise 25,77 km olarak ölçülmüştür. Bu iki değer birlikte değerlendirildiğinde, havzanın belirgin bir doğrultuda geliştiği ve daha çok uzunlamasına bir morfolojiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Minimum yükseklik 1024 m, maksimum yükseklik 2397 m ve ortalama yükseklik 1905,5 m olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, havzanın dik eğimli ve topografik olarak oldukça farklılık gösteren bir yapıya sahip olduğunu göstermekte; bu da yüzey akış hızını artırarak taşkın ve erozyon potansiyelini yükseltmektedir. Çatallanma oranı 1,98 olup, bu değer doğal gelişim göstermiş bir drenaj sistemine işaret ederken, bölgedeki jeolojik yapıların drenaj düzeni üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Havzadaki maksimum derecelendirme 4 olarak belirlenmiş, bu da orta düzeyde karmaşık bir akarsu ağına işaret eder. Ortalama akarsu uzunluğu 9,08 km iken ana kanal uzunluğu 24,59 km’dir; bu fark, yan kolların sisteme katkısının, sınırlı ancak belirgin olduğunu gösterir. Toplam kanal uzunluğu 198,44 km ve toplam akarsu sayısı 197 olup, havzada yüzey suyu taşınım kapasitesinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3.4. Vahkin Irmağı havzasının çizgisel morfometri parametreleri

Parametre	Formül	Değer	Birim	Açıklama
Havza Çevresi	P	71,63	km	Havza sınırının uzunluğu
Havza Uzunluğu	$L_b = 1,312A^{0,568}$	25,77	km	Esas akarsu koluna paralel olarak ölçülen havzanın maksimum uzunluğu
Havza Genişliği	B	7,84	km	Havzanın enine maksimum uzunluğu
Çatallanma Oranı	$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	1,98		Belirli bir derecedeki akarsu kolunun daha yüksek dereceye geçme oranı, N_u akarsu sayısı
Akarsu Derece Sayısı	U	4		Hiyerarşik derecelenme olarak en yüksek akarsu kullanması
Ortalama Akarsu Uzunluğu	R_{lm}	0,98	km	Tüm sıralardaki akarsu uzunlukları oranlarının ortalaması
Ana Kanal Uzunluğu	L_c	24,39	km	Ana kanalın uzunluğu

Parametre	Formül	Değer	Birim	Açıklama
Toplam Kanal Uzunluğu	$L_u = L_{u1} + L_{u2} + L_{u3} + \dots L_{un}$	194,83	km	Toplam akarsu kol uzunluğu, L_{ui} , i. derecedeki akarsu kol uzunluğu
Akarsu Sayısı	$N_u = N_{u1} + N_{u2} + N_{u3} + \dots N_{un}$	197		Akarsu kollarının adet toplamı, N_{ui} , i. derecedeki kol sayısı
Minimum Yükseklik	H_{min}	1024	m	Havza içindeki minimum yükseklik
Maksimum Yükseklik	H_{max}	2937	m	Havza içindeki maksimum yükseklik
Ortalama Yükseklik	H_{mean}	1980,5	m	Havza içindeki ortalama yükseklik

3.3.2. Havzanın Alansal Morfolojisi

Vahkin Irmağı havzasında, alan ve yükseklik değerlerinden elde edilen göreceli alan ve yükseklik değerleri elde edilmiştir. Alashan (2016) bir akarsu havzasında akarsu kol yüksekliği ile havza alanının ters orantılı değiştiğini ifade etmiştir. Her bir akarsu kol yüksekliği ile havza alanı grafik üzerinde işaretlenerek havzaya ait hipsografik eğri elde edilmektedir. Havza çıkış noktasında yükseklik minimum ve havza alanı maksimum dolayısıyla akış maksimum değerini göstermektedir. Ancak havza giriş noktasında (memba) yükseklik maksimum ve havza alanı sıfır değerini vermektedir. Genel olarak, bir havza Şekil 3.15’de gösterildiği gibi genç, olgun veya yaşlı havza olarak adlandırılır. Vahkin havzası memba kısmında yaşlı dönemde, orta bölge kısmen yaşlı ve olgun iken daha çok mansap kısmında genç dönem görülmektedir.

Birim alana düşen akış sayısını ifade eden (toplam akarsu sayısının toplam havza alanına bölünmesiyle elde edilen) akarsu sıklığı parametresi Vahkin Irmağı havzası için 0,97 olarak hesaplanmış ve Tablo 3.5’de verilen sınır değerlerine göre 0-5 aralığına denk gelmekte ve düşük akarsu sıklığına sahiptir.

Birim alana düşen akış uzunluğunu ifade eden (toplam akarsu uzunluğu olan toplam kanal uzunluğunun toplam havza alanına bölünmesiyle elde edilen) drenaj yoğunluğu parametresi Vahkin Irmağı havzasında 0,96 olarak hesaplanmış ve Tablo 3.6’da verilen

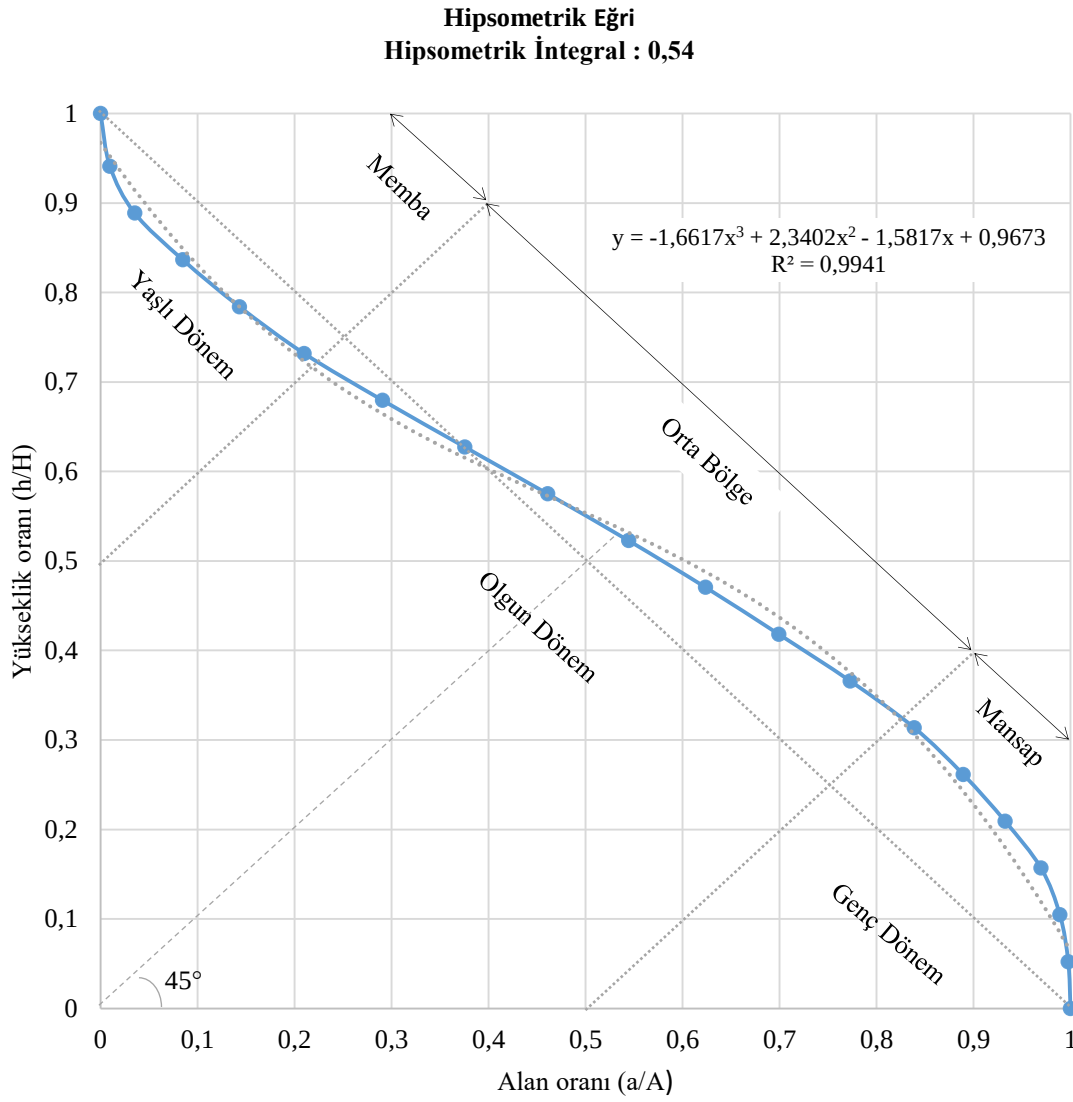
sınır değerlere göre 1,24'ten küçük olduğu için havzanın çok az drenaj yoğunluğu göstermektedir.

Birim çevreye düşen akış uzunluğunu ifade eden (toplam akarsu uzunluğu olan toplam kanal uzunluğunun toplam havza çevresine bölünmesiyle elde edilen) drenaj tekstürü Vahkin Irmağı havzasında 2,75 olarak hesaplanmış ve Tablo 3.7'de verilen sınır aralığa göre 0,8'den büyük bir değer olarak hesaplanmış ve dolayısıyla havza çok düzgün dokuya sahiptir.

Toplam alanın toplam kanal uzunluğuna bölünmesiyle elde edilen (drenaj yoğunluğunun tersi biçimde) kanal bakım sabiti parametresi Vahkin Irmağı havzasında 1,03 olarak hesaplanmış ve Tablo 3.8'de verilen sınır değerlere göre, 0,5'den büyük bir değer olduğu için, çok az aşınabilir kanal özelliği göstermektedir.

Su toplama kapasitesi ve akış yön durumu olarak değerlendirilen ve havza alanı ile esas akarsu koluna paralel olarak ölçülen havzanın maksimum uzunluk parametrelerine göre belirlenen uzama oranı parametresi Vahkin Irmağı havzasında 0,62 olarak hesaplanmış ve Tablo 3.9'da verilen sınır değerlere göre 0,5 – 0,7 arasında bir değerle, uzun bir havza karakteristiğine sahiptir.

Vahkin Irmağı havzası ile alakalı hesaplanan alansal morfometrik parametrelerin formülleri, değerleri ve tanımları Tablo 3.10'da özet şeklinde verilmektedir. Parametre sayısı fazla olduğundan dolayı her bir parametrenin formülü, havza için değeri ve açıklaması tabloya eklenmiştir.



Şekil 3.15. Vahkin Irmağı havzasının hipsometrik eğrisi

Tablo 3.5. Akarsu frekansı ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)

Akarsu Frekansı	Kilometrekare Başına Akarsu Sayısı
Çok Yüksek	20 – 25
Yüksek	15 – 20
Ortanın Üstü	10 – 15
Orta	5 – 10
Düşük	0 – 5

Tablo 3.6. Drenaj yoğunluğu ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)

Drenaj Yoğunluğu	Doku
> 4,97	Çok fazla
3,73 – 4,97	Fazla
2,49 – 3,73	Normal
1,24 – 2,49	Az
< 1,24	Çok az

Tablo 3.7. Drenaj tekstürü ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)

Drenaj Dokusu	Aralık
Çok düzgün	> 0,8
Düzgün	0,6 – 0,8
Normal	0,4 – 0,6
Kaba	0,2 – 0,4
Çok kaba	< 0,2

Tablo 3.8. Kanal bakım sabiti ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)

Kanal Bakım Sabiti	Aralık
Çok az aşınabilir	>0,5
Az aşınabilir	0,4 – 0,5
Orta düzeyde aşınabilir	0,3 – 0,4
Çok aşınabilir	0,2 – 0,3
Çok fazla aşınabilir	<0,2

Tablo 3.9. Uzama oranı ve sınır aralıkları (Shekar vd., 2023)

Havza Şekil Oranı	Aralık
İnce uzun	<0,5
Uzun	0,5 – 0,7
Elips	0,7 – 0,8
Oval	0,8 – 0,9
Dairesel	0,9 – 1,0

Tablo 3.10. Vahkin Irmağı havzasının alansal morfometri parametreleri

Parametre	Formül	Değer	Birim	Açıklama
Havza Alanı	A	202,23	km ²	Havzanın uzayda kapladığı alan
Drenaj Yoğunluğu	$D_d = \frac{L_u}{A}$	0,96	km/km ²	Birim alana düşen tüm akarsuların toplam uzunluğu, A havza alanı, L_u toplam kanal uzunluğu

Parametre	Formül	Değer	Birim	Açıklama
Akarsu Sıklığı	$F_s = \frac{N_u}{A}$	0,97	akarsu/km ²	Her sıradaki akarsu segmentlerinin toplam sayısı, N_u akarsu sayısı, A havza alanı
Form Faktörü	$F_f = AL_b^{-2}$	0,30		Havza şeklinin akış dinamikliğine etkinliği, A havza alanı, L_b esas akarsu koluna paralel olarak ölçülen havzanın maksimum uzunluğu
Havza Uzama Oranı	$R_e = 2L_b^{-1} \sqrt{\frac{A}{\pi}}$	0,62		Su toplama kapasitesi ve akış yön durumu, A havza alanı, L_b esas akarsu koluna paralel olarak ölçülen havzanın maksimum uzunluğu
Dairesellik Oranı	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	0,49		Dairesel şekil etkinliği, P havza çevresi, A havza alanı
Gravellius Kompaktlık Katsayısı	$K_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi}}$	1,42		Arazi şekil etkinliği, P havza çevresi
Yüzeysel Akış Uzunluğu	$L_o = \frac{1}{2D_d}$	0,51	km	Suyun toprak veya bitki örtüsü üzerindeki akışı, D_d birim alana düşen tüm akarsuların toplam uzunluğu
Kanal Bakım Sabiti	$C = \frac{1}{D_d}$	1,03	km ² /km	Su akışının düzenlenmesi, D_d Drenaj Yoğunluğu
Drenaj Şiddeti	$D_i = \frac{F_s}{D_d}$	1,01		Yüzey akış etkinliği, F_s akarsu sıklığı, D_d drenaj yoğunluğu
Drenaj Tekstürü	$D_t = \frac{N_u}{P}$	2,75		Birim çevreye düşen tüm akarsuların toplam sayısı, N_u akarsu sayısı
İnfiltrasyon Değeri	$I_f = F_s D_d$	0,93		Toprak içindeki akış etkinliği,

Parametre	Formül	Değer	Birim	Açıklama
				F_s akarsı sıklığı, D_d drenaj yoğunluğu
Fitness Oranı	$F_r = \frac{L_c}{P}$	0,34		Drenaj verimliliği, L_c ana kanal uzunluğu, P havza çevresi

3.3.3. Havzanın Yüzeysel Morfolojisi

ArcGeek Calculator eklentisinde Watershed Morphometric Analysis modülü ile belirlenen morfometrik parametrelere ait özellikler olan havza alanı için orta boy, rölyef için dağlık araziye gösteren çok yüksek kabartma, ortalama eğim için dik, drenaj yoğunluğu için orta drenaj dokusu, akış frekansı için orta akış frekansı, form faktörü için uzun şekil, ani taşkınlara karşı düşük duyarlılık, uzama oranı için oval şekil, dairesellik oranı için güçlü uzatılmış şekil, kompaktlık katsayısı için oval-dikdörtgen şekil, kara akışının uzunluğu için orta kara akış uzunluğu, kanal bakım sabiti için kanal bakımının ılımlı sabiti, sağlamlık numarası için son derece yüksek sağlamlık, konsantrasyon zamanları için yağışa yavaş tepki veren uzun konsantrasyon süresi, çatallanma oranı için en yüksek akış sırası (Strahler) 4, drenaj yoğunluğu için orta, drenaj tekstürü için orta doku, sızma numarası için orta, uygunluk oranı için orta derecede zindelik oranı, asimetri faktörü için orta, orografik katsayı için yüksek orografik etki şeklindedir. Konsantrasyon zamanları hesaplamalarına dair literatürde çok fazla yaklaşım bulunmaktadır. Havzaların farklı özelliklerine göre farklı çalışmalar sonucunda farklı denklemler elde edilmiştir. Havzaya ait diğer morfolojik parametreler formül, değer ve açıklamalarıyla birlikte Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11. Vahkin Irmağı havzasının rölyef morfometri parametreleri

Parametre	Formül	Değer	Birim	Açıklama
Rölyef	$B_h = H_{max} - H_{min}$	1913	m	H_{max} , maksimum yükseklik ve H_{min} , minimum yükseklik
Ortalama Eğim		21,94	°	Derece cinsinden
Ortalama Eğim		40,28	%	Yüzde cinsinden
Engebelik Oranı	$R_n = B_h D_d$	1,84		B_h , rölyef ve D_d , drenaj yoğunluğu
Kirpich Havza Toplanma Süresi	$T_c = 0,0663 L^{0,77} S^{-0,385}$	126,4	dakika	L , maksimum akış uzunluğu ve S , havza ortalama eğimi

Parametre	Formül	Değer	Birim	Açıklama
Kerby Havza Toplanma Süresi	$T_c = 0,6061N^{0,47}L^{0,47}S^{-0,235}$	168,56	dakika	N, gecikme katsayısı, L, maksimum akış uzunluğu ve S, havza ortalama eğimi
Giandotti Havza Toplanma Süresi	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + \frac{3}{2}L}{0,8\sqrt{H_{ort}}}$	160,3	dakika	A, havza alanı, L, ana kol uzunluğu ve H_{ort} ortalama havza yüksekliği
Temiz Havza Toplanma Süresi	$T_c = 0,3L^{0,76}S^{-0,19}$	125,77	dakika	L, ana kol uzunluğu ve S, havza ortalama eğimi
USDA Havza Toplanma Süresi	$T_c = 0,000877\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}L^{0,8}S^{-0,5}$	803,96	dakika	CN, eğri numarası, L, ana kol uzunluğu ve S, havza ortalama eğimi
Passini Havza Toplanma Süresi	$T_c = 0,108A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$	625,92	dakika	A, havza alanı, L, ana kol uzunluğu ve S, havza ortalama eğimi
Ventura-Heras Havza Toplanma Süresi	$T_c = 4A^{0,5}L^{0,5}H^{-0,5}$	186,72	dakika	A, havza alanı, L, ana kol uzunluğu ve H, ana kanal yükseklik farkı
Asimetri Faktörü	$A_f = 100 \frac{A_r}{A_t}$	0,50		A_r , ana kolun sağında havza alanı, A_t , toplam havza alanı
Orografik Katsayı	$O_c = H_{mean} \frac{(H_{mean} - H_{min})}{A}$	386871,87		H_{mean} , ortalama havza yüksekliği, H_{min} , minimum yükseklik, A havza alanı

3.3. Veri

Vahkin Irmağı havzasında, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) açık kaynak kodlu yazılımlardan QGIS programıyla havza, sayısal yükseklik haritaları oluşturularak ArcGeek Calculator eklentisi ile morfometrik (çizgisel/lineer, alansal/areal, yüzeysel/relief) parametreler elde edilmiştir.

Öncelikle havzada kullanılmak üzere Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) gözlem istasyonlarına ait verilerden yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemine ait veriler için, gözlem istasyonlarının havzadan uzakta konumlanmaları ve akım gözlem istasyonlarına (AGİ) ait verilerin uzunluğunun kısa, verilerin eksik ve ilgili kuruluşun (DSİ) veri paylaşımı hususunda gönülsüz olmasından ötürü, ilgili çalışmada

uydu gözlem verilerinin kullanımı uygun görülmüştür. Havzaya ait yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemi, debi hidro-meteorolojik parametrelerine ilişkin veriler, raster uydu verileri aracılığıyla CBS platformundan sayısal yükseklik modeli ve havza sınırlarıyla entegre olarak, Vahkin Irmağı havzası ölçeğinde mekânsal analiz ve trend değerlendirmelerine olanak sağlayacak biçimde türetilmiştir.

CBS platformu olan Google Earth Engine (GEE) ile Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından geliştirilen; Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)'e ait yağış, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis 5th Generation (ECMWF ERA5)'e ait sıcaklık, TerraClimate'e ait buharlaşma-terleme ve toprak nemi, Geoglows Hydroviewer ile debi verileri çalışmada kullanılmak üzere tedarik edilmiştir. (Du vd., 2024; Zhao vd., 2021; Gorelick vd, 2013; Yang vd. 2022; Hersbach, 2016; Wulder, 2022; Chen, 2022; Abatzoglou, 2018; Ashby, 2021; Haiden, 2018) .

Çalışmada havzaya ait 1981-2022 yılları arasında yıllık, sezonluk, (Kış, İlkbahar, Yaz ve Sonbahar) ve aylık veriler kullanılmıştır. Kış sezonu Aralık, Ocak, Şubat; İlkbahar sezonu Mart, Nisan, Mayıs; yaz sezonu Haziran, Temmuz, Ağustos; Sonbahar sezonu Eylül, Ekim ve Kasım aylarını kapsamaktadır. Hidrolojik döngü bileşenlerinden yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi, yüzeysel akış debi parametrelerine ait değerler trend analiz yöntemlerinden LR, MK, MK-MK, ITA, ITA_R ve IPTA yöntemleri kullanılarak irdelenmiştir.

3.4. Yöntem

Zamana bağlı bir değişkenle ilgili elde edilen verilerin zaman sırasına göre sıralandığı grafiklere "Zaman Serisi" denilmektedir. Zaman serisi analizinde, teorik bir zaman serisinden alınan verilere dayanarak stokastik süreçler incelenir ve bu veriler üzerinden genel yorumlar yapılır. Bu yorumlar, geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak için de kullanılabilir. Zaman serileri trend, mevsimsel dalgalanmalar, döngüsel bileşenler, tesadüfi etkenler olarak tanımlanabilir. Verilerde zamanla gerçekleşen değişimleri tespit etmek ve bu değişimleri matematiksel bir modelle ifade edebilmek için zaman serisi analizleri yapılır. Bu analizde, gidiş, periyodik ve stokastik bileşenler tespit edilir. Bu bileşenler,

zamana bağılı olarak tanımlanır (Denklem 3.1). Burada ilgili zamana göre X_t gözlem değerini, T_t trendi, P_t periyodik bileşeni, S_t stokastik bileşeni temsil etmektedir.

$$X_t = T_t + P_t + S_t \quad (3.1)$$

Dünyanın kendi eksenini etrafında ve güneşin etrafında dönmesi sonucu periyodik döngüler ve bunun sonucunda hidrolojik ve meteorolojik parametrelerde değişimler meydana gelir. Bu döngüler, geçmişte doğal etkenler neticesinde değişimler gösterirken, günümüzde insan müdahaleleriyle (örneğin baraj gölleri inşası ve karbon salınımı/emisyon/sürüm) sürekli bir zorlanmaya maruz kalmaktadır. Hidro-meteorolojik veriler, insan kaynaklı faaliyetler (örneğin akarsulardan su çekilmesi) veya doğal olaylar (örneğin volkanik patlamalar, milankoviç döngüsü) sonucunda ani değişimlerden de etkilenebilir. Bunun yanı sıra, doğal olayların tamamen anlaşılamamış olması ve çok sayıda faktörden etkilenmeleri nedeniyle hidro-meteorolojik süreçler bir miktar belirsizlik (stokastik/rastgelelik/randomness veya zikzaklık) içermektedir.

Hidro-meteorolojik veriler, gece ile gündüzün ve mevsimlerin birbirini takip etmesi sonucu belli derecede periyodik davranış sergiler. Astronomi olaylarında, belli bir zaman ve yerde meydana gelecek değişimler kesin olarak belirlenebilirken, hidro-meteorolojik verilerde bu durum yalnızca olasılık temellidir. Ayrıca, güneş lekeleri nedeniyle meteorolojide dönemler arasında da bir periyodiklik söz konusu olup bu döngü genellikle yaklaşık 11 yıl sürmektedir (Solar Döngü). Periyodik salınımlar ise matematiksel olarak düzgün sinüs ve kosinüs dalgalarının toplamı şeklinde ifade edilebilir (Şen, 2002).

Zamana bağılı bir değişkenin gözlem değerlerinin, uzun bir zaman diliminde artış veya azalış yönünde gösterdiği değişim "Trend" yani "Yönelim, gidiş" olarak adlandırılır. Bu genellikle iklimsel olayların uzun vadeli analizlerinde görülür. Değişimler bazen ivmelenir, bazen de duraksayabilir. Sonuç olarak trend sürekli sabit kalmaz ve zamanla farklılık gösterebilir. Dahası, trend doğrusal ya da eğrisel bir yapıya da sahip olabilir (Beşel ve Kayıkçı, 2016).

Hidro-meteorolojik verilerde düzenli (sistemik) artış ve azalışlar meydana gelebilir. Özellikle son yıllarda, atmosferde biriken karbondioksit ve sera gazlarının etkisiyle iklim

değişikliği gözlenmiştir. Bir zaman serisinde (örnek fonksiyon), ani (sıçrama) ve periyodik (döngüsel) bileşenleri giderildikten sonra, eğer bir trend olduğu ortaya çıkarsa, bu trendin ayrıştırılması için genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılarak eğri ya da çoğunlukla bir doğru denklemi oluşturulur.

Trend analizleri parametrik (bileşenli) ve non-parametrik (bileşensiz) olarak ikiye ayrılır. Parametrik testler Normal dağılım varsayımına dayanarak, süreklilik gösteren verilere uygulanmaktadır. Basit doğrusal regresyon modeli parametrik test örneği iken, Mann-Kendall testi ve Yenilikçi Trend Analizi yöntemleri de parametrik olmayan testlere örnek gösterilebilir.

3.4.1. Doğrusal Regresyon (Lineer Regresyon – LR)

Doğrusal (lineer) denklemde, x bağımsız değişkeni zamanı, y ise bağımlı değişkeni, a sabiti doğrunun yatay eksenini kestiği noktayı, b katsayısı ise doğrunun eğimini belirler ve zaman içindeki değişimini gösterir (Denklem 3.2). Eğimin, b , sabitinin pozitif olması, değişimin arttığını, negatif olması ise azaldığını gösterir. Ayrıca, b sabitinin sıfıra yakın olması, değişimin neredeyse hiç olmadığını ifade eder. Katsayılar, a ve b , belirlendikten sonra denkleme yerleştirilir ve doğrusal trend denklemi elde edilir. Eğim çizgisinin gidişatı düz doğru şeklinde olmaktadır. Bu denklem, geleceğe yönelik tahminler yapabilmek için kullanılır (Beşel ve Kayıkçı, 2016). Doğrusal regresyon yöntemi zamanla doğrusal değişen verilere en uygun yani toplam hatayı sıfır yapacak eğriyi elde etmeye yarar (Alashan, 2020).

$$y_i = a + bx_i \quad (3.2)$$

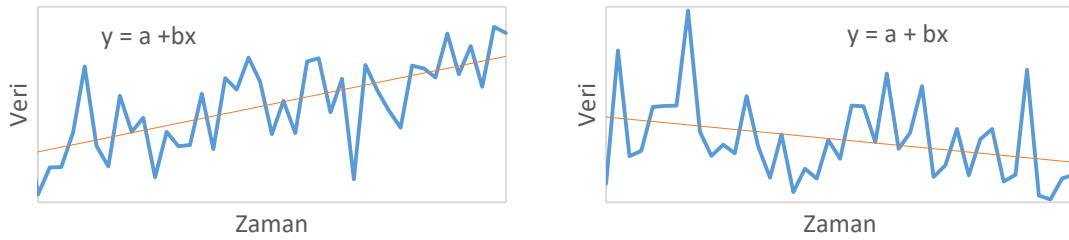
Herhangi iki değişkenin arasında gözlenebilecek en basit ilişki tipi doğrusal (ilişki) ve regresyon (adımlama)'dur. Korelasyon katsayısı doğrusal ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü gösterirken onun karesi olan R^2 veya R -kare istatistiği ise sadece büyüklüğünü ifade eder ve dağılımın ne kadarının doğruya uyumlu olduğunu gösterir. Eğim katsayısı, b ; Denklem 3.3 ile belirlendikten sonra Denklem 3.4 kullanılarak kesişim katsayısı (a) hesaplanabilir.

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (3.3)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3.4)$$

R-kare istatistiğinin karekökü olan korelasyon katsayısı Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanabilir. -1 ve +1 arasında bir değer alan korelasyon katsayısı doğrusal ilişkinin güçlü, zayıf veya bağımsız olma durumlarını gösterir (Şekil 3.16 ve Tablo 4.17). Bu katsayının anlamlı olması için bağıntının doğrusal, serinin normal, eş-varyans değerine sahip, dönüştürülmemiş olması ve uç değerlerin seride olmaması gerekir. İki değişkene ait doğru denkleminde korelasyon katsayısının karesi alınarak elde edilen *R-kare* istatistiği bulgular kısmında grafik doğrusuna ait denklemin altında verilmektedir.

$$r = \frac{\sum x_i y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i^2}} \quad (3.5)$$



Şekil 3.16. Doğrusal regresyonda artan - azalan trend tayini

Zamanla artan veya azalan bir örgün değişim için doğrusal regresyon denklemi $X = a + b.t$ olarak yazılabilir. Bu denklemin her iki kısmı için ortalama alındığında $\bar{X} = a + b.\bar{t}$ şeklinde bir denklem elde edilir. Bilinmeyen iki parametre olduğundan (a ve b) ikinci bir denkleme ihtiyaç duyulur. Bunun için $X.t = a.t + b.t^2$ denklemi yazılır ve ortalaması alınırsa $\overline{X.t} = a.\bar{t} + b.\bar{t}^2$ elde edilir. Bu iki denklem kullanılarak a ve b parametreleri pratik olarak hesaplanabilir.

Doğrusallık kabulü, saçılma diyagramlarında genel trendi temsil eden bir doğrunun uygunluğunu gerektirir. Eğer saçılma diyagramı doğrusal bir ilişkiyi göstermiyorsa ve normallik kabulünü sağlamıyorsa, veri üzerinde dönüşümler yapılır ve en sık kullanılan

dönüşüm logaritmik dönüşümdür. Alashan, (2018) çarpık hidro-meteorolojik değişkenlerin analizini gerçekleştirmek için yenilikçi trend analiz yöntemini logaritmik ekseninde değerlendirmiştir. Doğrusal regresyon çözümlerinin geçerli olabilmesi için normallik kabulü de önemlidir.

3.4.2. Mann Kendall Testi (MK)

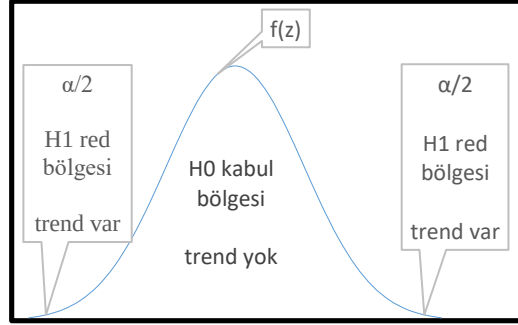
Mann-Kendall yöntemi, literatürde sıkça kullanılan bir trend belirleme yöntemidir. Bu yöntem, verilerin Normal dağıldığı ve bağımsız olduğu varsayımına dayanarak geliştirilmiştir. Yöntem, zamana göre sıralanan verilerin, belirli bir istatistiksel anlamlılık seviyesine göre karşılaştırılmasına dayanır. Zamana göre sıralanan verilerde, bir veri kendisinden önceki veriden küçükse -1, büyükse 1, eşitse 0 değeri alır (Denklem 3.6). Burada, n veri sayısını temsil etmektedir. Bu değerler toplanarak MK test istatistiği (S parametresi) hesaplanır (Denklem 3.7). MK test istatistiği olan S, parametresinin varyansı (yayılım), veri sayısına ve verilerdeki grupların bağımlılık durumuna (t) bağlıdır (Denklem 3.8). Başlangıç hipotezinde (H_0), veri grubunda herhangi bir trendin olmadığı kabul edilir. S parametresinin büyüklüğü ve varyansına göre hesaplanan MK standart test istatistiği z (Denklem 3.9), kritik z_k değerinden mutlak olarak büyükse, veri grubunda bir trend olduğu ve H_1 hipotezi kabul edilir (Alashan 2020). Bu çalışmada, %95, %90 ve %80 güven seviyesinde, kritik MK test parametresi için z_k değeri $\pm 1,96$, $\pm 1,68$ ve $\pm 1,28$ olarak alınmıştır. %95, %90 ve %80 güven seviyesi için, anlamlılık düzeyleri, $\alpha=0,05$; 0,10 ve 0,20 olarak dikkate alınır.

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 ; x_j > x_i \\ 0 ; x_j = x_i \\ -1 ; x_j < x_i \end{cases} \quad (3.6)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n sgn(x_j - x_i) \quad (3.7)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3.8)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} ; S > 0 \\ 0 ; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} ; S < 0 \end{cases} \quad (3.9)$$



Şekil 3.17. Hipotez ret ve kabul bölgeleri

3.4.3. Mann Kendall Mertebe Korelasyon Testi (MK-MK)

Trendin varlığını, yönünü ve büyüklüğünü belirlemek kadar değişim noktasını yani başlangıç zamanını belirlemek de önemlidir. Bu çalışmada trendin başlangıç zamanını tespit etmek amacıyla orijinal Mann Kendall (MK) testine ilaveten Mann-Kendall Mertebe Korelasyon (MK-MK) testi de kullanılmıştır.

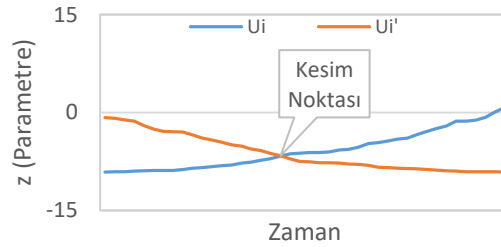
Zaman serisi üzerinde heterojenliğe (çok-türlülüğe) sebep olacak önemde bir trend bileşeninin bulunup bulunmadığını tespit etmek için kullanılır. Sol taraftan başlayarak zaman serisinde her veri değeri yerine kendisinden önce gelen verilerden kaç tanesinin kendisinden büyük olduğu sayılır. Bu hesaplanan sayılara n_i denilirse X_i veri değerlerini bunlarla değiştirerek yeni bir tam sayılı seri elde edilir. Bu sayıların ardışık toplamına t_i denilirse bu yöntemi uygulamak için gerekli büyüklük $t_i = \sum n_i$ şeklinde tanımlanır. Bu istatistik büyüklüğü teorik çalışmalar sonunda elde edilen yaklaşık ortalama ve standart sapması Denklem 3.10 ve 3.11 'de gösterildiği şekilde yazılabilir ve normal dağılıma uymaktadır. Test sınama büyüklüğü t standartlaştırılırsa Denklem 3.12 elde edilir. Aynı işlemler sağ taraftan başlayarak tekrarlanır ve u_i elde edilir. Trend değişim noktası olmaması durumunda u_i ve n_i birbirini birkaç kez birbirini grafikte keser. Trend değişim

noktası olması durumunda u_i ve u'_i eğrilerinin birbirini kestiği nokta trendin başlangıç zamanı olarak kabul edilir (Şekil 3.18).

$$\bar{t} = \frac{n.(n-1)}{4} \quad (3.10)$$

$$S_t = \sqrt{\frac{n.(n+1)(2n+5)}{72}} \quad (3.11)$$

$$u_i = \frac{t_i - \bar{t}}{S_t} \quad (3.12)$$



Şekil 3.18. Mann Kendall Mertebe Korelasyon Testi

MK-MK yöntemi, diğer korelasyon yöntemleri gibi, iki değişken arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik, dağılımdan bağımsız bir yöntemdir. Test istatistiğinin u_i ve u'_i pozitif olması zamanla artış trendini, u_i ve u'_i negatif ise azalış trendini ifade eder. Grafikselle olarak, u_i ile geriye dönük hesaplanan u'_i değişimin başladığı noktada birbirine yaklaşır ve kesişir, ardından uzaklaşmaya başladığı noktada trendin başlangıç noktasını gösterir. Eğer seride herhangi bir trend yoksa, u_i ve u'_i birbirlerine sık sık yaklaşarak veya kesişerek salınımlı bir seyir izler (Büyükyıldız, 2004).

3.4.4. Yenilikçi Trend Analizi (Innovative Trend Analysis-ITA)

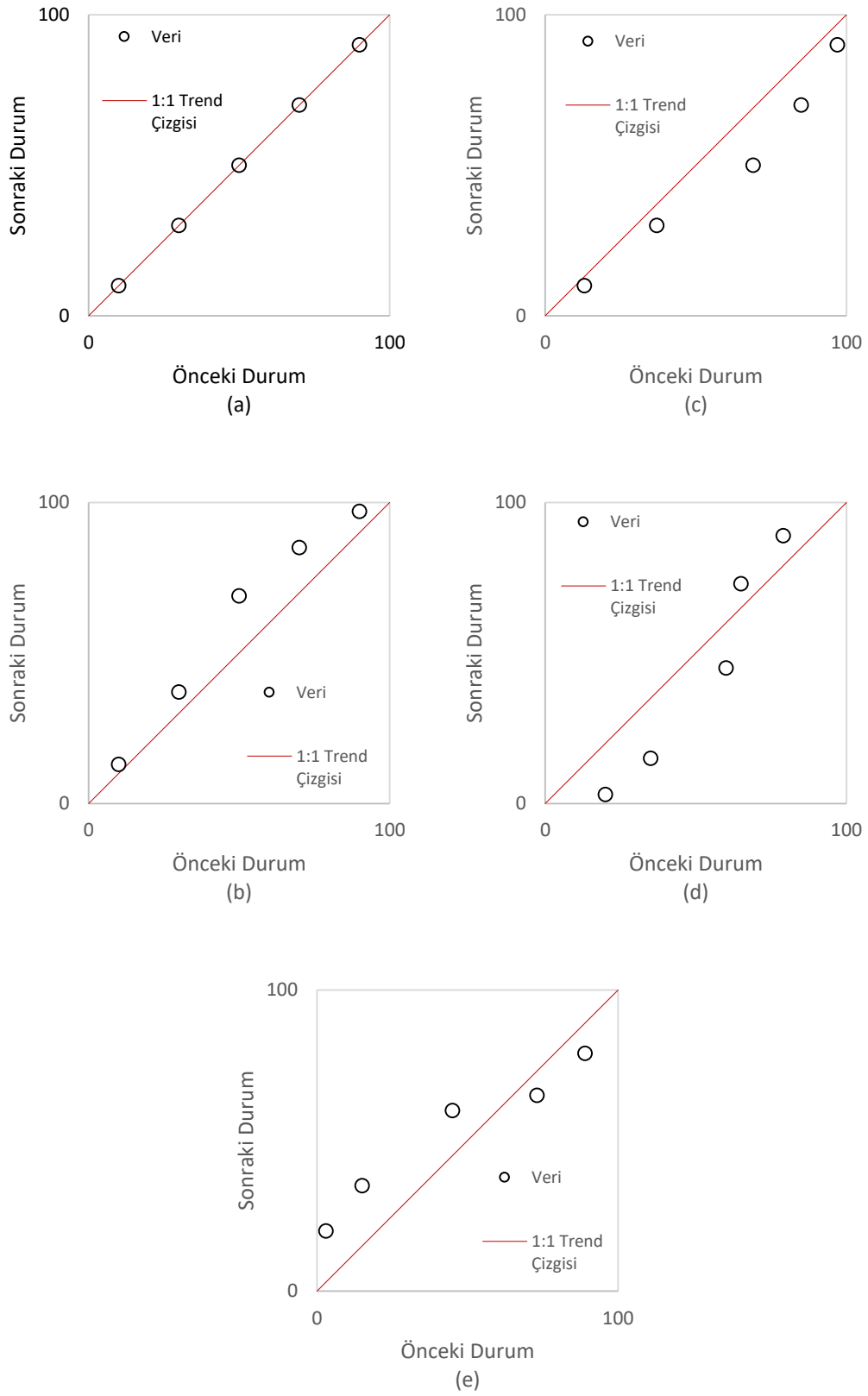
Şen (2012), örnek bir zaman serisi üzerinde bulunan trendleri hesaplamak için "Yenilikçi Trend Analizi" (Innovative Trend Analysis-ITA) adı altında bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, temel serinin iki alt seriye ayrılmasına dayanır. Elde edilen alt seriler,

küçükten büyüğe doğru sıralandıktan sonra, yatay ekseninde birinci alt seri ve dikey ekseninde ikinci alt seri olacak şekilde grafik üzerinde saçılma noktaları oluşturulur.

