

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKARSU AKIŞLARINA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI: DOĞU KARADENİZ HAVZASI ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Hasan Törehan BABACAN

EKİM 2021
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKARSU AKIŞLARINA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI: DOĞU KARADENİZ HAVZASI ÖRNEĞİ**

İnş. Yük. Müh. Hasan Törehan BABACAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13/09/2021
Tezin Savunma Tarihi : 15/10/2021**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması iklim değişikliğinin Doğu Karadeniz Havzası akarsu akışları üzerindeki etkilerini araştırmak ve havzada sürdürülebilir su yönetimi planlamalarına katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FAY-2020-9125 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Hayatımın her alanında sevgisini ve ilgisini esirgemeyen, desteğini her an yanımda hissettiğim, başta haklarını ne yapsam ödeyemeyeceğim sevgili annem ve babam olmak üzere bütün aileme katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum

Lisansüstü eğitimimin en başından, bu tez çalışmasının tamamlanmasına kadar olan süreçte sabırla beni dinleyen ve araştırmalarımı en iyi şekilde yapabilmem konusunda daima destek olan, kıymetli vaktini ayırarak engin bilgilerini benimle paylaşan danışman hocam, değerli büyüğüm Sayın Prof. Dr. Ömer YÜKSEK'e tüm katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın oluşturulmasında ve gelişmesinde beni yönlendiren, bana vakit ayıran, değerli bilgilerini her daim paylaşarak araştırmamı destekleyen saygıdeğer tez izleme jürisi üyeleri Sayın Prof. Dr. Aykut AKGÜN ve Sayın Doç Dr. Adem BAYRAM'a teşekkürlerimi sunarım.

Değerli jüri başkanı Sayın Prof. Dr. Basri ERTAŞ'a ve değerli jüri üyesi Sayın Doç. Dr. Veli SÜME'ye kıymetli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamında kullanılan verilerin temin edilmesi konusunda destek olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü kurumlarının değerli çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Törehan BABACAN
Trabzon, 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunmuş olduğum “İklim Değişikliğinin Akarsu Akışlarına Etkisinin Araştırılması: Doğu Karadeniz Havzası Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ömer YÜKSEK’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarında yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/10/2021

Hasan Törehan BABACAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	XIX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Araştırma Konusunun Önemi.....	1
1.2. Literatür Araştırması	4
1.3. Amaç ve Kapsam.....	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	19
2.1. Yapılan Çalışmalara Genel Bakış.....	19
2.2. Doğu Karadeniz Havzası.....	22
2.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler	25
2.3.1. Yapay Sinir Ağları.....	25
2.3.2. Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)	31
2.3.3. Çoklu Regresyon Analizi	39
2.3.4. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS)	42
2.3.5. Thiessen Çokgenleri Analizi	44
2.4. Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Yöntemler	45
2.4.1. Homojenlik Analizi	46
2.4.2. En İyi Alt Kümeler Yöntemi (EAY)	48
2.4.3. İleri Adımlı Seçilim (FS).....	49
2.5. Gözlem Verileri ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması	49
2.5.1. YSA ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması	50
2.5.2. MARS ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması.....	51

2.5.3.	Regresyon Analizi ile Akarsu Akışı Tahmin Fonksiyonu Araştırması	52
2.5.4.	ANFIS ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması	53
2.6.	Performans Değerlendirme Kriterleri.....	54
2.7.	İklimsel Projeksiyon Verilerinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler	55
2.7.1.	Trend (Eğilim) Analizleri	55
2.7.2.	Otokorelasyon Testi	56
2.7.3.	Trend Free Prewhitening Yöntemi (TFPW).....	57
2.7.4.	Mann-Kendall Trend Analizi	59
2.7.5.	Sen'in Eğim Testi.....	61
2.7.6.	Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi.....	62
2.8.	Küresel Dolaşım Modelleri	64
2.9.	Temsili Konsantrasyon Rotaları.....	65
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	67
3.1.	Thiessen Çokgenleri Analizi	67
3.2.	Havzadaki HES ve Su Yapılarının İncelenmesi.....	71
3.3.	Verilerin Temel İstatistiksel Analizleri	71
3.4.	Homojenlik Analizleri	77
3.5.	Girdi Setlerinin Tasarlanması.....	85
3.5.1.	En İyi Alt Kümeler Yöntemi	86
3.5.2.	İleri Adımlı Seçilim.....	89
3.6.	Akarsu Akışı Tahmin Modeli Bulguları.....	94
3.6.1.	İyidere (VG 1)	94
3.6.2.	Tozköy Deresi (VG 2).....	98
3.6.3.	Değirmendere (VG 3).....	102
3.6.4.	Köprübaşı (VG 4).....	106
3.6.5.	Şerah (VG 5)	110
3.6.6.	Torul (VG 6).....	114
3.6.7.	Fındıklı (VG 7).....	118
3.6.8.	Aytaş (VG 8)	122
3.6.9.	Cücenköprü (VG 9).....	126
3.6.10.	Çiftidere (VG 10)	130

3.6.11.	Mikronköprü (VG 11)	134
3.6.12.	Kovanlık (VG 12).....	138
3.6.13.	İkisu (VG 13).....	142
3.6.14.	Arılı (VG 14).....	146
3.6.15.	Sınırköy (VG 15).....	150
3.6.16.	Kömürcüler (VG 16)	154
3.6.17.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu (VG 17)	158
3.7.	Akarsu Akışı Tahmin Modelleri Performans Değerlendirmesi	162
3.8.	Trend Analizi Bulguları.....	164
3.8.1.	GFDL-ESM2M KDM Trend Bulguları	166
3.8.2.	HadGEM2-ES KDM Trend Bulguları	175
3.8.3.	MPI-ESM-MR KDM Trend Bulguları.....	184
3.9.	Dönemsel Anomali Araştırması	193
3.9.1.	Yakın Gelecek (P1) Dönemi Anomali Araştırması.....	193
3.9.2.	Orta Uzak Gelecek (P2) Dönemi Anomali Araştırması.....	201
3.9.3.	Uzak Gelecek (P3) Dönemi Anomali Araştırması	207
3.10.	Tahmin Edilen Akarsu Akışlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirmesi.....	214
3.11.	Doğu Karadeniz Havzası'nda İklim Değişikliği Etkisi Altında Akarsu Su Varlığı İncelemesi	228
3.12.	İklim Değişikliğinin Akarsularda Mevsimsel Akışa Etkisinin İncelenmesi	244
3.13.	Düşük ve Yüksek Akarsu Akışlarına İklim Değişikliğinin Etkilerinin Araştırılması	257
3.14.	Çalışma Hakkında Genel Değerlendirme.....	277
4.	SONUÇLAR	283
5.	ÖNERİLER	287
6.	KAYNAKLAR.....	290
7.	EKLER	300
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKARSU AKIŞLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI: DOĞU KARADENİZ HAVZASI ÖRNEĞİ

Hasan Törehan BABACAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ömer YÜKSEK
2021, 299 Sayfa, 17 Sayfa Ek

Bu tez çalışmasında iklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkileri, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 5. değerlendirme raporunda sera gazı konsantrasyon oranının artışı öngören RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları etkisi altında, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR Küresel Dolaşım Modeli (KDM) kullanılarak, 2021-2040 (P1), 2041-2070 (P2) ve 2071-2099 (P3) yılları aralığında incelenmiştir. Çalışmada Türkiye’de en fazla yağış alan havza olan Doğu Karadeniz Havzası’nda 17 Akım Gözlem İstasyonu ve 11 Meteoroloji İstasyonu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında akarsu akışlarının modellenmesi için makine öğrenmesi gerçekleştiren Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS) sayısal yöntemleri ve klasik regresyon yöntemi kullanılmıştır. Tarihsel veriler ile kalibre edilen Akarsu Akışı Tahmin Modelleri’nden (SPM) tahmin performansı en yüksek model belirlenmiştir. Tahmin performansı en yüksek SPM, girdileri KDM’lerden elde edilen günlük Sıcaklık ve Yağış olacak şekilde 2100 yılına kadar gelecek akarsu akışları tahmin edilmiştir. Gelecek akarsu akışı bulguları kullanılarak havzada, iklim değişikliği etkisi altında akarsu suyu varlığı, kurak ve sulak dönemlerdeki akarsu akışları ve düşük (Q_{95}) ve yüksek (Q_5) akarsu akışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, havzada akarsu suyu varlığının en fazla etkileneceği dönem P3 olarak belirlenmiştir. Havzadaki akarsu akışlarından kaynaklı suyun en kötümser durumda dönemsel ortalamaya göre $320,93 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ’a varan şekilde azalacağı, en iyimser durumda ise $569,42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ’a varan şekilde artış göstereceği belirlenmiştir. Havzada ortalama olarak akarsu akışlarının, kurak dönemde %80 artacağı, sulak dönemde ise %40 azalacağı belirlenmiştir. Belirlenen referans değerlere göre havzada düşük akışların %25’e yakın, yüksek akışların ise %35’e yakın düşüş göstereceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Akarsu akışları, Doğu Karadeniz Havzası

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF CLIMATE CHANGE EFFECT ON STREAMFLOWS: THE CASE OF EASTERN BLACK SEA BASIN

Hasan Törehan BABACAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Science
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ömer YÜKSEK
2021, 299 Pages, 17 Pages Appendix

In this study, the effects of climate change on streamflows, under the influence of RCP4.5 and RCP8.5 concentration scenarios, which predict an increase in greenhouse gas concentration in the 5th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES and MPI-ESM-MR the years 2021-2040 (P1), 2041-2070 (P2) and 2071-2099 (P3) were investigated using the General Circulation Model (GCM). In this study, 17 Stream Observation Stations and 11 Meteorology Stations were used in the Eastern Black Sea Basin, which is the basin that receives the most precipitation in Turkey. Within the scope of the study, machine learning Artificial Neural Networks (ANN), Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) methods and classical regression method were used for modeling streamflows. The model with the highest prediction performance was determined from the Streamflow Prediction Models (SPM) calibrated with historical data. Future flows were forecasted until 2100, with the highest predicted SPM inputs being daily Temperature and Precipitation from GCMs. Using future streamflow findings, stream water availability under the influence of climate change, streamflows during dry and wet periods, and low (Q_{95}) and high (Q_5) streamflows were investigated in the basin. As a result of the study, the period in which the presence of stream water in the basin which will be mostly affected, was determined as P3. It has also been determined that the water originating from the streamflows in the basin will decrease by up to 320.93×10^6 m³/year in the most pessimistic case, and will increase up to 569.42×10^6 m³/year in the most optimistic case. It has been determined that the average streamflows in the basin will increase by 80% in the dry period and decrease by 40% in the wet period. According to the determined reference values, it has been determined that low flows will decrease by approximately 25% and high flows will decrease by approximately 35%.