Ayrıca, bu grafik üzerinde 45 derece eğimle bir 1/1 çizgisi (eğri) çizilir. Bu eğri çizgisi aynı zamanda trendsizlik çizgisi olup değişimin olmadığı anlamına gelmektedir. Eğer saçılma noktaları bu eğrinin üzerinde veya altında yer alıyorsa, artan ya da azalan bir trend olduğu kabul edilir. Eğer saçılma noktaları 1/1 eğrisine yakın bir düzlemde yer alıyorsa, bu durumda trendin olmadığı sonucuna varılır (Şekil 3.19). Yöntem, tüm veri aralıklarında (düşük, orta ve yüksek) yorum yapılabilmesine olanak tanıyan yenilikçi bir yaklaşımdır.

Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak ITA ile trendin varlığı, dağılım grafiğinde yer alan verilerin çoğunun çizgi üzerinde olması durumunda “trend yok”, $\pm 5\%$ ile 1:1 çizgisi aralığındaysa “zayıf trend var”, $\pm 5\%-10\%$ aralığındaysa “güçlü trend var”, verilerin çoğunun $\pm 10\%$ çizgisini aşması durumu ise “çok güçlü trend var” olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla düşük, orta, yüksek değerler olmak üzere; “trend yok”, “zayıf trend var”, “güçlü trend var” ve “çok güçlü trend var” şeklinde değerlendirilerek monotonik ve non-monotonik trendler sınıflandırılmaktadır. Bu durum geleneksel yöntemler ile karşılaştırma imkânı verebilmektedir.

Şekil 3.19’da trend durumlarına bakıldığında beş ayrı durum şeklinde trend tespiti olduğu görülmektedir. Buna göre trendsizlik/değişimin olmadığı, monotonik/bütüncül/çok düzenli, non-monotonik/parçalı/düzensiz artan/azalan trendler şeklidir.



Şekil 3.19. Trend Durumları a) sabit b) monotonik (çok düzenli) artan c) monotonik (çok düzenli) azalan d) non-monotonik artan e) non-monotonik azalan

3.4.5. Revize Yenilikçi Trend Analizi (ITA_R)

Yenilikçi Trend Analiz (ITA) yöntemi grafiksel ve non-parametrik bir yöntem olması sebebiyle istatistiksel ve parametrik bir değerlendirmeyi de gerektirmektedir. Bunun için Alashan (2020b), ITA yöntemiyle hesaplanan trendlerin, farklı varyans koşullarında bile zaman serisi üzerinde heterojenliğe (çok türlülüğe) yol açabilecek kadar önemli olup olmadığını test etmek için, beklenen trend sapma değerlerini hesaplamak için yeni bir formül ileri sürmüştür (Revize Yenilikçi Trend Analiz- ITA_R). Bu analizde, Şen'in yenilikçi trend analizi yöntemine ek bir değerlendirme kazandırılmıştır.

Beklenen trend sapma değeri Denklem 3.13 denklemiyle hesaplanmıştır. Burada n veri sayısını, $Var(x)$ ve $Var(y)$ birinci ve ikinci sıralı alt serilerin varyansını, $Cov(x,y)$ ise birinci ve ikinci sıralı alt seri arasındaki kovaryans değerini göstermektedir. Varyans parametresi (Denklem 3.14 ve 3.15) değişime neden olan değişkenlere göre analiz edilen en yaygın kullanılan değişim ölçüsüdür. Varyans popülasyondan hesaplanıyorsa parametredir ve σ^2 ile örnekten hesaplanıyorsa istatistiktir ve S^2 ile gösterilir. Eş-varyans anlamında olan kovaryans (Denklem 3.16) ise iki alt serinin varlığı durumunda hesap edilir ve her bir değişkenin kendi ortalamasından olan sapmasının tüm değişkenler için çarpımlarının ortalamasına denilmektedir. Henüz literatürde yaygın bulunmamasına rağmen üç alt seri şeklinde de ileriki süreçte hesap edilebilir. Dolayısıyla varyans tek seride, kovaryans en az iki ve üç seri içinde hesaplanabilir. Özellikle zaman serilerinde, tek seri olarak hesaplanma durumunda olan varyans $Var(x)$, çizgisel/lineer, iki seri olarak hesaplanma durumunda $Cov(x,y)$, alansal/areal ve üç seri halinde hesaplanması durumunda $Cov(x,y,z)$, yüzeysel/relief olarak adlandırılabilir.

$$\sigma_s = \frac{2}{n}(Var(\bar{x}) + Var(\bar{y}) - 2Cov(\bar{x}, \bar{y}))^{\frac{1}{2}} \quad (3.13)$$

$$Var(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.14)$$

$$Var(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.15)$$

$$Cov(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \quad (3.16)$$

Test büyüklüğünü elde etmek için, trend eğimi, s , olmak üzere Denklem 3.17 kullanılarak elde edilmiştir ve Normal dağılıma uymaktadır. Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ xikinci ve birinci alt serilerin ortalamasını göstermektedir. Eğer z_{ITA_R} değeri (Denklem 3.18) standart normal dağılım değerlerinden (örneğin %5 önem seviyesi için 1,96) küçükse temel varsayım olarak “incelenen seride trend yoktur” kabulü yapılmaktadır ($|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var).

$$s = \frac{2(\bar{y} - \bar{x})}{n} \quad (3.17)$$

$$z_{ITA_R} = \frac{s}{\sigma_s} \quad (3.18)$$

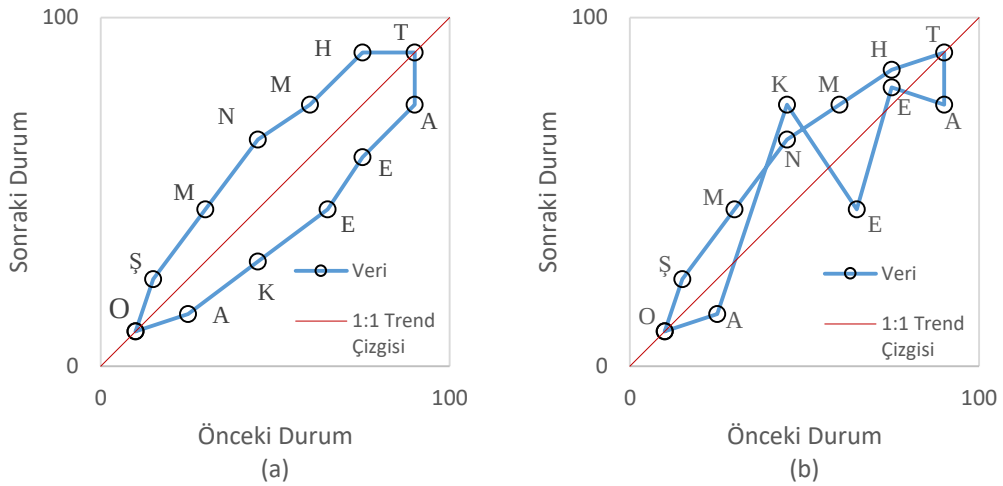
Bu yaklaşım, Şen’in Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yönteminin hata oranlarını iyileştirmeye odaklanmıştır. Özellikle ITA yönteminin 1. tip hata oranlarını (trend olmayan durumlarda trend varmış gibi kabul edilmesi) azaltmak için geliştirilmiştir. Bu amaçla, kritik trend değerleri belirlenmiş ve yeni bir ITA_R yöntemi önerilmiştir. ITA_R yönteminin bağımlı serilerde bile başarılı olduğunu ve trend analizlerinde hata oranlarını önemli ölçüde azalttığı ortaya konulmuştur.

3.4.6. Yenilikçi Çokgen Trend Analizi (Innovative Polygon Trend Analysis – IPTA)

Şen vd. (2019) tarafından, parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerle yapılan trend tespitinin önemli bir adım olduğu belirtilmektedir. Ancak yazarlar, bu yöntemlerin dönemsel trend özelliklerini, özellikle aylık trendleri tam olarak yansıtamadığını ifade etmektedirler. Bu eksikliği gidermek amacıyla ITA prosedürü geliştirilmiş ve trend analizine yeni bir bakış açısı kazandıran bir yöntem olarak Yenilikçi Çokgen Trend Analizi (IPTA) önerilmiştir. Aylık bir zaman serisi z ve n toplam yıl sayısı olarak düşünüldüğünde, herhangi bir zaman serisi $z_1, z_2, \dots, z_n$ olarak ifade edilebilir. Bu zaman serisi aylık ölçekte aşağıdaki gibi bir matris halinde düzenlenebilir (Denklem 3.19). Birinci yarım $i=1, 2, \dots, n/2$ ve ikinci yarım $i=n/2 + 1, n/2 + 2, \dots, n$ sırasıyla iki küme halinde ele alındığında ITA’nın IPTA versiyonu her ayın tepe noktası olarak gösterildiği Şekil 1a’daki gibi görünür.

$$\begin{bmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \dots & z_{1,11} & z_{1,12} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \dots & z_{2,11} & z_{2,12} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ z_{i,1} & z_{i,2} & \dots & z_{i,11} & z_{i,12} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ z_{n-1,1} & z_{n-1,2} & \dots & z_{n-1,11} & z_{n-1,12} \\ z_{n,1} & z_{n,2} & \dots & z_{n,11} & z_{n,12} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \uparrow \text{ İlk yarım } (1 \leq i \leq n/2) \\ \downarrow \text{ İkinci yarım } (n/2 \leq i \leq n) \end{array} \quad (3.19)$$

Ardışık aylık veriler, bir aydan diğerine geçişi temsil eden düz çizgilerle birbirine bağlanır. Bu çizgiler hem niteliksel hem de niceliksel trend hakkında bilgi sunar. Düzenli bir çokgende genellikle artan veya azalan monotonik bir trend izlenirken, düzensiz poligonlarda bu durum düzensizdir. Örneğin, Şekil 3.20 'de Ocak ayında başlayıp sırasıyla Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında veri değerleri yükselirken, Haziran 'dan itibaren Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarına kadar süren bir düşüş dizisi yer almaktadır ve bu dizi Ocak ayında sona ermektedir. Yükselen ve azalan seriler arasındaki fark, hidro-meteorolojik değişkenlerdeki iç değişimi gözler önüne serer. Örneğin, yükselen dizi sırasında sık ve yoğun yağışlar görülürken, düşen dizi sürecinde ise tam tersi bir durum söz konusu olmaktadır.



Şekil 3.20. Ardışık aylık veri için varsayımsal Yenilikçi Çokgen Trend Analiz (IPTA) şablonu

IPTA şablonu, döngüsel bir yapıya sahip olsa da sistematik çokgenler oluşturur, ancak fiziksel koşullara bağlı olarak birden fazla karmaşık döngü de ortaya çıkarabilir. Fiziksel açıdan, bir hidro-meteorolojik olay ne kadar dinamik ve kaotikse, o kadar karmaşık çokgenlerin oluşma ihtimali artar. Yine de, düzenli bir gidiş söz konusu olduğunda,

çokgenlerin oluşma ihtimali artar. Yine de düzenli bir gidiş söz konusu olduğunda, çokgenler genellikle tek bir döngüyle sınırlı kalır. Örneğin, yağış olayları, akışa kıyasla daha fazla poligonal döngü içerebilir çünkü akış değerleri, drenaj havzasının ortak davranışı nedeniyle daha yavaş ve zayıflayan döngüler oluşturur.

Aylık veriler için dağılım diyagramında, düz çizgiler farklı kenar uzunluklarına ve eğimlere sahip 12 kenarlı bir çokgen olarak görünür. IPTA şablonundaki her ardışık dağılım noktasının koordinatları bilindiğinde, basitçe düz çizgiler elde edilerek her bir trend çizgisinin eğimi hesaplanır. IPTA şablonu, aylık hidro-meteorolojik zaman serilerinde 12 kenarlı doğrusal olmayan bir yapı ortaya çıkarır. Ayrıca, aylık veriler için bir IPTA şablonu, hidro-meteorolojik sistem hakkında hem kalitatif hem de kantitatif analizler ve yorumlar yapmaya olanak tanıyarak önemli bilgilere ulaşılmasını sağlar.

Ardışık iki ay arasındaki düz çizgi, aylık değerler arasındaki geçişin değişimini yansıtır. Kapalı poligon ise, ilgili hidro-meteorolojik değişkenin bir yıl boyunca sergilediği doğal denge davranışını temsil eder. Ardışık aylık geçişlerin şiddeti, her bir düz çizginin uzunluğu ile gösterilir. IPTA şablonundaki her bir düz çizginin eğimi hem dikey hem de yatay yönde birbirine yakınsa, bu durum, ardışık aylık geçişlerin hidro-meteorolojik verilerin değişimindeki katkılarının önemsiz olduğunu gösterir.

IPTA şablonundaki tüm düz çizgiler, yıllık bazda 12 aylık varyasyon hakkında nitel (sözel) çıkarımlar için açıklamalar sağlar. Her bir çokgen kenarı, ardışık aylar arasında doğrusal bir değişiklik varsayımını ifade eder. Yılda daha küçük doğrusal değişim varsayımı, trend analizinde daha gerçekçi sonuçlar doğurur. Eğer IPTA şablonundaki tüm düz çizgilerin eğimleri birbirine yakınsa ve tüm kenarlar tek bir küresel yön etrafında toplanıyorsa, çokgenin köşelerinin bağlantısı kesik bir çizgi ile, küresel regresyon çizgisine oldukça yakın olur. Bu durumda, çokgenin dar olması, hidro-meteorolojik değişkendeki iç değişimin homojen ve izotropik olduğunu, yani tekdüze bir varyasyon gösterdiğini belirtir. Öte yandan, daha geniş çokgenler ise heterojen zamansal değişimi işaret eder. Genel olarak, yükselen bir yapıya sahip olan bir çokgen, hâkim koşulların dengede olduğunu gösterir. Ancak, Şekil 3.20b'de görüldüğü gibi, tek bir çokgen yerine birden fazla çokgen (döngü) de ortaya çıkabilir. Poligon ile herhangi bir yatay çizgi kesişimi, hidro-meteorolojik değişkenin aylık değişim miktarının alt ve üst sınırlarını belirler.

Herhangi bir dikey çizgi, bu sınırların yanı sıra hidro-meteorolojik değişkenin miktar aralığını da gösterir. Poligonun alanı ne kadar küçükse, aylık yağış o kadar tutarlı ve hidro-meteorolojik olaylar o kadar kararlı olur. Poligonun yatay eksenden eğimi ne kadar küçükse, hidro-meteorolojik olayların geliş yoğunluğu o kadar yüksek olur. Poligon diyagramlarının bu genel özellikleri, hidro-meteorolojik olayların nicel ve nitel özelliklerini yansıtmaktadır.

Özetlemek gerekirse birleştirilen çizgilerin eğimi hem dikey hem de yatay yönde birbirine yeteri kadar yakınsa ardışık ayların ortalamasında kayda değer bir farklılık olmadığı kabul edilir. Oluşan çokgen, serinin zaman karşısındaki davranışı hakkında bilgi verir. Çokgenin alanı ne kadar küçükse aylık yağış ve hidro-meteorolojik olay oluşumu o kadar istikrarlıdır. Mevcut çokgen kimi zaman düzgün olabileceği gibi kimi zaman da dinamik ve karmaşık olabilir (Şekil 3.20). Çokgeni oluşturan çizgilerin uzunluğu veriler arasındaki fark ile doğru orantılıdır. Fark ne kadar fazlaysa aylar arasındaki veri değişimi de o kadar fazla olacaktır. Çizgilerin eğimi ise değişimin serideki ortalama değişime etkisini gösterir. Değişkenlerin davranışları çokgenlerin şekillerine bağlı olarak trend uzunluğu $(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2})$, eğimi $(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1})$ ve yönü (+, -) ile yorumlanmaktadır. Bu denklemlerde bulunan x_1 ve x_2 değerleri yatayda birinci yarıdaki ardışık iki noktanın değeri (örneğin; Ocak ve Şubat), y_1 ve y_2 değerleri ise düşeyde ikinci yarıdaki ardışık iki noktadaki değerleri temsil etmektedir (Güneş, 2024).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

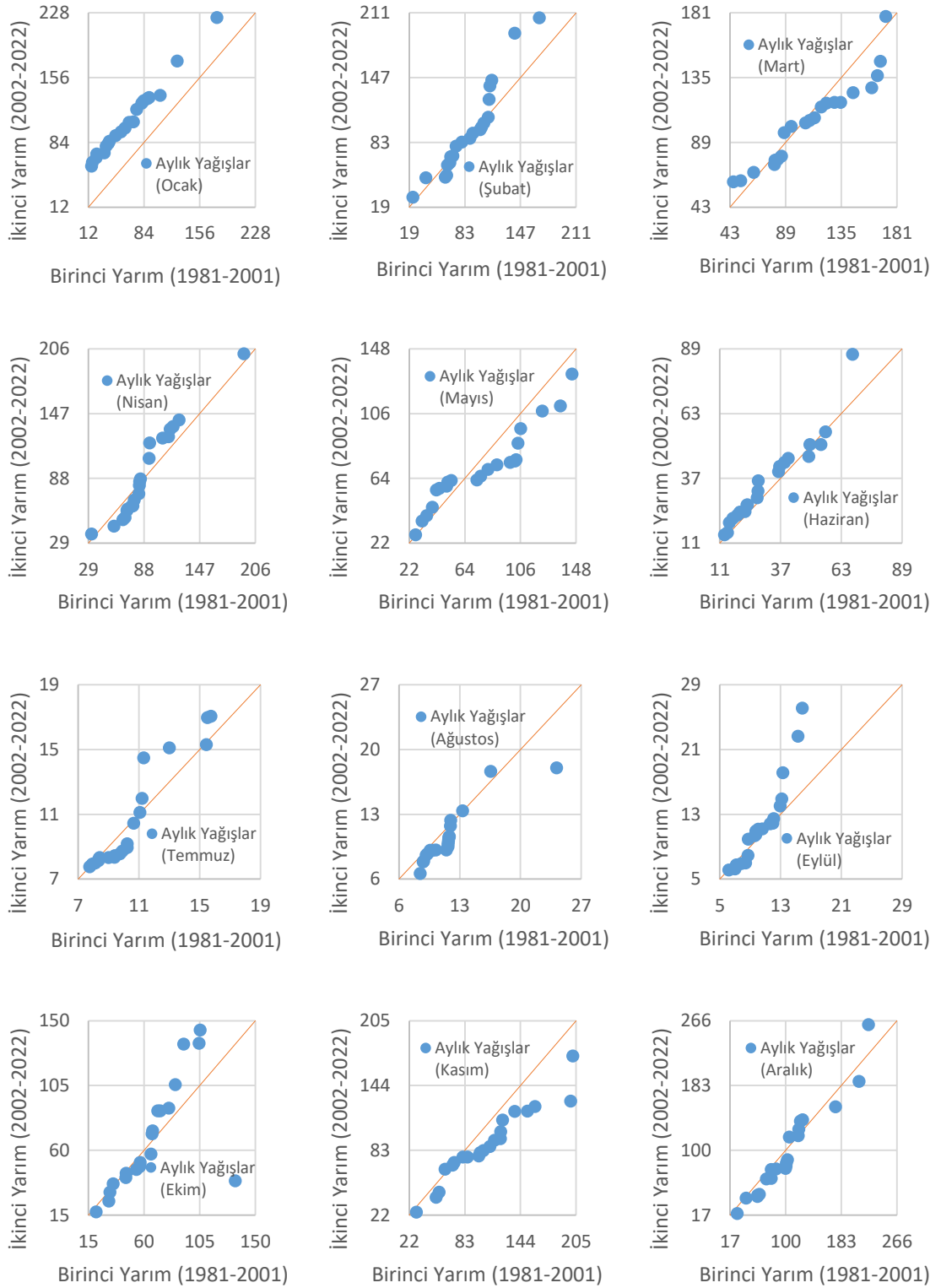
Çalışmanın bu bölümünde, zaman serileri kullanılarak hidro-meteorolojik parametrelerden yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme; hidro-jeolojik parametrelerden toprak nemi, hidrolojik parametrelerden debi verilerinin iklim değişikliğinin kuraklık analizlerine esas gidişatlarının anlaşılması için Yenilikçi Trend Analiz (ITA), Revize Yenilikçi Trend Analiz (ITA_R), Yenilikçi Çokgen Trend Analiz (IPTA), Mann Kendall (MK), Mann Kendall Mertebe Korelasyon (MK-MK) ve Doğrusal Regresyon (LR) yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlara ve bu sonuçların yorumlanmasına yer verilmiştir.

4.1. Yağış Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları

Meteorolojik değişkenlerden biri olan yağış, su kaynakları açısından hayati bir öneme sahiptir. Akışı oluşturan en temel faktörlerden biri olan yağış, kısa süreli aşırı şiddette meydana geldiğinde, ciddi taşkınlara yol açabilirken, uzun süre yetersiz miktarda olduğunda kuraklığa neden olmaktadır. Yağış, karmaşık bir fiziksel süreç sonucunda oluştuğu için tahmin edilmesi genellikle zordur. Özellikle yerel farklılıklar ve bölgesel özelliklerden güçlü bir şekilde etkilenmesi, yağış tahminini daha da karmaşık hale getirmektedir. Bu karmaşıklığın giderilmesinde öncelikle iklim değişikliğinin yağış parametresindeki gidişatına dair gözlemler elde edilmelidir. Vahkin Irmağı havzasında yağış parametresi ITA, ITA_R, MK ve LR yöntemleriyle aylık, sezonluk ve yıllık zaman ölçeğinde incelenmiştir.

4.1.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları

Şekil 4.1 incelendiğinde, Ocak ayında yağış verileri 12-228 mm arasında değerler almaktadır. Bu aya ait tüm veriler 1:1 doğrusunun üst kısmında, paralel bir seyir ve artan bir trend göstermektedir. Tüm değerlerin trend çizgisine olan uzaklıkları neredeyse aynıdır. Monotonik artan bir trend sergilemektedir.



Şekil 4.1. Aylık yağış değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: CHIRPS)

Şubat ayında 19-83 mm arasında düşük değerler 1:1 trend çizgisinin üzerinde, çok yakın veya teğet düşmekte olduğundan bu değerlerde trend görülmemektedir. 83-147 mm

arasındaki orta değerlerde artan bir trend vardır, 147-211 mm arasındaki yüksek değerler seyrek olmakla birlikte artan bir trende sahiptir. Şubat ayı için monotonik olmayan artan bir trendden bahsedilebilir.

Mart ayında 43-89 mm arasındaki düşük değerler ve 89-135 mm arasındaki orta değerlerde açık bir trend görülmezken, 135-181 mm arasındaki yüksek değerler azalan trende sahiptir. 171,96-178,40 noktasındaki bir değer trend çizgisine yakın fakat (+) yönde radikal bir sapma göstermektedir. Nisan ayında yağış verileri 29-206 mm arasında çeşitlenmektedir. 29-88 mm arasındaki düşük değerler trend çizgisine yakın olmakla beraber azalan, 88-147 mm arasındaki orta değerler artan bir trend göstermektedir. Maksimum yağış değeri artan trende uyum sağlamış fakat radikal bir sapma olarak gözükmemektedir. Mayıs ayı düşük yağış değerlerinde artan, orta ve yüksek yağış değerlerinde azalan bir trend söz konusudur.

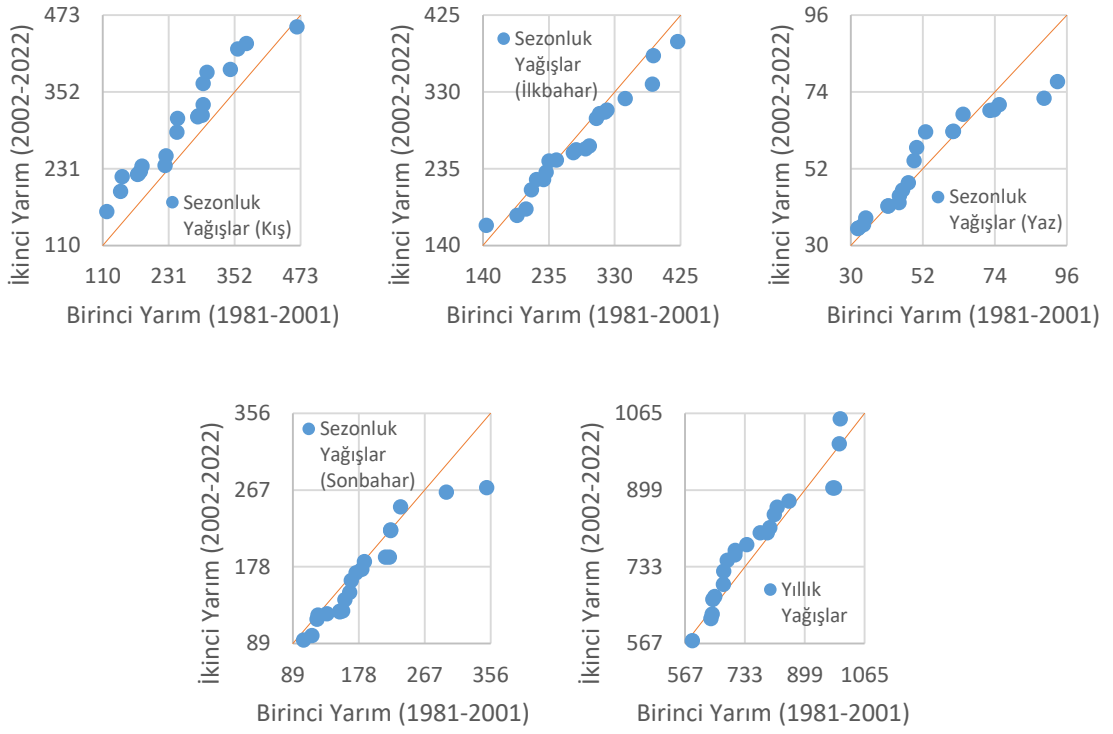
Haziran ayı için yağış değerleri 1:1 trend çizgisine çok yakın, teğet veya hemen çizginin üzerinde bulunmaktadır. Düşük değerlerde çok az da olsa artan bir trend, orta değerlerde neredeyse trend gözükmemekte ve maksimum yağış değeri pozitif yönde radikal bir sapma göstermektedir. Temmuz ayında yağış verileri 7-11 mm arasında yoğunlaşmaktadır ve bu düşük değerler için azalan bir trend söz konusudur. Orta değer (11-15 mm) ve yüksek değer (15-19 mm) aralığında üçer değer bulunmakta ve artan bir trend görünümündedir. Ağustos ayında iki değer dışında tüm değerler 6-13 mm arasındadır ve azalan bir trend görünümünde olup; geriye kalan iki değerden biri 1:1 trend çizginin teğetinde, diğeri ise negatif yönlü radikal bir sapma göstermektedir.

Eylül ayında yağış değerleri 5-29 mm arasındadır. Büyük çoğunluğu düşük değerler olan 5-13 mm arasında olup bunlarda trend gözükmemektedir. Geriye kalan azınlık değerlerden orta değerler (13-21 mm) artan trend görünümündedir. Ekim ayında değerler 15-150 mm arasında çeşitlenmektedir. 15-60 mm arasındaki düşük değerler 1:11 trend çizgine yakın veya üzerindedir. Bu değerlerde trend bulunmamaktadır. Orta (60-105 mm) ve yüksek (105-150 mm) değerlerde artan bir trend mevcuttur. Kasım ayında 22-204 mm arasında bulunan değerlerden düşük değerler (22-83 mm) üzerinde belirgin bir trend görülmezken, daha çok orta (83-144 mm) değerlerde yoğunlaşma bulunmakta ve bu değerlerde azalan trend söz konusudur. Yüksek değerler (144-205 mm) 1:1 trend çizgisinin altında yer almakta ve azalan trend göstermektedir.

Aralık ayında yağış değerleri 17-266 mm arasında yer almaktadır. Düşük (17-100 mm) ve orta değerler (100-183 mm) trend çizgisine çok yakın, teğet veya üzerine düşmekte ve trend gözükmemektedir. Yüksek değerlerde iki değer bulunmakta, küçük olanı trend çizgisinin altına düşerken büyük olanı trend çizgisinin üst kısmına düşmekte ve trend belirlenmemektedir.

Şekil 4.2 incelendiğinde sezonluk (Kış, İlkbahar, Yaz, Sonbahar) ve Yıllık ITA sonuçlarına ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yıllık değerler 567-1065 mm arasında çeşitlenirken bu değerlerden düşük (567-733 mm) ve yüksek (899-1065) değerler trend yok çizgisinin üstünde ve artan bir trend göstermektedir. Orta değerler (733-899 mm) trend yok çizgisinin üzerinde yer almakta ve artan trend göstermektedir.

Kış sezonunda 110-473 mm arasında çeşitlenen değerler 1:1 trend çizgisinin üstünde bulunduklarından artan trende sahiptir. Maksimum yağış değeri bir sapma göstererek trend çizgisinin hemen altında kalmaktadır. İlkbahar sezonundaki yağış değerleri 140-425 mm arasında bulunmaktadır. Düşük (140-235 mm), orta (235-330 mm) ve yüksek (330-425 mm) değerler daha çok trend çizgisine yakın veya üzerine düşmektedirler. Tüm değerler göz önüne alındığında ufak da olsa azalan bir trendden bahsedilebilir. Yaz sezonuna ait yağış değerleri 30-75 mm arasında olup bunlardan düşük (30-52 mm) değerlerde trend bulunmazken, orta (52-74 mm) değerlerde artan ve yüksek (74-96 mm) değerlerde azalan trend söz konusudur. Sonbahar sezonunda 89-270 mm arasında çeşitlenen değerlerin çoğunluğu düşük (89-178 mm) değerler etrafında yoğunlaşırken bu değerler trend çizgisinin üzerine veya hemen altına düşmektedir. Orta (178-267 mm) ve yüksek (267-356) değerler az olup (iki adet) trend çizgisinin altına düşmektedir. Genel olarak değerlere ait trend az da olsa azalan yöndedir.



Şekil 4.2. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: CHIRPS)

4.1.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları

ITA yöntemine ilaveten sunulan ITA_R yaklaşımına ait sonuçlar incelendiğinde Kış sezonu ve Ocak ayı kritik artan trend ($z > 1,96$) barındırırken geri kalan aylarda ve sezonlarda trend olmadığı görülmektedir (Tablo 4.1). Aylık, sezonluk, yıllık $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ değerleri incelendiğinde yıllık periyotta, Kış sezonunda, Ocak, Şubat, Nisan, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim aylarında artış var ama bu artış anlamlı bir trend taşımamaktadır. Sadece Kış sezonu ve Ocak ayı kritik artan trend ($z > 1,96$) barındırmaktadır. Eylül ayında 13,75 gibi bir değerle büyük bir trend sapma değeri bulunmaktadır. İlkbahar, Yaz, Sonbahar sezonlarında, Mart, Mayıs, Ağustos, Kasım, Aralık aylarında azalış var ama bu azalış anlamlı bir trend taşımamaktadır. En küçük 0,11 ve 0,13 trend sapma değerleriyle Temmuz ve Ağustos ayları bulunmaktadır. Z değerine bakıldığında 8 dönem negatif, 9 dönem pozitif işaretli değerler bulundurmakla beraber küçük değerlerdir (Kış sezonu ve Ocak ayı dışındakiler).

Genel bir sonuç ile;

- **Yıllık yağışta anlamlı bir trend yok** ($Z = 0,43$).
- **Kış mevsiminde anlamlı bir artış var** ($Z = 2,02$).
- **Ocak ayında çok güçlü bir artış var** ($Z = 11,09$).
- Diğer mevsimlerde ve aylarda anlamlı bir trend tespit edilmemiştir.

Yapılan ITA_R analizi sonucunda, çalışma periyodunda (1981-2022) **yıllık toplam yağış miktarında** istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlemlenmemiştir. Mevsimsel düzeyde, yalnızca **kış mevsiminde** anlamlı bir artış yönelimi tespit edilmiştir. Aylık bazda incelendiğinde ise özellikle **Ocak ayında** oldukça güçlü bir yağış artışı dikkat çekmektedir. Diğer aylarda ve mevsimlerde belirgin bir trend bulunmamıştır.

Tablo 4.1. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait ITA_R sonuçları
(Kaynak: CHIRPS)

Sezonlar	n	$\bar{x}$	$\bar{y}$	Var(x) (D-3.14)	Var(y) (D-3.15)	Cov(x,y) (D-3.16)	Trend Sapma (D-3.13)	Trend Eğim (D-3.17)	Z (D-3.18)	Karar
Yıllık	42	769,30	785,85	16777	15190	15235,4	3,68	1,58	0,43	Trend yok
Kış	42	255,08	299,08	7764,61	6986,23	7138,64	2,07	4,19	2,02	Kritik artan trend
İlkbahar	42	276,65	265,50	5012,48	3811,76	4303,41	1,40	-1,06	-0,76	Trend yok
Yaz	42	54,38	53,87	326,18	197,76	241,10	0,62	-0,05	-0,08	Trend yok
Sonbahar	42	183,18	167,40	3665,00	2813,18	3052,95	1,84	-1,50	-0,82	Trend yok
Ocak	42	64,19	107,38	1618,56	1605,95	1604,67	0,37	4,11	11,09	Kritik artan trend
Şubat	42	87,81	94,65	1124,69	2090,29	1472,99	1,56	0,65	0,42	Trend yok
Mart	42	110,11	104,04	1437,74	904,99	1092,55	1,20	-0,58	-0,48	Trend yok
Nisan	42	89,89	91,15	1078,86	1731,34	1317,83	1,26	0,12	0,10	Trend yok
Mayıs	42	76,66	70,32	1277,13	654,02	869,64	1,32	-0,60	-0,46	Trend yok
Haziran	42	32,17	35,64	249,70	291,53	260,30	0,43	0,33	0,76	Trend yok
Temmuz	42	10,52	10,54	6,18	10,38	7,60	0,11	0,00	0,02	Trend yok
Ağustos	42	11,69	10,49	11,55	8,30	8,93	0,13	-0,11	-0,85	Trend yok
Eylül	42	10,36	11,60	7,53	7,53	28,16	13,75	0,27	0,12	Trend yok
Ekim	42	65,71	67,31	775,55	1381,09	717,27	2,56	0,15	0,06	Trend yok
Kasım	42	107,11	88,49	2089,29	1141,94	1487,62	1,52	-1,77	-1,16	Trend yok
Aralık	42	103,07	97,06	2512,92	3322,80	2797,61	1,48	-0,57	-0,39	Trend yok

$|Z| \geq 1,96$ kritik trend, $|Z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|Z| \geq 1,28$ trend var.

4.1.3. Mann Kendall Testi Sonuçları

Tablo 4.2; 1981-2022 yılları arasındaki aylık, mevsimlik ve yıllık yağışlara yönelik Mann-Kendall test sonuçlarını göstermektedir. Test, zaman serilerindeki trendleri belirlemek için kullanılmıştır. Genel olarak, yıllık yağış verilerinde belirgin bir trend bulunmamaktadır. Mevsimsel olarak sadece Sonbaharda kritik azalan bir trend ($z < -1,96$) tespit edilmiştir. Diğer mevsimlerde ise anlamlı bir trend gözlemlenmemektedir. Aylık bazda incelendiğinde, Ocak ayında kritik düzeyde artan bir trend ($z > 1,96$), Kasım ayında ise kritik düzeyde azalan bir trend ($z < -1,96$) tespit edilmiştir. Diğer aylarda Mann-Kendall testine göre belirgin bir trend bulunmamaktadır.

Genel bir sonuç ile;

- **Ocak ayında yağış artıyor** (çok güçlü şekilde).
- **Kasım ve Sonbahar genelinde yağış azalıyor.**
- Diğer dönemlerde ve aylarda **anlamlı trend bulunmuyor.**

Tablo 4.2. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (Kaynak: CHIRPS)

Sezonlar	Periyod	n	S (D-3.7)	Var(s) (D-3.8)	Z (D-3.9)	Karar
Yıllık	1981-2022	42	-75	7927	-0,85	Trend Yok
Kış	1981-2022	42	83	7927	0,92	Trend Yok
İlkbahar	1981-2022	42	-59	7927	-0,67	Trend Yok
Yaz	1981-2022	42	-51	7927	-0,58	Trend Yok
Sonbahar	1981-2022	42	-175	7927	-1,98	Kritik azalan trend
Ocak	1981-2022	42	245	7927	2,74	Kritik artan trend
Şubat	1981-2022	42	-95	7927	-1,08	Trend Yok
Mart	1981-2022	42	3	7927	0,02	Trend Yok
Nisan	1981-2022	42	-77	7927	-0,88	Trend Yok
Mayıs	1981-2022	42	-9	7927	-0,11	Trend Yok
Haziran	1981-2022	42	5	7927	0,04	Trend Yok
Temmuz	1981-2022	42	-69	7927	-0,79	Trend Yok
Ağustos	1981-2022	42	-73	7927	-0,83	Trend Yok
Eylül	1981-2022	42	49	7927	0,54	Trend Yok
Ekim	1981-2022	42	-63	7927	-0,72	Trend Yok
Kasım	1981-2022	42	-261	7927	-2,94	Kritik azalan trend
Aralık	1981-2022	42	-7	7927	-0,09	Trend Yok

$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

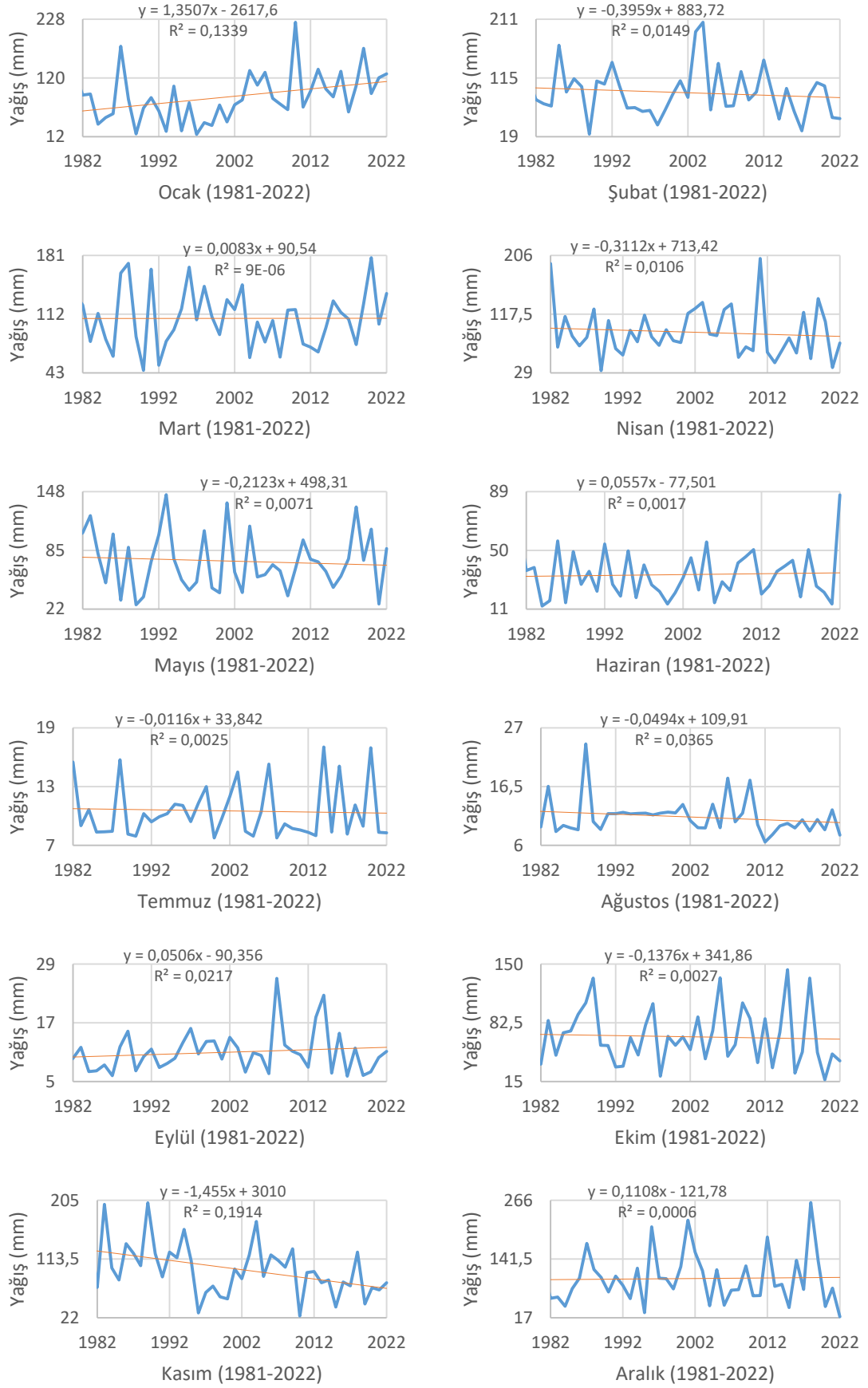
4.1.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları

Şekil 4.3 incelendiğinde aylık verilere ait sonuçlar görülmektedir. Ocak, Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarında trend çizgisinin eğimi pozitif olduğundan artan bir trend vardır. Ocak ayına ait eğim değeri 1,35 gibi büyük bir değer iken Aralık ayına ait eğim değeri 0,11 olarak küçük, Eylül ve Haziran ayına ait eğim 0,05; Mart ayına ait eğim 0,008 değeri ise sıfıra yakın bir değerdir. Bu aylardan Ocak ayına ait sıcaklık değerlerindeki artan trend belirgin bir şekilde gözükmemektedir.