Key Words: Climate change, Streamflows, Eastern Blacksea Basin

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Küresel ortalama sıcaklık anomalisi 3
Şekil 2.1.	Doğu Karadeniz Havzası 23
Şekil 2.2.	Çok katmanlı YSA yapısı 26
Şekil 2.3.	Transfer fonksiyonları: (a) logaritmik sigmoid $[0 \ 1]$, (b) hiperbolik tanjant sigmoid $[-1 \ 1]$, (c) doğrusal $[-\infty \ \infty]$ ve (d) radyal tabanlı Gauss fonksiyonu..... 27
Şekil 2.4.	İleri yayımlı geri beslemeli YSA yapısı 28
Şekil 2.5.	Üçgen üyelik fonksiyonu 33
Şekil 2.6.	Gauss üyelik fonksiyonu..... 33
Şekil 2.7.	Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu 34
Şekil 2.8.	Bulanık çıkarsama sistemi yapısı..... 34
Şekil 2.9.	(a) Bulanık çıkarım sistemi yapısı (b) ANFIS yapısı..... 37
Şekil 2.10.	Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi trend varlığı değerlendirmesi..... 63
Şekil 3.1.	Doğu Karadeniz Havzası sayısal yükseklik modeli sınırları 68
Şekil 3.2.	Kullanılan gözlem istasyonları 68
Şekil 3.3.	AGİ-Mİ Thiseen alanlarının kesişimi 69
Şekil 3.4.	İyidere YSA M3-6 modeli değerlendirmesi 95
Şekil 3.5.	İyidere MARS M5 modeli performans değerlendirmesi 96
Şekil 3.6.	İyidere F1-M4 model değerlendirmesi 96
Şekil 3.7.	İyidere ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi 97
Şekil 3.8.	Tozköy Deresi YSA M4-2 modeli değerlendirmesi 99
Şekil 3.9.	Tozköy Deresi MARS M2 modeli performans değerlendirmesi..... 100
Şekil 3.10.	Tozköy F2-M4 model değerlendirmesi 100
Şekil 3.11.	Tozköy Deresi ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi..... 101
Şekil 3.12.	Değirmendere YSA M4-8 modeli değerlendirmesi 103
Şekil 3.13.	Değirmendere MARS performans değerlendirmesi 104
Şekil 3.14.	Değirmendere F1-M4 model değerlendirmesi..... 104
Şekil 3.15.	Değirmendere ANFIS M6 modeli performans değerlendirmesi 105
Şekil 3.16.	Köprübaşı YSA M5-8 modeli değerlendirmesi 107
Şekil 3.17.	Köprübaşı MARS performans değerlendirmesi..... 108

Şekil 3.18.	Köprübaşı F1-M4 model değerlendirmesi	108
Şekil 3.19.	Köprübaşı ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi.....	109
Şekil 3.20.	Şerah YSA M5-4 modeli değerlendirmesi.....	111
Şekil 3.21.	Şerah MARS performans değerlendirmesi	112
Şekil 3.22.	Şerah F1-M2 model değerlendirmesi.....	112
Şekil 3.23.	Şerah ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi	113
Şekil 3.24.	Torul YSA M4-5 modeli değerlendirmesi.....	115
Şekil 3.25.	Torul MARS performans değerlendirmesi	116
Şekil 3.26.	Torul F3-M3 model değerlendirmesi.....	116
Şekil 3.27.	Torul ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi	117
Şekil 3.28.	Fındıklı YSA M3-2 modeli değerlendirmesi	119
Şekil 3.29.	Fındıklı MARS performans değerlendirmesi.....	120
Şekil 3.30.	Fındıklı F3-M3 model değerlendirmesi	120
Şekil 3.31.	Fındıklı ANFIS M1 modeli performans değerlendirmesi.....	121
Şekil 3.32.	Aytaş YSA M6-8 modeli değerlendirmesi	123
Şekil 3.33.	Aytaş MARS performans değerlendirmesi.....	124
Şekil 3.34.	Aytaş F2-M6 model değerlendirmesi	124
Şekil 3.35.	Aytaş ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi.....	125
Şekil 3.36.	Cücenköprü YSA M2-3 modeli değerlendirmesi	127
Şekil 3.37.	Cücenköprü MARS performans değerlendirmesi.....	128
Şekil 3.38.	Cücenköprü F3-M1 model değerlendirmesi	128
Şekil 3.39.	Cücenköprü ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi.....	129
Şekil 3.40.	Çiftdere YSA M6-5 modeli değerlendirmesi.....	131
Şekil 3.41.	Çiftdere MARS performans değerlendirmesi	132
Şekil 3.42.	Çiftdere F1-M6 model değerlendirmesi.....	132
Şekil 3.43.	Çiftdere ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi	133
Şekil 3.44.	Mikronköprü YSA M4-10 modeli değerlendirmesi	135
Şekil 3.45.	Mikronköprü MARS performans değerlendirmesi.....	136
Şekil 3.46.	Mikronköprü F1-M4 model değerlendirmesi	136
Şekil 3.47.	Mikronköprü ANFIS M2 modeli performans değerlendirmesi	137
Şekil 3.48.	Kovanlık YSA M3-10 modeli değerlendirmesi.....	139
Şekil 3.49.	Kovanlık MARS performans değerlendirmesi	140
Şekil 3.50.	Kovanlık F2-M1 model değerlendirmesi.....	140

Şekil 3.51.	Kovanlık ANFIS M1 modeli performans değerlendirmesi	141
Şekil 3.52.	İkisu YSA M1-6 modeli değerlendirme si.....	143
Şekil 3.53.	İkisu MARS performans değerlendirme si	144
Şekil 3.54.	İkisu F1-M3 model değerlendirme si.....	144
Şekil 3.55.	İkisu ANFIS M3 modeli performans değerlendirme si	145
Şekil 3.56.	Arılı YSA M3-4 modeli değerlendirme si	147
Şekil 3.57.	Arılı MARS performans değerlendirme si.....	148
Şekil 3.58.	Arılı F1-M5 model değerlendirme si	148
Şekil 3.59.	Arılı ANFIS M4 modeli performans değerlendirme si.....	149
Şekil 3.60.	Sınırköy YSA M1-3 modeli değerlendirme si	151
Şekil 3.61.	Sınırköy MARS performans değerlendirme si	152
Şekil 3.62.	Sınırköy F1-M5 model değerlendirme si.....	152
Şekil 3.63.	Sınırköy ANFIS M1 modeli performans değerlendirme si.....	153
Şekil 3.64.	Kömürcüler YSA M6-7 modeli değerlendirme si	155
Şekil 3.65.	Kömürcüler MARS performans değerlendirme si.....	156
Şekil 3.66.	Kömürcüler F3-M6 model değerlendirme si	156
Şekil 3.67.	Kömürcüler ANFIS M5 modeli performans değerlendirme si.....	157
Şekil 3.68.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu YSA M4-2 modeli değerlendirme si.....	159
Şekil 3.69.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu MARS performans değerlendirme si	160
Şekil 3.70.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu F1-M6 model değerlendirme si.....	160
Şekil 3.71.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu ANFIS M5 modeli performans değerlendirme si.....	161
Şekil 3.72.	GFDL-ESM2M küresel dolaşım modeli Şen Yenilikçi Eğilim Yöntemi bulguları	168
Şekil 3.73.	HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli Şen Yenilikçi Eğilim Yöntemi bulguları	177
Şekil 3.74.	MPI-ESM-MR küresel dolaşım modeli Şen Yenilikçi Eğilim Yöntemi bulguları	186
Şekil 3.75.	GFDL-ESM2M P1 dönemi sıcaklık anomali haritaları	195
Şekil 3.76.	GFDL-ESM2M P1 dönemi yağış anomali haritaları	196
Şekil 3.77.	HadGEM2-ES P1 dönemi sıcaklık anomali haritaları	197
Şekil 3.78.	HadGEM2-ES P1 dönemi yağış anomali haritaları	198
Şekil 3.79.	MPI-ESM-MR P1 dönemi sıcaklık anomali haritaları	199
Şekil 3.80.	MPI-ESM-MR P1 dönemi yağış anomali haritaları	200

Şekil 3.81.	GFDL-ESM2M P2 dönemi sıcaklık anomali haritaları	202
Şekil 3.82.	GFDL-ESM2M P2 dönemi yağış anomali haritaları	203
Şekil 3.83.	HadGEM2-ES P2 dönemi sıcaklık anomali haritaları	204
Şekil 3.84.	HadGEM2-ES P2 dönemi yağış anomali haritaları	205
Şekil 3.85.	MPI-ESM-MR P2 dönemi sıcaklık anomali haritaları	206
Şekil 3.86.	MPI-ESM-MR P2 dönemi yağış anomali haritaları	207
Şekil 3.87.	GFDL-ESM2M P3 dönemi sıcaklık anomali haritaları	209
Şekil 3.88.	GFDL-ESM2M P3 dönemi yağış anomali haritaları	210
Şekil 3.89.	HadGEM2-ES P3 dönemi sıcaklık anomali haritaları	211
Şekil 3.90.	HadGEM2-ES P3 dönemi yağış anomali haritaları	212
Şekil 3.91.	MPI-ESM-MR P3 dönemi sıcaklık anomali haritaları	213
Şekil 3.92.	MPI-ESM-MR P3 dönemi yağış anomali haritaları	214
Şekil 3.93.	GFDL-ESM2M KDM RCP4.5 ve RCP8.5 ortalama ve standart sapma değeri değişimi.....	216
Şekil 3.94.	HadGEM2-ES KDM RCP4.5 ve RCP8.5 ortalama ve standart sapma değeri değişimi.....	221
Şekil 3.95.	MPI-ESM-MR KDM RCP4.5 ve RCP8.5 ortalama ve standart sapma değeri değişimi.....	224
Şekil 3.96.	Yakın gelecek dönemi tahmin edilmiş akarsu akışı istatistiksel değerlendirmesi.....	230
Şekil 3.97.	Orta uzak gelecek dönemi tahmin edilmiş akarsu akışı istatistiksel değerlendirmesi.....	235
Şekil 3.98.	Uzak gelecek dönemi tahmin edilmiş akarsu akışı istatistiksel değerlendirmesi.....	240
Şekil 3.99.	Referans dönem uzun yıllar aylık akış ortalamaları	246
Şekil 3.100.	Doğu Karadeniz Havzası P1 periyodu düşük akarsu akışı değerlendirmesi.....	269
Şekil 3.101.	Doğu Karadeniz Havzası P2 periyodu düşük akarsu akışı değerlendirmesi.....	270
Şekil 3.102.	Doğu Karadeniz Havzası P3 periyodu düşük akarsu akışı değerlendirmesi.....	271
Şekil 3.103.	Doğu Karadeniz Havzası P1 periyodu yüksek akarsu akışı değerlendirmesi.....	274
Şekil 3.104.	Doğu Karadeniz Havzası P2 periyodu yüksek akarsu akışı değerlendirmesi.....	275
Şekil 3.105.	Doğu Karadeniz Havzası P3 periyodu yüksek akarsu akışı değerlendirmesi.....	276

Ek Şekil 1.	İyidere analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	300
Ek Şekil 2.	Tozköy Deresi analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	301
Ek Şekil 3.	Değirmendere analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	302
Ek Şekil 4.	Köprübaşı analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	303
Ek Şekil 5.	Şerah analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	304
Ek Şekil 6.	Torul analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	305
Ek Şekil 7.	Fındıklı analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	306
Ek Şekil 8.	Aytaş analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	307
Ek Şekil 9.	Cücenköprü analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	308
Ek Şekil 10.	Çiftdere analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	309
Ek Şekil 11.	Mikronköprü analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	310
Ek Şekil 12.	Kovanlık analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	311
Ek Şekil 13.	İkisü analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	312
Ek Şekil 14.	Arılı analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	313
Ek Şekil 15.	Sınırköy analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	314
Ek Şekil 16.	Kömürcüler analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	315
Ek Şekil 17.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması.....	316

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Çoklu regresyon analizinde kullanılan matematiksel ilişkiler	41
Tablo 2.2. Homojenlik analizi hipotezleri.....	46
Tablo 2.3. Regresyon analizi kapsamında araştırılan $f(Q)=F(P,T)$ ilişkileri.....	53
Tablo 2.4. RCP tipleri ve detayları.....	66
Tablo 3.1. Hidrometeorolojik verilerin ağırlık değerleri.....	70
Tablo 3.2. Doğu Karadeniz Havzası hidroelektrik santral ve su yapıları incelemesi ...	72
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları ve istasyonların akış veri setlerine ilişkin bilgiler	73
Tablo 3.4. Tarihsel günlük akarsu akışı analiz setlerine ait temel istatistiki bulgular ..	74
Tablo 3.5. Tarihsel günlük toplam yağış analiz setlerine ait temel istatistiki bulgular	75
Tablo 3.6. Tarihsel günlük ortalama sıcaklık analiz setlerine ait temel istatistiki bulgular	76
Tablo 3.7. Çalışmada kullanılan akış verileri için homojenlik incelemesi	78
Tablo 3.8. Çalışmada kullanılan yağış verileri için homojenlik incelemesi	80
Tablo 3.9. Çalışmada kullanılan sıcaklık verileri için homojenlik incelemesi	82
Tablo 3.10. Skor değerlendirme eşikleri	84
Tablo 3.11. Homojenlik değerlendirmesi.....	85
Tablo 3.12. En İyi Alt Kümeler analizi girdi seti bulguları	87
Tablo 3.13. İleri Adımlı Seçilim analizi girdi seti bulguları	89
Tablo 3.14. SPM araştırmasında kullanılan girdi setleri	91
Tablo 3.15. İyidere YSA performans değerlendirmesi	95
Tablo 3.16. İyidere MARS performans değerlendirmesi	96
Tablo 3.17. İyidere ÇR performans değerlendirmesi	97
Tablo 3.18. İyidere ANFIS performans değerlendirmesi.....	97
Tablo 3.19. Tozköy Deresi YSA performans değerlendirmesi	99
Tablo 3.20. Tozköy Deresi MARS performans değerlendirmesi.....	100
Tablo 3.21. Tozköy ÇR performans değerlendirmesi	101
Tablo 3.22. İyidere ANFIS performans değerlendirmesi.....	101
Tablo 3.23. Değirmendere YSA performans değerlendirmesi.....	103

Tablo 3.24.	Değirmendere MARS performans değerlendirmesi	104
Tablo 3.25.	Değirmendere ÇR performans değerlendirmesi	105
Tablo 3.26.	Değirmendere ANFIS performans değerlendirmesi	105
Tablo 3.27.	Köprübaşı YSA performans değerlendirmesi	107
Tablo 3.28.	Köprübaşı MARS performans değerlendirmesi.....	108
Tablo 3.29.	Köprübaşı ÇR performans değerlendirmesi.....	109
Tablo 3.30.	Köprübaşı ANFIS performans değerlendirmesi	109
Tablo 3.31.	Şerah YSA performans değerlendirmesi	111
Tablo 3.32.	Şerah MARS performans değerlendirmesi	112
Tablo 3.33.	Şerah ÇR performans değerlendirmesi	113
Tablo 3.34.	Şerah ANFIS performans değerlendirmesi	113
Tablo 3.35.	Torul YSA performans değerlendirmesi.....	115
Tablo 3.36.	Torul MARS performans değerlendirmesi	116
Tablo 3.37.	Torul ÇR performans değerlendirmesi	117
Tablo 3.38.	Torul ANFIS performans değerlendirmesi	117
Tablo 3.39.	Fındıklı YSA performans değerlendirmesi.....	119
Tablo 3.40.	Fındıklı MARS performans değerlendirmesi.....	120
Tablo 3.41.	Fındıklı ÇR performans değerlendirmesi.....	121
Tablo 3.42.	Fındıklı ANFIS performans değerlendirmesi	121
Tablo 3.43.	Aytaş YSA performans değerlendirmesi	123
Tablo 3.44.	Aytaş MARS performans değerlendirmesi	124
Tablo 3.45.	Aytaş ÇR performans değerlendirmesi	125
Tablo 3.46.	Aytaş ANFIS performans değerlendirmesi.....	125
Tablo 3.47.	Cücenköprü YSA performans değerlendirmesi	127
Tablo 3.48.	Cücenköprü MARS performans değerlendirmesi.....	128
Tablo 3.49.	Cücenköprü ÇR performans değerlendirmesi.....	129
Tablo 3.50.	Cücenköprü ANFIS performans değerlendirmesi	129
Tablo 3.51.	Çiftdere YSA performans değerlendirmesi	131
Tablo 3.52.	Çiftdere MARS performans değerlendirmesi	132
Tablo 3.53.	Çiftdere ÇR performans değerlendirmesi	133
Tablo 3.54.	Çiftdere ANFIS performans değerlendirmesi.....	133
Tablo 3.55.	Mikronköprü YSA performans değerlendirmesi	135
Tablo 3.56.	Mikronköprü MARS performans değerlendirmesi.....	136