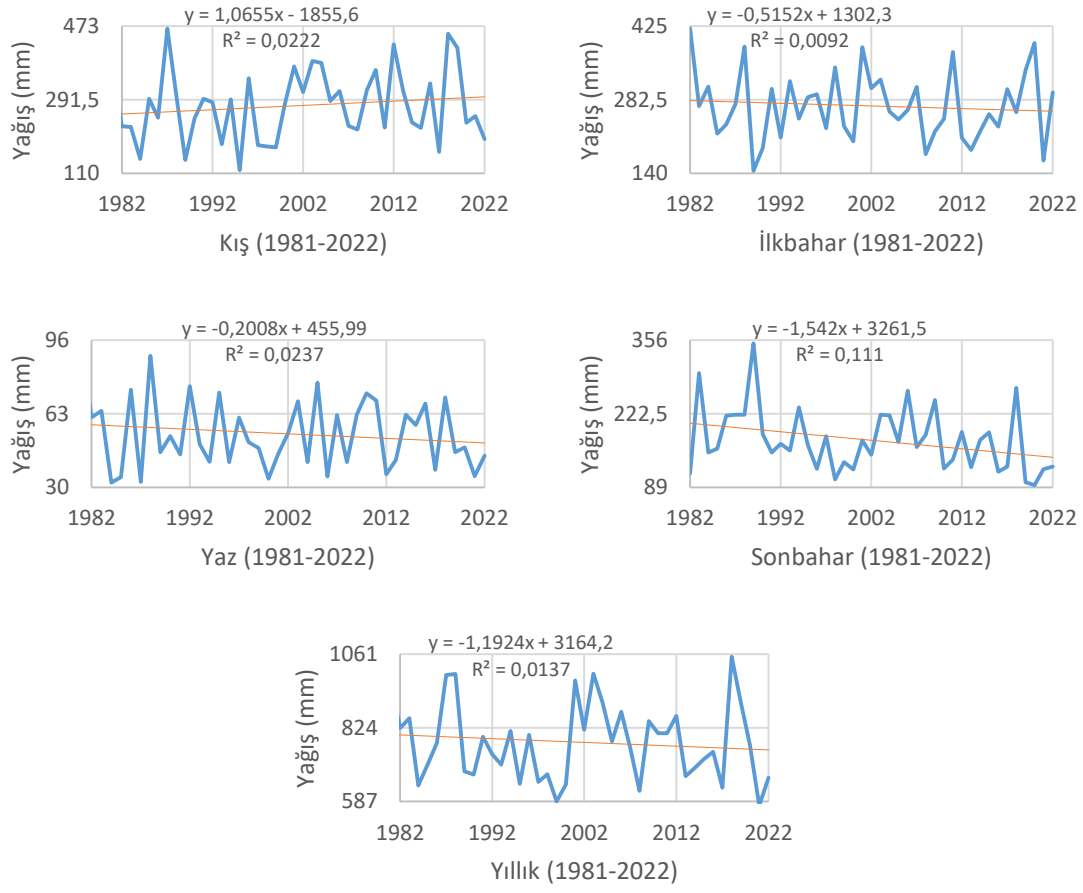
Şubat, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos, Ekim ve Kasım aylarında trend çizgisinin eğimi negatif olduğundan azalan bir trend vardır. Şubat ayına ait eğim değeri -0,39; Nisan ayına ait eğim değeri -0,31, Mayıs ayına -0,21, Temmuz ayına ait eğim -0,01; Ağustos ayına ait eğim -0,04; Ekim ayına ait eğim -0,13 değeri belirlenmiştir. Eğimler görece küçük değerlere tekabül etmektedirler.

Şekil 4.4 incelendiğinde sezonluk ve yıllık verilere ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yıllık, Sonbahar, Yaz ve İlkbahar ayı verilerine ait trend çizgisinin eğimi negatif olduğundan azalan bir trend vardır. Yıllık yağış verilerine ait trend çizgisinin eğimi -1,19; Sonbahar sezonu yağış verilerine ait eğim -1,54; Yaz sezonu yağış verilerine ait eğim -0,20; İlkbahar sezonu yağış verilerine ait eğim -0,51 değeri olarak hesaplanmıştır. Sonbahar sezonunda yağış verilerinde daha büyük azalışlar gözükmemektedir. Kış sezonunda trend çizgisinin eğimi pozitif olduğundan artan bir trend vardır. Bu sezonun yağış verilerine ait eğim değeri 1,06 olarak belirlenmiştir.

Korelasyon katsayısının karesi olan *R-kare* değeri Mart ayında neredeyse sıfır, veya sıfıra yakinken, Kasım ayında 0,1914 *R-kare* değerine karşılık korelasyon katsayısı -0,44; sezonluk değerlerde ise en küçük *R-kare* değeri İlkbahar, en büyük ise Sonbahar 0,111 *R-kare* değerine karşılık olarak korelasyon katsayısı -0,33 ve yıllık *R-kare* değeri 0,0137 değerine karşılık korelasyon katsayısı -0,12 değerler olarak tespit edilmiştir. Kasım ayına ait -0,44 korelasyon katsayısı değeri yağışlardaki azalan trendin yağışlardaki diğer değerlere göre daha kuvvetli olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Aylık yağış değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: CHIRPS)



Şekil 4.4. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık yağış değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: CHIRPS)

Ayrıca küçük bir kıyaslama imkânı sunması açısından Tablo 4.3 verilmiştir.

Tablo 4.3. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Yağış)

Test	Yıllık	Kış	Sonbahar	Ocak	Kasım	Diğer Aylar
MK	Trend yok	Trend yok	Kritik azalan trend	Kritik artan trend	Kritik azalan trend	Trend yok
ITA_R	Trend yok	Kritik artan trend	Trend yok	Kritik artan trend	Trend yok	Trend yok
LR	Azalan trend (1,19 mm/yıl)	Artan trend (1,06 mm/yıl)	Azalan trend (0,51 mm/yıl)	Artan trend (1,35 mm/yıl)	Azalan trend (1,45 mm/yıl)	Değişken trend

Üçü de Ocak ayında yağışların önemli şekilde arttığını doğruluyor.

- **ITA_R**, Kış mevsiminde artışı gösteriyor, MK testinde böyle bir şey gözlenmemiş.

- **MK testi**, özellikle Sonbaharda ve Kasım ayında yağışlarda ciddi azalma olduğunu gösteriyor; ITA_R bunu doğrulamamış.
- **LR** Yıllık değerlerde azalış gösteriyor ama MK ve ITA_R testlerinde böyle bir şey gözlenmemiş.

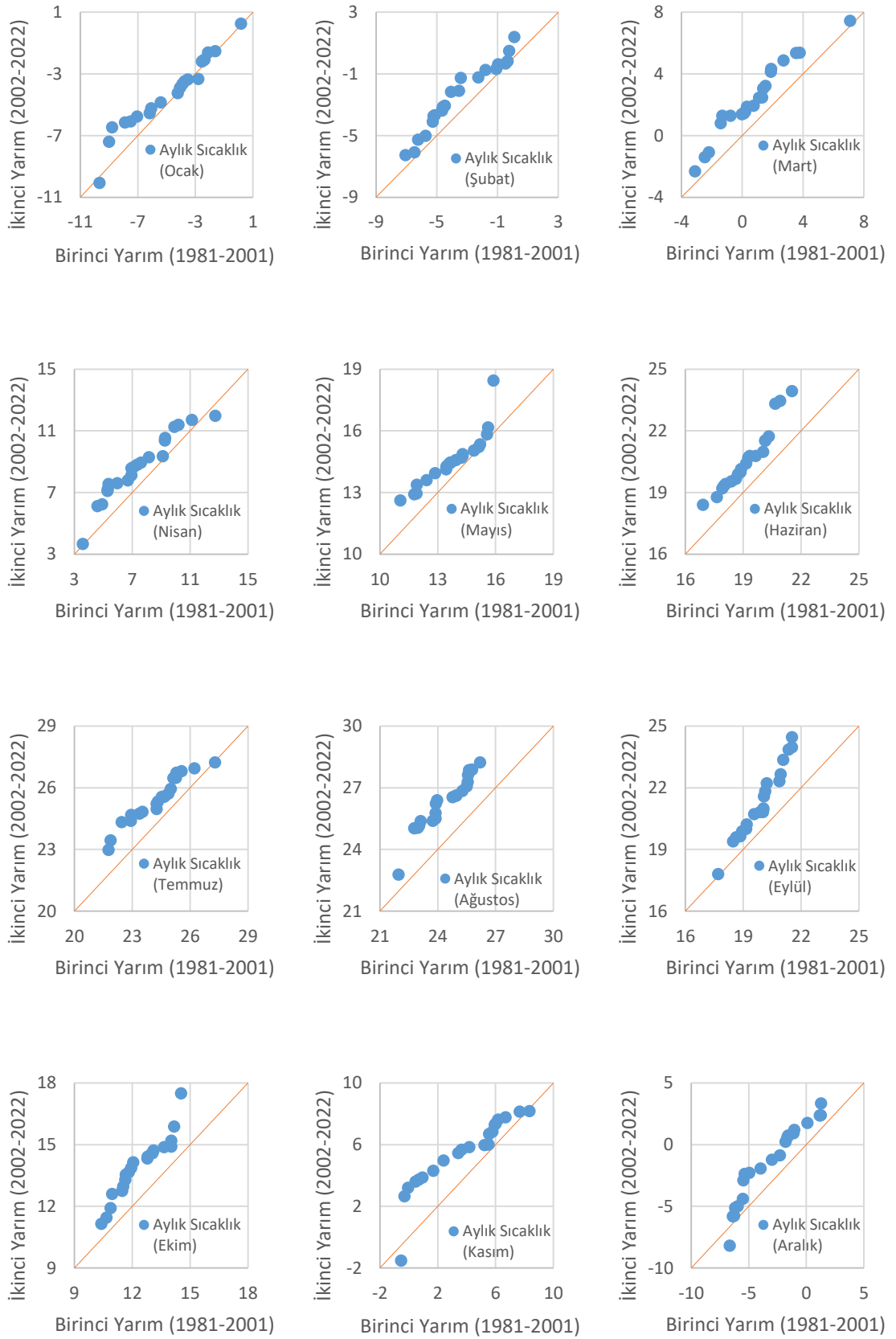
4.2. Sıcaklık Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları

Kuvvetlenen sera etkisi, Yerkürenin enerji dengesini bozarak pozitif ışımsal zorlanma yaratmakta ve bu durum, iklimin ısınmasına neden olmaktadır. 1906-2005 yılları arasında küresel ortalama yüzey sıcaklıkları 0,74 °C artış göstermiştir. Atmosferde biriken sera gazlarının, sıcaklık, yağış, nem ve rüzgâr gibi iklim değişkenlerinde hem bölgesel hem de küresel ölçekte değişimlere yol açması beklenmektedir. Gelişmiş iklim modelleri, 1990-2100 yılları arasında küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının yaklaşık 3°C artacağı tahmininde bulunmakta ve bu artışın 2 ile 4,5 °C arasında gerçekleşme olasılığına dikkat çekmektedir (Türkeş, 2008). Halihazırdaki bazı canlı yaşamlarının bu artış miktarını tolere etmesi oldukça zordur. Yerel sıcaklıklardaki gidişatın bu tespiti paralellik gösterip göstermediğinin anlaşılması amacıyla Vahkin Irmağı havzasının 1981-2021 yılları arasındaki sıcaklık değerleri ITA, ITA_R, MK, LR yöntemleriyle aylık, sezonluk, yıllık olarak incelenmiştir.

4.2.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları

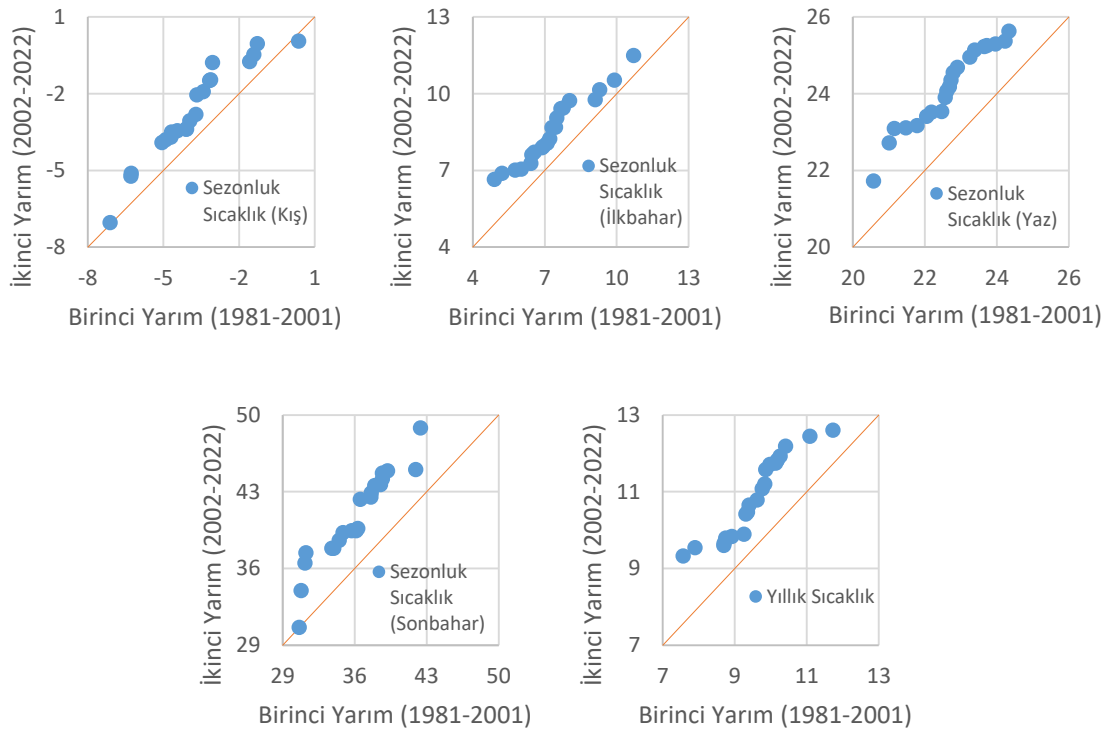
Şekil 4.5 incelendiğinde Ocak ayında sıcaklık verileri -12 °C ve +1 °C arasında değişmektedir. Düşük değerlerde (-11°C ve -7°C arasında) oldukça fazla artan trend belirlenirken, orta değerlerde (-7°C ve -3°C arasında) daha az artan trend bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık değerleri ise trend çizgisine teğet veya üzerinde olduğundan ciddi bir trend gözükmemektedir.

Şubat ayında -9°C ve -5°C mm arasında düşük değerler 1:1 trend çizgisinin üzerinde olduğundan artan trend, -5°C ve -1°C arasındaki orta değerlerde artan bir trend vardır, -1°C ve +3°C arasındaki yüksek değerler seyrek ve artan bir trende sahiptir.



Şekil 4.5. Aylık sıcaklık değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)

Geri kalan tüm aylarda, sezonlarda, yıllık sıcaklık grafiklerinde daha belirgin bir şekilde monotonik, bütüncül, çok düzenli artan trendler görülmektedir. Özellikle Haziran ve Ağustos ile Yaz ve Yıllık değerlerdeki trendlerde 1:1 trend çizgisine olan uzaklıklar daha fazla ve trendler daha kararlı bir görünüme sahiptirler (Şekil 4.6). Ocak, Kasım ve Aralık aylarında minimum sıcaklık rekorları yenilenmiş yani daha düşük minimum sıcaklıklar görülmüştür. Sonbahar ve Yaz sezonlarının trend çizgileri diğer sezonlara göre 1:1 trend yok çizgisine daha uzak mesafede yani trend eğimi daha fazladır.



Şekil 4.6. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)

4.2.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları

ITA_R Tablo 4.4'e bakıldığında Ocak ayı için trend bulunmadığı, geri kalan tüm aylarda artan ve bunların çoğunda da artan bu trendlerin kritik seviyede olduğu görülmektedir (Tablo 5.4). Yıllık; İlkbahar, Yaz ve Sonbahar sezonları; Mart, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Ekim ayları kritik artana trende ($z > 1,96$) sahiptirler. Kış sezonu; Şubat, Nisan ve Eylül ayları anlamlı artan trend değer değerleri ($z > 1,65$) sergilemektedir. Bunun yanında Mayıs, Kasım ve Aralık aylarında artan trend değerleri ($z > 1,28$) hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait ITA_R sonuçları
(Kaynak: ECMWF ERA5)

Sezonlar	n	$\bar{x}$	$\bar{y}$	Var(x) (D-3.14)	Var(y) (D-3.15)	Cov(x,y) (D-3.16)	Trend Sapma (D-3.13)	Trend Eğim (D-3.17)	Z (D-3.18)	Karar
Yıllık	42	9,56	10,87	0,94	1,11	0,96	0,03	0,13	3,72	Kritik artan trend
Kış	42	-3,79	-2,73	3,21	3,41	3,16	0,05	0,10	1,94	Anlamli artan trend
İlkbahar	42	7,34	8,53	2,14	1,76	1,89	0,03	0,11	3,26	Kritik artan trend
Yaz	42	22,65	24,14	1,11	1,10	1,08	0,02	0,14	6,27	Kritik artan trend
Sonbahar	42	36,09	40,63	11,57	18,00	13,69	0,14	0,43	3,07	Kritik artan trend
Ocak	42	-4,79	-4,23	7,51	5,59	6,29	0,07	0,05	0,77	Trend Yok
Şubat	42	-3,48	-2,43	5,29	4,82	4,91	0,05	0,10	1,94	Anlamli artan trend
Mart	42	0,78	2,35	5,59	5,70	5,49	0,05	0,15	2,78	Kritik artan trend
Nisan	42	7,50	8,68	5,58	4,35	4,74	0,06	0,11	1,76	Anlamli artan trend
Mayıs	42	13,75	14,57	1,91	1,64	1,61	0,05	0,08	1,45	Artan trend
Haziran	42	19,20	20,64	1,40	2,31	1,74	0,05	0,14	2,99	Kritik artan trend
Temmuz	42	24,30	25,43	1,95	1,28	1,53	0,04	0,11	2,67	Kritik artan trend
Ağustos	42	24,43	26,34	1,47	1,73	1,53	0,04	0,18	5,11	Kritik artan trend
Eylül	42	19,92	21,29	1,14	2,97	1,80	0,07	0,13	1,92	Anlamli artan trend
Ekim	42	12,39	13,92	1,55	2,23	1,76	0,05	0,15	3,08	Kritik artan trend
Kasım	42	3,78	5,42	7,85	5,40	5,95	0,11	0,16	1,41	Artan trend
Aralık	42	-3,11	-1,53	7,68	10,45	8,57	0,09	0,15	1,59	Artan trend

$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamli trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

ITA_R yönteminin z-skorları incelendiğinde mevsimlerden Yaz sezonu 6,27 ile en yüksek değere sahipken, aylardan Ağustos ayı 5,11 gibi büyük bir değerle onu izlemektedir. En büyük ortalama sıcaklık değeri Temmuz ayında 25 °C hesaplanırken, en düşük ortalama sıcaklık değeri Kış aylarından Ocak ayı olup -4,5°C hesaplanmış ve yıllık ortalama sıcaklık ise 10°C civarında görülmektedir. Artan bu trendler dikkate alındığında bu değerlerin daha da artacağı tahmin edilmektedir.

Genel bir sonuç ile;

- **Tüm yıl** boyunca sıcaklıklar **anlamli şekilde artmış**.
- **Her mevsim** sıcaklıklar artıyor.
- **En güçlü artışlar** yaz aylarında (özellikle Ağustos ayında).
- Ocak dışında yılın hemen her ayında sıcaklık artışı trendi var.

4.2.3. Mann Kendall Testi Sonuçları

Tablo 4.5 incelendiğinde, Ocak ve Mayıs ayında anlamli artan trend; Şubat, Mart, Nisan, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında, Kış, İlkbahar, Yaz, ve Sonbahar sezonlarında; Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde kritik artan trend belirlenmiştir. En yüksek z-skoru 5,41 ile Yıllık sıcaklık değerlerinde hesaplanırken en düşük z değeri 1,42 ile Ocak ayı sıcaklıklarında görünmektedir. Aylık periyotlarda, Ağustos ayı 5,10 z değeriyle sıcaklıkların en fazla artış trendi göstermiştir. Mann Kendall ve ITA_R ait sıcaklık z skorlarına bakıldığında MK yöntemi daha yüksek z değerlerine sahiptir.

1981-2022 yılları ortalama sıcaklıkların analiz edildiği aşağıdaki tabloda tüm sezonlarda artan trend olduğu tespit edilmiştir. Sadece Ocak ayındaki trendin varlığı diğer tüm sezonlara göre farklılık göstermektedir.

Tablo 4.5 incelendiğinde, sıcaklıkların tüm yıl boyunca, mevsimlere ve aylara yayılan çok güçlü bir artış trendi görülmüş ve **iklim değişikliğinin sıcaklık artışı şeklinde belirgin etkiler yarattığı gözlemlenmektedir**. Özellikle yaz ayları ve sonbahar, sıcaklık artışının en yoğun hissedildiği dönemler olmuş.

Genel bir sonuç ile;

- **Yıllık** sıcaklıklar artıyor → Kritik düzeyde.
- **Her mevsimde** sıcaklıklar artıyor → Kritik düzeyde.
- **Aylarda** özellikle yaz ve sonbahar aylarında sıcaklık artışı çok güçlü.
- **Ağustos** en yüksek artış ($Z = 5,10$).
- **Ocak** ayında artış zayıf.

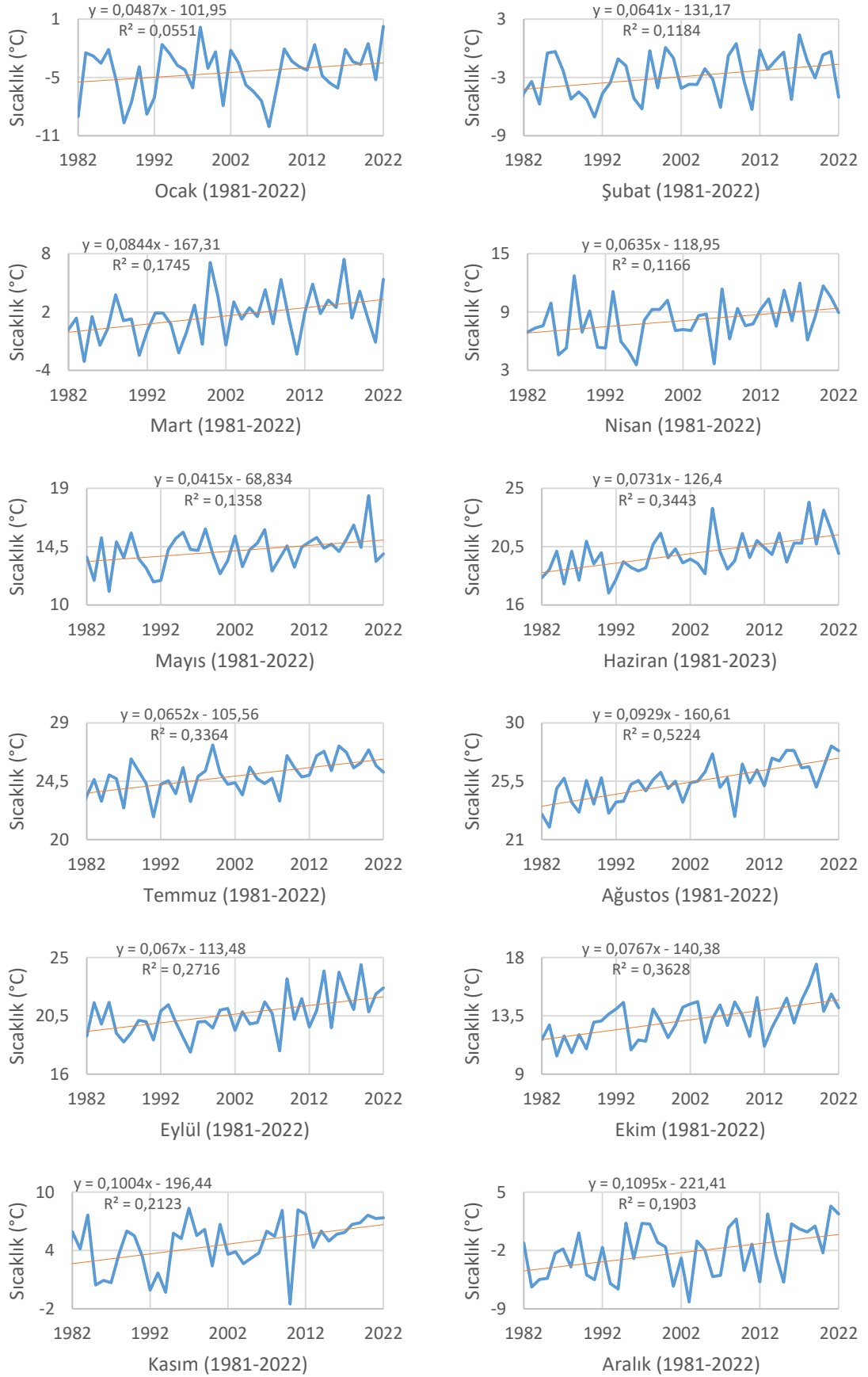
Tablo 4.5. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)

Sezonlar	Periyod	n	S (D-3.7)	Var(s) (D-3.8)	Z (D-3.9)	Karar
Yıllık	1981-2022	42	483	7927	5,41	Kritik artan trend
Kış	1981-2022	42	295	7927	3,30	Kritik artan trend
İlkbahar	1981-2022	42	323	7927	3,62	Kritik artan trend
Yaz	1981-2022	42	473	7927	5,30	Kritik artan trend
Sonbahar	1981-2022	42	417	7927	4,67	Kritik artan trend
Ocak	1981-2022	42	127	7927	1,42	Artan trend
Şubat	1981-2022	42	273	7927	3,06	Kritik artan trend
Mart	1981-2022	42	267	7927	2,99	Kritik artan trend
Nisan	1981-2022	42	233	7927	2,61	Kritik artan trend
Mayıs	1981-2022	42	171	7927	1,91	Anlamli artan trend
Haziran	1981-2022	42	363	7927	4,07	Kritik artan trend
Temmuz	1981-2022	42	357	7927	4,00	Kritik artan trend
Ağustos	1981-2022	42	455	7927	5,10	Kritik artan trend
Eylül	1981-2022	42	293	7927	3,28	Kritik artan trend
Ekim	1981-2022	42	373	7927	4,18	Kritik artan trend
Kasım	1981-2022	42	293	7927	3,28	Kritik artan trend
Aralık	1981-2022	42	251	7927	2,81	Kritik artan trend

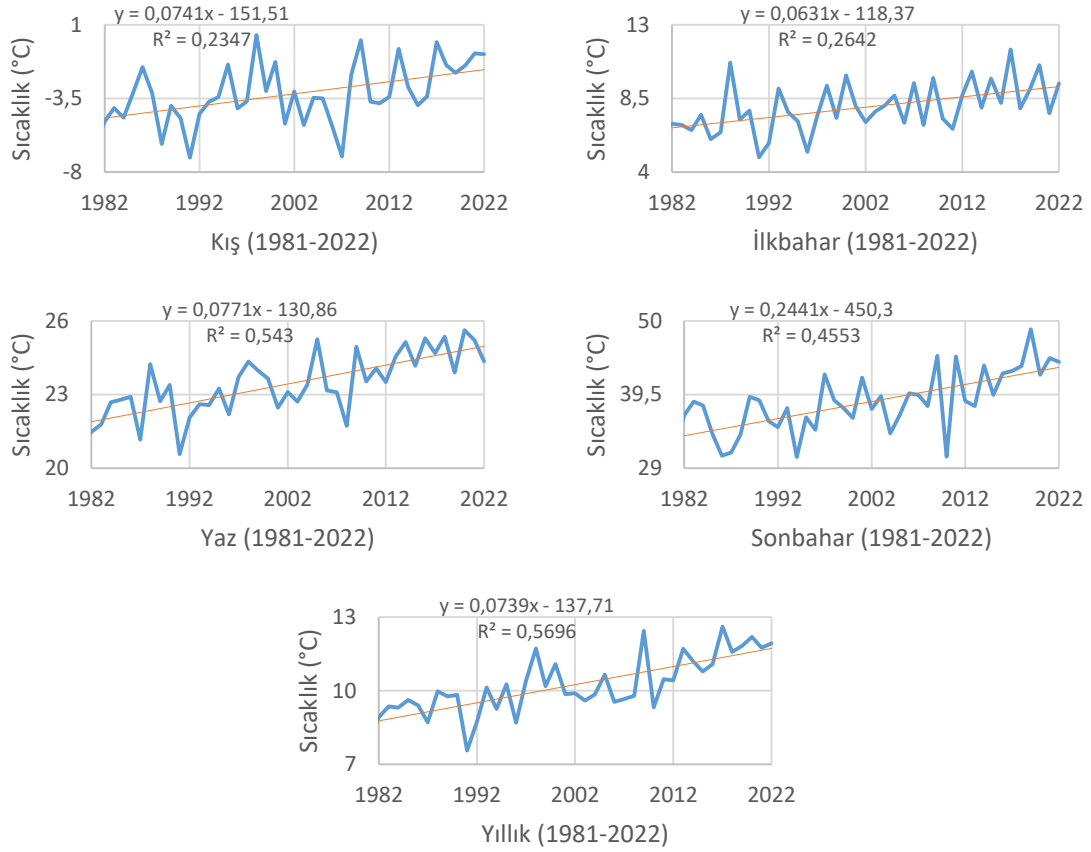
$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

4.2.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları

Şekil 4.7 ve 4.8 incelendiğinde aylık verilere ait şu sonuçlar elde edilmiştir. Tüm aylık, sezonluk, yıllık periyotlarda trend çizgisinin eğimi pozitif olduğundan artan trend vardır. En yüksek eğim değeri $0,24 \text{ }^{\circ}\text{C/yıl}$ ile Sonbahar sezonuna aittir. En yüksek *R-kare* değeri $0,569$ ile Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde görünmektedir. Buna ait korelasyon katsayısı ise bu değerın karekökü alındığında $0,75$ olarak kuvvetli artan bir bağıntı elde edilir. Geriye kalan periyotlara bakıldığında Yaz sezonu $0,543$ ile ikinci sırayı almaktadır. Buna ait korelasyon katsayısı $0,74$ değeri kuvvetli bağıntı olduğuna işaret etmektedir. Sırasıyla Ağustos, Ekim, Temmuz aylarında ve Sonbahar sezonu gelmektedir ve bu döneme ait sıcaklık değerlerinde de oldukça yüksek korelasyonlar bulunmaktadır. En düşük değerlere bakıldığında ise $0,055$ *R-kare* değeri ile Ocak ayı gelmektedir. Bu değere ait korelasyon değeri $0,23$ olarak elde edilir ve bu değer görece diğer tüm değerlerden daha azdır. En düşük ikinci ve üçüncü *R-kare* değeri ise $0,117$ ile Nisan ve $0,118$ ile Şubat ayı almaktadır. Korelasyon değerleri $0,23$ (Ocak ayı) ile $0,75$ (Yıllık) arasında değişmektedir



Şekil 4.7. Aylık sıcaklık değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)



Şekil 4.8. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık sıcaklık değerlerine ait Doğrusal Regresyon Sonuçları (Kaynak: ECMWF ERA5)

Ayrıca küçük bir kıyaslama imkânı sunması açısından Tablo 4.6 verilmiştir.

Tablo 4.6. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Sıcaklık)

Test	Genel Trend	Şiddet
ITA_R	Artan sıcaklık	Daha temkinli, bazı aylarda düşük
MK	Artan sıcaklık	Daha güçlü, çoğu ayda kritik artış
LR	Artan sıcaklık	Güçlü R² (0,569) ve yüksek eğim (0,24 °C/yıl) değerleri

Üçü de **sıcaklıkların arttığını** gösteriyor.

- Mann-Kendall testi, trendleri **daha kuvvetli** buluyor.
- ITA_R daha **ihtiyatlı** sonuç veriyor.
- LR yöntemi MK ve ITA_R ile benzer sonuç veriyor.

4.3. Buharlaşma - Terleme (Evapotranspirasyon) Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları

Buharlaşma-terleme, suyun topraktan atmosfere buharlaşma (evaporasyon) yoluyla ve bitkilerden atmosfere terleme (transpirasyon) yoluyla taşınmasıdır. Bu süreç, hidrolojik döngünün önemli bir bileşeni olup, potansiyel ve gerçek olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanabilir. Potansiyel buharlaşma-terleme, ortamda yeterli miktarda su bulunduğu varsayıldığında gerçekleşebilecek su kaybı miktarını ifade eder. Ancak, genellikle ihtiyaç duyulan, gerçek buharlaşma-terleme miktarının belirlenmesidir. Gerçek buharlaşma-terleme, yüzeyden atmosfere gerçekte taşınan su miktarıdır ve hidrolojik modellerde enerji dengesi ve ısı akışı ile ilişkilendirilen temel bir parametredir. Yağış ve sıcaklık parametrelerine direkt olarak bağlıdır. Vahkin Irmağı havzasında buharlaşma-terleme parametresi ITA, ITA_R, MK ve LR yöntemleriyle aylık, sezonluk ve yıllık dönemlerde incelenmiştir.

4.3.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları

Şekil 4.9 incelendiğinde aylık verilere ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ocak ayında buharlaşma-terleme verileri 0-3 mm arasında çeşitleniyor. Bu aya ait tüm veriler 1:1 doğrusunun üst kısmında ve bu çizgiye giderek artan bir uzaklık göstererek devam etmekte ve dolayısıyla artan bir trend göstermektedir. 0-1 mm arasındaki düşük değerlerde yoğunlaşma daha çoktur. İkinci yarım dönemde (1981-2000) orta (1-2 mm) ve yüksek (2-3 mm) buharlaşma-terleme değerleri görülmemektedir. Şubat ayında tüm değerler 1:1 trend çizgisinin üst tarafında kalmakta ve giderek bu çizgiden uzaklaşmaktadırlar. Bu ayda monotonik artan bir trend söz konusudur. Mart ayında 11-20 mm arasındaki düşük değerlerde trend belirlenmezken, 20-29 mm arasındaki orta değerler ve 29-38 mm arasındaki yüksek değerler artan trende sahiptir. Nisan ayında yağış verileri 43-67 mm arasında çeşitlenmektedir. 43-51 mm arasındaki düşük değerler trend çizgisine teğet veya hemen üzerine düştüklerinden trend belirlenmezken, 51-60 mm arasındaki orta değerler artan düşük bir trend görülmektedir. 60,7-66,5 saçılma noktasındaki bir değer artan trende uyum sağlamış fakat radikal bir sapma olarak gözükmemektedir. Mayıs ayı düşük değerleri y ekseninde 79 mm etrafındaki sabit görünümlü düşük değerler x eksenine paralel gitmekte olduklarından artan bir trend göstermiştir. 79-89 mm arası orta değerlerde ve yüksek (89-

99 mm) değerlerde artan bir trend söz konusudur. Benzer şekilde geriye kalan tüm aylık periyotlarda buharlaşma terleme değerlerine ait trendler monotonik artan trend barındırmaktadırlar. Ancak Aralık ayındaki gidişatlar artan yönde olsa da dağılım olarak diğerlerinden dikkat çeken bir farklılık sergilemektedir (Şekil 4.9).

Şekil 4.10 incelendiğinde Kış sezonuna ait buharlaşma-terleme verileri 0 – 21 mm arasında çeşitlenirken; 0-7 mm arasındaki düşük değerler yoğunlukta olup artan trend göstermektedirler. 0,7-14 mm arasındaki orta değerler az ve artan trenddedir. 14-21 mm arasında bulunan iki adet yüksek değer bulunmaktadır.

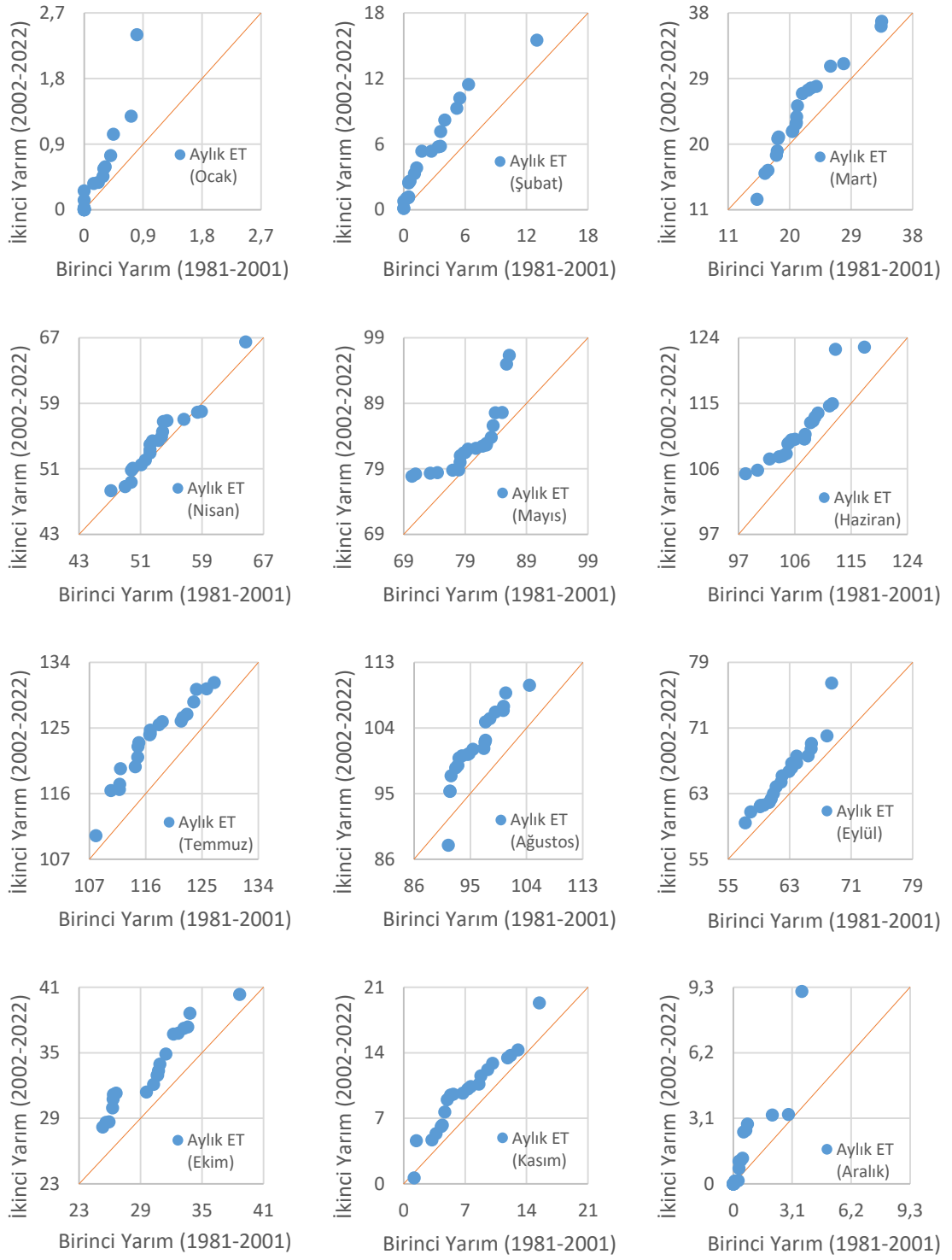
İlkbahar sezonunda 133-190 mm arasında bulunan değerlerden 133-152 mm arasındaki düşük değerler artan trend, 152-171 mm arasındaki orta değerler artan trend ve 171-190 mm arasındakü üç adet yüksek değer bulunmaktadır.

Yaz sezonuna ait buharlaşma-terleme verileri 299– 359 mm arasında çeşitlenirken; 299-319 mm arasındaki bir adet düşük değer radikal sapma göstermektedir. 319-339 mm arasındaki orta değerler monotonik artan trenddedir. 339-359 mm arasında bulunan yüksek değerler yine aynı şekilde monotonik trend olarak devam etmektedir.

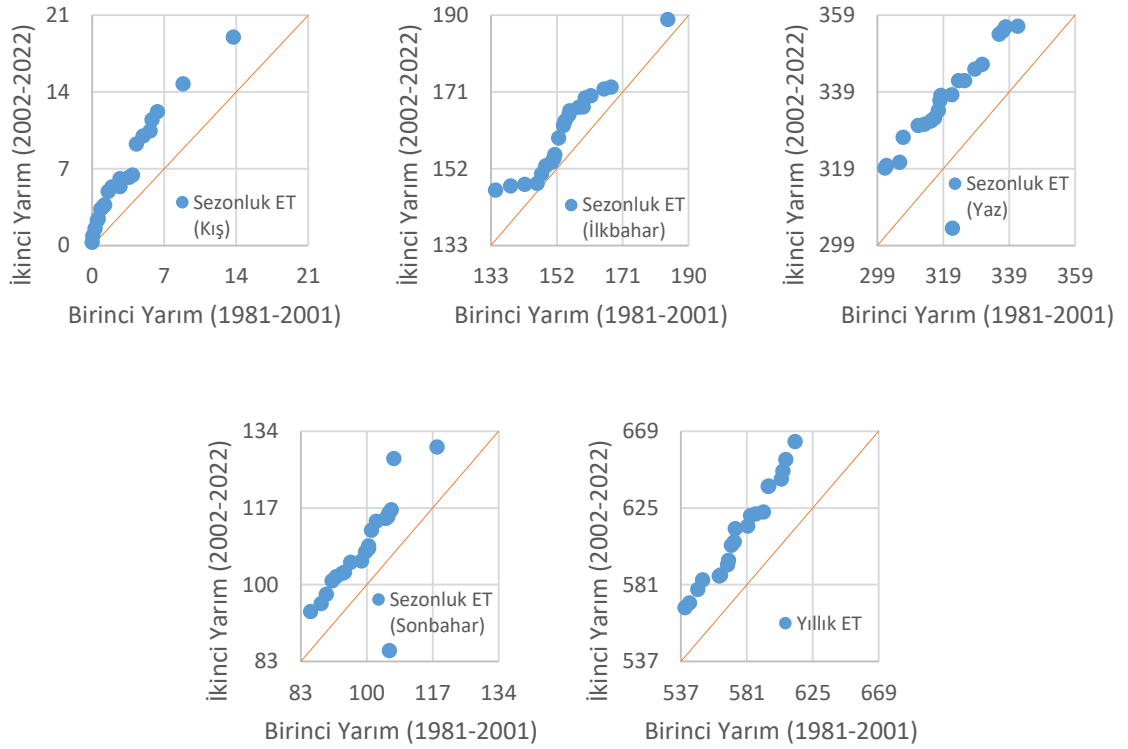
Sonbahar ait buharlaşma-terleme verileri 83 – 134 mm arasında çeşitlenirken; 83-100 mm arasındaki düşük değerler artan trend göstermektedirler. 100-117 mm arasındaki orta değerler artan trenddedir. 117-134 mm arasında bulunan iki adet yüksek değer bulunmaktadır.

Yıllık buharlaşma-terleme verileri 537 – 669 mm arasında çeşitlenirken; 537-581 mm arasındaki düşük değerler artan trend göstermektedirler. 581-625 mm arasındaki orta değerler yine artan trenddedir. 625-669 mm arasında bulunan yüksek değerler monotonik trend şeklinde devam etmektedir.

Genel olarak sıcaklık değerlerine ait değerler monotonik artan ve artan trend görünümündedirler.



Şekil 4.9. Aylık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate)



Şekil 4.10. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate)

4.3.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları

ITA_R tablosuna bakıldığında Sonbahar sezonu; Aralık, Ocak, Mart, Nisan ve Mayıs ayları için trend bulunmamaktadır. Ayrıca Kış sezonu ve Eylül ayı anlamlı artan ($z > 1,65$) gösterirken Şubat ve Kasım artan trend ($z > 1,28$) göstermektedir. Yıllık; İlkbahar ve Yaz sezonları; Haziran, Temmuz, Ağustos ve Ekim ayları kritik seviyede ($z > 1,96$) artan trend göstermektedir (Tablo 4.7).

Buharlaşma-terleme değerlerine ait z-değerleri incelendiğinde maksimum değer 4,55 ile Yıllık periyotta hesaplanırken onu takiben 3,66 ile Temmuz ayı gelmektedir. En küçük 0,02 ve 0,07 trend eğim değerleriyle Ocak ve Aralık ayları bulunmaktadır. Yine en düşük buharlaşma terleme değerlerinin Kış sezonuna ve Ocak ayına ait oldukları, en yüksek ise Yaz sezonu ve Temmuz ayına ait oldukları görülmektedir.

Genel bir sonuç ile;

- Yıllık ve yaz mevsimi boyunca ET değerlerinde belirgin bir artış var.
- Haziran, Temmuz, Ağustos, Ekim aylarında kritik artış tespit edilmiş.

- Kış ve Bahar sezonlarının bazı aylarında artış zayıf veya anlamsız.
- Sonbahar genelinde belirgin bir trend görülmemiş, ancak Kasım'da artış trendi var.

ITA_R analizi, 1981–2022 döneminde Yıllık ve Yaz aylarında **kritik düzeyde ET artışı** tespit etmiştir. Özellikle **Haziran, Temmuz ve Ağustos** aylarında buharlaşma-terleme değerleri anlamlı şekilde artmıştır. Kış aylarında artış trendi görece daha sınırlıdır.

Tablo 4.7. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme değerlerine ait ITA_R sonuçları (*Kaynak: TerraClimate*)

Sezonlar	n	$\bar{x}$	$\bar{y}$	Var(x) (D-4.14)	Var(y) (D-4.15)	Cov(x,y) (D-4.16)	Trend Sapma (D-4.13)	Trend Eğim (D-4.17)	Z (D-4.18)	Karar
Yıllık	42	577,41	611,48	474,17	781,47	599,81	0,71	3,25	4,55	Kritik artan trend
Kış	42	3,35	6,63	11,57	23,89	16,27	0,16	0,31	1,92	Anlamlı artan trend
İlkbahar	42	154,31	161,06	113,66	116,26	110,61	0,28	0,64	2,29	Kritik artan trend
Yaz	42	320,44	336,08	139,60	188,63	132,71	0,75	1,49	1,97	Kritik artan trend
Sonbahar	42	99,32	107,71	61,38	115,34	62,33	0,69	0,80	1,16	Trend Yok
Ocak	42	0,17	0,39	0,06	0,35	0,14	0,03	0,02	0,60	Trend Yok
Şubat	42	2,58	4,90	9,71	17,38	12,45	0,14	0,22	1,57	Artan trend
Mart	42	21,85	24,14	24,38	40,08	30,18	0,19	0,22	1,14	Trend Yok
Nisan	42	52,80	53,93	20,41	18,36	18,58	0,12	0,11	0,89	Trend Yok
Mayıs	42	79,66	82,98	21,05	25,87	19,19	0,28	0,32	1,14	Trend Yok
Haziran	42	106,96	111,36	19,45	21,02	18,79	0,16	0,42	2,59	Kritik artan trend
Temmuz	42	117,45	123,33	28,62	28,46	27,25	0,15	0,56	3,66	Kritik artan trend
Ağustos	42	96,02	101,39	13,06	26,31	16,85	0,23	0,51	2,25	Kritik artan trend
Eylül	42	62,43	65,24	9,58	15,69	11,79	0,12	0,27	2,15	Anlamlı artan trend
Ekim	42	29,74	32,87	13,94	17,14	14,61	0,13	0,30	2,29	Kritik artan trend
Kasım	42	7,14	9,61	14,94	17,29	15,48	0,11	0,23	2,20	Artan trend
Aralık	42	0,59	1,33	1,02	4,61	1,97	0,12	0,07	0,57	Trend Yok

$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

4.3.3. Mann Kendall Testi Sonuçları

MK tablosuna bakıldığında Sonbahar sezonu; Ocak ve Aralık ayları için trend bulunmamaktadır. Ayrıca Şubat, Mart, Nisan ayları anlamlı artan ($z > 1,65$) gösterirken Şubat ve Kasım artan trend ($z > 1,28$) göstermektedir. Geriye kalan tüm periyotlarda kritik seviyede ($z > 1,96$) artan trend göstermektedir (Tablo 4.8).

Buharlaşma-terleme değerlerine ait z-değerleri incelendiğinde maksimum değer 5,28 ile Yıllık periyotta hesaplanırken onu takiben 5,08 ile Yaz sezonu gelmektedir. En küçük

0,27 ve 0,49 z-skor değerleriyle Ocak ve Aralık ayları bulunmaktadır. Yine en düşük buharlaşma terleme değerlerinin Kış sezonuna ve Aralık ayına ait oldukları, en yüksek ise Yaz sezonu ve Ağustos ayına ait oldukları görülmektedir.

Genel bir sonuç ile;

- Yıllık ve yaz mevsimi boyunca ET değerlerinde belirgin bir artış var.
- Haziran, Temmuz, Ağustos, Ekim aylarında kritik artış tespit edilmiş.
- Kış ve Bahar sezonlarının bazı aylarında artış zayıf veya daha düşük anlamlılıkta.
- Sonbahar genelinde kritik artan bir trend var.

MK analizi, 1981–2022 döneminde Yıllık ve Yaz aylarında **kritik düzeyde ET artışı** tespit etmiştir. Özellikle **Haziran, Temmuz ve Ağustos** aylarında buharlaşma-terleme değerleri anlamlı şekilde artmıştır. Kış aylarında artış trendi görece daha sınırlıdır.

Tablo 4.8. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (*Kaynak: TerraClimate*)

Sezonlar	Periyod	n	S (D-4.7)	Var(s) (D-4.8)	Z (D-4.9)	Karar
Yıllık	1981-2022	42	471	7927	5,28	Kritik artan trend
Kış	1981-2022	42	259	7927	2,90	Kritik artan trend
İlkbahar	1981-2022	42	275	7927	3,08	Kritik artan trend
Yaz	1981-2022	42	453	7927	5,08	Kritik artan trend
Sonbahar	1981-2022	42	285	7927	3,19	Kritik artan trend
Ocak	1981-2022	42	45	7927	0,49	Trend Yok
Şubat	1981-2022	42	169	7927	1,89	Anlamlı artan trend
Mart	1981-2022	42	165	7927	1,84	Anlamlı artan trend
Nisan	1981-2022	42	149	7927	1,66	Anlamlı artan trend
Mayıs	1981-2022	42	199	7927	2,22	Kritik artan trend
Haziran	1981-2022	42	415	7927	4,65	Kritik artan trend
Temmuz	1981-2022	42	413	7927	4,63	Kritik artan trend
Ağustos	1981-2022	42	435	7927	4,87	Kritik artan trend
Eylül	1981-2022	42	209	7927	2,34	Kritik artan trend
Ekim	1981-2022	42	275	7927	3,08	Kritik artan trend
Kasım	1981-2022	42	253	7927	2,83	Kritik artan trend
Aralık	1981-2022	42	25	7927	0,27	Trend Yok

$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

4.3.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları

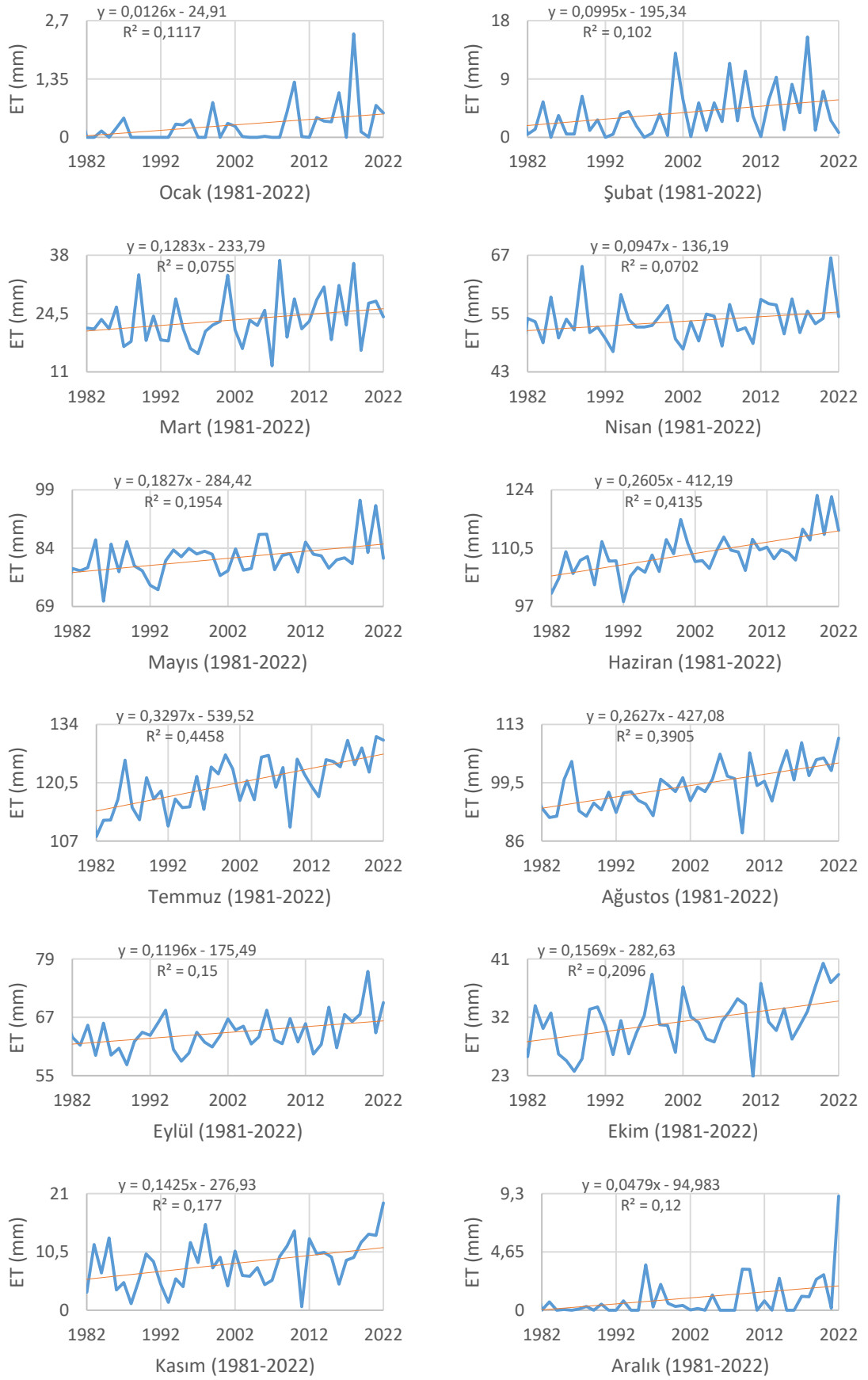
Şekil 4.11 ve 4.12 incelendiğinde aylık verilere ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Tüm aylık, sezonluk, yıllık periyotlarda trend çizgisinin eğimi pozitif olduğundan artan trend varlığı söz konusudur.

En yüksek eğim değeri 0,24 ile Sonbahar sezonuna aittir. En yüksek *R-kare* değeri 0,559 ile Yıllık değerlerde görülmektedir. Buna ait korelasyon katsayısı ise bu değer karekökü alındığında 0,75 olarak kuvvetli artan bir bağıntı elde edilir.

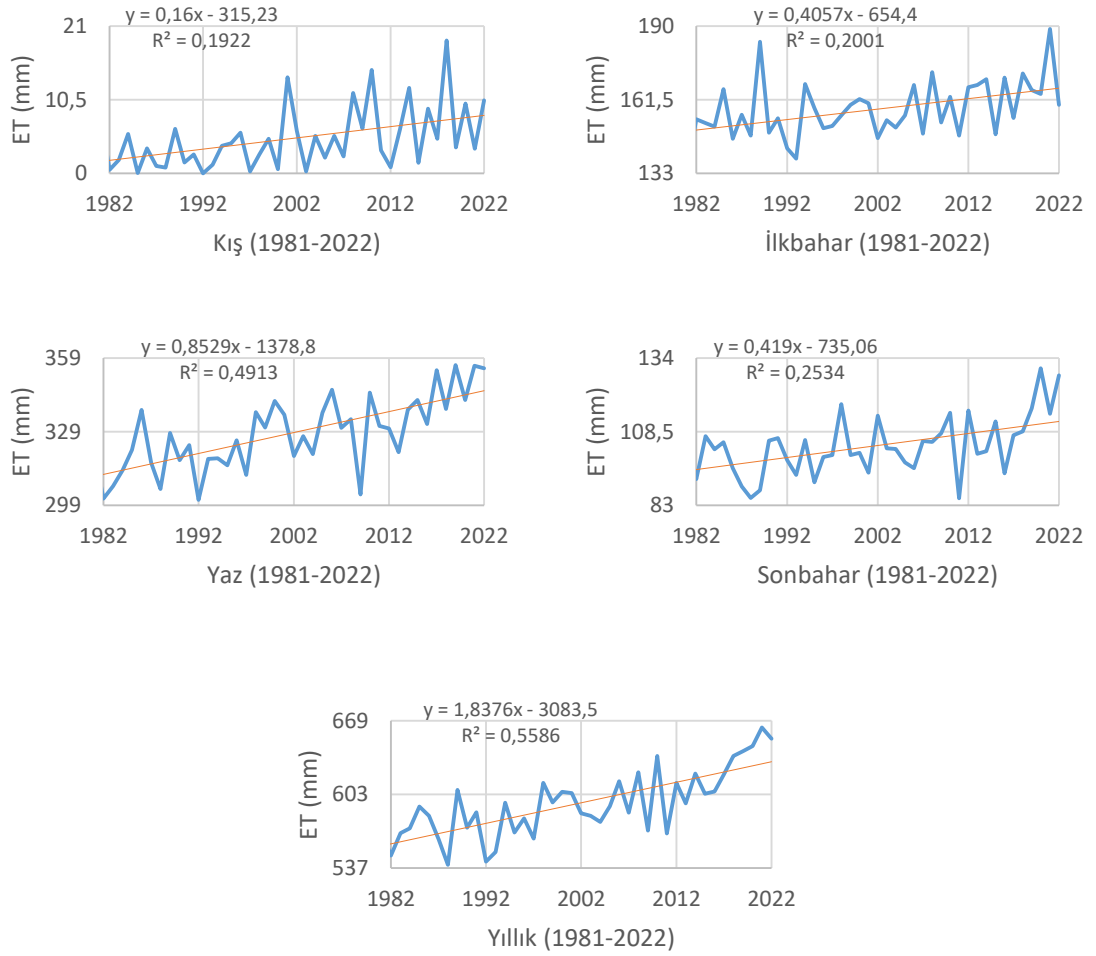
Geriye kalan periyotlara bakıldığında Yaz sezonu 0,4913 ile ikinci sırayı almaktadır. Buna ait korelasyon katsayısı 0,70 değeri kuvvetli bağıntı olduğuna işaret etmektedir. Sırasıyla Temmuz, Haziran, Ağustos ayları gelmektedir. Bu periyodik değerlerde de oldukça yüksek korelasyonlar bulunmaktadır. En düşük değerlere bakıldığında ise 0,07 *R-kare* değeri ile Nisan ayı gelmektedir. Bu değere ait korelasyon değeri 0,26 olarak elde edilir ve bu değer görece diğer tüm değerlerden daha azdır.

En düşük ikinci ve üçüncü sırayı ise *R-kare* değeri 0,076 ile Mart ve 0,102 ile Şubat ayı almaktadır. Bunlara ait korelasyon değerleri ise sırasıyla 0,275 ve 0,319 şeklindedir. Dolayısıyla korelasyon değerleri 0,28 (Nisan ayı) ile 0,75 (Yıllık) arasında değişmektedir.

Özellikle tüm *R-kare* değerleri göz önüne alındığında yaz aylarında görülen görece yüksek oranlar; trend doğrusu etrafında verilerin daha iyi toplandığını, bu doğruya yakın bir şekilde sıralandığını, zamanla daha düzenli bir trendin varlığını gösterir. Düşük değerler ise bu durumun tam tersi olduğunu, trend doğrusu etrafında iyi toplanmadığını, sıralanmadığını, zamanla düzenli bir trendin varlığından bahsetmenin zor olduğunu gösterir.



Şekil 4.11. Aylık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları



Şekil 4.12. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık buharlaşma terleme (evapotranspirasyon) değerlerine ait Doğrusal Regresyon Sonuçları (Kaynak: TerraClimate)

Ayrıca küçük bir kıyaslama imkânı sunması açısından Tablo 4.9 verilmiştir.

Tablo 4.9. Mukayeseli ITA_R, MK ve LR sonuçları (ET)

Test	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
ITA_R	Kritik artan trend	Anlamlı artan trend	Kritik artan trend	Kritik artan trend	Trend yok
MK	Kritik artan trend	Kritik artan trend	Kritik artan trend	Kritik artan trend	Kritik artan trend
LR	Artan trend (1,84 mm/yıl)	Artan trend (0,16 mm/yıl)	Artan trend (0,41 mm/yıl)	Artan trend (0,85 mm/yıl)	Artan trend (0,41 mm/yıl)

Trend yönü uyumlu (genel artış var).

- **Mann-Kendall testi** daha fazla ay ve sezon için **daha güçlü ve belirgin artış trendleri** bulmuştur.
- **ITA_R** bazı aylarda (özellikle ilkbahar ve sonbahar başlarında) trend göstermemiş veya daha düşük bulmuştur.
- LR yöntemi Mart ve Nisan aylarında en düşük *R-kare* değerlerini 0,076 ve 0,070 olarak vermiştir. Bu aylarda MK yöntemi anlamlı artan trend verirken ITA_R yöntemi herhangi bir trend göstermemiştir.

4.4. Toprak Nemi Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları

Toprak nemi, toprağın içinde barındırdığı su miktarı ya da suyu tutma kapasitesi olarak ifade edilir. Su, diğer tüm canlılar gibi toprak ve toprakta yaşayan organizmalar için de hayati öneme sahiptir. Ancak, topraktaki su miktarı su tutma kapasitesini aştığında (fazlalığı veya eksikliği), bu durum hem toprağın yapısına hem de içerisinde barınan canlılara zarar verebilir ve toprak verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Yağış, sıcaklık ve buharlaşma terleme parametrelerine direkt olarak bağlıdır. Vahkin Irmağı havzasında toprak nemi parametresi ITA, ITA_R, MK ve LR yöntemleriyle aylık, sezonluk, yıllık olarak incelenmiştir.

4.4.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları

Şekil 4.13 incelendiğinde aylık verilere ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

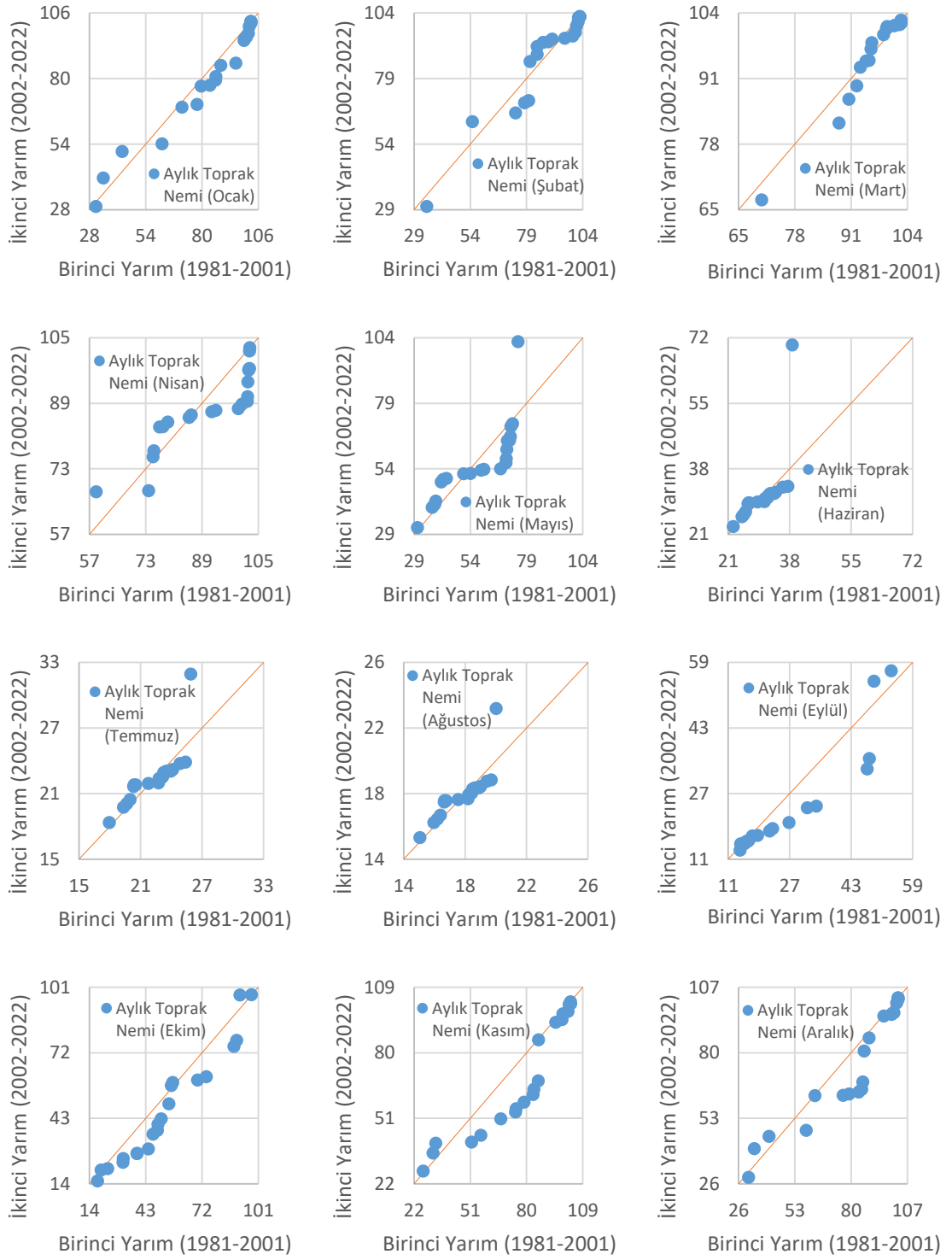
Ocak ayında toprak nemi verileri 28-106 mm arasında çeşitleniyor. Bu aya ait verilerden 28-54 mm arasındaki düşük değerler seyrek ve artan trenddedir. 54-80 mm arasındaki değerler seyrek ve trend göstermezken, 80-106 mm arasındaki yüksek değerler 1:1 doğrusunun birkaç tanesi hemen üzerinde veya teğet, geriye kalan saçılma noktalarının çoğu ise 1:1 trend çizgisinin alt tarafında olduğundan azalan trend bulunmaktadır.

Şubat ayında 29-104 mm arasında değişen değerlerden 29-54 mm arasında bir düşük değer vardır. 54-79 mm arasında bulunan orta değerler seyrek ve azalan trend görünümündedir. 79-104 mm arasındaki yüksek değerler yoğun ve trend göstermemektedir. Mart ayında 65-104 mm arasındaki değerlerden 65-78 mm arası iki düşük değer bulunmakta ve 1:1 trend

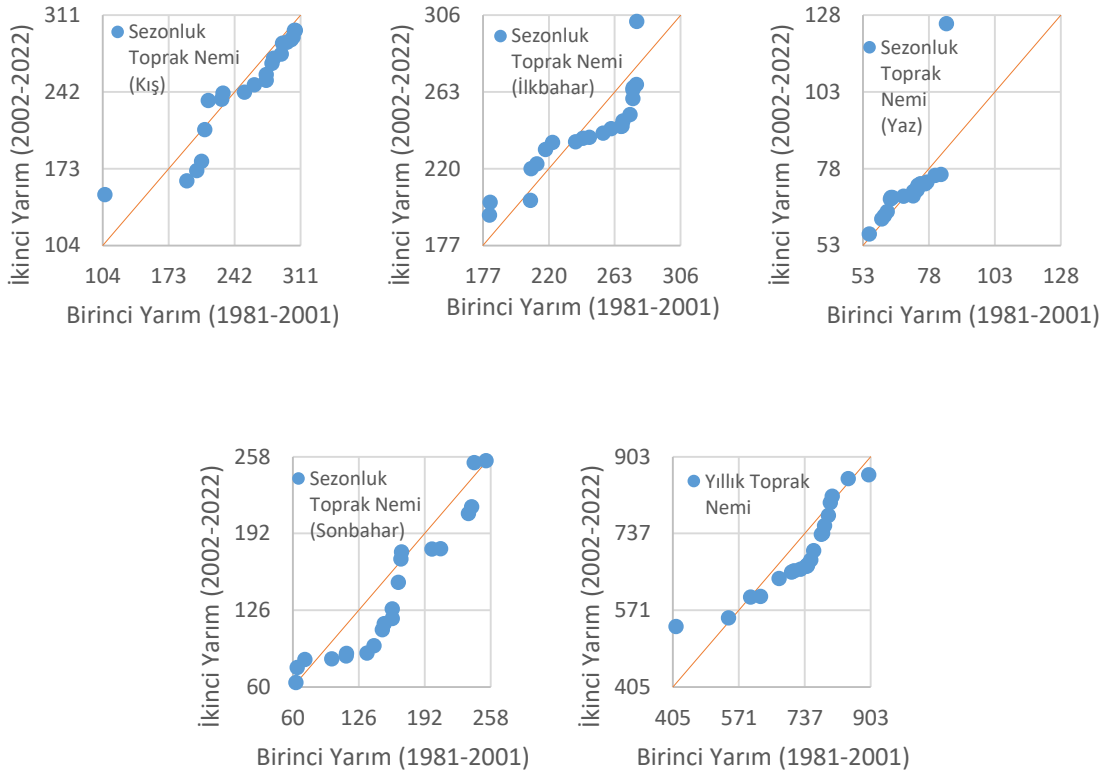
çizgisinin altına düştüklerinden azalan trend vardır, 78-91 mm arasında bulunan orta değerler seyrek ve azalan trend vardır, 91-104 mm arasında bulunan yüksek değerler 1:1 trend çizgisinin hemen üstünde veya teğet şeklinde olduklarından trend yoktur. Nisan ayında düşük değerlerde trend belirlenemezken, orta değerler artan, yüksek değerler azalan trend göstermektedir. Mayıs ayında düşük değerler (29-54 mm) artan, orta değerler (54-79 mm) azalan trend göstermektedir. Yüksek değer bir adet bulunmakta ve radikal sapma göstermektedir.

Haziran ayında radikal sapma gösteren bir değer dışındaki tüm değerler düşük değer (21-38 mm) aralığında sıkışmış ve 1:1 trend çizgisinin üzerine düştüklerinden trend yoktur. Temmuz ayında radikal sapma gösteren bir değer dışındaki 15-21 mm arasındaki düşük değerler ve 21-27 mm arasındaki orta değerler 1:1 trend çizgisinin tam üstüne veya teğet geçtiklerinden trend yoktur. Ağustos ayında radikal sapma gösteren bir değer dışındaki 14-18 mm arasındaki düşük değerler ve 18-22 mm arasındaki orta değerler 1:1 trend çizgisinin tam üstüne veya teğet geçtiklerinden trend yoktur. Eylül, Ekim, Kasım, ve Aralık aylarında 1:1 çizgisinin altında bulunan değerler azalan trend barındırmaktadırlar.

Şekil 4.14'de Kış sezonunda düşük ve orta değerlerde seyreklik olup, yoğun yüksek değerlerde azalan trend söz konusudur. İlkbahar sezonunda düşük değerler seyrek ve trend belirlenemezken, orta değerlerde azalan trend vardır. Yaz sezonunda 84,71-125,24 noktasındaki değerde radikal bir sıçrama bulunmaktadır. 53-78 mm arasındaki değerler 1:1 trend çizgisine düştüklerinden trend bulunmamaktadır. Sonbahar sezonunda düşük, orta, yüksek değerler ve yıllık periyotta orta ve yüksek değerler 1:1 trend çizgisinin altında kaldıklarından azalan trend vardır.



Şekil 4.13. Aylık toprak nem değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate)



Şekil 4.14. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nem değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: TerraClimate)

4.4.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları (ITA_R)

ITA_R Tablosu 4.10'a bakıldığında tüm sezonlarda trend bulunmadığı görülmektedir. Toprak nemi verilerine ait -1,12 z-skoru en yüksek değer ile Ekim ayında, onu takiben -0,90 değeriyle Sonbahar sezonunda görülmektedir. Z-skoru işaretleri incelendiğinde negatif yönlü değerler ağırlıktadır. Azınlıkta bulunan pozitif işaretli değerler de sıfıra çok yakın küçük değerlerdir. Trend eğim değerlerine bakıldığında -2,77 ile en büyük değer Yıllık toprak nemi değerlerine ait görülmektedir.

Genel bir sonuç ile;

- **Toprak neminde 1981–2022 periyodunda belirgin bir artış veya azalış trendi tespit edilmemiştir.**
- Aylık, sezonluk ve yıllık ölçekte, toprak nemi değerleri **kararlı** kalmıştır.
- Hafif dalgalanmalar (pozitif veya negatif) olsa da, bunlar istatistiksel olarak anlamlı değildir.

ITA_R analizi sonucunda 1981–2022 yılları arasında çalışma sahasında toprak nemi değişiminde istatistiksel olarak anlamlı bir trend tespit edilmemiştir. Yıllık, mevsimlik ve aylık düzeylerde toprak nemi değerleri genel olarak stabil kalmıştır.

Tablo 4.10. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nemi değerlerine ait ITA_R sonuçları (Kaynak: TerraClimate)

Sezonlar	n	$\bar{x}$	$\bar{y}$	Var(x) (D-3.14)	Var(y) (D-3.15)	Cov(x,y) (D-3.16)	Trend Sapma (D-3.13)	Trend Eğim (D-3.17)	Z (D-3.18)	Karar
Yıllık	42	725,33	696,26	11690,20	8397,01	9003,77	4,34	-2,77	-0,64	Trend Yok
Kış	42	253,22	244,98	2613,59	2135,17	2226,58	1,64	-0,78	-0,48	Trend Yok
İlkbahar	42	244,25	240,01	1029,74	617,50	705,82	1,46	-0,40	-0,28	Trend Yok
Yaz	42	70,82	72,07	61,55	171,28	71,15	0,91	0,12	0,13	Trend Yok
Sonbahar	42	157,04	139,19	3337,39	3497,40	3219,87	1,89	-1,70	-0,90	Trend Yok
Ocak	42	83,45	80,69	529,92	472,95	492,30	0,41	-0,26	-0,65	Trend Yok
Şubat	42	87,92	87,71	308,12	335,53	308,88	0,48	-0,02	-0,04	Trend Yok
Mart	42	96,78	96,35	56,81	78,75	65,73	0,19	-0,04	-0,21	Trend Yok
Nisan	42	90,06	87,28	177,24	93,10	115,40	0,60	-0,26	-0,44	Trend Yok
Mayıs	42	57,40	56,38	227,24	218,42	180,58	0,88	-0,10	-0,11	Trend Yok
Haziran	42	30,61	31,65	19,12	84,22	26,01	0,68	0,10	0,15	Trend Yok
Temmuz	42	22,34	22,48	4,61	6,55	4,33	0,15	0,01	0,09	Trend Yok
Ağustos	42	17,87	17,94	1,79	2,20	1,61	0,08	0,01	0,08	Trend Yok
Eylül	42	24,99	22,21	177,76	158,65	156,04	0,47	-0,26	-0,56	Trend Yok
Ekim	42	53,41	46,74	575,42	612,63	576,23	0,57	-0,64	-1,12	Trend Yok
Kasım	42	77,89	70,27	616,46	677,44	601,22	0,91	-0,73	-0,80	Trend Yok
Aralık	42	81,85	76,58	548,19	558,25	521,98	0,75	-0,50	-0,67	Trend Yok

$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

4.4.3. Mann Kendall Testi Sonuçları

Toprak nemine ait trendleri belirlemek için Tablo 4.11’de MK testine ait sonuçlar elde edilmiştir. Yaz sezonunda; Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında trend olmadığı görülürken; Kış, İlkbahar ve Sonbahar sezonlarında; Ocak, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında azalan trend ($z < -1,28$); Kasım ayında anlamlı azalan trend ($z < -1,65$) ve Yıllık sezonda kritik azalan trend ($z < -1,96$) belirlenmiştir. Z-skorları incelendiğinde en yüksek -2,18 ile yıllık periyot, ardından -1,91 ile Kasım ayı yer almaktadır.

Genel bir sonuç ile;

- Yıllık bazda toprak nemi **kritik şekilde azalmıştır**.

- Kış, İlkbahar ve Sonbaharda **azalan trend** hakimdir.
- **Kasım ayında** önemli bir düşüş tespit edilmiştir.
- Yazın toprak nemi trendi **istatistiksel olarak zayıftır**.

Mann-Kendall testi sonuçlarına göre 1981–2022 yılları arasında çalışma alanındaki toprak neminde yıllık ve mevsimsel (yaz hariç) bazda istatistiksel olarak anlamlı bir azalma trendi tespit edilmiştir. Özellikle kış ve sonbahar sezonlarında bu azalış daha belirgin olmuş, Kasım ayında ise anlamlı düzeye ulaşmıştır. Yaz sezonunda toprak nemi değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 4.11. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nemi değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (Kaynak: TerraClimate)

Sezonlar	Periyod	n	S (D-3.7)	Var(s) (D-3.8)	Z (D-3.9)	Karar
Yıllık	1981-2022	42	-193	7927	-2,18	Kritik azalan trend
Kış	1981-2022	42	-127	7927	-1,44	Azalan trend
İlkbahar	1981-2022	42	-113	7927	-1,28	Azalan trend
Yaz	1981-2022	42	-71	7927	-0,81	Trend Yok
Sonbahar	1981-2022	42	-133	7927	-1,51	Azalan trend
Ocak	1981-2022	42	-129	7927	-1,46	Azalan trend
Şubat	1981-2022	42	-71	7927	-0,81	Trend Yok
Mart	1981-2022	42	-23	7927	-0,27	Trend Yok
Nisan	1981-2022	42	-83	7927	-0,94	Trend Yok
Mayıs	1981-2022	42	-77	7927	-0,88	Trend Yok
Haziran	1981-2022	42	-69	7927	-0,79	Trend Yok
Temmuz	1981-2022	42	-65	7927	-0,74	Trend Yok
Ağustos	1981-2022	42	-67	7927	-0,76	Trend Yok
Eylül	1981-2022	42	-125	7927	-1,42	Azalan trend
Ekim	1981-2022	42	-133	7927	-1,51	Azalan trend
Kasım	1981-2022	42	-169	7927	-1,91	Anlamlı azalan trend
Aralık	1981-2022	42	-137	7927	-1,55	Azalan trend

$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

4.4.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları

Şekil 4.15 ve 4.16 incelendiğinde aylık verilere ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Tüm aylık, sezonluk, yıllık periyotlarda trend çizgisinin eğimi negatif olduğundan azalan trendin varlığı söz konusudur.