Tablo 3.57.	Mikronköprü ÇR performans değerlendirmesi.....	137
Tablo 3.58.	Mikronköprü ANFIS performans değerlendirmesi.....	137
Tablo 3.59.	Kovanlık YSA performans değerlendirmesi.....	139
Tablo 3.60.	Kovanlık MARS performans değerlendirmesi	140
Tablo 3.61.	Kovanlık ÇR performans değerlendirmesi	141
Tablo 3.62.	Kovanlık ANFIS performans değerlendirmesi	141
Tablo 3.63.	İkisu YSA performans değerlendirmesi.....	143
Tablo 3.64.	İkisu MARS performans değerlendirmesi	144
Tablo 3.65.	İkisu ÇR performans değerlendirmesi	145
Tablo 3.66.	İkisu ANFIS performans değerlendirmesi	145
Tablo 3.67.	Arılı YSA performans değerlendirmesi	147
Tablo 3.68.	Arılı MARS performans değerlendirmesi.....	148
Tablo 3.69.	Arılı ÇR performans değerlendirmesi.....	149
Tablo 3.70.	Arılı ANFIS performans değerlendirmesi	149
Tablo 3.71.	Sınırköy YSA performans değerlendirmesi.....	151
Tablo 3.72.	Sınırköy MARS performans değerlendirmesi	152
Tablo 3.73.	Sınırköy ÇR performans değerlendirmesi	153
Tablo 3.74.	Sınırköy ANFIS performans değerlendirmesi	153
Tablo 3.75.	Kömürcüler YSA performans değerlendirmesi	155
Tablo 3.76.	Kömürcüler MARS performans değerlendirmesi.....	156
Tablo 3.77.	Kömürcüler ÇR performans değerlendirmesi.....	157
Tablo 3.78.	Kömürcüler ANFIS performans değerlendirmesi.....	157
Tablo 3.79.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu YSA performans değerlendirmesi	159
Tablo 3.80.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu MARS performans değerlendirmesi	160
Tablo 3.81.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu ÇR performans değerlendirmesi	161
Tablo 3.82.	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu ANFIS performans değerlendirmesi.....	161
Tablo 3.83.	AGİ'lere göre en iyi akarsu akışı tahmin modelleri.....	164
Tablo 3.84.	GFDL-ESM2M KDM Mann-Kendall Analizi ile trend tespit edilen setlerin Sen Eğimi değerleri.....	167
Tablo 3.85.	GFDL-ESM2M KDM Verileri Şen'in Yenilikçi Eğilim Analizi bulguları	174
Tablo 3.86.	HadGEM2-ES KDM Mann-Kendall analizi ile trend tespit edilen setlerin Sen Eğimi değerleri.....	176
Tablo 3.87.	HadGEM2-ES KDM Verileri Şen'in Yenilikçi Eğilim Analizi bulguları.	183

Tablo 3.88.	MPI-ESM-MR KDM Mann-Kendall Analizi ile trend tespit edilen setlerin Sen Eğimi değerleri.....	185
Tablo 3.89.	MPI-ESM-MR KDM verileri Şen'in Yenilikçi Eğilim Analizi bulguları.	192
Tablo 3.90.	GFDL-ESM2M KDM müstakbel akış değerlendirmesi.....	217
Tablo 3.91.	HadGEM2-ES KDM müstakbel akış değerlendirmesi.....	222
Tablo 3.92.	MPI-ESM-MR KDM müstakbel akış değerlendirmesi	225
Tablo 3.93.	RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında P1 dönemi havza su varlığı incelemesi	231
Tablo 3.94.	RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P1 dönemi havza su varlığı incelemesi	232
Tablo 3.95.	RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında P2 dönemi havza su varlığı incelemesi	236
Tablo 3.96.	RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P2 dönemi havza su varlığı incelemesi	237
Tablo 3.97.	RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında P3 dönemi havza su varlığı incelemesi	241
Tablo 3.98.	RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P3 dönemi havza su varlığı incelemesi	242
Tablo 3.99.	Doğu Karadeniz Havzası analiz bölgelerine göre akarsu suyu varlığının dönemlik ve yıllık değişimi	244
Tablo 3.100.	Analiz bölgelerine göre kurak ve sulak mevsim ayları.....	246
Tablo 3.101.	Mevsimlik referans akış (m ³ /s) değerleri	247
Tablo 3.102.	Analiz bölgeleri için GFDL-ESM2M KDM mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%).....	249
Tablo 3.103.	Analiz bölgeleri için HadGEM2-ES KDM mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%).....	251
Tablo 3.104.	Analiz bölgeleri için MPI-ESM-MR KDM mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%).....	253
Tablo 3.105.	KDM'lere göre ortalama mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%)	257
Tablo 3.106.	Düşük ve yüksek akış referans değerleri ve gözlem süreleri.....	259
Tablo 3.107.	KDM ve konsantrasyon senaryolarına göre Q ₉₅ rölatif değişimi (%).....	260
Tablo 3.108.	KDM ve konsantrasyon senaryolarına göre Q ₅ rölatif değişimi (%).....	263
Tablo 3.109.	Düşük akarsu akışlarının havzadaki dönemsel ortalama rölatif değişimleri (%).....	267
Tablo 3.110.	Doğu Karadeniz Havzası'nda düşük akışlara göre periyotlardaki riskli yıl sayıları.....	268
Tablo 3.111.	Yüksek akarsu akışlarının Doğu Karadeniz Havzası'ndaki dönemsel ortalama rölatif değişimleri (%).....	273

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

AGİ	: Akım gözlem istasyonu
ANFIS	: Uyarlanabilir sinirsel bulanık çıkarım sistemi
AR5	: IPCC 5. değerlendirme raporu
BS:	: Bulanık sistemler
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
CO ₂	: Karbondiyoksit
C _k	: Serinin basıklık değeri
C _s	: Serinin çarpıklık değeri
ÇR	: Çoklu regresyon yöntemi
DSE	: Debi süreklilik eğrisi
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
E	: Nash Sutcliffe etkinlik katsayısı
EAY	: En iyi alt kümeler yöntemi
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FR	: Bulanık kurallar
FS	: İleri adımlı seçim
GPD	: Gauss olasılık dağılımı
KDM	: Küresel dolaşım modeli
maksQ _{pre}	: İncelenen dönemde tahmin edilen en yüksek akarsu akışı değeri (m ³ /s)
MAE	: Mutlak hata değerleri ortalaması
MARS	: Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri
MF	: Üyelik fonksiyonu
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Mİ	: Meteoroloji istasyonu
minQ _{pre}	: İncelenen dönemde tahmin edilen en düşük akarsu akışı değeri (m ³ /s)
MK	: Mann Kendall trend analizi
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
P	: Günlük toplam yağış (mm/gün)
Pe	: MARS modeli ceza değeri

P_{pr}	: Günlük toplam projeksiyon yağış verisi (mm/gün)
r	: Korelasyon katsayısı
RCP	: Temsili Konsantrasyon Rotası
RMSE	: Hata kareleri ortalamasının karekökü
SO_4	: Sülfat
Q	: Akarsu akışı (m^3/s)
Q_{tahmin}	: Akarsu akışı tahmin modeli ile tahmin edilmiş müstakbel akış veri seti
$Q_{gözlem}$	: Akarsu akışı tahmin modellerinin test aşamasında kullanılan hedef çıktı veri seti
Q_5	: Aşılma olasılığı %5 olan (Yüksek) akarsu akışı (m^3/s)
Q_{5ref}	: %5 aşılma olasılığına karşılık gelen tarihsel akarsu akışı ortalaması
Q_{95}	: Aşılma olasılığı %95 olan (Düşük) akarsu akışı (m^3/s)
Q_{95ref}	: %95 aşılma olasılığına karşılık gelen tarihsel akarsu akışı ortalaması
Q_{ref}	: Referans dönem akarsu akışı ortalaması
RCP	: Temsili konsantrasyon rotası
S-BS	: Sinirsel bulanık sistemler
SC	: Subtractive clustering
SD	: MARS modeli serbestlik derecesi
SPM	: Akış tahmin modeli
SYM	: Sayısal yükseklik modeli
T	: Günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}C/gün$)
TF	: MARS modeli temel fonksiyonu
TFPW	: Trend Free Prewhitening yöntemi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
T_{pr}	: Günlük ortalama projeksiyon sıcaklık verisi ($^{\circ}C/gün$)
VG	: Veri grubu
WMO	: Dünya Meteoroloji Organizasyonu
x_{maks}	: Serinin en büyük değeri
x_{min}	: Serinin en küçük değeri
x_{mod}	: Serinin mod değeri
YSA	: Yapay sinir ağları
σ	: Serinin standart sapma değeri
$\bar{x}$	: Serinin aritmetik ortalama değeri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Araştırma Konusunun Önemi

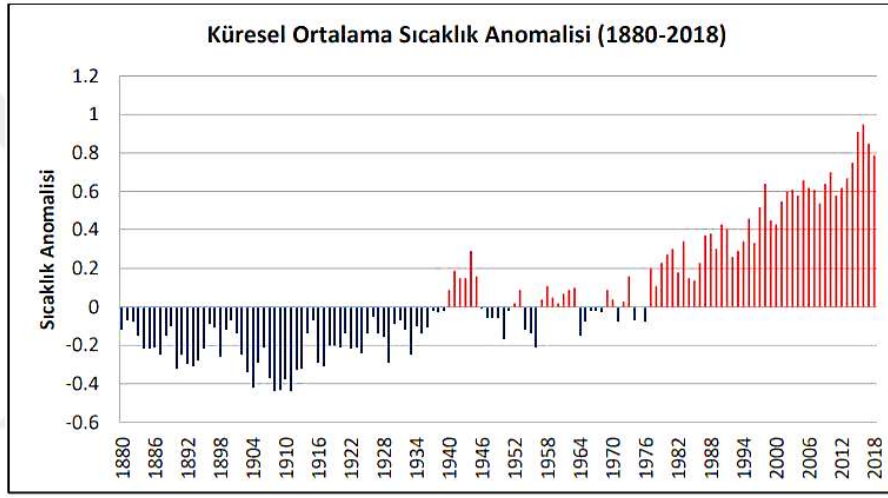
Tüm canlı hayatını ve yaşamın devamlılığını sağlayan kaynakları barındıran dünya, üzerinde yaşam sürdüren canlıların aktiviteleri ve doğal dinamik proseslerin etkileri nedeniyle sürekli değişime uğramakta ve etkilenmektedir. Bu değişim kimi zaman akarsuların yeryüzünü bir yerde aşındırıp başka bir yere biriktirmesi, kimi zaman havzalar üzerine düşen aşırı yağış sebebiyle akarsu yataklarının kapasitesinin aşılması ve taşkınların meydana gelmesi sebebiyle olmaktadır. Dünyayı değiştirmeye çalışan bu olaylar ve dinamikler insan yaşamının başlangıcından daha eski zamanlardan beri gerçekleşmektedir. İnsanoğlunun var olmasıyla birlikte bu doğal dinamik prosesler değiştirilmeye başlanmıştır. Değişen prosesler doğal denge durumunu giderek kaybetmiş ve insanın yaşadığı bölgelere olan etkilerinden dolayı yıkıcı afetlere dönüşmüştür. Doğal kaynakların keşfedilmesi ile artan enerji ihtiyacı karşılanmış ve bunun sonucunda sanayileşme hızla artmıştır. Sanayileşmenin hızlanması insanlığın yaşam standartlarını arttırmış, yapacağı işleri daha kolay yapabilmesini sağlamış, bir yerden başka bir yere ulaşımını konforlu ve hızlı hale getirmiş ve uzak mesafelerle olan iletişimini sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesi ve üretilmesi konusunda faydalı olmuştur. Sanayi tesisleri üretim yaptıkları esnada ve daha sonrasında doğal dengeyi bozacak bazı gazlar açığa çıkarmaktadır (Snyder vd., 2009). Bu gazlar sera gazı olarak adlandırılmakta ve atmosferde birikmektedir. Atmosferde bir katman halinde bulunan bu sera gazları, güneşin zararlı ışınlarını içeri almakta ancak yeryüzünden yansıyarak enerji kaybeden bu ışınların atmosferden tekrar çıkışına izin vermemektedir (Snyder vd., 2009). İçerde kalan bu ışınlar yerkabuğunu ısıtmaktadır. Yaşanan sıcaklık artışı ve atmosferden geçemeyen bu ışınların ultraviyole etkileri yaşanan çevrenin ve iklimin etkilenmesine sebep olmaktadır.

İklim değişikliğinin etkileri incelendiğinde yeryüzünde yaşanacak atmosferik olaylarda, canlı yaşamını etkileyecek değişiklikler öngörülmektedir (Stocker vd., 2014). Uzun süreli gözlemler ve geçmişe yönelik yapılan kıyaslamalar ile görülen, buzul alanlarındaki küçülmeler, deniz seviyesindeki artışlar, yağış rejimlerinde yaşanan değişimlerin her biri iklim değişikliğinin etkilerinin en önemli kanıtıdır (WMO, 2021). Son

25 yıl göz önüne alındığında, Türkiye'nin bulunduğu kuzey yarım kürede yıllık ve mevsimlik ortalama sıcaklık değerleri hızlı bir artış göstermiştir. Artan sıcaklıkların etkisi ile birlikte büyük doğal afetlerin görülme sıklığı da artmıştır. Yakın geçmişte birkaç La Nina ve şiddeti çok yüksek olan El Nino kasırgası yaşanmıştır. Özellikle 1997 ve 1998 yıllarındaki rekor düzeydeki yüksek sıcaklıkların, 1997-1998 El Nino olaylarının oluşmasında önemli etkisinin olduğu düşünülmektedir (Türkeş, 2000; Okkan, 2013). İklim değişikliği çok yönlü ve sürekli birbiri etkisi altında olan parametrelerin kaotik ilişkisinden meydana gelmektedir. İklim değişikliğinin etkilerini araştırmak üzere atmosferik olayların oluşumu ve yeryüzündeki değişikliklerin izlenmesi önem arz etmektedir. Bununla birlikte iklim değişikliği sosyo-ekonomik faaliyetleri, arazi kullanım biçimlerini, tarımsal faaliyetleri ve flora ve faunayı etkilemesi sebebiyle her alan için önemli bir araştırma konusu olmaktadır.

Son 25 yılda ülkemizin de yer aldığı kuzey yarım kürede sıcaklıkların hızlı bir şekilde artış gösterdiği yapılan çalışmalar ile ortaya koyulmuştur. Küresel anlamda iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek ve çözüm önerileri sunmak üzere belirli zaman aralıklarında toplanan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) değerlendirme raporlarında sıcaklıkların bu denli kısa bir zamanda hızlı artışının büyük çoğunlukla insan faaliyetlerine bağlı olduğunu vurgulanmıştır. IPCC tarafından yayımlanan 5. değerlendirme raporunda, önceki raporlarda verilen bu bilgi geliştirilmiş ve iklimde yaşanan değişikliklerde %95 oranında insan aktivitelerinin etkili olduğu belirtilmiştir. Ortalama yeryüzü sıcaklığı, küresel boyutta 1901-2012 yılları aralığındaki dönemde yaklaşık 0,9 °C artış göstermiştir. Şekil 1.1. incelendiğinde, 1880 tarihinden bu yana sıcaklık anomalileri negatif seyrederken, 1940'lı yıllardan sonra pozitif yönde değişimler gözlenmeye başlanmış ve 1970'li yılların sonunda itibaren ise 1°C' ye yakın pozitif anomaliler görülmüştür. Geçtiğimiz yıllarda şimdiye kadar kaydedilmiş yıllar içerisinde ardışık en sıcak 30 yıl ve 21. Yüzyılın ilk 10 yılı ise en sıcak 10 yıl olmuştur. Yaşanan bu gelişmelerle birlikte IPCC küresel ortalama yeryüzü sıcaklığının 21. yüzyıl sonlarına kadar 1,5 °C ile 2 °C aralığında artacağını öngörülmüştür (IPCC, 2013). Artan sıcaklıklar ile atmosferik ve çevresel dengeler değişmekte ve ekstrem doğa olaylarının gözlenme sıklığı da artmaktadır. Küresel ölçekte yapılan çalışmalar, iklimde yaşanan bu değişikliklerin kuzey yarım kürede sıcaklıkların hızlı bir şekilde artmasına ve bölgesel olarak yağışların azalmasına neden olacağını ortaya koymuştur.

Küresel ölçekte birçok alanı ilgilendiren iklim değişikliğinin etkileri günümüzde hükümetlerin yatırım, planlama ve kontrol politikalarını belirleyen en popüler ve en önemli konular arasında yer almaktadır. Geçtiğimiz 50 yılda küresel ölçekte iklim değişikliğine bağlı pek çok doğal afet yaşanmıştır. Yaşanan bu doğal afetlerin sonucunda yaşanan can ve mal kayıpları son yıllarda büyük artış göstermiştir. Ülkemizde son yıllarda yaşanan kuraklık ve taşkın gibi doğal afetlerin görülme sıklığı artmış ve yaşanan afetlerde büyük can ve mal kayıpları gerçekleşmiştir. Yaşanan kuraklık ve taşkın olaylarının ülkemize zararı milyonlarca lirayı bulmuş ve kaynakların verimli kullanılmasını engellemiştir.



Şekil 1.1. Küresel ortalama sıcaklık anomalisi (MGM, 2019)

Küresel ölçekte yaşanan iklimsel anomaliler Türkiye'nin içinde bulunduğu bölgeyi de etkilemektedir. Türkiye'de iklimin değişim eğiliminde olduğu Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yayımlanan iklim değişikliği raporları ile gösterilmiştir (MGM, 2019; Okkan, 2015; Okkan, ve Fıstıkoğlu, 2014; Toros vd., 2019; Yano vd., 2007). MGM tarafından hazırlanan 2019 tarihli, iklim değişikliği raporu incelendiğinde, ülkemizde yağışlarda genel bir azalma olduğu belirtilmiştir. Yağışlarda beklenen azalmanın yanı sıra yağış rejimlerinde düzensizlikler ve nemli ve kurak mevsimler arasındaki farkların artacağı öngörülmektedir. Ülkemizde MGM tarafından yapılan çalışmalarda 1971-2000 referans periyoduna göre ortalama sıcaklık 13,2 °C'dir. Takip eden yıllarda 1994-2012 periyodunda 1997 ve 2011 yılları hariç olmak üzere diğer yıllarda pozitif anomaliler olduğu gözlenmiş ve 2010 yılının en sıcak yıl olduğu kayıtlara geçmiştir (MGM, 2019). Türkiye'de 1950-2010 yılları arasında kaydedilmiş sıcaklık verilerinin,

bölge bazlı olarak, kış ve ilkbahar eğilimlerine göre değerlendirilmesi sonuçlarında, Türkiye’de 1950-2010 yılları arasında kaydedilmiş sıcaklık verilerinde MGM bulguları ile örtüşen sonuçlar görülmüştür (Türkeş, 2012).

İklim değişikliği ile ilgili yapılacak planlamalarda pek çok hususun göz önünde bulundurulması karşılaşılabilecek zararlı etkileri en aza indirmek için önemlidir. Yayımlanan raporlar ve araştırmalar incelendiğinde iklim değişikliğinin etkilerinin geçmişten günümüze doğru hızlı bir şekilde artış gösterdiği açıkça görülmüştür. MGM 2019 tarihli iklimsel değişimlerin incelendiği raporunda, Doğu Karadeniz Havzası’nda sıcaklıkların artış eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Havzada yağış uzun yıllar ortalamasına göre %14,8 artmıştır. Küresel ölçekte yaşanması beklenen iklim değişikliğinin etkilerinin hızla gözlenmeye başladığı Doğu Karadeniz Havzası Türkiye’de su potansiyeli bakımından çok önemli bir paya sahiptir (TÜBİTAK MAM, 2013). Gelecek iklim projeksiyonlarına göre Doğu Karadeniz Havzası’nda yağışlarda bölgesel olarak artış ve sıcaklıkların ülke geneline göre daha düşük pozitif anomali göstermesi beklenmektedir. Bu nedenle havza su varlığının mevcut durumunu koruyacağı düşünüldüğünde havzada iklim değişikliği etkilerinin akarsular üzerindeki etkisinin araştırılması büyük öneme sahiptir.