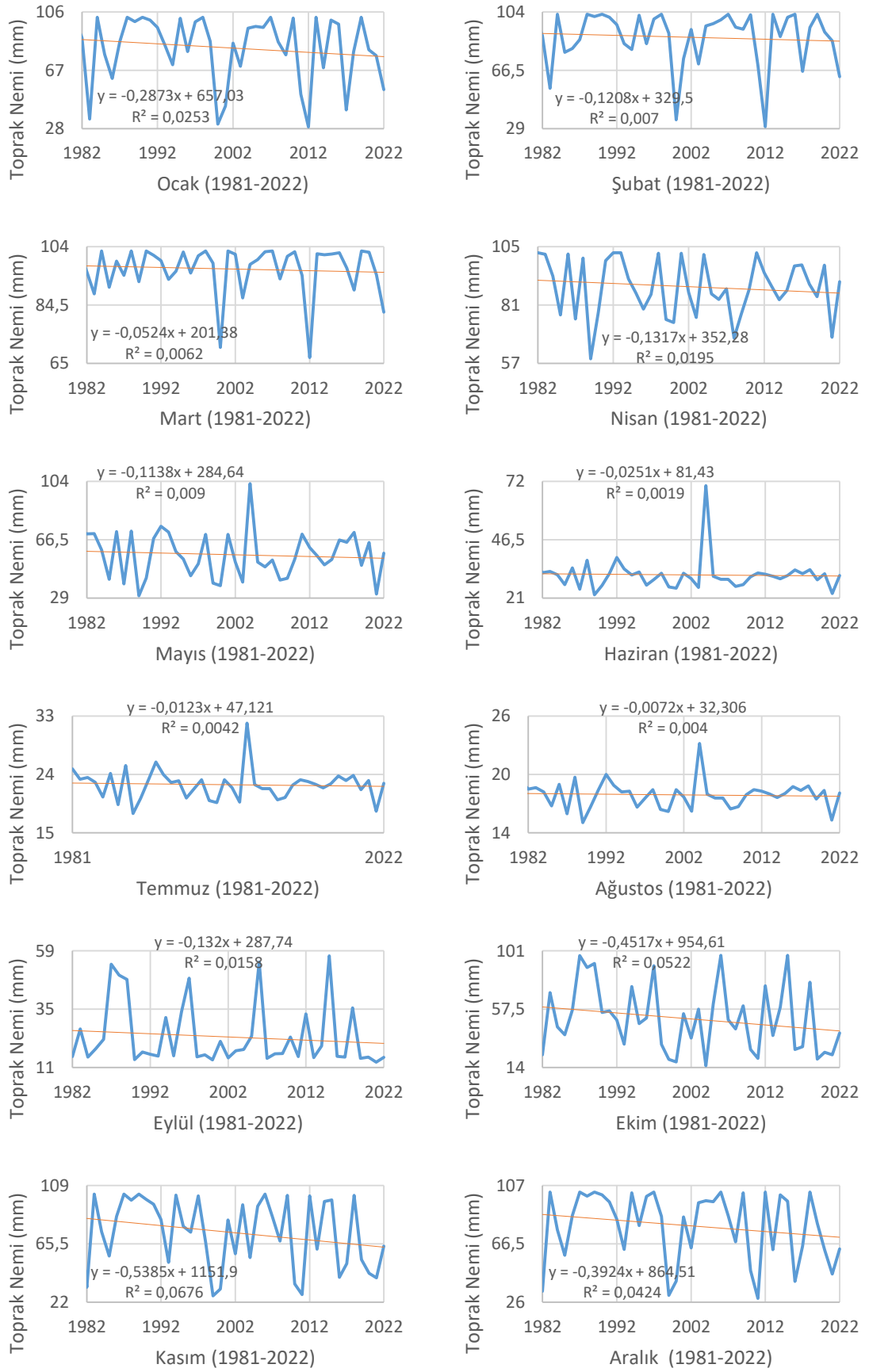
En yüksek eğim değeri -2,25 ile Yıllık toprak nemi değerleri gelmektedir. En yüksek *R-kare* değeri 0,077 ile Yıllık değerlerde görünmektedir. Buna ait korelasyon katsayısı ise bu değer karekökü alındığında 0,28 olarak elde edilir. Bu değer LR yönteminin tüm yıllık, sezonluk ve aylık değerlerde zayıf korelasyon bulunduğunu göstermektedir ($r < 0.40$). Geriye kalan periyodlara bakıldığında Kasım ayı 0,067 ile ikinci sırayı almaktadır. Buna ait korelasyon katsayısı 0,26 değeri elde edilir.

Sırasıyla Ekim, Aralık ayları ve Kış sezonu gelmektedir. En düşük değerlere bakıldığında ise 0,0019 *R-kare* değeri ile Haziran ayı gelmektedir. Bu değere ait korelasyon değeri 0,04 olarak elde edilir ve bu değer görece diğer tüm değerlerden daha azdır.

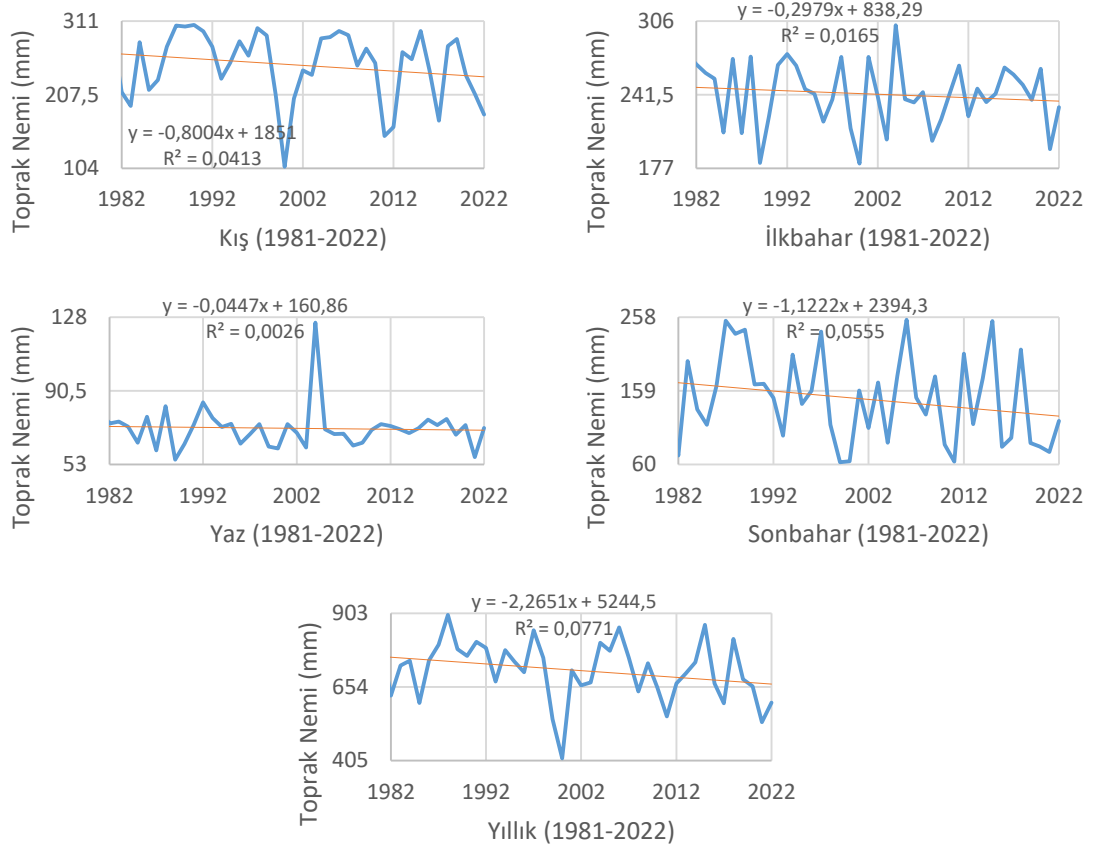
En düşük ikinci ve üçüncü *R-kare* değeri ise 0,0026 ile Yaz sezonu ve 0,004 ile Ağustos ayı sırayı almaktadır. Bunlara ait korelasyon değerleri ise sırasıyla 0,05 ve 0,06 şeklindedir. Dolayısıyla korelasyon değerleri 0,04 (Haziran ayı) ile 0,28 (Yıllık) arasında değişmektedir.

Toprak nemi korelasyonları diğer parametrelere ait korelasyon katsayılarına göre zayıftır. Ayrıca değerler arasında salınımlar göze çarpmaktadır. Bu durum bir yılda yüksek, sonraki yılda düşük değer olmasından kaynaklanır ve serisinde “zigzag” bir yapı oluşturmaktadır.

Gözlenen değerler, ortalamadan sık sık ve büyük sapmalar gösterir. Bu sebeple *R-kare* oranları görece diğer parametrelere ait oranlardan daha düşük oranlar göstermektedir. Eğer veri seti çok fazla salınım ve *R-kare* değerleri düşüklük gösteriyorsa, **trendin yönünü ve varlığını tespit etmek güçleşir**. Zaten toprak nemi değerlerine ait ITA_R ve MK testleri de bu durumu ayrıca tespit etmiştir (bkz. Tablo 4.10 ve 4.11).



Şekil 4.15. Aylık toprak nemi değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: TerraClimate)



Şekil 4.16. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık toprak nemi değerlerine ait Doğrusal Regresyon Sonuçları (Kaynak: TerraClimate)

Ayrıca küçük bir kıyaslama imkânı sunması açısından Tablo 4.12 verilmiştir.

Tablo 4.12. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Toprak Nemi)

Test	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
ITA_R	Trend yok	Trend yok	Trend yok	Trend yok	Trend yok
MK	Kritik azalan trend	Azalan trend	Azalan trend	Trend yok	Azalan trend
LR	Azalan trend (2,26 mm/yıl)	Azalan trend (0,8 mm/yıl)	Azalan trend (0,29 mm/yıl)	Azalan trend (0,04 mm/yıl)	Azalan trend (1,12 mm/yıl)

ITA_R toprağın nem değişiminde istatistiksel anlamlılık yakalayamazken, Mann-Kendall testi, özellikle yıllık ve sonbahar sezonların için toprak neminde anlamlı bir **azalış trendi** ortaya koymuştur.

- ITA_R yöntemi: Toprak neminde anlamlı bir trend bulamamış.

- **MK yöntemi:** Özellikle **yıllık, kış, sonbahar** ve **Kasım** gibi dönemlerde **anlamli azalış** tespit etmiş.
- **LR yöntemi:** Yıllık *R-kare* değeri 0,077 ile görece diğeri tüm sezon değeriinden en fazla **trend doğrusuyla uyumlu** sezon olmuş. Ancak buna rağmen 0.26 korelasyon değeriine denk gelmekte ve tüm toprak nemi değeriinde anlamli olmayan zayıf bir ilişki yakalamıştır.
- **Yaz aylarında** MK, ITA_R yöntemleri trend bulmamış ve LR yöntemine ait eğim ve *R-kare* değeri oldukça düşük (her üç yöntem benzer sonuç veriyor).

Sonuçlar, toprak neminin diğeri parametreler (sıcaklık, buharlaşma vb.) kadar kararlı değışmediğini göstermektedir. Ayrıca toprak nemi değeriinde sıçrama bileşenlerine sıklıkla rastlanmıştır.

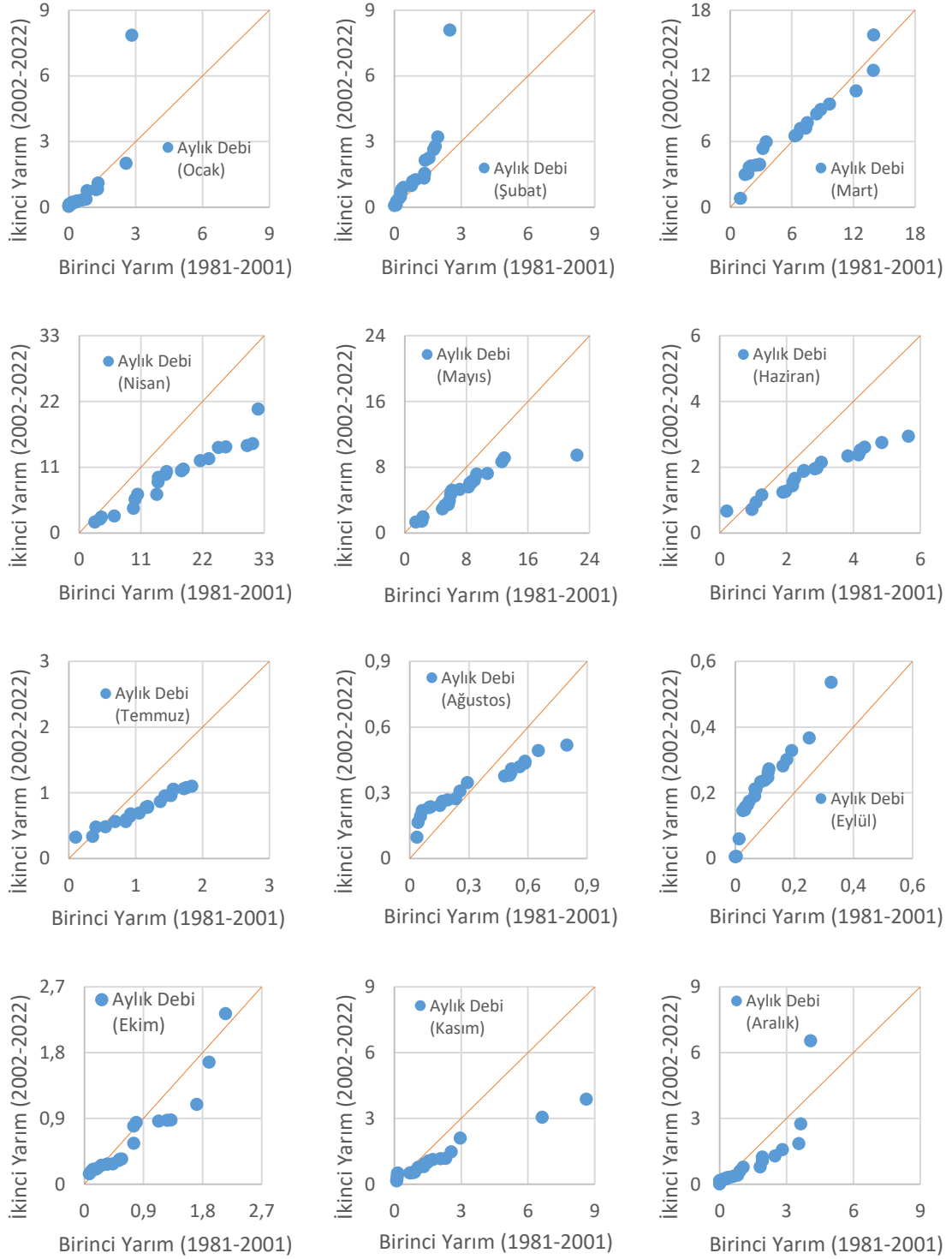
4.5. Debi Parametresine ait ITA, ITA_R, MK ve LR Uygulamaları

Debi birim zamandaki akış hacmi; yüzeysel akış ise su havzası alanına bağılı olarak gerçekleşen nehir akışının bir parçası iken, kısa süreli akışlar söz konusu olduğunda, bir su toplama havzasının çıkış noktasından geçen su genellikle “Nehir akışı” olarak adlandırılır. Nehir akışının ölçülmesi gibi temel bir parametre, akarsuyun enerji üretim potansiyelinin belirlenmesi, içme ve sulama suyu temini, taşkın kontrolü ve diğeri birçok amaç için büyük önem taşır. Yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemi parametrelerinden etkilenmektedir. Vahkin Irmağı havzasında debi parametresi ITA, ITA_R, MK ve LR yöntemleriyle aylık, mevsimsel ve yıllık olarak incelenmiştir.

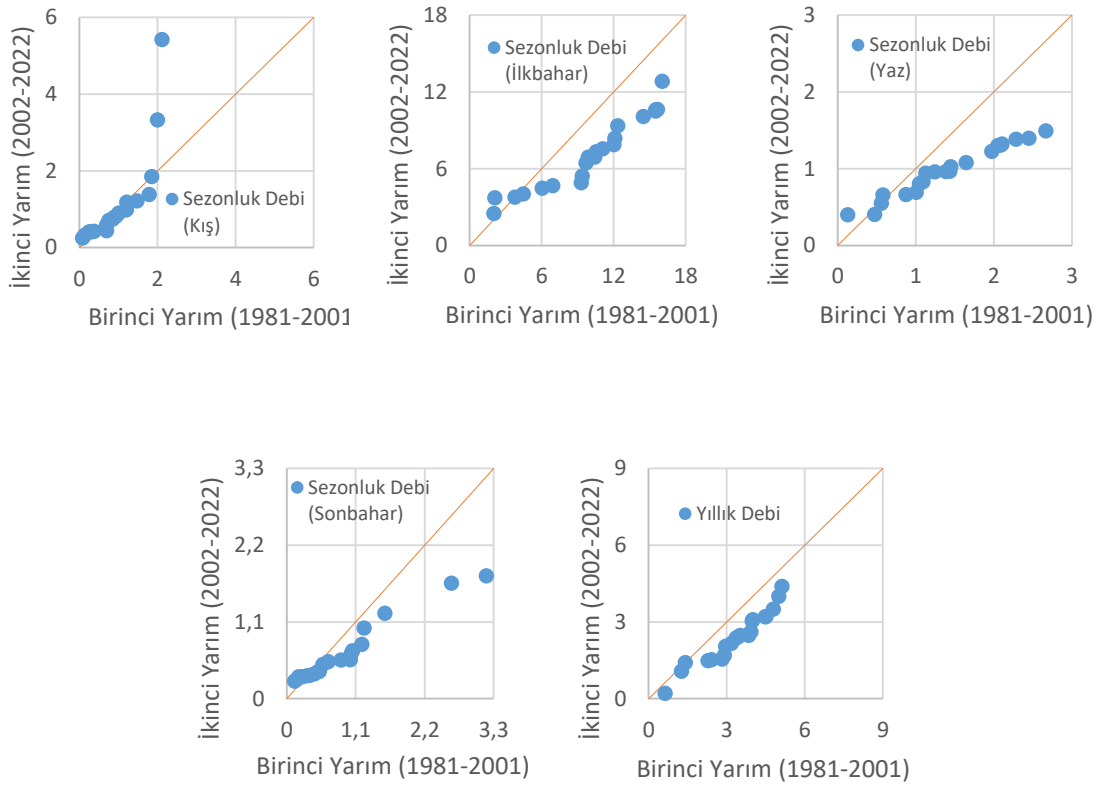
4.5.1. Yenilikçi Trend Analizi Sonuçları

Şekil 4.17 ve 4.18’de aylık verilerde monotonik azalan trendler Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Kasım ve Aralık aylarında; İlkbahar, Yaz ve Sonbahar sezonları; ayrıca Yıllık olarak görülmektedir. Şubat ve Eylül aylarında monotonik artan trend bulunmaktadır. Ocak ayı ve Kış sezonunda trend yoktur. Mart ayında 0-6 m³/s arası düşük değeriiler artan trend, 6-12 m³/s arası orta değeriilerde ve seyrek halde bulunan yüksek değeriilerde trend görülmemektedir. Ağustos ayında 0-0,3 m³/s arası düşük değeriiler artan trend, 0,3-0,6 m³/s

arası orta değerler azalan trend şeklindedir. Aralık, Ocak, Şubat ayları ve Kış sezonunda radikal sapma gösteren değerler (sıçrama) görülmektedir.



Şekil 4.17. Aylık debi değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: GEOGloWS)



Şekil 4.18. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait ITA sonuçları (Kaynak: GEOGloWS)

4.5.2. Revize Yenilikçi Trend Analiz Sonuçları (ITA_R)

Debi parametresine ait Tablo 4.13’de verilen ITA_R sonuçları incelendiğinde Yıllık periyotta trendler kritik azalan ($z < -1,96$), Nisan ayında anlamlı azalan trendler ($z < -1,65$), İlkbahar sezonu; Haziran ve Temmuz aylarında azalan trend ($z < -1,28$) barındırmaktadır. Kış, Yaz, Sonbahar sezonları, Ocak, Şubat, Mart, Mayıs, Ağustos, Ekim, Kasım, Aralık aylarında trend bulunmamaktadır. Eylül ayında ise artan trend ($z > 1,28$) hesaplanmıştır.

En yüksek z-skoru -2,59 ile Yıllık periyotta, ardından 2,51 ile Eylül ayında hesaplanmıştır. En düşük z-skorları Ağustos ayı ve Kış sezonunda elde edilmiştir.

Genel bir sonuç ile;

- **Yıllık debi:** Anlamlı **azalma**.
- **Sezonsal debiler:**
 - Kış, Yaz, Sonbahar → Anlamlı trend yok.

- İlkbahar → Zayıf ama belirgin azalma trendi.
- **Aylık debiler:**
 - **Nisan:** Anlamli azalan trend.
 - **Eylül:** Kritik artan trend.
 - Diğer aylarda anlamlı değişim yok.

Tablo 4.13. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait ITA_R sonuçları
(Kaynak: GEOGloWS)

Sezonlar	n	$\bar{x}$	$\bar{y}$	Var(x) (D-3.14)	Var(y) (D-3.15)	Cov(x,y) (D-3.16)	Trend Sapma (D-3.13)	Trend Eğim (D-3.17)	Z (D-3.18)	Karar
Yıllık	42	3,33	2,38	1,51	1,02	1,20	0,03	-0,09	-2,59	Kritik azalan trend
Kış	42	0,96	1,13	0,38	1,43	0,59	0,08	0,02	0,21	Trend Yok
İlkbahar	42	9,97	7,09	19,30	7,98	11,89	0,18	-0,27	-1,54	Azalan trend
Yaz	42	1,41	0,97	0,49	0,11	0,23	0,04	-0,04	-1,17	Trend Yok
Sonbahar	42	0,87	0,63	0,62	0,19	0,34	0,04	-0,02	-0,66	Trend Yok
Ocak	42	0,63	0,79	0,66	2,84	1,10	0,11	0,01	0,13	Trend Yok
Şubat	42	0,93	1,59	0,54	3,02	1,08	0,11	0,06	0,56	Trend Yok
Mart	42	5,93	6,60	17,07	12,66	14,25	0,11	0,06	0,60	Trend Yok
Nisan	42	16,44	9,27	81,51	25,56	44,32	0,41	-0,68	-1,67	Anlamlı azalan trend
Mayıs	42	7,81	5,27	20,54	5,57	9,71	0,25	-0,24	-0,98	Trend Yok
Haziran	42	2,81	1,83	1,98	0,46	0,93	0,07	-0,09	-1,30	Azalan trend
Temmuz	42	1,10	0,75	0,24	0,06	0,12	0,02	-0,03	-1,36	Azalan trend
Ağustos	42	0,33	0,32	0,06	0,01	0,03	0,01	0,00	-0,06	Trend Yok
Eylül	42	0,10	0,22	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	2,51	Kritik artan trend
Ekim	42	0,74	0,62	0,38	0,31	0,33	0,02	-0,01	-0,61	Trend Yok
Kasım	42	1,79	1,06	4,54	0,86	1,94	0,12	-0,07	-0,59	Trend Yok
Aralık	42	1,30	1,00	1,75	2,08	1,57	0,08	-0,03	-0,37	Trend Yok

$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var.

4.5.3. Mann Kendall Testi Sonuçları

Debi parametresine ait MK sonuçları Tablo 4.14’de verilmektedir. Kış sezonunda; Ocak, Mart, Ağustos, Ekim ve Aralık aylarında trend olmadığı görölürken; Şubat ayında anlamlı artan trend ($z > 1,65$); Eylül ayında kritik artan trend ($z > 1,96$); Yıllık periyotta, İlkbahar, Yaz ve Sonbahar sezonlarında; Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Kasım aylarında kritik azalan trend ($z < -1,96$) belirlenmiştir.

Tablo 4.14. Aylık, sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait Mann Kendall Testi sonuçları (Kaynak: GEOGloWS)

Sezonlar	Periyod	n	S (D-3.7)	Var(s) (D-3.8)	Z (D-3.9)	Karar
Yıllık	1981-2022	42	-295	7927	-3,32	Kritik azalan trend
Kış	1981-2022	42	9	7927	0,09	Trend Yok
İlkbahar	1981-2022	42	-267	7927	-3,01	Kritik azalan trend
Yaz	1981-2022	42	-299	7927	-3,37	Kritik azalan trend
Sonbahar	1981-2022	42	-195	7927	-2,20	Kritik azalan trend
Ocak	1981-2022	42	17	7927	0,18	Trend Yok
Şubat	1981-2022	42	149	7927	1,66	Anlamli artan trend
Mart	1981-2022	42	39	7927	0,43	Trend Yok
Nisan	1981-2022	42	-307	7927	-3,46	Kritik azalan trend
Mayıs	1981-2022	42	-239	7927	-2,70	Kritik azalan trend
Haziran	1981-2022	42	-331	7927	-3,73	Kritik azalan trend
Temmuz	1981-2022	42	-315	7927	-3,55	Kritik azalan trend
Ağustos	1981-2022	42	-41	7927	-0,47	Trend Yok
Eylül	1981-2022	42	267	7927	2,99	Kritik artan trend
Ekim	1981-2022	42	-109	7927	-1,24	Trend Yok
Kasım	1981-2022	42	-223	7927	-2,52	Kritik azalan trend
Aralık	1981-2022	42	-53	7927	-0,61	Trend Yok

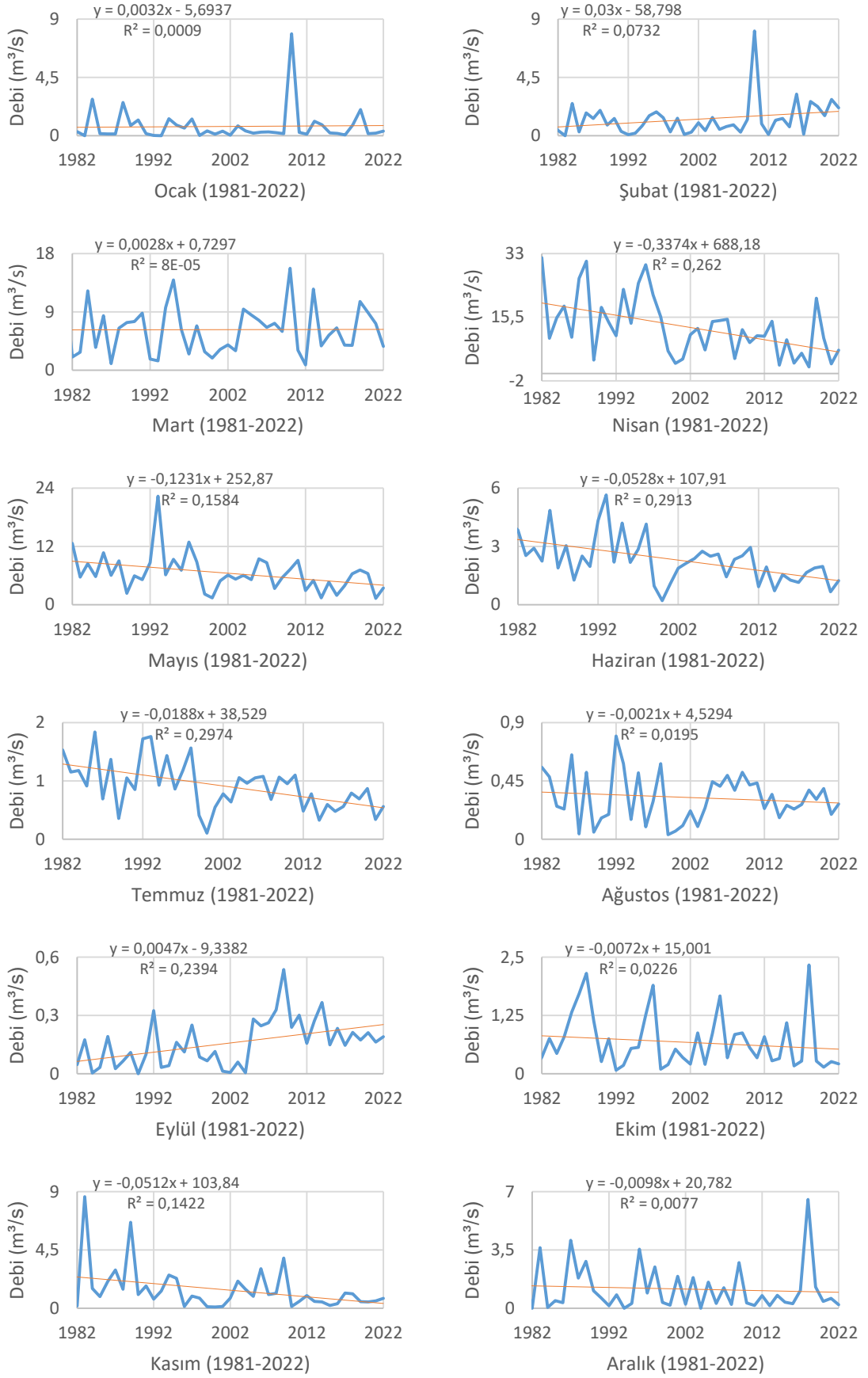
$|z| \geq 1,96$ kritik trend, $|z| \geq 1,65$ anlamlı trend, $|z| \geq 1,28$ trend var

Genel bir sonuç ile;

- **Debi (akış miktarı)** Yıllık; İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimlerinde **kritik azalan trend** şekilde azalmış.
- Özellikle **İlkbahar-Yaz** dönemlerinde düşüş çok güçlü.
- Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Kasım aylarında kritik azalan trend.
- **Şubat ve Eylül** aylarında ise debide **anlamli ve kritik artış trendi** var ama yılın geneline göre bu etkiler çok küçük kalıyor.

4.5.4. Doğrusal Regresyon Sonuçları

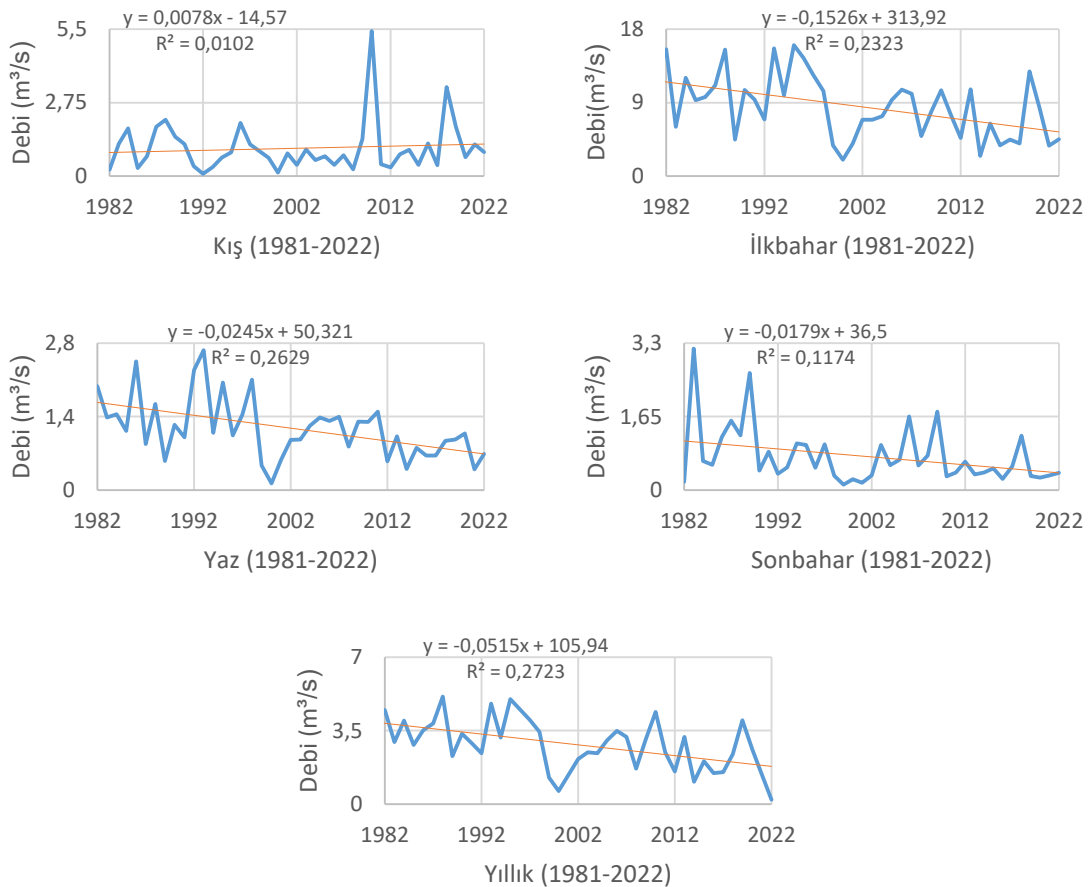
Şekil 4.19 incelendiğinde aylık verilere ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ocak, Şubat, Mart, Eylül, aylarında trend çizgisinin eğimi pozitif olduğundan artan bir trend vardır. Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Ekim, Kasım, Aralık aylarında trend çizgisinin eğimi negatif olduğundan azalan bir trend vardır. Nisan ayına ait eğim değeri $-0,337 \text{ m}^3/\text{s/yıl}$ gibi büyük bir değer iken Ağustos ayına ait eğim değeri $-0,0021$ olarak küçük ve sifira yakın bir değerdir.



Şekil 4.19. Aylık debi değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: GEOGloWS)

En yüksek ve en düşük *R-Kare* değerleri sırasıyla 0,298 ile Temmuz; 0,001 ile Ocak ayı ve bunlara ait korelasyon katsayıları sırasıyla -0,55 ve 0,03 olarak bulunmaktadır.

Şekil 4.20 incelendiğinde sezonluk ve Yıllık verilere ait aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yıllık, Sonbahar, Yaz ve İlkbahar verilerine ait trend çizgisinin eğimi negatif olduğundan azalan bir trend vardır. Yıllık verilere ait eğim $-0,052 \text{ m}^3/\text{s}/\text{yıl}$; Sonbahar sezonu verilerine ait eğim $-0,018$; Yaz sezonun verilerine ait eğim $-0,025$; İlkbahar sezonu verilerine ait eğim $-0,153$ olarak belirlenmiştir. İlkbahar sezonunda daha büyük azalışlar gözükmemektedir. Kış sezonunda trend çizgisinin eğimi pozitif olduğundan artan bir trend vardır. Bu sezona ait eğim değeri $0,0078$ olarak belirlenmiştir. *R-kare* istatistiğinin karekökü alınarak eğim işareti göz önüne alındığında Kış $0,10$; İlkbahar $-0,48$; Yaz $-0,51$; Sonbahar $-0,34$; Yıllık $-0,52$ olarak elde edilir.



Şekil 4.20. Sezonluk (Kış-İlkbahar-Yaz-Sonbahar) ve yıllık debi değerlerine ait Doğrusal Regresyon sonuçları (Kaynak: GEOGloWS)

Ayrıca küçük bir kıyaslama imkânı sunması açısından Tablo 4.15 verilmiştir.

Tablo 4.15. Mukayeseli MK, ITA_R ve LR sonuçları (Debi)

Test	Yıllık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Eylül
MK	Kritik azalan	Kritik azalan	Kritik azalan	Kritik azalan	Kritik artan
ITA_R	Kritik azalan	Zayıf azalan	Trend yok	Trend yok	Kritik artan
LR	Azalan trend (0,05 m ³ /s/yıl)	Azalan trend (0,15 m ³ /s/yıl)	Azalan trend (0,24 m ³ /s/yıl)	Azalan trend (0,02 m ³ /s/yıl) ve zayıf ilişki	Artan trend (0,005 m ³ /s/yıl)

ITA_R testi MK testine göre **biraz daha az hassas**; çünkü ITA_R trendin **yapısal yönelimini** ve **dağılım özelliklerini** de dikkate alıyor. O yüzden bazı azalmaları kritik görmeyip "zayıf" sınıflamış ve MK testi ile LR yöntemi benzer sonuç sağlamış ancak LR yöntemi Sonbahar mevsimi debi değerleri için anlamlı bir ilişki belirleyememiştir ($R^2=0,117$).

4.6. Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma Terleme, Toprak Nemi, Debi Parametrelerine ait Aylık IPTA Uygulama ve Sonuçları

Bu bölüm hidrolojik döngü bileşenlerinden olan yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemi ve debi parametrelerine ait 1981-2022 yılları arası yani 42 yıllık zamanın aylık döngülerinin değişimlerdeki trendlerini anlamak için ele alınmıştır. Bu sebeple Şekil 4.21’de görüleceği üzere aylık yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemi, debi değerleri kullanılarak Yenilikçi Çokgen Trend Analiz yönteminin uygulanmasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

4.6.1. Yağış Parametrelerine ait IPTA Sonuçları

Yağış grafiği (Şekil 4.21) incelendiğinde Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında düşük değerler; Mayıs ve Ekim aylarında orta değerler; Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında yüksek değerler bulunmaktadır. 1:1 trend çizgisine bakıldığında Temmuz ayı, çizginin hemen üzerinde olduğundan trend yok, Eylül, Haziran, Ekim, Nisan, Şubat, Ocak ayları üstünde olduğundan artan trend, Ağustos, Mayıs, Kasım, Mart ayı trend

yok çizgisinin altında kaldığından azalan trend varlığı göstermektedir. 1:1 trend çizgisine en uzak ve pozitif nokta Ocak ayı, en uzak ve negatif nokta Kasım ayı olduğu görüldüğünden an fazla artan trend Ocak ve en çok azalan trend Kasım ayında tespit edilmiştir. Artan trend olarak ele alındığında sadece Ocak ayında belirgin bir trend görülmektedir. Görece Şubat ayında bir belirginlik söz konusu iken, Nisan, Ekim, Haziran, Eylül aylarındaki artan trend varlığının belirginliği sırasıyla giderek azalmaktadır. 1:1 trend çizgisinin üstünde ve altında kalan alanlara bakıldığında, azalan yöndeki alanın varlığı daha çoktur. Dolayısıyla ardışık 12 aylık döngüsel trendlerde yağış parametresinde genel anlamıyla azalma vardır. Aylık IPTA grafiğinde düzgün bir çokgen bulunmamaktadır. Çokgen trend çizgisinin altında dönerken radikal bir sıçrama ile trend çizgisinin üstüne çıkmaktadır. Bu durum kaotik ve dinamik bir veri serisinin bulunduğunu göstermektedir.

4.6.2. Sıcaklık Parametrelerine ait IPTA Sonuçları

Sıcaklık grafiğinde (Şekil 4.21) 12 aylık döngüde tüm değerler 1:1 çizgisinin üstünde olduklarından tüm aylar için artan trend söz konusudur. Sırasıyla düşük değerler (soğuk) Ocak, Şubat, Aralık ve Mart aylarında iken, orta değerler (ılık) Kasım, Nisan, Ekim, Mayıs ve yüksek değerler (sıcak) Haziran, Eylül, Temmuz, Ağustos ayları olarak görülmektedir. Tüm aylarda neredeyse 1:1 trend çizgisine paralel bir gidiş seyretmektedir. Düzenli bir çokgenin varlığı görülmemektedir. En sıcak ay olan Ağustos ayında eğiminden ötürü yine en yüksek artan trend, onu takiben Şubat ayında görülmektedir. En az artan trend Mayıs ayında olmaktadır genel olarak tüm aylar artan trend göstermektedir. IPTA grafiğinde çokgenin dar olması, hidro-meteorolojik değişimdeki iç değişimin homojen ve izotropik olduğunu, yani tekdüze bir varyasyon gösterdiğini belirtir. 1:1 trend çizgisinin üstünde, 12 aylık döngüler ikinci yarım tarafında kalmaktadır. Bu da aylık döngünün artan bir trendde olduğunu göstermektedir.

4.6.3. Buharlaşma Terleme (Evapotranspirasyon) Parametrelerine ait IPTA Sonuçları

Buharlaşma ve Terleme grafiğinde (Şekil 4.21) Ocak ve Nisan ayları trend çizgisinin üzerinde bulunduklarından trend yoktur. Geriye kalan aylardan en çok artış sırayla Temmuz, Haziran, Ağustos, Mayıs, Eylül, Ekim, Mart, Kasım, Aralık ve Şubat ayları trend

çizgisinin üst tarafında kaldıklarından artan trend göstermektedirler. IPTA grafiğinde çokgenin dar olması, hidro-meteorolojik değişkendeki iç değişimin homojen ve izotropik olduğunu, yani tekdüze bir varyasyon gösterdiğini belirtir. 1:1 trend çizgisinin üstünde, 10 aylık döngüler ikinci yarım tarafında kalmaktadır. Geriye kalan iki ay için ise trend yok çizgisindedir. Bu da aylık döngünün iki ay hariç genel olarak artan bir trendde olduğunu göstermektedir.