1.2. Literatür Araştırması

Swain ve Patra (2018), hidrolojik parametrelerin tahmininde iklimsel değişikliklerin ve arazi parametrelerinin önemini belirtmiş ve veri ölçümü yapılmamış alanlarda değerlendirmesinin eksik yapıldığını vurgulamıştır. 21 yıllık günlük toplam yağış yüksekliği veri seti, zemin özellikleri ve arazi kullanımı veri setleri SWAT metodu içerisinde kullanılarak 32 farklı havzada çalışma yapmış ve bu çalışmalarda veri ölçümü yapılmamış veya eksik olan havzalar ile birlikte veri ölçümü yapılmış havzalar araştırılmıştır. Araştırma süresini iki periyoda bölen araştırmacılar 1990-2000 yıllarını kapsayan ilk periyotta nehir akışı hacminin %21 oranında arttığını, ikinci periyot olan 2001-2011 yıllarında nehir akışı hacminin azalışını gözlemlemişlerdir. Çalışma sonuçları ilgili yıllardaki sıcaklık artışları yağış yüksekliğindeki azalma göz önüne alınarak doğrulanmıştır. Çalışma su kaynaklarının planlanması ve hesaplanması aşamasında ekolojik ve sosyoekonomik faktörlerin göz önüne alınması gerektiğini vurgulamıştır.

Kohnova vd. (2019) Slovakya’ da yaptıkları çalışmada ekstrem yağış rejimlerini iklim değişikliği ve arazi kullanımı bakımından irdelemişlerdir. İklim değişikliği veri seti

olarak KNMI (Hollanda) ve MPI küresel veri setlerinde A1B senaryosu için üretilmiş verileri kullanmışlardır. İklim değişikliği verilerinde aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama yağış parametrelerini seçen araştırmacılar, orman yayılımının konu alındığı arazi kullanımı parametreleri de kullanarak yağış değerleri için 1981-2010 yıllarını referans alarak, 2025, 2055 ve 2085'li yıllar için kestirim yapmaya çalışmışlardır. Ayrıca nehir üzerinden ilgili parametrelere bağlı olarak akacak su hacminin belirlenmesi için ampirik yöntemler kullanmışlardır. Araştırmacılar referans yıllara göre yaz ve sonbahar aylarında kuraklık riski olmasına karşın kış aylarında ekstrem yağışların görülme sıklığının arttığını belirlemişlerdir. Çalışmacılar bu tipte yapılacak çalışmaların verilere kuvvetli bir biçimde bağlı olduğunu ve girdi olarak kullanılan verilerin hazırlanırken dikkatli olunmasını önermişlerdir.

Reshmidevi vd. (2018) çalışmalarında gelişen iklim değişikliği etkilerinin havza su dengesi üzerindeki etkilerini araştırmak istemişlerdir. Çalışma kapsamında iki farklı küresel dolaşım modeli olan CMIP3 ve CMIP5 ve farklı konsantrasyon senaryoları değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak havzanın küresel dolaşım modellerine duyarlılığı belirlenmesi ve önümüzdeki yüzyıl için havzada su dengesinin planlanması amaçlanmıştır. Çalışma Malaprapha havzasında yapılmıştır. Malaprapha havzasında bulunan Malabrabha baraj gölü, 2 şehrin, yaklaşık 1 milyon insanın içme suyu ihtiyacını karşılamakta ve 218191 ha tarımsal alanın sulama ihtiyacını karşılamaktadır. Bu sebeple havza ülke için ciddi öneme sahiptir. Çalışmalarda, bölgenin 30 m çözünürlüklü görüntüleri elde edilip sınıflandırma tekniği ile yedi ana başlıkta sınıflandırılmış, zemin haritası yetkili kamu kurumundan alınmış, günlük ortalama akış ve günlük toplam yağış verileri kullanılmıştır. Kullanılan meteorolojik veriler istatistiksel indirgeme metodu (Mueller ve Seneviratne, 2014; Woldemeskel vd., 2016) kullanılarak 9 istasyona indirgenmiş, SWAT yöntemi ile yapılacak analizlere girdi verisi olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yağışlarda büyük değişikliklerin yalnızca yıllık ortalama bazında oluşacağı, nehir akışı ve sulama suyu ihtiyacının kuvvetli bir şekilde ilişkili olduğu görülmüştür. Benzer şekilde sıcaklıklarda yaşanacak değişimlerin nehir akışı, yağış ve sulama suyu ihtiyacını doğrudan etkilediği belirtilmiştir.

Joseph vd. (2018) havzalarda iklim değişikliği etkisi altında yapılan hidrolojik çalışmalarda çok sayıda zemin parametreleri, arazi kullanımı, bitki türü, kontrol yapıları, sulama ve su kullanımı parametreleri ile birlikte meteorolojik verilerine ihtiyaç duyulduğunu göstermişlerdir. Bu haliyle çalışmaların zorlaştığını ve parametre bağımlı

olduğunu belirtmiştir. Yaptıkları bu çalışmada iklim değişikliği etkisi altında yapılacak hidrolojik modellemeleri çoklu iklim değişikliği modelleri olmadan yapmışlardır. Çalışma muson ikliminin gözlemlendiği Hindistan'ın Ganga havzasında gerçekleştirmiştir. Ganga havzası ülkenin en büyük havzası ve konumu ve kullanımı itibarıyla en çok tarım ürünü yetiştirilen havzasıdır ve çalışma yeri olarak seçilmesinin nedeni yıllara göre artış gösteren insan popülasyonuna paralel artan su ihtiyacı olmuştur. Çalışmada 3 farklı küresel dolaşım modeli kullanılmıştır (IPSI, EC-EARTH ve MPI). Bu küresel dolaşım modelleri orta iyimser senaryo olan Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP), RCP4.5 konsantrasyon verilerine göre üretilmiş verileri içermektedir. Çalışmada meteorolojik veri olarak aylık ortalama yağış, aylık ortalama sıcaklık, günlük ortalama buhar basıncı, rüzgar hızı, kullanılmıştır. Çalışmada Variable Infiltration Capacity Model kullanılmıştır. İki farklı istasyon konumunda gerçekleştirilen analizler sonucunda gözlenen zaman serilerinin iyi olduğunu ancak taban akışlarında sapmalar olduğu sonucunu göstermiştir. Bu durumun VIC metodunda taban akışının iyi temsil edilmemesi ile alakalı olabileceği düşünülmüştür. Çalışmanın genel sonucu olarak hidrolojik modellemelerde eksik kalınan bazı noktalardaki dezavantajların giderilmesi amacıyla iklimsel modellemelerin önceden yapılmasının faydalı olacağı görülebilir.

Khan vd. (2018), bir bölgede genel dolaşım modellerinin performansının belirlenmesinde geçmişte gözlenmiş sıcaklık ve yağış verilerinin etkin olduğunu belirtmiştir. Çalışma alanı olarak Pakistan seçilmiştir. Pakistan kurak – yarı-kurak kuşak arasında yer almaktadır, yağış yükseklikleri ortalama olarak 500 mm'den büyüktür, yağış değerleri güney doğu kesimlerinde yaz aylarında pik değerlere ulaşırken, kuzey kesimleri kış aylarında pik değerlere ulaşmaktadır. GDM farklı parametreler göz önüne alınarak oluşturulduğundan, çalışma yapılacak olan havzaya benzer parametreler kullanılarak elde edilmiş GDM'lerin kullanımı çalışmanın başarısı ve gerçekçiliği için önem taşımaktadır. Çalışmada küresel literatürde kullanılan 31 farklı GDM' nin karşılaştırılması ve çalışma yapılan havza için en uygun olanının belirlenmesi amaçlanmıştır. GDM' lerin kıyaslanması için entropi tabanlı özellik seçimi yaklaşımı olan Simetrik Belirsizlik yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada GDM' lerin havzaya uygunluğunun farklı parametreler olan yağış ve sıcaklık için değiştiği gözlenmiştir. Yağış verileri için EC-Earth ve MIR0C5 en çok yakınsadığı, sıcaklık için (CSIRO)-Mk-3-6-0 ve MPI küresel veri setlerinin uygun olduğu görülmüştür. Pakistan coğrafyasında genel olarak en başarılı modeller belirlenmiştir.

Babel vd. (2016) yağışın uzun süreli dönemlik veya yıllık olarak tahmin edilmesinin ve büyük ölçekli atmosferik olaylarla ilişkisinin ortaya koyulmasının su kaynaklarının planlanması konusunda büyük öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışma bölgesi olarak ülkenin en büyük havzası olan The Chao Phraya Nehri Havzası seçilmiştir. Bu havzada bulunan çok sayıda baraj sulama suyu ve içme-kullanma suyunun temel kaynağını oluşturmaktadır. Yaptıkları çalışmada yağış tahmin modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu model ile 30 istasyon kullanarak, üç aylık periyotlarda dönemsel yağış tahmini yapılmıştır. Tahmin modeli Yapay Sinir Ağları (YSA) ile oluşturulmuştur. Yağışın günlük tahmin edilmesinde atmosferik parametreler kullanılmış ve yağışın ilişki düzeyleri araştırılmıştır. Çalışmada tahmin edici atmosferik parametre olarak sıcaklık, buhar basıncı, rüzgâr, toplam çökebilir su ve nem kullanılmıştır. YSA ile yapılan tahminlerde iklim değişikliğinin etkisinin araştırılması için, havzada daha önce çalışılan veri setlerinden daha yüksek çözünürlükte veri bulunabildiği için seçilmiş olan iki farklı GDM (CSIRO Mk3.6, MPI-ESM-MR) kullanılmıştır. GDM ile elde edilen sonuçlar ile iklim değişikliği parametreleri kullanılmadan bulunan sonuçlar kıyaslanmış ve iklim değişikliği modellerinin etkisi ortaya koyulmuştur. Kıyaslamalara göre RCP4.5 etkisi altında sezonluk yağışlarda istatistiksel olarak anlamlı değişimler tespit edilmiştir.