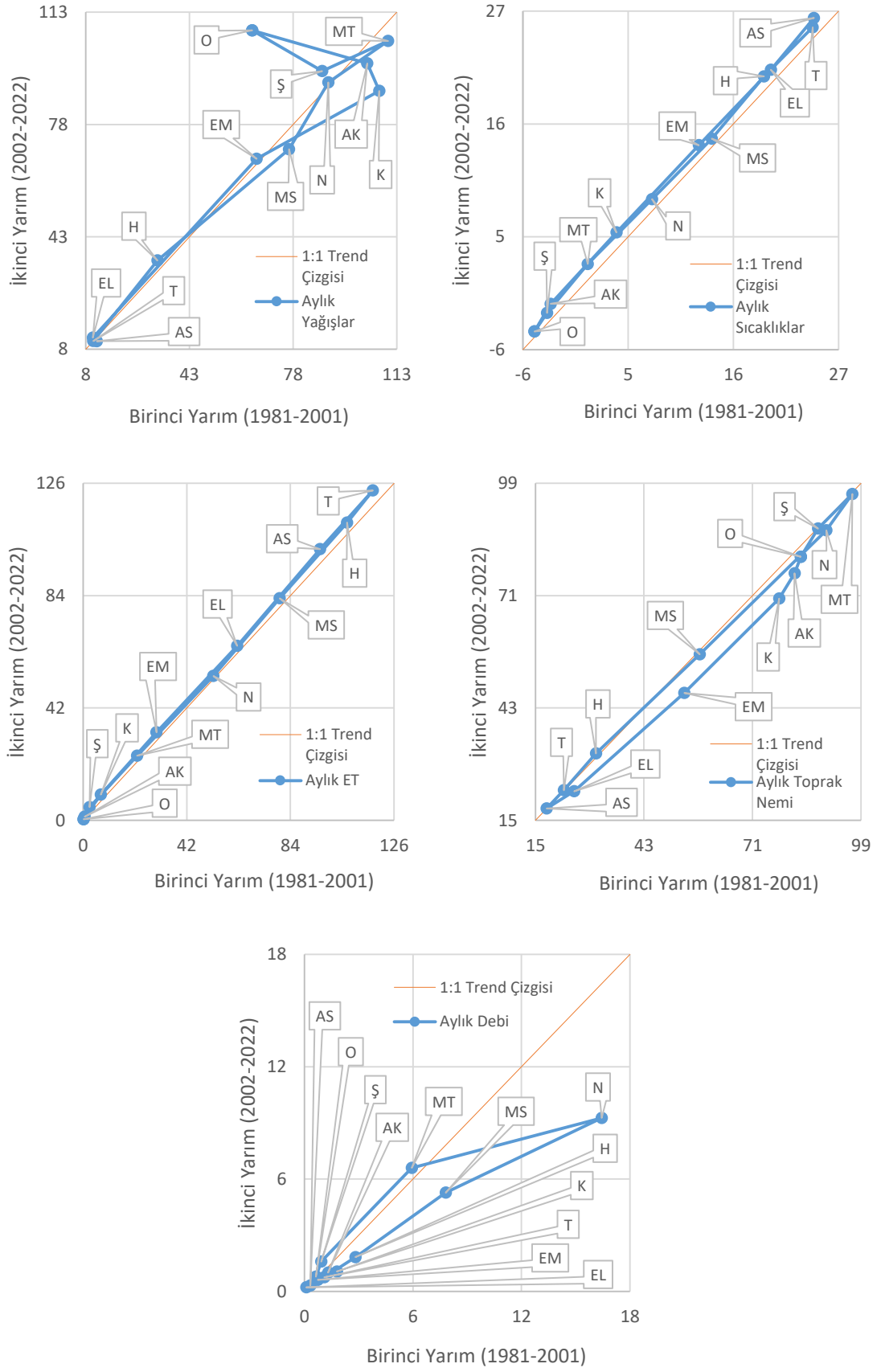
4.6.4. Toprak Nemi Parametrelerine ait IPTA Sonuçları

Toprak nemi grafiğinde (Şekil 4.21); Ağustos, Temmuz, Haziran, Mayıs, Şubat ve Mart ayları trend yok çizgisinin üzerinde bulunduğundan bu aylarda birinci yarım ve ikinci yarım arasında bir trend bulunmamaktadır. Nisan, Ocak, Aralık, Kasım, Ekim ve Eylül ayları 1:1 trend çizgisinin alt tarafına düştüğünden bu aylarda azalan trend bulunmaktadır.

IPTA grafiğinde Nisan-Mayıs, Mayıs-Haziran, Eylül-Ekim, Ekim-Kasım aylarına ait toprak nemi değişkenlerinin davranışları (çokgen kenar şekillerine bağlı olarak trend uzunluğu) görece diğer ayların toprak nemi değişkenlerinin uzunluklarından daha fazladır. Ardışık bu aylardaki toprak nemi geçişkenlik değerleri diğer aylara göre büyük farklılık göstermektedir.

4.6.5. Debi Parametrelerine ait IPTA Sonuçları

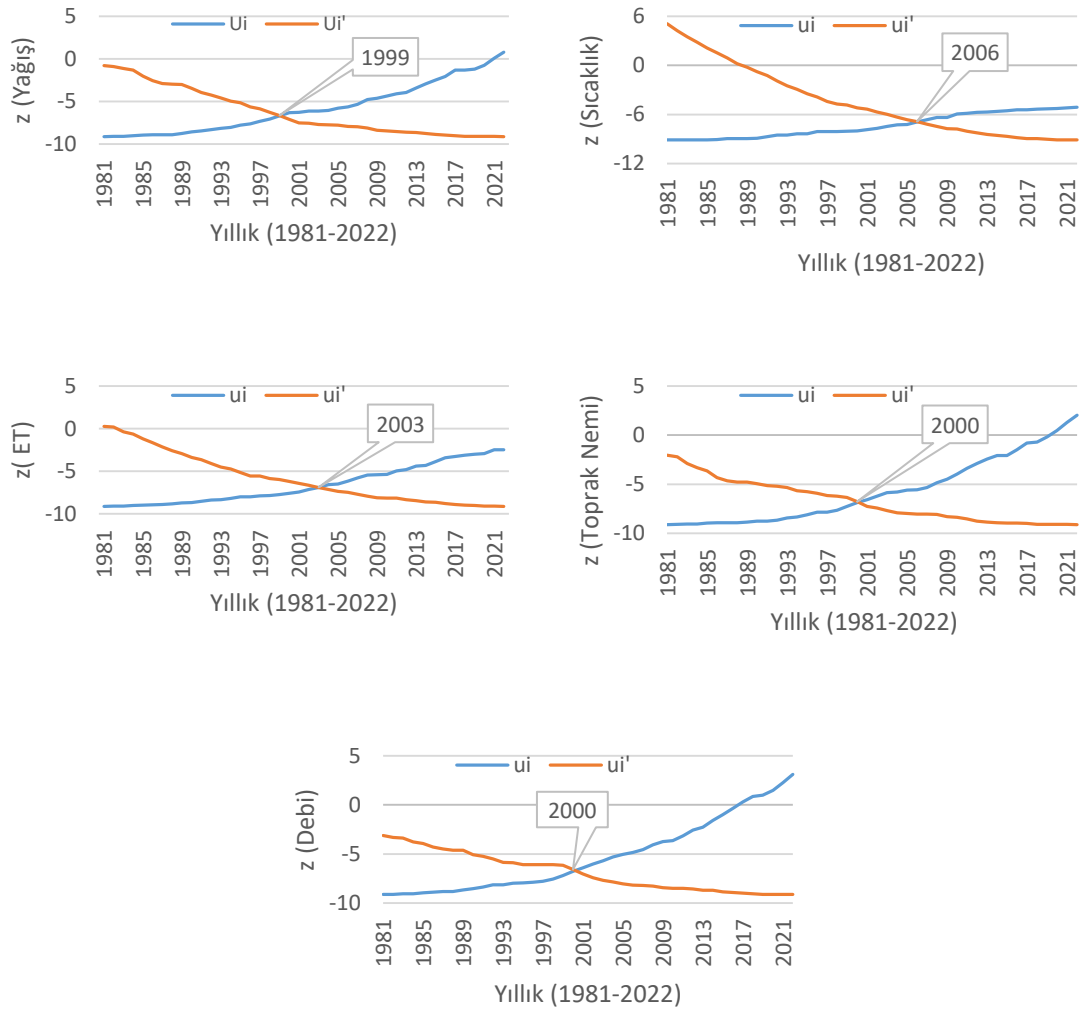
Debi grafiğinde (Şekil 4.21) en büyük debiye sahip Nisan ayında diğer tüm aylardaki trendler içerisinde, bu noktadaki değerden 1:1 trend çizgisine bir dikme indirildiği varsayımıyla, en uzun değere sahiptir. Bu ayı takip eden Mayıs ayı, ikinci sırayı alarak en fazla azalan trendi barındırmaktadır. Haziran, Temmuz, Kasım ve Aralık aylarında azalan trendler görünmektedir. Ağustos, Eylül ve Ekim aylarındaki değerler trend yok çizgisinin üzerinde olduklarından trend yoktur. Ocak, Şubat, Mart aylarındaki değerler trend çizgisinin üstüne düştüklerinden az da artan trend barındırdıkları görünmektedir. IPTA grafiğinde Şubat-Mart, Mart-Nisan, Nisan-Mayıs, Mayıs-Haziran aylarının geçiş değişkenlikleri, çokgen kenar uzunluklarına bağlı olarak, görece diğer aylara göre daha fazladır. Ardışık bu aylardaki durum ardışık aylar arasındaki debi değerlerinin birbirlerinden büyük farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.21. Yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme (ET), toprak nemi, debi aylık değerlere ait IPTA sonuçları

4.7. Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma Terleme, Toprak Nemi, Debi Parametrelerine ait Yıllık Mann Kendall Mertebe Korelasyon (MK-MK) Testi Uygulama ve Sonuçları

Bu kısımda, ayrıca şimdiye kadar verilen bulgulara ilaveten Mann Kendall Mertebe Korelasyon Testinin sonuçları bulunmaktadır. 1981-2022 yılları arası; yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme, toprak nemi ve debi verilerine ait 42 yıllık hidro-meteorolojik değerlerde değişimin başlangıç yılını tespit etmek için sadece yıllık periyoddaki verilere ait değişim noktalarının başlangıç noktasını gösteren grafiklere yer verilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Yıllık yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemi ve debi değerlerine ait Mann Kendall Mertebe Korelasyon sonuçları (1981-2022)

Trend başlangıç yılı, yağış için 1999, sıcaklık için 2006, buharlaşma terleme için 2003, toprak nemi için 2000, debi değerleri için 2000 yılı gözükmemektedir. Bu başlangıç noktaları zaman serisindeki trend tespitinde eşit iki yarım serinin baz noktalarını oluşturmakta önemlidir.

Tablo 4.16’de ITA ve ITA_R’ye esas olan ikinci yarım ve birinci yarım arasındaki fark pozitif ise +, negatif ise – olarak işaretlenerek sunulmuştur. + sembolü seriler arasında artış, - sembolü seriler arasında azalış olduğunu göstermektedir. Buna göre sıcaklık ve buharlaşma terlemede tümüyle artışlar, debi ve toprak neminde çoğunlukla azalışlar, yağışta ise artış ve azalışlar nerdeyse eşit olarak görünmektedir.

Tablo 4.16. İkinci yarım ve birinci yarım ($\bar{y} - \bar{x}$) arasındaki farkın işareti

Parametre/ Periyod	Sıcaklık	Yağış	Buharlaşma Terleme	Toprak Nemi	Debi
Yıllık	+	+	+	-	-
Kış	+	+	+	-	+
İlkbahar	+	-	+	-	-
Yaz	+	-	+	+	-
Sonbahar	+	-	+	-	-
Ocak	+	+	+	-	+
Şubat	+	+	+	-	+
Mart	+	-	+	-	+
Nisan	+	+	+	-	-
Mayıs	+	-	+	-	-
Haziran	+	+	+	+	-
Temmuz	+	+	+	+	-
Ağustos	+	-	+	+	-
Eylül	+	+	+	-	+
Ekim	+	+	+	-	-
Kasım	+	-	+	-	-
Aralık	+	-	+	-	-

Bu artış ve azalışlar çalışmada kullanılan yöntemlerden farklı olarak herhangi bir trend formülasyonundan elde edilen sonuçlarla beraber ele alındığında artış veya azalış görülen bazı dönemlerde herhangi anlamlı trend taşımamakta olduğu görülebilmektedir. Ancak iki alt serinin durumunu göstermesi açısından bütünsel açıdan önemli bir gösterge tablosudur.

Tablo 4.17’de (Sarjana vd., 2023) *R-kare* istatistiğinin sınıflandırması verilmektedir. Buna göre 0 ve 1 arasında değişen değerlere göre 0’a yaklaştıkça çok zayıflayan, 1’e yaklaştıkça çok güçlenen bir anlamlılık belirlenir.

Tablo ayrıca, bu aralıklara karşılık gelen yorumları ve Mann-Kendall (MK) ile Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yöntemlerine göre eşdeğer sınıflandırmaları da içermektedir.

Tablo 4.17. Belirleme katsayısının (R kare) yorumu

R² Aralık	Yorum	ITA ve MK Eşdeğerlikleri
0,00-0,199	Çok zayıf	Anlamli trend yok
0,20-0,399	Zayıf	Düşük anlamli trend
0,40-0,599	Orta	Orta anlamli trend
0,60-0,799	Güçlü	Yüksek anlamli trend
0,80-1.00	Çok güçlü	Çok yüksek anlamli trend

Buna göre, Tablo 4.18’de sunulan R² değerleri; sıcaklık için orta, yağış için çok zayıf, buharlaşma-terleme (ET) için orta, nem için çok zayıf ve akış için zayıf olarak görülmektedir. “Çok zayıf” olarak kategorize edilen R² değerleri, ilgili parametreler için anlamlı bir trend olmadığını göstermektedir. Ayrıca, zayıf, orta, güçlü ve çok güçlü olarak sınıflandırılan R² değerleri sırasıyla MK ve ITA yöntemleriyle ilişkili olarak düşük, orta, yüksek ve çok yüksek anlamlılık düzeylerine eşdeğer kabul edilmektedir.

Tablo 4.18, tüm parametreleri ve yöntemleri topluca özetlemektedir. Bazı yöntemler trend türlerini monotonik veya monotonik olmayan şeklinde ayırırken, diğerleri anlamlı değil / düşük anlamlı / orta derecede anlamlı / yüksek derecede anlamlı / çok yüksek derecede anlamlı şeklinde sınıflandırmaktadır; ancak genel trend, artan ve azalan trend yönü açısından tutarlılık göstermektedir. Ayrıca z-skorları yönünden karşılaştırma imkânı veren Tablo 4.18 en yüksek değerler ve en düşük değerler açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

En düşük değerler açısından yağış ve toprak nemi değerlerinde çok zayıf anlamlılık bulundurmaktadır. Debi değerlerine bakıldığında ise sıcaklık ve buharlaşma-terleme değerlerinden az ama yağış ve toprak nemi değerlerinden fazla anlamlılık katsayısı (*R²* veya *R-kare*) değerleri bulundurmaktadır. Eğim değerlerinin ITA_R yönteminde ikinci yarım ve birinci yarım serilerine ait doğruya ait iken, LR yönteminde tüm seri ile zaman arasındaki

doğruya ait olup uyum göstermektedir. Bu durum klasik yöntemlerden Doğrusal Regresyon (LR) ile Revize Yenilikçi Trend (ITA_R) analizinin paralellliğini gösterir.

Tablo 4.18. ITA_R s (slope) ve LR b (eğim) arasındaki r (korelasyon) ile z -skor ve R^2 değerleri

Y	Sıcaklık				Yağış				Buharlaştırma Terleme				Toprak Nemi				Debi			
Periyod	ITA_R		LR		ITA_R		LR		ITA_R		LR		ITA_R		LR		ITA_R		LR	
	z	s	b	R ²	z	s	b	R ²	z	s	b	R ²	z	s	b	R ²	z	s	b	R ²
Yıllık	3,7	0,1	0,1	0,6	0,4	1,6	-1,2	0,0	4,6	3,3	1,8	0,6	-0,6	-2,8	-2,3	0,1	-2,6	-0,1	-0,1	0,3
Kış	1,9	0,1	0,1	0,2	2,0	4,2	1,1	0,0	1,9	0,3	0,2	0,2	-0,5	-0,8	-0,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
İlkbahar	3,3	0,1	0,1	0,3	-0,8	-1,1	-0,5	0,0	2,3	0,6	0,4	0,2	-0,3	-0,4	-0,3	0,0	-1,5	-0,3	-0,2	0,2
Yaz	6,3	0,1	0,1	0,5	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	2,0	1,5	0,9	0,5	0,1	0,1	-0,5	0,0	-1,2	0,0	0,0	0,3
Sonbahar	3,1	0,4	0,2	0,5	-0,8	-1,5	-1,5	0,1	1,2	0,8	0,4	0,3	-0,9	-1,7	-1,1	0,1	-0,7	0,0	0,0	0,1
Ocak	0,8	0,1	0,1	0,1	11,1	4,1	1,4	0,1	0,6	0,0	0,0	0,1	-0,7	-0,3	-0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Şubat	1,9	0,1	0,1	0,1	0,4	0,7	-0,4	0,0	1,6	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,6	0,1	0,0	0,1
Mart	2,8	0,2	0,0	0,2	-0,5	-0,6	0,0	0,0	1,1	0,2	0,1	0,1	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0
Nisan	1,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,3	0,0	0,9	0,1	0,1	0,1	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	-1,7	-0,7	-0,3	0,3
Mayıs	1,5	0,1	0,0	0,1	-0,5	-0,6	-0,2	0,0	1,1	0,3	0,2	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-1,0	-0,2	-0,1	0,2
Haziran	3,0	0,1	0,1	0,3	0,8	0,3	0,1	0,0	2,6	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	-1,3	-0,1	-0,1	0,3
Temmuz	2,7	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,6	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	-1,4	0,0	0,0	0,3
Ağustos	5,1	0,2	0,1	0,5	-0,9	-0,1	-0,1	0,0	2,3	0,5	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
Eylül	1,9	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,0	2,2	0,3	0,1	0,2	-0,6	-0,3	-0,1	0,0	2,5	0,0	0,0	0,2
Ekim	3,1	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,0	2,3	0,3	0,2	0,2	-1,1	-0,6	-0,5	0,1	-0,6	0,0	0,0	0,0
Kasım	1,4	0,2	0,1	0,2	-1,2	-1,8	-1,5	0,2	2,2	0,2	0,1	0,2	-0,8	-0,7	-0,5	0,1	-0,6	-0,1	-0,1	0,1
Aralık	1,6	0,2	0,1	0,2	-0,4	-0,6	0,1	0,0	0,6	0,1	0,1	0,1	-0,7	-0,5	-0,4	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0
r	0,94				0,73				1,00				0,96				1,00			

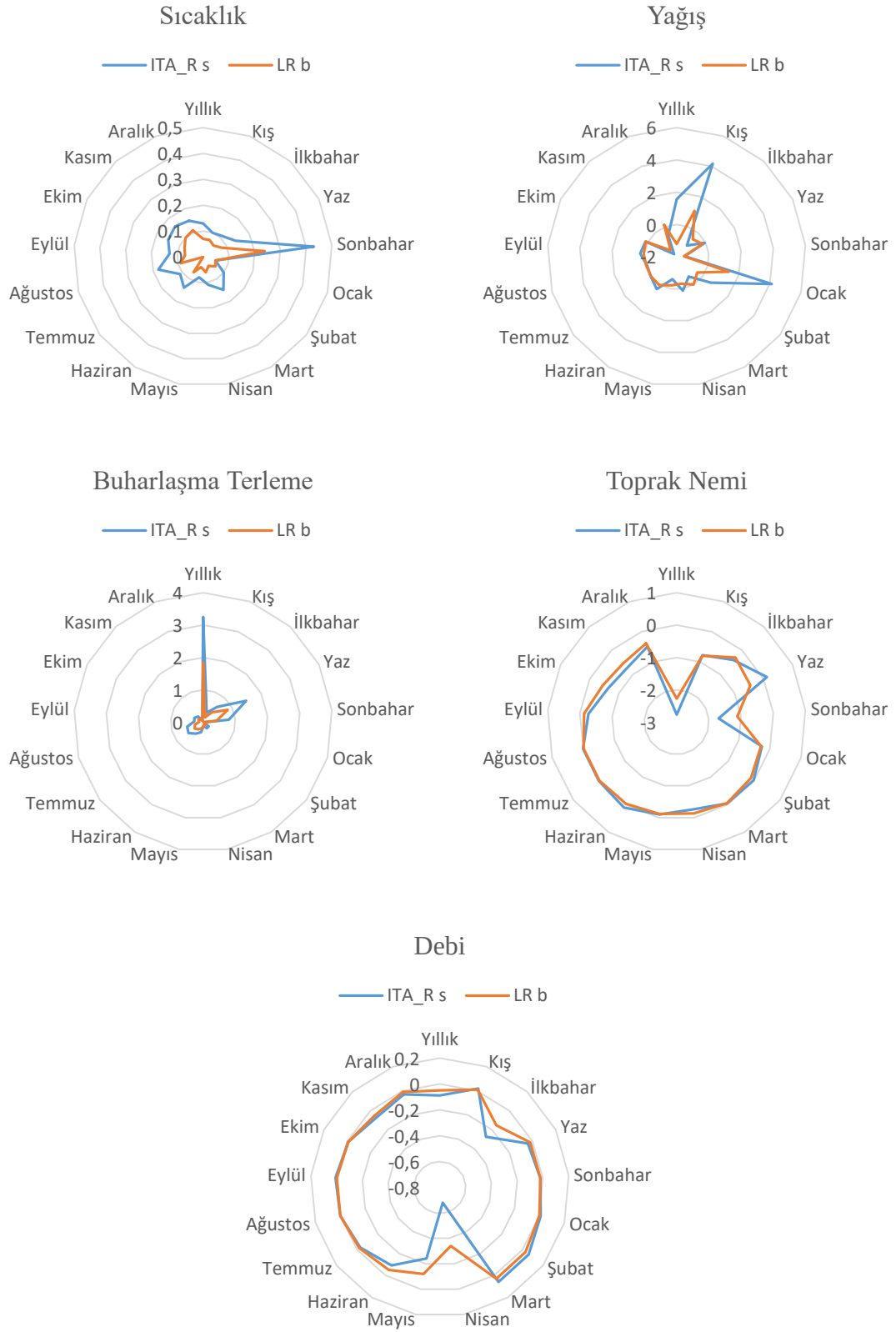
Pozitif ve negatif işaretler trendin yönünün artan veya azalan olduğunu göstermektedir. Ayrıca z -skorları yönünden karşılaştırma imkânı veren Tablo 4.18 en yüksek değerler ve en düşük değerler açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Bu tablodan sadece yıllık değerlerin ayrıntılı bir değerlendirilmesi yapılması amaçlı Tablo 4.19 verilmiştir. Yıllık toplam yağış değerlerinde bir istisna gözlenmiştir: MK ve LR yöntemleri anlamlı olmayan azalan trend gösterirken, ITA_R yöntemi anlamlı olmayan artan trend ortaya koymuştur. Bu farklılık, yağış parametresinin doğası gereği rastlantısal değişkenliğine bağlanabilir.

Şekil 4.23 sıcaklık, yağış, buharlaştırma-terleme, toprak nemi, debi parametrelerine ait s (ITA_R) ve b (LR) eğim değerleri arasındaki korelasyonlara ait çizgisel şekillerinin benzerliğine dair bilgi vermektedir. ITA_R yönteminin s eğim değeri mavi renkli çizgilerle ve LR yönteminin b eğim değerleri turuncu renkli çizgilerle gösterilmiştir. Bu durum eğim değerlerinin ölçekçe farklı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.19. Yıllık ITA_R slope (s) ve LR eğim (b), ile z-skor ve R² değerleri

Parametre	Metod	İstatistik		Sonuç
Sıcaklık	MK	z	5,41	Yüksek anlamlı artan trend
	ITA_R	z	3,72	Yüksek anlamlı artan trend
		s	0,130	
	LR	b	0,074	Orta anlamlı artan trend
		R ²	0,570	
Yağış	MK	z	-0,85	Anlamsız azalan trend
	ITA_R	z	0,43	Anlamsız artan trend
		s	1,580	
	LR	b	-1,192	Anlamsız azalan trend
		R ²	0,014	
Buharlaşma Terleme	MK	z	5,28	Yüksek anlamlı artan trend
	ITA_R	z	4,55	Yüksek anlamlı artan trend
		s	3,250	
	LR	b	1,838	Orta anlamlı artan trend
		R ²	0,559	
Toprak Nemi	MK	z	-2,18	Yüksek anlamlı azalan trend
	ITA_R	z	-0,64	Anlamsız azalan trend
		s	-2,770	
	LR	b	-2,265	Anlamsız azalan trend
		R ²	0,077	
Debi	MK	z	-3,32	Yüksek anlamlı azalan trend
	ITA_R	z	-2,59	Yüksek anlamlı azalan trend
		s	-0,090	
	LR	b	-0,052	Düşük anlamlı azalan trend
		R ²	0,272	

Şekil 4.23 incelendiğinde yağış için Kış sezonu ve Ocak ayında yüksek değerler dikkat çekmektedir. Bu dönemlere ait trendler kritik artan trend olarak elde edilmiştir. Sıcaklık grafiğinde Sonbahar sezonu, buharlaşma-terlemede Yıllık yüksek değerler dikkat çekmektedir. Toprak nemi değerleri Yıllık, debi değerleri ise Nisan ayında mutlak yüksek trend değerleri olarak görünmektedir. Şekil 4.23’de s ve b eğim değerleri merkeze yaklaştıkça pozitiflikten uzaklaşarak negatifliğe gidişi veya o trendin güçlenmesi/zayıflamasıyla paralellik gösterir. Merkezdeki değer negatif ise bulunduğu dönemin azalan trendin derecesini, pozitif ise artan trendin derecesini ve sıfır ise trend yok.



Şekil 4.23. s (ITA_R) ve b (LR) eğim değerlerine ait radar grafikleri

durumuna işaret eder. Sıcaklık parametresinde tüm değerler pozitif olduğundan artan gidiştir. Sıcaklıkta Sonbahar sezonuna ait trend değerleri oldukça yüksektir. Yağış parametresinde merkezde yaklaşık olarak -2 değerinde genel dağılım olarak yağışlarda azalan trendini, pozitif uç değerler olarak Kış sezonu ve Ocak ayında pozitif değerler olarak artan trendi işaret etmektedir. Buharlaştırma-terleme (ET) parametresinde tüm değerler pozitif olduğundan artan trend gidişatındadır. ET parametresinde yıllık değerler oldukça kritiktir. Toprak neminde Yıllık ve Sonbahar, debi değerleri için İlkbahar sezonu ve Nisan ayı uç değerlerdir. Toprak nemi ve debi değerleri genel olarak sıfır veya negatif işaretli olduklarından trendin gidişatı kısmen azalandır.

Aşağıda bulunan Tablo 4.20’de sıcaklık, yağış, buharlaştırma terleme, toprak nemi, debi parametrelerine ait Doğrusal Regresyon sonuçlarında sunulan *R-kare* istatistiğinin karekökü alınarak ve yine LR grafiklerince elde edilen trend eğrisinin eğiminin işaretine göre elde edilen korelasyon katsayı büyüklükleri ve yönleri sunulmuştur. Bu *r* değeri parametrelerin her birinin kendi arasında ve bir diğeri arasında yorumlama imkânı sunmaktadır. Buna göre sıcaklık, buharlaştırma-terleme parametrelerinin tüm periyotlarda pozitif yani artan trend ve oldukça yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4.20. Parametrelere ait korelasyon katsayıları (*r*)

Parametre/Periyod	Sıcaklık	Yağış	Buharlaştırma Terleme	Toprak Nemi	Debi
Yıllık	+0,75	-0,12	+0,75	-0,28	-0,17
Kış	+0,48	+0,15	+0,44	-0,20	+0,10
İlkbahar	+0,51	-0,10	+0,45	-0,13	-0,48
Yaz	+0,74	-0,15	+0,70	-0,05	-0,51
Sonbahar	+0,67	-0,33	+0,50	-0,24	-0,34
Ocak	+0,23	+0,37	+0,33	-0,16	+0,03
Şubat	+0,34	-0,12	+0,32	-0,08	+0,27
Mart	+0,42	+0,01	+0,27	-0,08	+0,01
Nisan	+0,34	-0,10	+0,26	-0,14	-0,51
Mayıs	+0,37	-0,08	+0,44	-0,09	-0,40
Haziran	+0,59	+0,04	+0,64	-0,04	-0,54
Temmuz	+0,58	-0,05	+0,67	-0,06	-0,55
Ağustos	+0,72	-0,19	+0,62	-0,06	-0,14
Eylül	+0,52	+0,15	+0,39	-0,13	+0,49
Ekim	+0,60	-0,05	+0,46	-0,23	-0,15
Kasım	+0,46	-0,44	+0,42	-0,26	-0,38
Aralık	+0,44	+0,02	+0,35	-0,21	-0,09

Tablo 4.21’de ise parametreler kısaltılarak genel bir karşılaştırma için ITA_R, MK, LR ve MK-MK yöntemleriyle sunulmuştur. Tabloda *S* sıcaklık, *Y* yağış, *BT* buharlaşma terleme, *TN* toprak nemi, *D* debi ve bazı mevsim ve aylar kısaca verilmiştir. Yöntemler ve parametrelerine ait eğer artan trend varsa “+”, azalan trend varsa “-“, trend yoksa “x” sembolü ile işaretlenmiş, MK-MK yönteminde verilen yıllar ise değişimin başlangıç yılları olarak verilmiştir.

Tablo 4.21. Çalışmaya ait karşılaştırmalı analiz sonuçları

Yöntemler	ITA_R					MK					LR					MK-MK				
Periyotlar	S	Y	BT	TN	D	S	Y	BT	TN	D	S	Y	BT	TN	D	S	Y	BT	TN	D
Yıllık	+	x	+	x	-	+	x	+	-	-	+	-	+	-	-	2006	1999	2003	2000	2000
Kış	+	+	+	x	x	+	x	+	-	x	+	+	+	-	+					
İlkbahar	+	x	+	x	-	+	x	+	-	-	+	-	+	-	-					
Yaz	+	x	+	x	x	+	x	+	x	-	+	-	+	-	-					
Sonbahar	+	x	x	x	x	+	-	+	x	-	+	-	+	-	-					
Ocak	x	+	x	x	x	+	+	x	-	x	+	+	+	-	+					
Şubat	+	x	+	x	x	+	x	+	-	+	+	-	+	-	+					
Mart	+	x	x	x	x	+	x	+	x	x	+	+	+	-	+					
Nisan	+	x	x	x	-	+	x	+	x	-	+	-	+	-	-					
Mayıs	+	x	x	x	x	+	x	+	x	-	+	-	+	-	-					
Haziran	+	x	+	x	-	+	x	+	x	-	+	+	+	-	-					
Temmuz	+	x	+	x	-	+	x	+	x	-	+	-	+	-	-					
Ağustos	+	x	+	x	x	+	x	+	x	x	+	-	+	-	-					
Eylül	+	x	+	x	+	+	x	+	-	+	+	+	+	-	+					
Ekim	+	x	+	x	x	+	x	+	-	x	+	-	+	-	-					
Kasım	+	x	+	x	x	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-					
Aralık	+	x	x	x	x	+	x	x	-	x	+	+	+	-	-					

Sıcaklıklar ITA_R, MK ve LR yöntemlerine göre artan trend göstermişlerdir. MK-MK yöntemine göre değişim başlangıç yılı 2006 olarak görülmektedir. Yağışlar ITA_R yöntemine göre trend yok, MK yöntemine göre trend yok, LR yöntemine göre çoğunlukla azalan trend şeklindedir. MK-MK yöntemine göre değişim başlangıç yılı 1999’dur. Buharlaşma-terleme parametresi ITA_R, MK ve LR yöntemlerine göre artan trend göstermişlerdir. MK-MK yöntemine göre değişim başlangıç yılı 2003 olarak görülmektedir. Toprak nemi ITA için daha çok azalan, ITA_R için trend yok, MK için daha

çok azalan ve LR için azalan trend şeklindedir. MK-MK yöntemine göre değişim başlangıç yılı 2000 olarak görülmektedir. Debi parametresi ITA için daha çok azalan, ITA_R için daha çok trend yok, MK için göre daha çok azalan ve LR için azalan trend şeklindedir. MK-MK yöntemine göre değişim başlangıç yılı 2000 olarak görülmektedir.

Vahkin Irmağı havzasının hidro-meteorolojik değişkenleri, birden fazla trend değişim noktası sergilemektedir. Trend değişim yılı; sıcaklık için 2006, yağış için 1999, buharlaşma-terleme için 2003, nem için 2000 ve debi değerleri için 2000 yılı olarak görünen başlangıç noktaları, zaman serisinin iki eşit alt seriye bölünmesinde referans alınan temel yıllar olduğundan trend tespiti açısından önem arz etmektedir. Yağış açısından bakıldığında (1999), bu yıldaki bir trend değişimi, nemdeki 2000 yılına ait değişim noktasını tetiklemiş olabilir. Ancak sıcaklıkta 2006 yılında gözlemlenen trend değişiminin; yağış (1999), toprak nemi (2000) ve buharlaşma-terleme (2003) değişim noktalarından sonra meydana gelmesi, tutarsız bir durum olarak değerlendirilebilir. Bu tutarsızlık, verilerin 1981 yılında başlaması nedeniyle kısa kayıt süresine bağlanabilir. Ayrıca sıcaklık için 2006 yılında gözlemlenen trend değişim noktasının, muhtemel bir ikinci veya üçüncü değişim noktasını yansıttığı da düşünülebilir.

Esen (2021) Göynük Çayı Havzasında (Bingöl) yaptığı hidro-klimatolojik analizde, 1970-2017 yılları arasındaki sıcaklık, yağış ve akım verileri incelenerek uzun dönemli trendleri belirlemiştir. Mann-Kendall testi, Doğrusal Trend Analizi, Kendall Tau ve Spearman Rho korelasyon testleri uygulanmış; sıcaklık değerlerinde artış, yağış ve akım değerlerinde ise azalma trendleri tespit etmiştir. Çalışmada, sıcaklık artışlarının yağış ve akım miktarlarını olumsuz etkilediğini, özellikle Yaz aylarında belirgin su azalmasının yaşandığı tespitini elde ederek bu çalışmayla paralel bulgu ve sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

Bingöl ilindeki yağış değişimlerini analiz etmek için 1960-2017 yılları arasındaki yağış verilerini Mann-Kendall (MK) ve Şen Yenilikçi Trend Analiz yöntemleriyle inceleyen Yükseler (2020), yıllık toplam yağış miktarlarında genel olarak 0-2 mm/yıl arasında bir azalma trendi, Mevsimsel analizlerde Kış, İlkbahar ve Sonbahar mevsimlerinde azalma görülürken, Yaz mevsiminde bazı bölgelerde artış, Genç ilçesindeki yağış gözlem istasyonu için Yıllık toplam yağış değerlerinde -2,62 mm/yıl oranında bir azalma trendi tespiti çalışmayla uyumunu desteklemektedir.

Keskin vd. (2023) Doğu Anadolu Bölgesi'nde (Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Tunceli ve Van) Aylık ve Yıllık sıcaklık ve yağış trendlerini analiz etmişlerdir. Mann-Kendall testi kullanılarak yapılan analizlerde, bölgedeki sıcaklık trendlerinde genel bir artış, yağış trendlerinde ise azalma tespit edilmiştir. Bingöl özelinde bu çalışmanın sonuçlarına bakıldığında Aylık sıcaklıklara ait en yüksek z değeri 1,87 ile Ağustos ve Yıllık değerlerde ise 2,07; Aylık yağışlara ait en düşük değer -2,34 ile Nisan, Yıllık değerlerde ise -1,14 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler Vahkin Irmağı havzasında sıcaklık için Ağustos ayı için 5,10; Yıllık değerler için 5,41; Yağış parametresinde Nisan ayı için -0,88; Yıllık toplam yağış değerlerinde ise -0,85 değerlerinin büyüklük ve trend açısından paralellik göstermektedir.

Demir vd. (2018), 1975-2016 yılları arasında Bingöl ilinin Yıllık, Mevsimlik ve Aylık yağış ve sıcaklık trendleri, Spearman ve Kendall yöntemleriyle korelasyon katsayıları belirlenerek incelenmiş, 42 yıllık sıcaklık ve yağış verileri değerlendirildiğinde, sıcaklıkların artış trendinde olduğunu, yağış miktarlarında ise azalmaların yaşandığını belirttikleri çalışmanın sonuçları Vahkin Irmağı havzası için elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir.

Yıldırım (2012), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Fırat Havzasında düşük akımların analizinde azalan yönde trend tespit etmiştir. Demir vd. (2007), Türkiye genelinde yağış miktarlarının azalma trendinde olduğunu belirtmiştir. Buna karşın, Şensoy vd. (2005), Doğu Anadolu Bölgesi'ne yönelik çalışmalarında, yıllık toplam yağışların artış yönünde bir trend sergilediğini gözlemlemiştir. Türkeş (1996), 1930-1993 yılları arasındaki Türkiye genelindeki yıllık yağış miktarlarını inceleyerek, ülke genelinde yağışların azaldığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Özfidaner (2007) de 1932-2002 yılları arasındaki yağış ve akım trendlerini ele aldığı çalışmasında, Doğu Anadolu Bölgesi'nde özellikle Kış mevsiminde ve Şubat, Mayıs, Ağustos aylarında yağışların düşüş gösterdiğini ortaya koymuştur. Yıldırım (2015) tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında Orta Fırat Havzasındaki 5 farklı gözlem istasyonunun mevcut verileri dikkat alınarak bu noktalardaki akım trendleri bazı istasyonlarda artış bazısında azalış trendleri tespit edilmiştir. Vahkin havzasına en yakın istasyon olarak 2122 nolu istasyonda yıllık akımlarda ITA için artan trend, MK için z-skoru 0,638 şeklindedir. Bu değerler Vahkin havzasında sırasıyla azalan trend ve -3,32 şeklindedir (uyumsuz).

Vahkin Irmağı havzasına ait bu çalışmaya zaman, mekân ve yöntem olarak paralellik arz eden yukarıdaki araştırmalar genel olarak bulgu ve sonuç yönünden de paralellik içerisinde. Bu çalışmada, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Bingöl ili Genç ilçesindeki, Murat Nehrinin önemli bir kolu olan Vahkin Irmağı havzasında iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık, yağış, buharlaşma terleme, toprak nemi, debi değişkenlerinin farklı trend analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Vahkin Irmağı havzası özelinde çok az bilimsel çalışmaya rastlandığından, literatüre Vahkin Irmağı havzası özelinde iklim değişikliği üzerine bir katkı kazandırılarak iklim değişikliğini belirlemek için klasik-yenilikçi ve parametrik ve non-parametrik yöntemler bir arada kullanılarak (Doğrusal Regresyon, Mann-Kendall, Yenilikçi Trend Analiz, Revize Yenilikçi Trend Analiz) analizler yapılmıştır. İklim değişikliğinin yöresel ölçekte gözlemlenen etkileri özellikle sıcaklık ve buharlaşma terleme değişkenlerinde belirgin artışlar olduğunu göstermektedir. Bu çalışma havzada sıcaklık değerlerinin zaman içinde artış gösterdiğini ve bu artışın özellikle Yaz aylarında daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Yağış verileri üzerinde yapılan analizler ise özellikle Ocak ayı, Kış mevsiminde yağış miktarlarında kısmen bir artış olduğunu geri kalan zamanlarda azalış trendleri olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fosil (gömülü) yakıtlar olarak adlandırılan enerji kaynaklarından kömür ve petrolün depolanabilmesi, istenildiği zaman ve mekânlarda istenildiği miktarda kullanılabilir olması kullanımlarını oldukça artırmıştır ve iklim açısından negatif sonuçlar doğurmuştur. Bu enerji kaynaklarından istediği miktarda yararlanan insanoğlu, son 40 yıl içinde fosil yakıtların, insanın içinde yaşadığı atmosferin kimyasal bileşimini bozarak uzun vadede canlılar aleyhine olabilecek küresel ısınma, sera etkisi, iklim değişikliği ve ozon tabakasının incilmesi gibi küresel boyutta sorunlarla karşılaşabileceğini anlamıştır.