Lazoglou vd. (2019) ölçülmüş ham meteorolojik verilerin olmadığı havzalarda yapılan çalışmalara veri sağlayabilmesi nedeniyle iklimsel projeksiyonlarla üretilmiş verilerin çalışmalarda kullanımının yaygınlaştığını vurgulamıştır. Kullanılan bu projeksiyon verilerinin ham halde kullanılması için ölçülmüş veri setine göre istatistiksel olarak düzeltilmesi gerektiğini belirtmiştir. Çalışmada MPI iklim modeli yağış verilerinin, E-OBS günlük ortalama ve aylık toplam yağış verileri kullanılarak eğilimlerinin düzeltilmesi işlemi copula fonksiyonu ile yapılmıştır. Eğilimleri düzenlenen veri seti ve ham veri setlerinin performansının kıyaslanması için mekânsal dağıtılmış hidrolojik bir modelde (MODSUR) girdi olarak kullanmak suretiyle akış tahmini yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda MPI iklim modeli yağış verilerinin ham halde iken gözlenen yağış verileri ile uyum sağlamadığı, copula fonksiyonu ile düzeltilmesinin ardından seriler arasındaki korelasyonda artış gözlemlendiği belirtilmiştir.

Meissl vd. (2017) çalışma bölgesi olan küçük Alp havzasında iklim değişikliğinin taşkınların oluşumunda temel etken olan yağış değerlerinin şiddet-frekans ilişkisinin etkilediğini belirtmiştir. Bu etkinin iklim değişikliğinin, hidrolojik sistem işleyişlerini bozması ve yağış karakteristiklerini değiştirmesi ile kaynaklanabileceğini düşünmüştür.

Çalışmada fırtına zamanı debilerinin tahmini için havzada seçilen farklı yüksekliklere sahip üç bölgede hem saha gözlemleri yapılmış hem de iklim değişikliği veri setleri kullanılarak oluşturulan yağış-akış modelleri kullanılmıştır. Çalışmada iklim değişikliğinin iki önemli etkisi gözlemlenmiştir. Orta rakımlardaki havzalarda (ortalama yükseklik 1370 m, yıllık toplam yağış 1580 mm), mevsimlik hidrolojik sistem işleyişlerinin kuvvetli bir şekilde, hava sıcaklığının direkt etkidiği buharlaşma gibi faktörlerden etkilendiği belirlenmiştir. Buzul etkisi olmayan daha yüksek rakımlı havzaların (ortalama yükseklik 2430 m, yıllık toplam yağış 1390 mm), iklim değişikliğine karşı daha az hassas olduğu, zemin nemi ve zeminde oluşan kurumuş katman nedeniyle kısa dönemli döngüler halinde etkilendiği görülmüştür. İncelenen havzalarda 2071-2100 periyodunda iklim değişikliğine bağlı olarak, yaz mevsimlerinde kritik toprak nemi değerinde olan gün sayısı %60 veya daha fazla oranda azalacaktır. Bunun aksine geçirimsizliği engelleyen kurumuş alt tabaka katmanlarının görüldüğü gün sayısı, düşük (ortalama yükseklik 755 m, yıllık toplam yağış 1210 mm) ve orta rakımdaki havzalarda %8 ile %11 oranında artış gösterecektir. Şiddetli yağış olayları %10 oranında bütün seviyelerdeki havzalar için artış gösterecektir.

Motiee vd. (2020) çalışmalarını Alam-Kuh buzulu ve Sardabrud nehri havzasında gerçekleştirmiştir. Akarsu için en önemli su kaynağı buzuldan erimesi ile nehre karışan sulardır. Nehrin debisinin 2012-2018 yılları arasında sürekli olarak artış göstermesi ve buzulda yapılan incelemeler buzulda ciddi bir erimenin olduğunu göstermiştir. Buzula en yakın gözlem istasyonu olan Kelardasht istasyonunda kaydedilmiş veriler incelenmiş ve yıllık sıcaklıkların artış gösterdiği, yağışların ise azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Havzada akan suyun küçük bir kısmı tarımsal faaliyetler için kullanılıyor olsa da büyük bir çoğunluğu Hazar Denizi'ne dökülmektedir. Bu nedenle gelecek nesiller için bölgede su planlamalarının iklim değişikliğine uyumlu olarak yapılması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada beş farklı küresel dolaşım modeli kullanılmıştır (EC-EARTH, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIRO-C5 ve MPI-ESM-MR). Veri setleri kullanılarak yağış ve sıcaklık parametrelerinin buzulun erimesine etkisi araştırılmıştır. 35 yıllık gözlem verileri kullanılarak 2021-2040 yılları aralığında yapılacak çalışmalar için küresel dolaşım modeli verileri optimize edilmiştir. Analizler açık kaynak kodu olan GSM-SOCONT kullanılarak yapılmış ve buzulun erime oranı ve debiler incelenmiştir. Çalışmada yağışta %6 azalış gözlenmiş ancak debilerde %10'luk bir artış gözlenmiştir. Bu durumun iklim değişikliği etkileriyle sıcaklıkta yaşanan artış neticesinde buzuldaki erime ile olacağı belirlenmiştir.

Khoi ve Phi (2018) çalışmalarını Dong Nai nehri havzasında yapmıştır. Bu havza üzerinde yaklaşık 1,3 milyon insan yaşamaktadır. Havzanın ortalama yüksekliği 1000 metredir. Havzada muson iklimi hâkimdir ve sulak sezon ve kurak sezondan oluşmaktadır. Sulak sezonda ortalama 2400 mm yağış alan havzada ortalama sıcaklık 26 °C'dir. Çalışma iklim değişikliği etkisinin akıma ve su kalitesine etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada 5 küresel dolaşım modeli kullanılmıştır (CanESM2, CNRM-CM5, HadGEM2-AO, IPSL-CM5A-LR ve MPI-ESM-MR). Bu 5 farklı küresel dolaşım model veri seti için iki farklı senaryoda, RCP4.5 orta iyimser senaryo ve RCP8.5 kötümser senaryo konsantrasyon değerlerine göre oluşturulan veri setleri kullanılmıştır. Analizler yakın gelecek 2015-2040, orta uzak gelecek 2045-2070 ve uzak gelecek 2075-2100 olarak yapılmıştır. Çalışmada analiz için kullanılan SWAT modeline Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi kullanım biçimleri, zemin türleri, hidro-meteorolojik veriler ve su kalitesinin incelenmesi için su kalitesi verileri girdi olarak kullanılmıştır. Hidro-meteorolojik veriler; günlük toplam yağış, günlük ortalama sıcaklık, rölatif nem, rüzgar hızı ve günlük ortalama akım veri setlerinden oluşturulmuştur. Arazi kullanım verileri ilgili kamu kuruluşundan 2005 yılı için temin edilmiş ve kullanılmıştır. Çalışma bulguları akım değerlerinin her küresel modelde RCP 4.5 senaryosunda sırasıyla yakın, orta uzak ve uzak gelecek için %2.8, 7.8 ve 8.2, RCP 8.5 senaryosunda %0.1, 10.2 ve 8 artış göstereceğini göstermiştir. Sıcaklık değerleri ile birlikte incelendiğinde araştırmacılar havzanın giderek ısınacağını ve sulaklaşacağını belirtmişlerdir.

Dalavi vd. (2018), yaptıkları çalışmada su kaynaklarının planlanması ve kontrolü açısından temel gereklilik olarak belirttikleri akarsu akışının tahmin edilme konusunu incelemiştir. Çalışma Chaskaman havzasında üç farklı yerleşim yerine hizmet edecek olan önemli bir sulama projesini değerlendirmek için yapılmıştır. Havza alanı 300,82 km² olup, havza çoğunlukla bitki örtüsü ile örtülüdür. Havza topografik olarak ortalama bir engebe düzeyine sahiptir. Havzada ve bölgede hidrolojik ve hidrometeorolojik verilerin düzenli olarak ölçülmemesi sebebiyle ampirik modellerin kullanımının önemli olduğu belirtilmiştir. Çalışmada literatürde yağış-akış ilişkilerini incelemek için önerilmiş beş yöntem kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler sırasıyla verilmiştir; Inglis ve De Souza formülü, Khosla yöntemi, Cautagine yöntemi, Hindistan Sulama Müdürlüğü yöntemi ve Strange tablo yöntemi. Inglis ve De Souza formülü sabit konumlar için kullanılmış olup, yıllık yağış miktarlarından yıllık akış yüksekliğinin ilişkilendirilmesi ile oluşturulmuştur. Khosla yöntemi, aylık yağış yüksekliği ile aylık ortalama sıcaklığı