Bu çalışma ile iklim değişikliğinin akarsu havzalarındaki etkilerine odaklanarak Vahkin Irmağı havzasında akarsu akımlarının, havzaya düşen yağışların, havza sıcaklıklarının, buharlaşma terlemenin, toprak neminin iklim değişimi etkilerine olan hassasiyetleri araştırılmıştır. Vahkin Irmağı havzası içerisinde 1981-2022 yılları sıcaklık, yağış, debi, buharlaşma terleme, toprak nemi verilerinde zamanla meydana gelen trendler yenilikçi yöntemlerden olan Yenilikçi Trend Analiz, Yenilikçi Çokgen Trend Analiz; klasik yöntemlerden olan Mann-Kendall Testi, Doğrusal Regresyon yöntemleri uygulanarak trend analizi gerçekleştirilmiş ve iklim değişikliği göstergeleri irdelenmiştir. Hidro-meteorolojik, hidro-jeolojik değişkenler aylık, sezonluk ve yıllık olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yağış, sıcaklık, buharlaşma terleme, toprak nemi, debi değişkenleri Yenilikçi Trend, Revize Yenilikçi Trend, Yenilikçi Çokgen Trend Analizleri, Mann-Kendall, Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testleri ile Doğrusal Regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada Vahkin Irmağı akış değerlerinin azalmasının ana etkenleri arasında, sıcaklık ve buharlaşma-terleme değerlerindeki artış trendleri gösterilebilir. Yağış ve toprak nemi değerleri monotonik olmayan azalan trende sahip olup, tüm yöntemler için açık bir azalan trend göstermemektedir. Havza üzerindeki tüm parametrelere ait trend analiz sonuçları özetlenecek olursa;

- **Sıcaklık:** İstatistiksel olarak anlamlı **artan** trend.

- **Yağış:** Orta değer aralığında genel olarak **azalan** bir trend, ancak istatistiksel olarak anlamlı ya da monotonik değil.
- **Buharlaşma ve Terleme (ET):** Anlamlı şekilde **artan** trend.
- **Toprak Nemi:** **Azalan** bir trend, ancak her zaman anlamlı değil.
- **Debi:** İstatistiksel olarak anlamlı **azalan** trend.

Sıcaklıklarda görülen kritik seviyede artışlar öncelikle yağışları dolaylı olarak akış, buharlaşma-terlemeyi ve toprak nemini etkilemiştir. Vahkin Irmağı havzasına ait bu parametrelerdeki trendlerin belirlenmiş olması bölgenin planlama ve yatırım faaliyetlerinde değerlendirmeye tabi tutulması beklenmektedir. Parametrelerdeki bu değişimler, özellikle sıcaklık değerlerindeki bu artan trendler, kritik seviyededir ve ilerleyen periyotta havzanın kuraklık problemi ile karşı karşıya kalabileceği ihtimalini düşündürmektedir.

Havza genelinde kontrolsüz, plansızca yapılan/yapılacak su sondajları ve şuursuzca bir su kullanımı yer altı sularının çekilmesi ile beraberinde hidrolojik döngü bileşenlerinin havza özelinde gösterdikleri bu gidişat su yetersizliğine giden yolun temel taşlarının göstergeleri niteliğindedir. Havza örneğinden yola çıkılarak yerel, bölgesel küresel anlamında bir genelleme varsayımı yapılmak suretiyle aynı neticelerin oluşması durumuyla birlikte su krizi sorununu göz önüne getirebilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada tüm yöntemlerdeki kritik artan sıcaklık, artan buharlaşma terleme trendleri ile yağıştaki ağırlıklı azalan trendler meteorolojik kuraklığa, azalan toprak nemi ve azalan debi trendleri hidrolojik kuraklığa, sonrasında tarımsal kuraklığa, böylece sosyo-ekonomik kuraklığa domino etkisi oluşturmaya işaret etmektedir. Ayrıca canlıların yaşam alanı olarak ifade edilen habitata ilişkin Alas (2024), Vahkin Irmağı havzasında bulunan muhtelif noktalardan aldığı numuneler üzerinde yaptığı “Çotla Yaylası Su Keneleri Faunası” adlı çalışmasında iklim değişikliğinin su kenelerinin doğal yaşam alanlarını tehdit ettiğini belirtmiştir. Bu durumla birlikte iklim değişikliği-habitat ilişkisinde detaylı çalışmaların ileriki dönemlerde yapılması beklenmektedir.

Nihayetinde atmosfer kirliliği ve iklim değişikliğinin etkilerinin sonucu olarak, fosil enerji yakıtlarının kullanımının azaltılması ve bunun yerine çevre ve atmosferi kirletmeyecek

doğal enerji kaynaklarını kullanma trendini gerekli kılmaktadır. Dabanlı (URL-5) bu küresel tehlikede Türkiye'nin %1 payının olduğunu, büyük payın ise Çin ve ABD'de olduğunu belirtmiştir. İnsanlığın ortak malı olan atmosferin kirletilmemesi için temiz, çevre dostu ve tükenmeyen denilebilecek güneş, rüzgâr, su, biokütle (canlı kütle), dalga, gelgit, yer ısısı (jeotermal), hidrojen enerji kaynaklarından faydalanılmasının yerel ve küresel düzeyde artırılması gerekmektedir.

Hidrolojik değişimlerin incelenmesine yönelik ulusal ve uluslararası birçok araştırma yapılmıştır. Bu tezde kullanılan yöntemlerin farklı akarsu havzalarında uygulanması, benzer araştırmaların yaygınlaştırılmasına katkısı ve mevcut su kaynaklarının daha verimli değerlendirilmesi açısından;

- Çalışma, yerel ölçekli iklim değişikliği etkilerine vurgu yapmakta,
- Vahkin Havzası üzerine sınırlı olan literatüre katkı sağlamakta,
- Bölgesel planlama ve su kaynakları yönetimi açısından faydalı

olduğundan araştırma önemlidir.

KAYNAKLAR

Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A. and Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific data*, 5(1), 1-12.

Acar, Z. ve Gönençgil, B. (2024). Ekstrem Sıcaklık Analizi: Yukarı Fırat Bölümü Örneği, TÜCAUM 2024 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara. s. 75.

Addisu, S., Selassie, Y. G., Fissaha, G. and Gedif, B. (2015). Time series trend analysis of temperature and rainfall in lake Tana Sub-basin, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, Springer, p. 4-25.

Akhundzadah, N. A. (2024). Analyzing Temperature, Precipitation, and River Discharge Trends in Afghanistan's Main River Basins Using Innovative Trend Analysis, Mann–Kendall, and Sen's Slope Methods. *Climate*, 12(12), 196.

Alas, R. (2024). Çotla Yaylası (Genç-Bingöl) Su Keneleri (Acarı:Hydrachnidia Faunası), Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alashan, S., Toprak Z. F. ve Şen, Z. (2015). İklim Değişikliğinin Murat Nehri Su Gücü Potansiyeline Etkisi, 4. Su Yapıları Sempozyumu Bildirileri, 19-20 Kasım, Antalya, Türkiye, s. 331-340.

Alashan, S. (2016). Nehir Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Hesaplanmasında Yeni Bir Yaklaşım (Enerji Ağacı Yöntemi) Ve Murat Nehri Örneği. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alashan, S. (2018a). Yenilikçi Trend Analiz Yönteminin Logaritmik Eksende Değerlendirilmesi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 3(1), 16-21.

Alashan, S. (2018b). An improved version of innovative trend analyses. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(3), 50.

Alashan, S. (2020a). Bingöl ili rüzgar potansiyeli ve iklim değişikliğinin etkisi. *Doğal Afet Çevre Dergisi*, 6(1): 157-168, DOI: 10.21324/dacd.569072

Alashan, S. (2020b). Testing and improving type 1 error performance of Şen's innovative trend analysis method. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3), 1015-1025.

Alashan, S., Abu Arra, A. and Şişman, E. (2024). Standardized Innovative Polygon Trend Analysis for Climate Change Assessment (S-IPTA). *Pure Appl. Geophys.* 181, 2277–2295 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03525-w>

Alifujiang, Y., Abuduwaili, J. and Ge, Y. (2021). Trend analysis of annual and seasonal river runoff by using innovative trend analysis with significant test. *Water*, 13(1), 95.

Alivi, A., Yıldız, O. ve Aktürk, G. (2021). Fırat-Dicle Havzasında yıllık ortalama akımlar üzerinde iklim değişikliği etkilerinin iklim elastikiyeti metodu ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1449-1466.

Almeida, I., Kaufmann A., Anache, J., Steffen, J., and Alves S. (2015). Estimation on Time of Concentration of Overland Flow in Watersheds: A Review. *Geociencias*. 33. 661-671.

Altürk, B. (2009). Erken kar erimelerinin Fırat ve Dicle Havzasındaki nehirlerin akım zamanına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.

Anık, E. M., Akçay, F., Kankal, M. ve Şan, M. (2021). Doğu Karadeniz Havzası yıllık anlık maksimum akımların eğilim analizi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 3(1), 1-22.

Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237-276.

Asfaw, A., Simane, B., Hassen, A. ve Bantider, A. (2017). Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin. *Weather and Climate Extremes*, pp.1-13, Elsevier.

Ashby, K. R. (2021). GEOGloWS HydroViewer: Open Software-as-a-Service for Localizing Global Hydrologic Forecasts of the Group on Earth Observations Global Water Sustainability Initiative (Master's thesis, Brigham Young University).

Avci, V. ve Sunkar, M. (2018). Bulancak'ta (Giresun) sel ve taşkın olaylarına neden olan Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulancak Derelerinin morfometrik analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28(2), 15-41. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.460907>

Avşaroğlu, Y. (2019). Dicle Havzası aylık ortalama akım değerlerinin trend analizi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aydın, A., ve Eker, R. (2014). Topografik Parametreler Kullanılarak Potansiyel Çığ Başlama Bölgelerinin CBS Tabanlı Olarak Belirlenmesi. II. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu, 426-435.

Aydın, F. (2010). Türkiye buharlaşma verilerinin bölgesel ortalama gidiş analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aydın, M. C., Çelik, R. ve Yaylak, M. M. (2015). Küresel İklim Değişikliğinin Keban Barajı'na Hidrolojik Etkisi. 4. Su Yapıları Sempozyumu, Antalya. s. 19.

Aydın, M. ve Öz, A. (2021). Van Gölü Havzasında hidrometeorolojik verilerin eğilim analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 36(2), 441-456.

Bacanlı, Ü. ve Tanrikulu, A. (2017). Ege Bölgesinde Buharlaşma Verilerinin Trend Analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3), 980-987.

Bai, L., Shi, C., Li, L., Yang, Y., and Wu, J. (2018). Accuracy of CHIRPS satellite-rainfall products over mainland China. Remote sensing, 10(3), 362.

Batan, M. (2014). İklim değişikliği ve beklenen sonuçları, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Batur, E., Gültekin, M. L., Bickici, F., Saban, M., Dabakoğlu, G. ve Aydoğan, E. (2013) Fırat Nehri Havzasında Alansal Kar Derinliklerindeki Uzun Dönem Değişimler ve Sebepleri. III. İklim Değişikliği Kongresi, TIKDEK, İstanbul. s. 38.

Baydaş, A., Demirkıran, A. R. ve Bilinmiş, M. M. (2018). Murat Nehri Rehabilitasyon Projelerinden Yöre Halkının Memnuniyet Düzeyinin Belirlenmesi: Bingöl (Lediz, Vahkin-Çanakçı, Göynük Çayı Ve Çapakçur Mikrohavzaları) Örneği. JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy, 3(1), 31-57.

Beşel, C. ve Kayıkçı, E. T. (2016). Meteorolojik verilerin zaman serisi ve tanımlayıcı istatistikler ile yorumlanması; Karadeniz Bölgesi örneği. TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 13-14.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC). (1988). The United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

Birpınar, M. E. ve Sen, Z. (2004). Water resources assessment, IACWRA 2004 Lecture Notes. s.57.

Büyükkaracıgan, N. (2019). Hidrolojik Verilerin Değişkenlik Analizi ve Uygulamaları. İksad Yayınevi, Ankara. s. 7

Büyükyıldız, M. ve Berktaş, A. (2004). Parametrik olmayan testler kullanılarak Sakarya Havzası yağışlarının trend analizi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 19(2), 23-38.

Cebe, E. N. (2007). Türkiye Akarsularında Mevsimsel Trend Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chandole, V., Joshi, G. S. and Rana, S. C. (2019). Spatio-temporal trend detection of hydro-meteorological parameters for climate change assessment in Lower Tapi river basin of Gujarat state, India. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 195, 105130.

Chen, Z. ve Zhao, S. (2022). Automatic monitoring of surface water dynamics using Sentinel-1 and Sentinel-2 data with Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 113, 103010.

Citak, S. ve Kilic, O. M. (2023). Yukarı Çekerek Havzasının Coğrafi Bilgi Sistem Kullanılarak Jeomorfometrik Analizi . *Multidisipliner Yaklaşımlarla Coğrafya*, 1(4), 262-279. doi: 10.29329/mdag.2023.617.1

Copernicus Climate Change Service (2023). European State of the Climate 2023 (ESOTC 2023). Retrieved from <https://climate.copernicus.eu/esotc>

Coşkun, M. (2019). İklim Değişimleri ve Küresel Isınma. 12. Bölüm, Yer Bilimi Kitabı, Ed. Mete Alim Serkan Doğanay, Pegem Akademi, Ankara.

Coşkun, M. ve Öztürk, A. (2022). Havza önceliklendirmesi bakımından Ermenek Çayı Havzası ve Gökçay Havzasının karşılaştırmalı morfometrik analizi. *Turkish Journal of Forestry*, 23(1), 1-10. <https://doi.org/10.18182/tjf.1024569>

Coşkun, S. (2020). Aras-Kura Kapalı Havzasının Ortalama Sıcaklık, Yağış Ve Akım Verilerinin Trend Analizi (Türkiye). *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 30(2), 29-42.

Cui, L., Wang, L., Lai, Z., Tian, Q., Liu, W. and Li, J. (2017). Innovative trend analysis of annual and seasonal air temperature and rainfall in the Yangtze River Basin, China during 1960–2015. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 164, 48-59.

Çeribaşı, G. ve Doğan, E. (2015). Trend Analizi Yöntemi Kullanılarak Batı Ve Doğu Karadeniz İle Sakarya Havzası Akım Miktarlarının Değerlendirilmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 7(2), 1-12.

Dabanlı, İ. (2017). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi Ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dabanlı, İ., Vicente-Serrano, S.M., Trambly, Y. et al. (2025). High temporal variability not trend dominates Mediterranean precipitation. *Nature* 639, 658–666 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08576-6>

Demir, A. D., Demir, Y., Şahin, Ü. ve Meral, R. (2017). Bingöl ilinde sıcaklık ve yağışların trend analizi ve tarıma etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(3), 284-291.

Demir, İ., Kılıç, G. ve Coşkun, M. (2007). Türkiye ve Bölgesi için PRECIS bölgesel iklim modeli çalışmaları. I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiriler Kitabı s. 252-261, İstanbul.

Dikici, M. (2019). Asi Havzasında (Türkiye) kuraklık analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1), 22-40.

Dölek, İ., Talı, H., Aydın, H., Gorum, T., Demirci, A. ve Ekinçi, Y. (2015). Kalkınma Yolunda Doğal Afetler Proje Raporları (Muş ilinde Meteorolojik Kuraklık, Hidrolojik Kuraklık, Kütle Hareketleri, Sel ve Taşkınlar, Depremler).

Du, H., Tan, M. L., Zhang, F., Chun, K. P., Li, L. and Kabir, M. H. (2024). Evaluating the effectiveness of CHIRPS data for hydroclimatic studies. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(3), 1519-1539.

Ecer, R. (2009). İklim değişikliği ve GAP bölgesindeki su kaynaklarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ergün, M., Fırat, B., Tuncer, G. ve 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.

Eroğlu, V. (1997). Su Kaynaklarının Korunması, (Editör Zekai Şen), Su Kaynaklarının Korunması İşletilmesi Sempozyumu, İSKİ İstanbul.

Esen, F. (2021). Göynük Çayı Havzasının (Bingöl) Hidroklimatolojik Analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31(1), 25-40.

Eşit, M. (2023). Aylık ve yıllık hidrometeorolojik değişkenlerin klasik trend yöntemi ile karşılaştırılarak yenilikçi trend yaklaşımlarının (anlamlılık testi ve IPTA ile ITA) incelenmesi: Ankara bölgesi, Türkiye örneği bir çalışma. *Su ve İklim Değişikliği Dergisi*, 14(1), 305-329.

Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., et al. (2014). IPCC Summary for policymakers. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects; Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA; pp. 1–32, ISBN 978-92-9169-143-2.

Gedefaw, M., Wang, H., Yan, D., Song, X., Yan, D., Dong, G. and Qin, T. (2018). Trend analysis of climatic and hydrological variables in the Awash river basin, Ethiopia. *Water*, 10(11), 1554.

Gorelick, N. (2013). Google earth engine. In *EGU general assembly conference abstracts* (Vol. 15, p. 11997). Vienna, Austria: American Geophysical Union.

Görgülü, E. ve Göl, C. (2021). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile havza morfometrik analizi: Sarayköy Göleti Havzası (Çankırı) örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 107-118. <https://doi.org/10.53516/ajfr.960176>

Güçlü, Y. S. (2019). İklim Değişikliğinin Anlık Yüksek Akımlara Etkisi. *Su Kaynakları*, 4(1), 23-30.

Gümüş, V. (2006). Fırat havzası akımlarının trend analizi ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güneş, B., Demirtaş, B., Tuncer, G., Sönmez, O. (2024). Sıcaklık Ve Yağış Verilerinin Yenilikçi Trend Analizi Yöntemleriyle Analiz Edilmesi: Küçük Menderes Havzası Örneği, Türkiye. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 29(2), 443-462. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1473532>

Haiden, T., Janousek, M., Vitart, F., Bouallègue, Z. B., Ferranti, L., Prates, F. and Richardson, D. (2018). Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2018 upgrade. Reading, UK: European Centre for Medium Range Weather Forecasts.

Hersbach, H. (2016, December). The ERA5 atmospheric reanalysis. In AGU fall meeting abstracts (Vol. 2016, pp. NG33D-01).

Hansen, J. (2009). Storms of My Grandchildren: The Truth About the Coming Climate Catastrophe and Our Last Chance to Save Humanity. Bloomsbury Press, USA. p. 114

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

İzol, B. (2023). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Klimatolojik Zaman Dizilerinin Çözümlemesi ve Çölleşmeye Eğilimli Alanların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kadem, Z. ve Tayfur, G. (2024). Fas'taki sıcaklık eğilimlerinin derinlemesine araştırılması: Mann Kendall'ın geleneksel yöntemlerinin yenilikçi ITA ve IPTA yaklaşımlarıyla birleştirilmesi. Saf ve Uygulamalı Jeofizik, 181(8), 2717-2739.

Kale, M. M. (2021). Akarçay Kapalı Havzası için hidrolojik kuraklık analizi. Coğrafya Dergisi, (42), 165-180.

Kartal, F., Gözalan, S. ve Öztekin, M. (2024). Kızılırmak Havzasının Sıcaklık, Yağış, Buharlaştırma İle Akım Verilerinin Eğilim (Trend) Yönlerinin Belirlenmesi. International Journal of Eurasia Social Sciences/Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi, 15(57).

Keskin, M. E. ve Saphoğlu, K. (2023). Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesindeki Sıcaklık Eğilimlerinin Yenilikçi Trend Analizi ve Mann-Kendall ile Belirlenmesi. Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology, 5(1), 1-16.

Khanchoul, K. and Saadia, B. (2017). Morphometric analysis of river subwatersheds using geographic information system and principal component analysis, northeast of Algeria. Revista De Geomorfologie, 19(1), 155-172. <https://doi.org/10.21094/rg.2017.018>

Kır, E. G. ve Güldal, V. (2022). Antalya Ve Isparta Yağış Verilerinin Trend Analizi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 899-907.

Köyceğiz, C. ve Büyükyıldız, M. (2024). Konya Kapalı Havzasında (Türkiye) yağış değişkenliği için yenilikçi poligon trend analizi (IPTA) ve trend poligon yıldız kavramı (TPSC) yöntemlerinin uygulamaları. Teorik ve Uygulamalı Klimatoloji, 155(4), 2641-2656.

- Lazaro, R., Rodrigo, F.S., Gutierrez, L., Domingo, F. and Puigdefabregas, J. (2001). Analysis of a 30-year rainfall record (1967-1997) in semi-arid SE Spain for Implications on Vegetation. *Journal of Arid Environment*, 48, 373- 395.
- Le Quéré, C., Raupach, M., Canadell, J. et al. (2009).) Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geosci* 2, 831–836. <https://doi.org/10.1038/ngeo689>
- Mann, Michael E. (2012). *The Hockey Stick and the Climate Wars: Dispatches from the Front Lines*. Columbia University Press. p. 152
- McKibben, B. (2011). *Eaarth: Making a life on a tough new planet*. Black Incorporated Press. Vintage Canada. p. 9
- Nacar, S., Şan, M., Kankal, M. ve Okkan, U. (2024). Türkiye'nin Doğu Karadeniz Havzası için istatistiksel olarak küçültülmüş yağışların mevsimsel eğilim davranışının tespitinde yenilikçi Poligonal Eğilim Analizi (IPTA). *Kentsel Su Dergisi*, 21(4), 406-418.
- Narin, Ö. G. (2024). ESRI Land Cover ve Dynamic World arazi örtüsü verilerinin karşılaştırılması: Kıbrıs Adası örneği. *Jeodezi Ve Jeoinformasyon Dergisi*, 11(1), 19-29. <https://doi.org/10.9733/JGG.2024R0002.T>
- Okka, C.T. (2007). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Ermenek Baraj Havzasında İklim Değişikliği Etkilerinin İrdelenmesi*, Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Orhan, A. H. (2001). *Önümüzdeki Yüzyılın Su Problemleri*, (Editör Zekai Şen), Su Kaynaklarının Korunması İşletilmesi Sempozyumu, İSKİ İstanbul. s. 133
- Özcan, O., Bookhagen, B. ve Musaoğlu, N. (2017). Ekstrem Yağış Olaylarının Fırat Havzasındaki Hidrolojik Bileşenlerin Yıllar Arası Değişimi Üzerine Etkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 26(1), 35-47.
- Özfidaner, M. (2007). *Türkiye Yağış Verilerinin Trend Analizi ve Nehir akımları Üzerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özfidaner, M., Uçan, D. Ş. ve Topaloğlu, F. (2019). Ortalama Sıcaklık Verisinde Gidişlerin Belirlenmesi: Antalya ve Alanya Örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24, 106-111.
- Öztürk, D., ve Batuk, F., (2011). SCS Yüzey Akış Eğri Numarasının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Belirlenmesi . TUFUAB VI. Teknik Sempozyumu, Antalya. *Revista De Geomorfologie*, 19(1), 155-172. <https://doi.org/10.21094/rg.2017.018>
- Pachauari, R. K., Reisinger, A. (2007). *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report on Intergovernmental Panel on Climate Change; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Geneva, Switzerland, 2007; ISBN 92-9169-122-4.*

Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J. P., Van der Linden, P., Hanson, C. E. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 8th Session of Working Group II of the IPCC, Brussels, April 2007.

Say, A. (2006). Türkiye'deki nehir akımları mevsimlik verilerinin parametrik ve non-parametrik yöntemlerle trend analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.

Sarjana, K., Kurniawan, E., Lu'Luilmaknun, U. and Kertiyani, N. M. I. (2023). Analysis of pre-service teacher's performance viewed by creativity and self-regulated learning. Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran, 9(1), 234-243.

Schmidt, G., Wolfe, J. (2009). Climate change: picturing the science. WW Norton and Company.

Shekar, R. P. and Aneesh M. (2023). Morphometric Analysis of Watersheds: A Comprehensive Review of Data Sources, Quality, and Geospatial Techniques. Watershed Ecology and the Environment. 6. 10.1016/j.wsee.2023.12.001.

Şen, Z. (2002). Su Bilimi Temel Konuları, Su Vakfı Yayınları, 7 sayfa.

Şen, Z. (2002). İstatistik ve Veri İşleme Yöntemleri : Hidroloji ve Meteoroloji, Su Vakfı Yayınları, 19 sayfa.

Şen, Z. (2003). Su Bilimi ve Yöntemleri. Su Vakfı Yayınları, 22 sayfa.

Şen, Z. (2005). İklim Değişikliğinin Su ve Enerji Kaynaklarımıza Etkisi, 22 Mart Dünya Su Günü Paneli, Su Vakfı Yayınları, 13 Sayfa.

Şen, Z. (2009). İklim Değişikliği Yerel Yönetimler ve Sektörler, Su Vakfı Yayınları, 3 sayfa.

Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. Journal of Hydrologic Engineering, 17(9), 1042-1046.

Şen, Z. (2013), Trend identification simulation and application. J. Hydrol. Eng. doi: 10.1061/(ASCE) HE 1943-5584.0000811.

Şen, Z., Şişman, E. ve Dabanlı, I. (2019). Innovative polygon trend analysis (IPTA) and applications. Journal of Hydrology, 575, 202-210.

Şensoy, S., Demircan, M., Alan, İ. (2005). 1971-2004 Yılları Arası Türkiye İklim İndisleri Trendleri. Ankara Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. s. 19.

Şişman, E. (2019a). Ege ve Akdeniz kıyılarında deniz suyu sıcaklıkları için soğuma döneminde trend analizleri. Doğ Afet Çev Derg, 2019; 5(2): 291-304, DOI: 10.21324/dacd.492730

Şişman, E. (2019b). Türkiye’de seçilen hava kalitesi izleme istasyonları için eğilim (trend) değerlendirmeleri. *Doğ Afet Çev Derg*, 2019; 5(1): 134-152, DOI: 10.21324/dacd.444503

Tesema T. A. (2021). Impact of identical digital elevation model resolution and sources on morphometric parameters of Tena watershed, Ethiopia. *Heliyon*, 7(11), e08345. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08345>

Thomas, J., Joseph, S., Thrivikramji, K.P. et al. (2011). Morphometric analysis of the drainage system and its hydrological implications in the rain shadow regions, Kerala, India. *J. Geogr. Sci.* 21, 1077–1088 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0901-2>

Thomas R. Anderson, Ed Hawkins, Philip D. Jones, (2016). CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models, *Endeavour*, Volume 40, Issue 3, Pages 178-187, <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2016.07.002>.

Tosic, I. ve Ukasevic, M. (2005). Analysis of Precipitation Series for Belgrade. *Theoretical and Applied Climatology*, 80, ss.67- 77.

Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall Turkey. *International variations Journal Climatology*, 16(9): 1057-1076.

Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26-37.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2024). COP29: The 29th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from <https://unfccc.int/cop29>

URL-1, Çağdaş Türkçe’nin Etimolojisi, <https://www.nisanyansozluk.com/kelime/iklim>, (Erişim tarihi, 1 Eylül 2024).

URL-2, https://wiki.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=280692133__ (Erişim tarihi, 7 Eylül 2024).

URL-3, <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, (Erişim tarihi, 28 Eylül 2024).

URL-4, <https://kalehan.com.tr/projeler/asagi-kalekoy-baraji-ve-hes/?cn-reloaded=1> (Erişim tarihi, 3 Ekim 2024) .

URL-5, <https://www.youtube.com/watch?v=IA3ShL8NDZk>, (Erişim tarihi, 19 Mart 2025).

Vijayan, Dhanya. (2014). Basin asymmetry and associated tectonics: A case study of Achankovil river basin, Kerala. *Transactions of the Institute of Indian Geographers*. 36. 207-215.

Wulder, M. A., Roy, D. P., Radeloff, V. C., Loveland, T. R., Anderson, M. C., Johnson, D. M. and Cook, B. D. (2022). Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113195.

Yang, L., Driscoll, J., Sarigai, S., Wu, Q., Chen, H. and Lippitt, C. D. (2022). Google Earth Engine and artificial intelligence (AI): a comprehensive review. *Remote Sensing*, 14(14), 3253.

Yerdelen, C. (2013). Susurluk Havzası Yıllık Akımlarının Trend Analizi Ve Değişim Noktasının Araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15(44), 77-87.

Yıldırım, A. (2015). Trend Analizi Yöntemleri: Orta Fırat Havzası Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

Yıldırımlar, O. (2012). Fırat Havzasında düşük akımların analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

Yıldız, M. S. (2019). Akım kuraklık indeksi yöntemi ile Fırat Havzasının hidrolojik kuraklık analizi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yüce, Ş., Ercan, B., Eşit, M., Ünsal, M. ve Yüce, M. İ. (2018). Seyhan Havzası yağış verilerinin eğilim analizi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 3(2), 47-54.

Yüksel, A. ve Avcı, V. (2015). Ağırlıklı çakıştırma yöntemi ile Vahkin Çayı (Bingöl) Havzası'nda erozyon durumunun belirlenmesi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 15(1), 162-174.

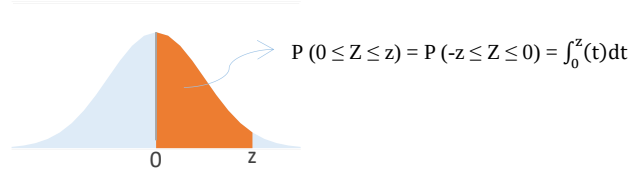
Yükseler, U., (2019). Küresel iklim değişikliğinin akarsuların akış potansiyellerine etkisi; Bingöl Göynük Çayı örneği, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yükseler, U., Dursun, Ö. F. ve Alashan, S. (2021). Yağışların Mevsimsel Değişimlerinin Eğilim Analiz Yöntemleri İle Araştırılması: Bingöl İli Örneği. *El-Cezeri*, 8(1), 45-59.

Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y. and Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(18), 3778.

EKLER

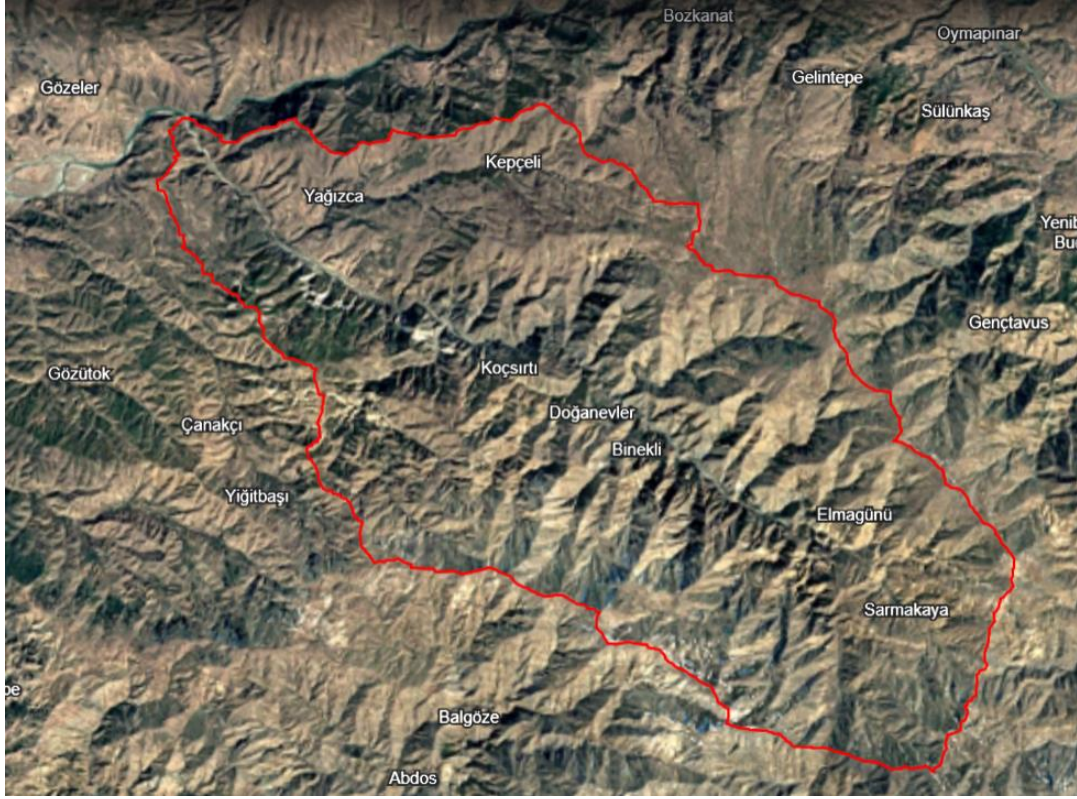
EK A. Standart Normal Dağılım ‘z, tablosu



z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,10	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,20	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,30	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,40	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,50	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,60	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,70	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,80	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,90	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,00	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,10	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,20	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,30	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,40	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,50	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,60	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,70	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,80	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,90	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,00	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,10	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,20	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,30	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,40	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936	0,4938
3,00	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990

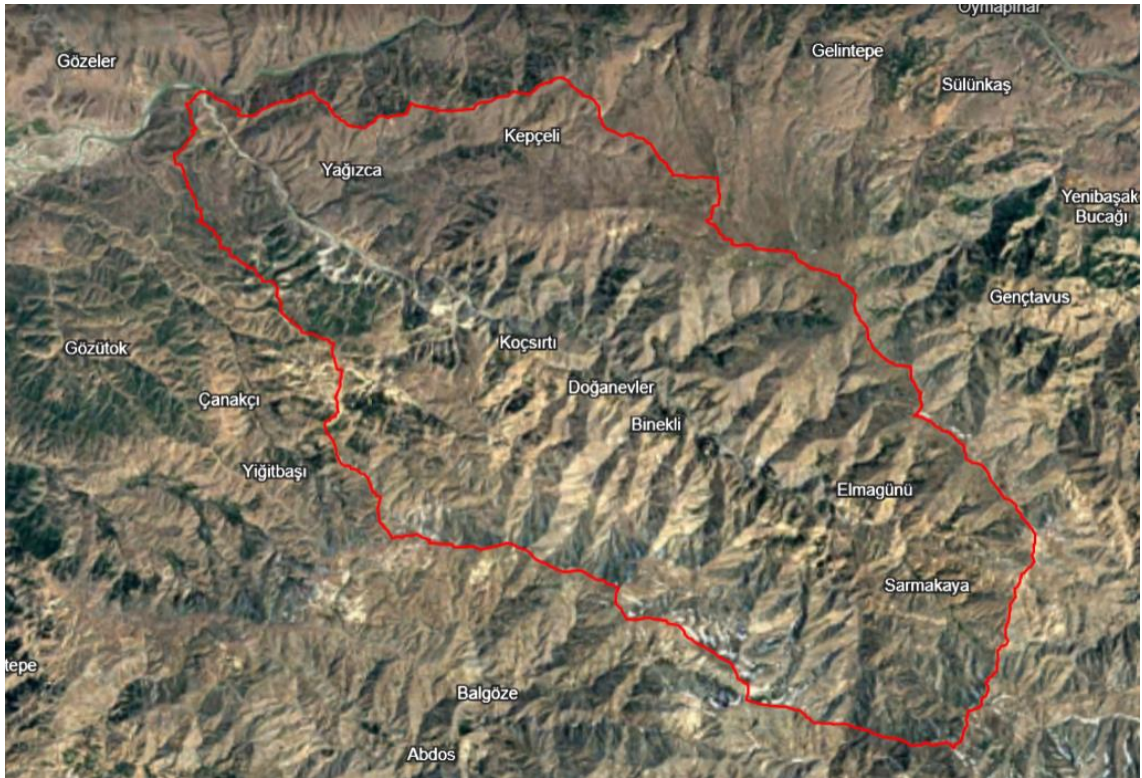
EK B. Vahkin Irmağı Havzası 1984-2022 yıllık uydu görüntüleri

EK B. 1: 1984

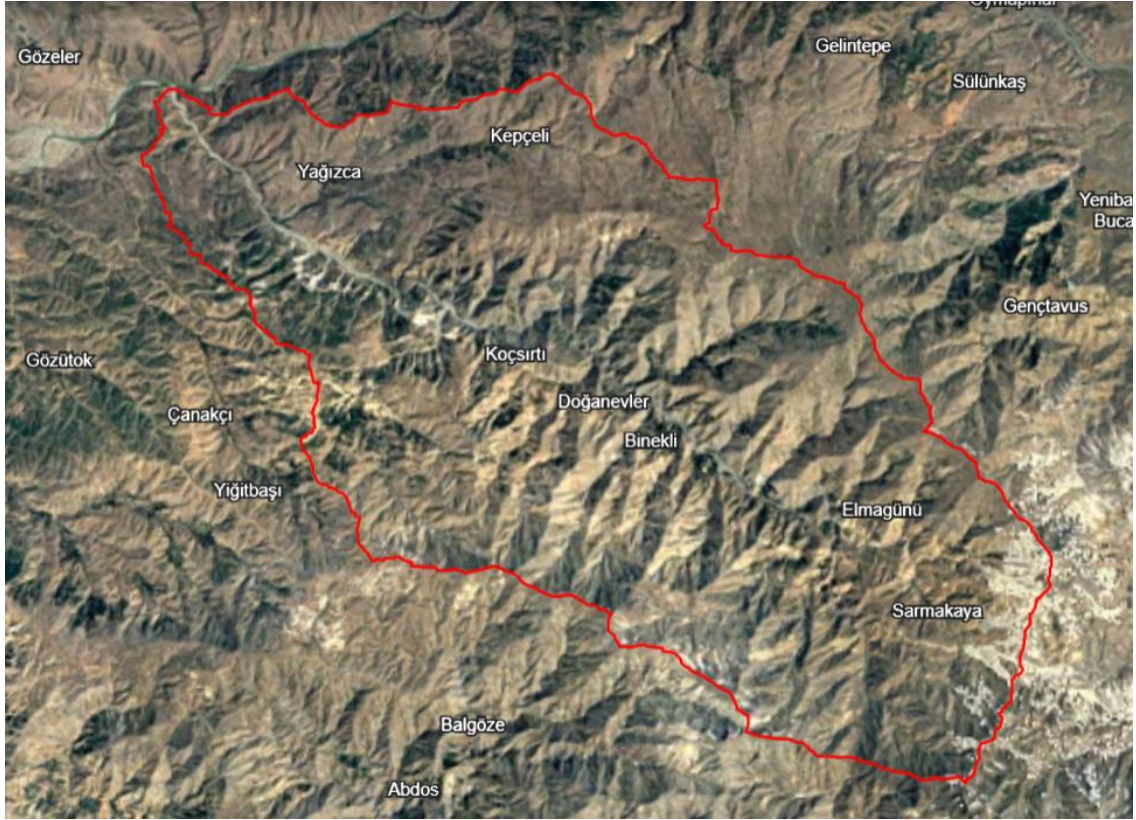


EK B. 2: 1985



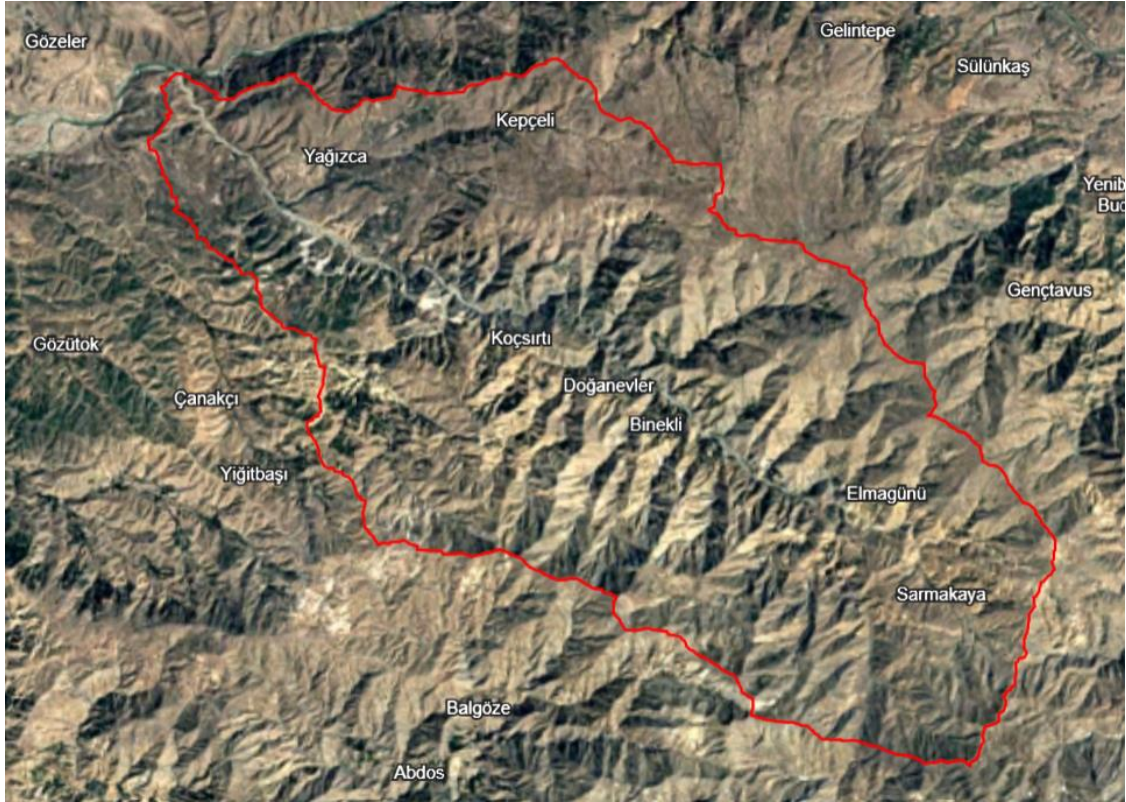
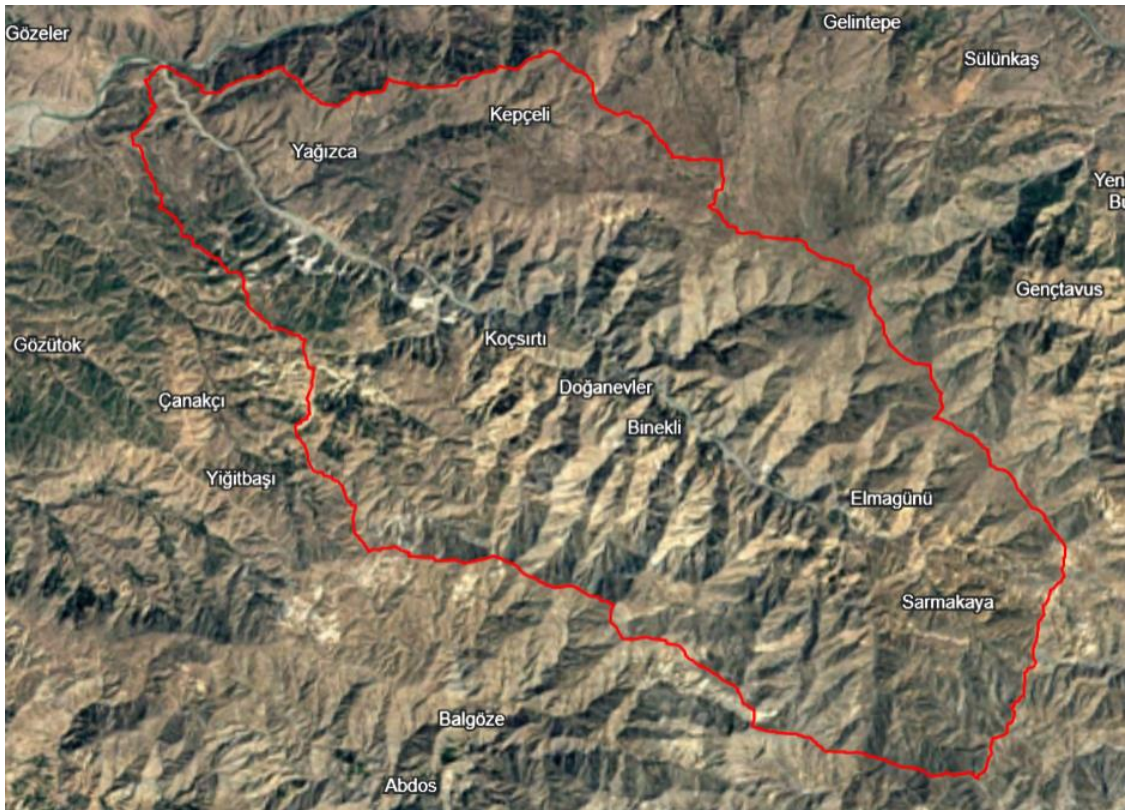
EK B. 3: 1986**EK B. 4: 1987**

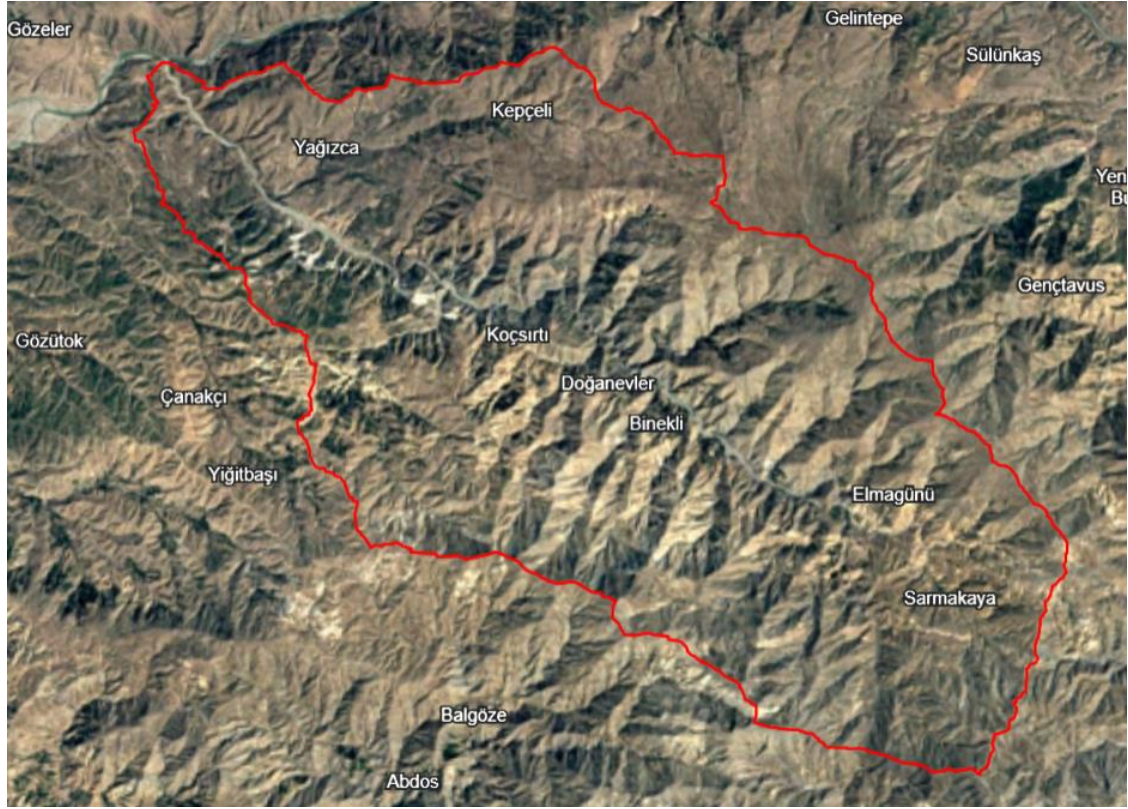
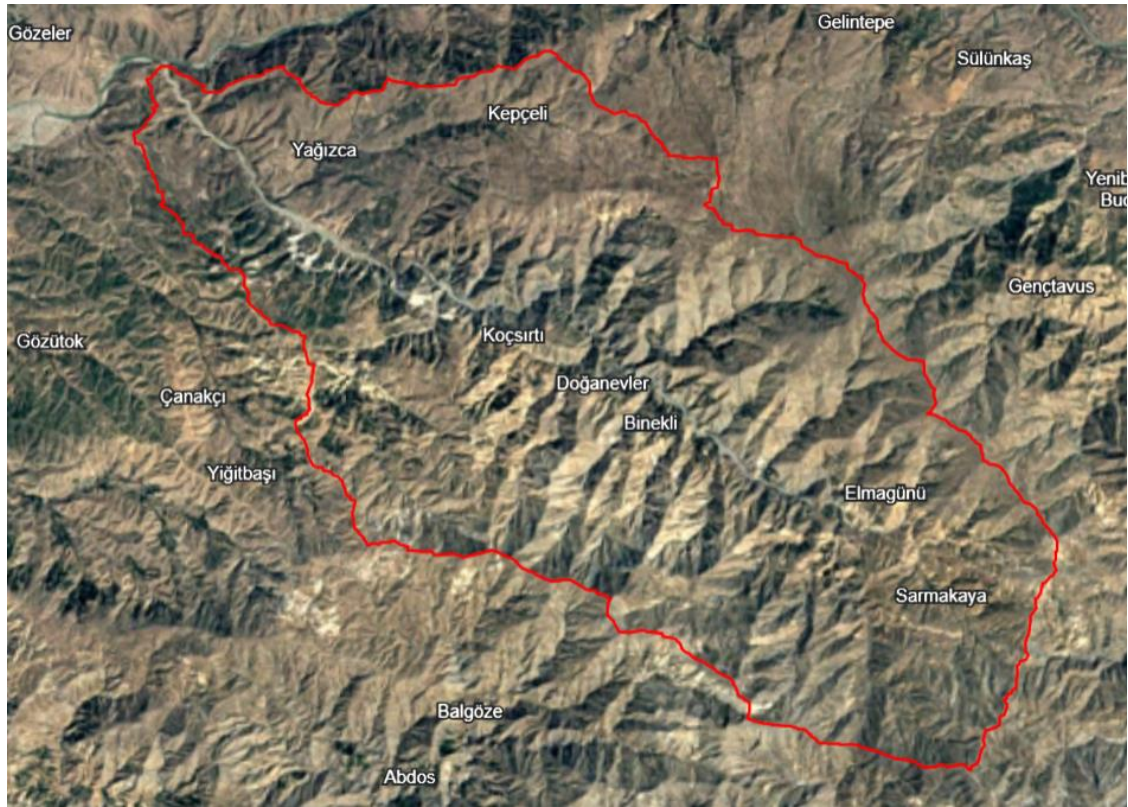
EK B. 5: 1988



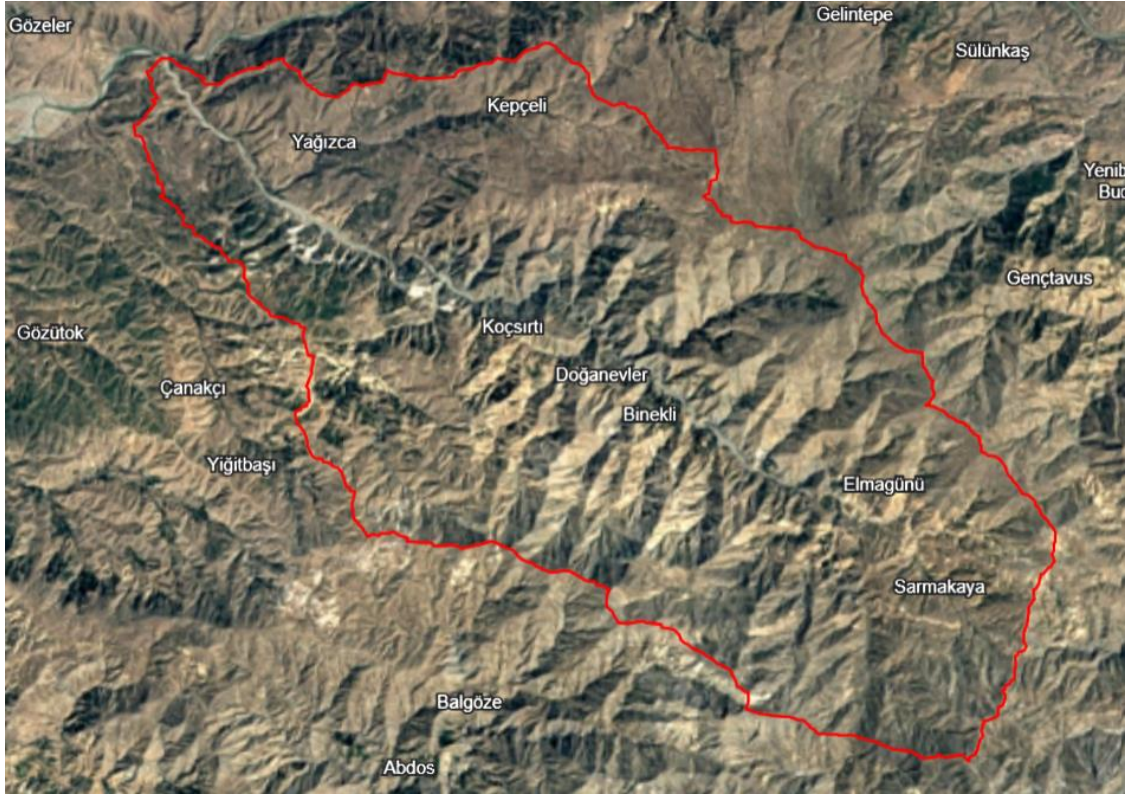
EK B. 6: 1989



EK B. 7: 1990**EK B. 8: 1991**

EK B. 9: 1992**EK B. 10: 1993**

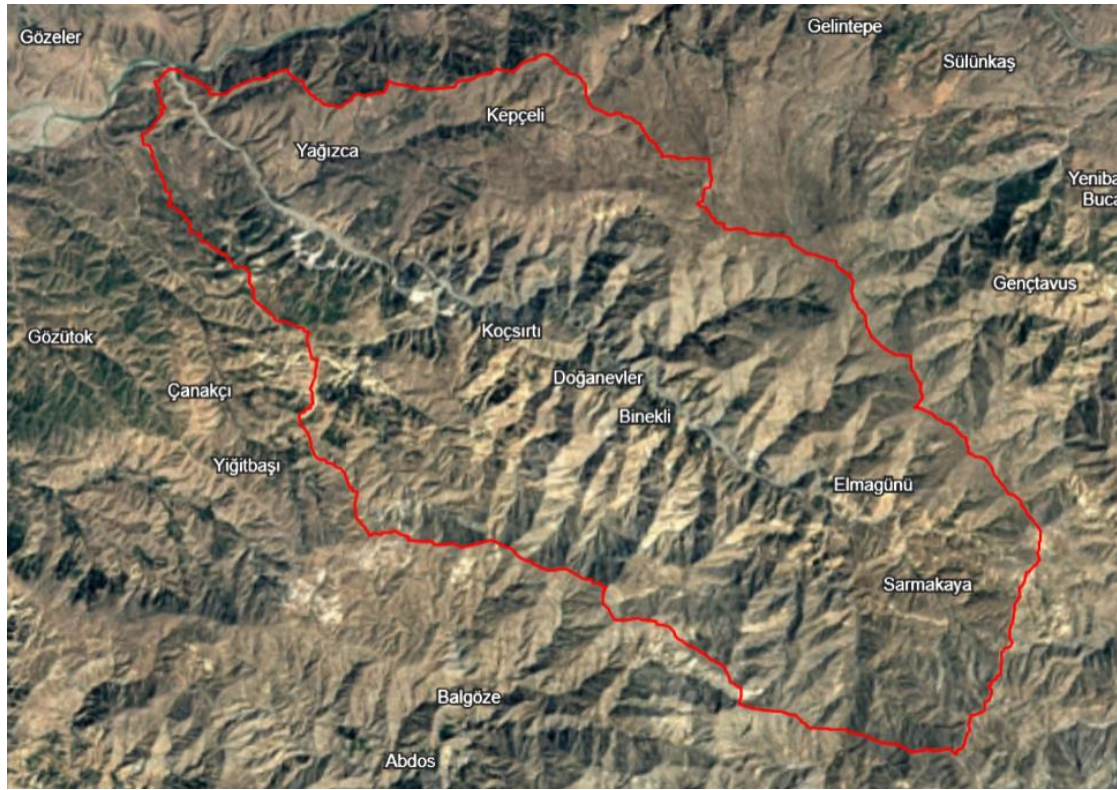
EK B. 11: 1994



EK B. 12: 1995



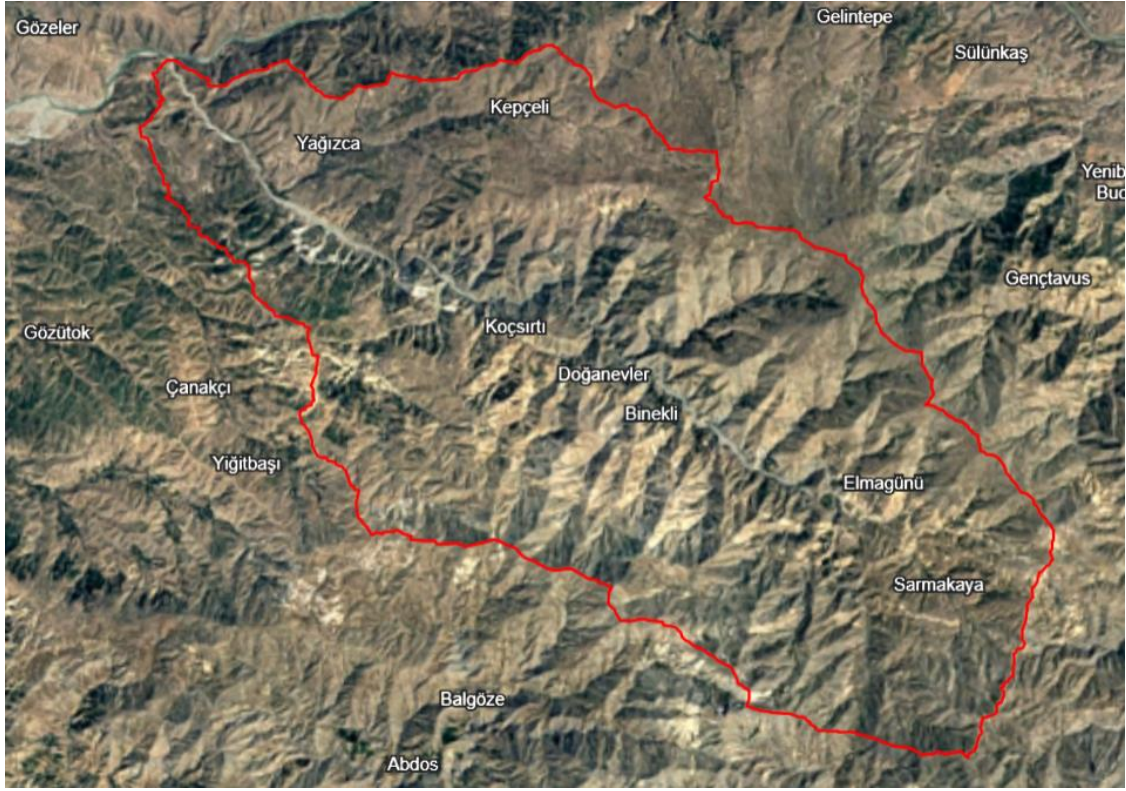
EK B. 13: 1996



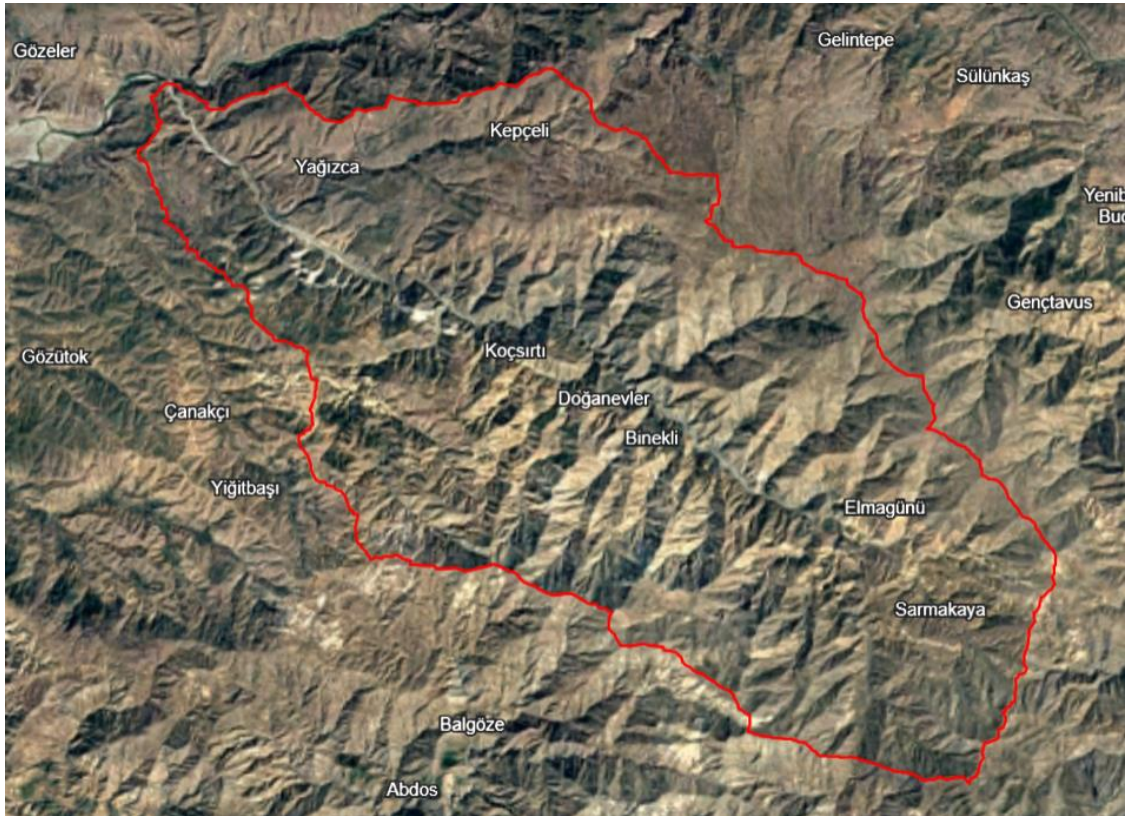
EK B. 14: 1997



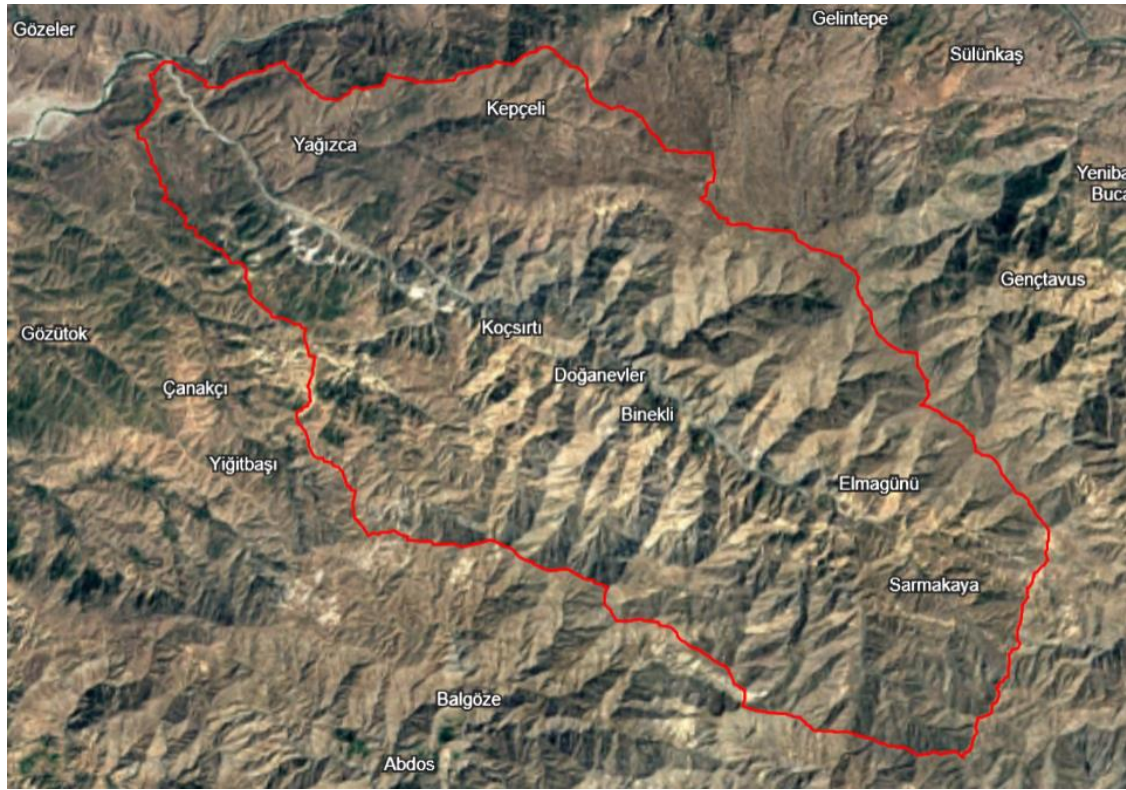
EK B. 15: 1998



EK B. 16: 1999

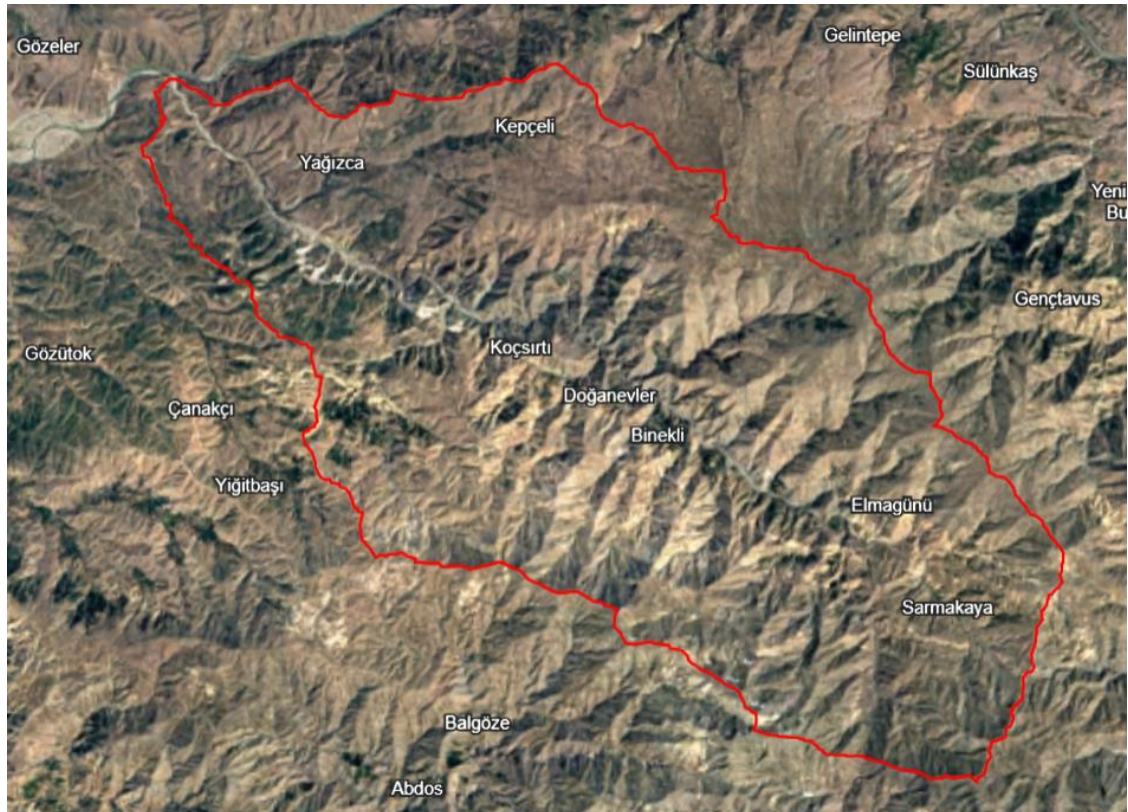


EK B. 17: 2000



EK B. 18: 2001



EK B. 19: 2002**EK B. 20: 2003**

EK B. 21: 2004



EK B. 22: 2005



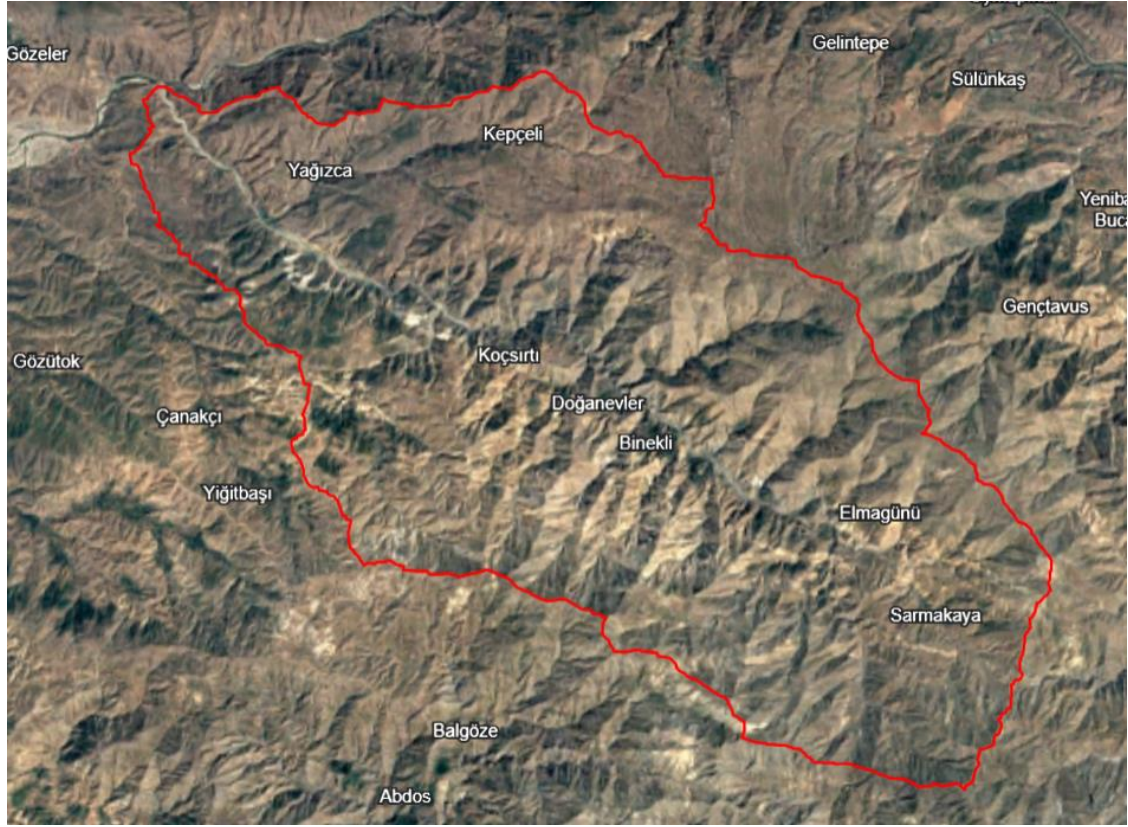
EK B. 23: 2006



EK B. 24: 2007



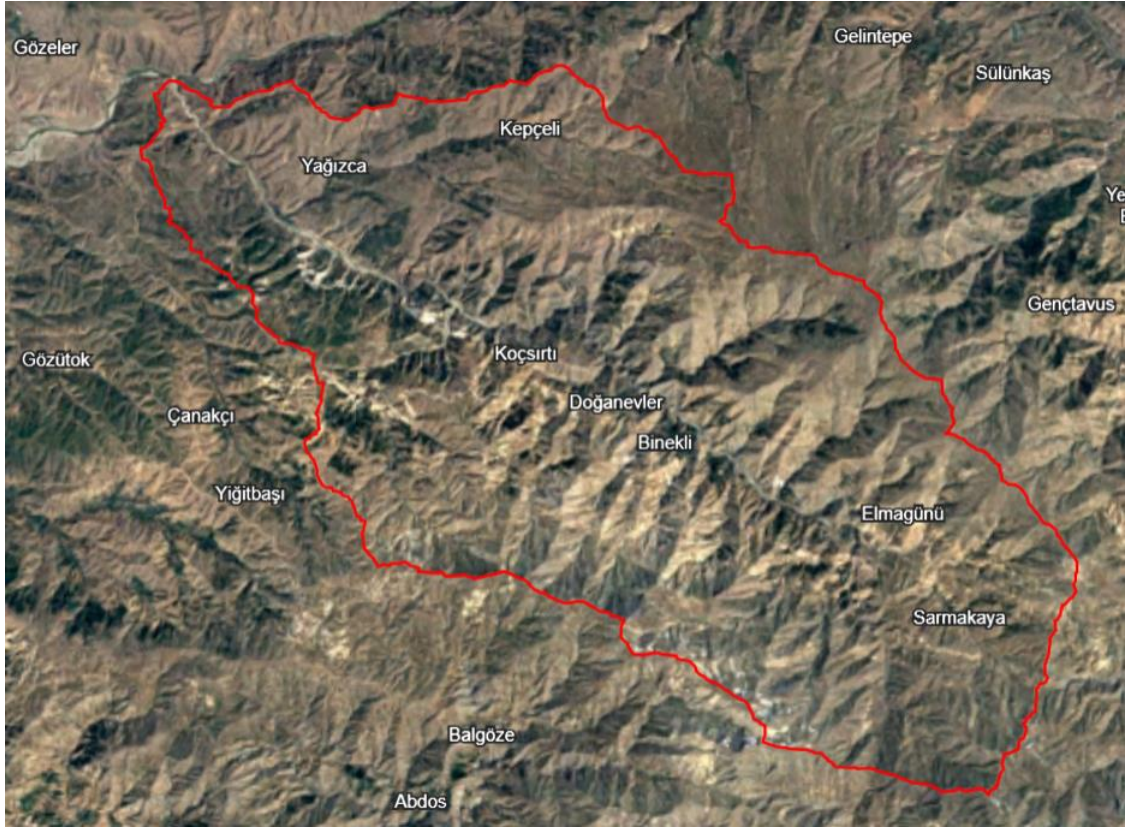
EK B. 25: 2008



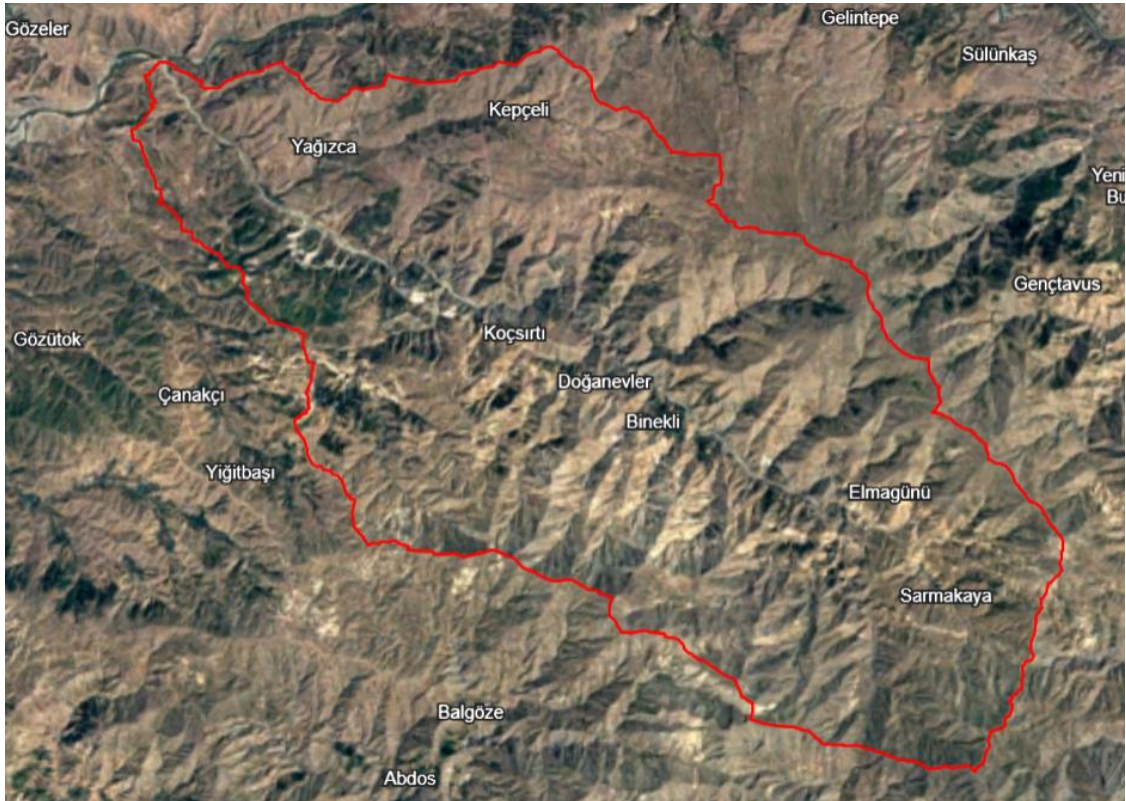
EK B. 26: 2009

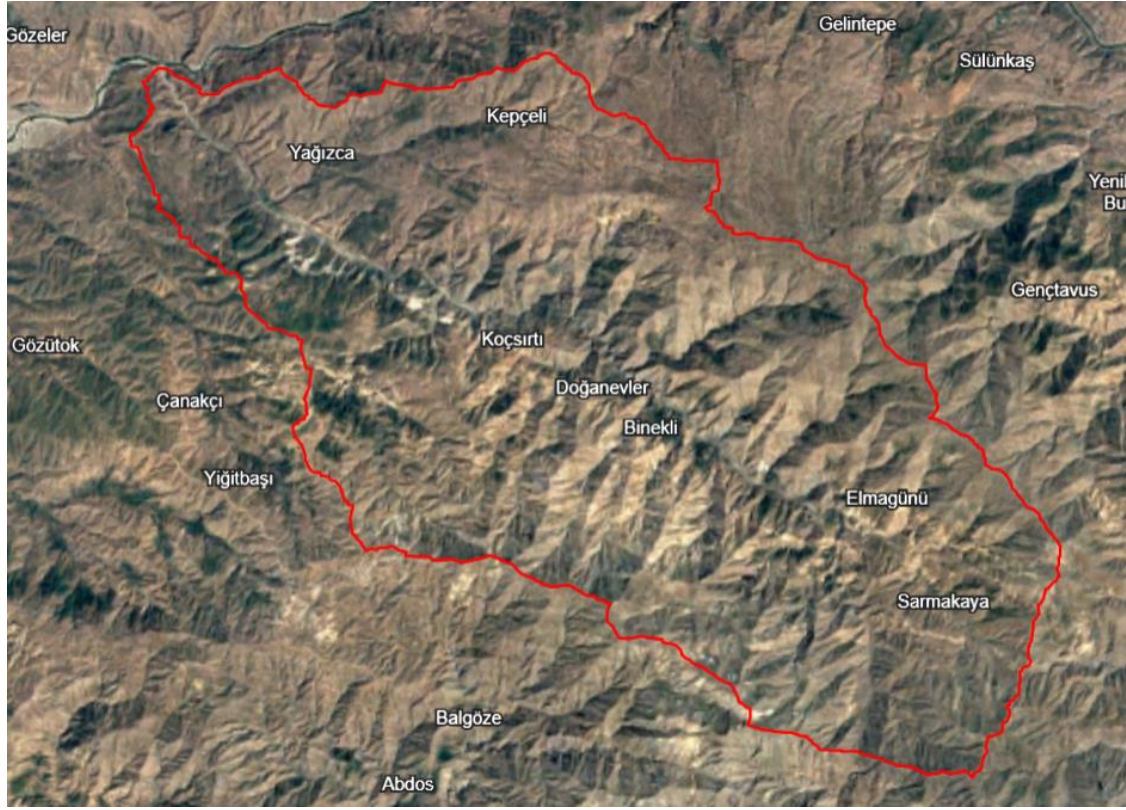


EK B. 27: 2010



EK B. 28: 2011



EK B. 29: 2012**EK B. 30: 2013**

EK B. 31: 2014**EK B. 32: 2015**

EK B. 33: 2016



EK B. 34: 2017



EK B. 35: 2018



EK B. 36: 2019



EK B. 37: 2020



EK B. 38: 2021



EK B. 39: 2022