kullanarak aylık yağışı elde etmektedir. Cautagine yıllık yağış ve yıllık ortalama sıcaklık parametrelerini kullanarak ara akış değeri bulmakta ve yağış ile tekrar ilişki kurarak akış değerini elde etmektedir. Hindistan Sulama Müdürlüğü nehirler için yağış parametresini kullanarak akış parametresini elde etmişlerdir. Strange tablo yönteminde havzada belirli yağış miktarlarına göre yağış ile akışın ilişkilendirildiği ampirik formüller önerilmiştir. Havzada 15 yıllık veri kullanılarak yapılan analizlerde Cautagine yönteminin daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Praven Kumar vd. (2016) suyun en önemli kaynağı olarak yağış belirtilmiştir. Suyun yaşamın temel ihtiyaçlarından olduğu ve planlamasının çok önemli olduğunu ve planlamada yağış-akış modellemelerinin kullanıldığını vurgulamıştır. Çalışma küçük bir havza olan Yelahanka, Hindistan'da yapılmıştır. Havzanın yüz ölçümü 38,88 km², havza tipik tropik iklim göstermekte ve ortalama sıcaklığı yaklaşık 25 °C'dir. Yıllık ortalama yağış yüksekliği 83,60 mm'dir. Çalışmada yağış-akış modelleri farklı yöntemler kullanılarak oluşturulmuş ve performansları karşılaştırılmıştır. Kullanılan modeller sırasıyla; Khuzla formülü, Inglis ve De Souza formülü, HSM yöntemi, Khosla yöntemi, SCS-CN yöntemi ve kural bazlı bulanık mantık yöntemidir. Bir önceki çalışmadan farklı olan yöntemlerden Khuzla formülü yağış ve sıcaklığı kullanarak akış verilerini elde etmektedir. SCS-CN yöntemi Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı bir yöntem olup, havzada su dengesi esasına göre akışı belirlemektedir. Çalışmada bulanık mantık, 3, 6 ve 8 kural ile oluşturulmuştur. 16 yıllık veri kullanılarak oluşturulan yağış-akış modellerinde yıllık ortalama akış tahminine göre yapılan performans değerlendirmesinde; bulanık mantık yönteminin düşük debi değerlerinde daha başarılı olabileceği ancak optimum kural ve optimum üyelik fonksiyonları seçmenin uzun bir zaman alacağı ve Khuzla formülü ve Khosla formülünün gözlenen değerlere yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Khosravi vd. (2013) yaptıkları çalışmalarında, literatürde akış tahmininde kullanılmış istatistiksel modeller ve eşitliklerin değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışma Banadaksadat havzası, İran'da yapılmıştır. Havza alanı 39,32 km² olup, havza yoğunlukla orman ve mera ile kaplıdır. Topografik olarak engebeli bir yapıya sahiptir. Havzanın deniz seviyesine göre en yüksek noktası 3960 m ve en düşük noktası 1880 m'dir. Çalışmada kurak bölgelerde yağışın buharlaşma ve sızma nedeniyle önemli ölçüde etkilendiği ve ortalama yağışın belirlenmesi için bir çalışma yapılırken öncelikle yağış verisinin düzenli biçimde belirlenmesi gerekliliği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan modellerden bazılarının bölgesel olarak iyi sonuçlar verebileceği ancak farklı havzalarda aynı başarıyı

gösteremeyecebileceği söylenilmiştir. Çalışmada Inglis De Souza Formülü, HSM yöntemi, Turc yöntemi, Cautagine yöntemi, Khosla yöntemi, ICAR yöntemi, Justin yöntemi, Lacey yöntemi ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemler; yağış ve akışı direkt olarak ilişkilendiren yöntemler, akışın hem yağış hem de sıcaklık ile ilişkilendirildiği yöntemler ve akışın havza karakteristik özellikleri ile ilişkilendirildiği yöntemler olarak üç grupta toparlanabilmektedir. Inglis De Souza formülü ve HSM formülü yağışı direkt olarak akış ile ilişkilendiren yöntemler olarak ilk grupta yer almaktadır. Turc yöntemi, Cautagine yöntemi ve Khosla yöntemi ikinci grupta yer almaktadır. Turc yöntemi alanı 300 km²'den daha küçük olan havzalarda akışın tahmin edilmesi için önerilen bir yöntemdir. Turc yönteminde akış yağış ve sıcaklık ile ilişkilendirilmektedir. Üçüncü grupta yer alan yöntemler ise; ICAR yöntemi, Justin yöntemi, Lacey yöntemi ve WMO yöntemidir. ICAR yöntemi, 17 büyük havzada yıllık akışın incelenmesi sonucu önerilmiş bir yöntemdir. ICAR yönteminde akış, havzanın morfolojik özellikleri, yağış ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Justin yönteminde akış, yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan bir havza katsayısı, havza eğimi, yağış ve sıcaklık ile ilişkilendirilerek bulunmaktadır. Lacey yönteminin birçok çalışmada başarılı olduğu belirtilmiş ve akışı bulmak için yağışı ve havzanın coğrafi özellikleri ile elde edilen bir Lacey tablo değeri kullanılmıştır. Çalışmada WMO yönteminin sıfırın üzerinde sıcaklık gösteren bölgelerde geçerli olduğu belirtilmiştir. WMO yönteminde akış, yağış ve sıcaklık ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada bahsedilen yöntemler ile yapılan akış tahminleri sonucunda Lacey yönteminin bölge için en başarılı yöntem olduğu belirlenmiş ve Contagine ve Turc yöntemlerinin de bu yönteme yakın sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

Jin vd. (2018) yaptıkları çalışmada iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin gün geçtikçe arttığını belirtmişlerdir. Çalışma konusu olan nehir yaklaşık 24 milyon kişiye içme ve kullanma suyu sağlayan önemli bir kaynaktır. Çalışmada CNRM-CM5, HadGEM2-ES ve CanESM2 KDM verileri kullanılarak, proses bazlı bir tahmin modeli olan INCA ile nehirde gelecek akım değişimi iki farklı (2050'ler, 2090'lar) gelecek zaman periyodu için incelenmiştir. Çalışma sonucunda, araştırma bölgesinde sıcaklıkların yıllara göre artış göstereceği ve yağışların da model verilerine ve konumlara bağlı olarak artışlar göstereceği ve bu etkilere bağlı olarak, yüksek akışların (Q₅) %36'ya varan şekilde yıllara göre artacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Arnell ve Gosling (2013) çalışmalarında iklim değişikliği modellerinin küresel ölçekte nehir akış rejimleri üzerindeki potansiyel etkilerini araştırmak üzere yapılmıştır. Çalışmada IPCC 4. değerlendirme raporunda önerilen 21 farklı KDM verisi kullanılarak 2050'ler için çıkarımlar yapılmıştır. Çalışmada iklimsel referans belirlenmek üzere 1961-1990 yılları kullanılmış olup nehir akışı modellemeleri günlük Mac-PDM.09 su dengesi modeli ile yapılmıştır. Çalışmada farklı KDM verileri kullanılarak küresel ölçekte nehir akışlarının iklim değişikliğine duyarlılığı belirlenmiş ancak tek bir tahminleyici model kullanılmış olduğundan tahminleyici performansı değerlendirilememiştir. Çalışma sonucunda, 2050'li yıllara kadar küresel ölçekte sıcaklıkların belirlenen referans döneme kıyasla 2 °C artış göstereceği belirlenmiştir. Sıcaklık artışları ile birlikte Sibiry'a ve Avrupa'nın yüksek enlemleri kesimlerinde nehir akışında artışlar gözleneceği sonucuna ulaşılmıştır.

Akinwumi vd. (2021) günümüzde hissedilir şekilde olumsuz etkilerinin yaşandığı iklimsel değişikliklere karşın nehir akışının iklim değişikliği altındaki duyarlılığını araştırmışlardır. Araştırma bölgesi olarak, nüfus yoğunluğu fazla olan ve nehir akışında yaşanacak değişimlerin daha fazla etkileyeceği bölgeyi seçmişlerdir. Nehir akışında yaşanacak değişimleri HEC-HMS simülasyon modeli ile incelemişlerdir. Çalışmada iklimsel parametrelerden yağış kullanılmıştır. Çalışma sonucunda referans dönem ortalamalarına göre yağışın iklim değişikliğine bağlı olarak artış göstereceği öngörülmüştür. Yağıştaki artışa bağlı olarak incelenen nehirdeki pik debilerin yıllara göre artış göstereceği ve farklı konsantrasyon senaryoları altında artış miktarının farklı olacağı bulgusuna ulaşılmıştır.

Kay vd. (2021) araştırmalarında iklim değişikliğinin nehir akışlarındaki etkisini, düşük ve yüksek akışlarını inceleyerek belirlemeye çalışmışlardır. Düşük ve yüksek nehir akışlarının taşkın ve kuraklık ile olan ilişkisinden dolayı araştırmacılar geniş alandaki iklimsel etkileri belirlemek üzere nehir akışlarının incelenmesinden elde edilen bulguları kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda olası risklere karşı önlem almak üzere iklim projeksiyonlarından elde edilecek bulguların kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Çalışma bölgesinde zamana göre düşük nehir akışlarının azalacağı ve yüksek nehir akışlarının artacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Quansah vd (2021) çalışmalarında hidrolojik proseslerden olan nehir akışının, yağış ve yüzeydeki sıcaklıktan etkilendiğinden hareketle iklim değişikliğinin etkilerinin araştırılmasında sıklıkla kullanılan bu parametreleri kullanarak nehir akışındaki değişimi

incelemişlerdir. Çalışma araştırmanın daha anlaşılabilir olması açısından 21. yüzyıl sonuna kadar olan süreçte zamansal periyotlara ayrılarak yapılmıştır. Çalışmada farklı KDM ve farklı konsantrasyon senaryosu etkileri çalışma bölgesi için değerlendirilmiştir. Çalışmada gelecek akış değerleri bir simülasyon modeli olan SWAT kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada mevsimlik akış ortalamaları incelenmiş olup elde edilen bulguların KDM ve farklı konsantrasyon senaryosu etkilerine göre değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmada referans değer olarak sınırlı veri kullanılmış olup referans değere göre iklim değişikliği etkisi altında tahmin edilen debi değerlerinin %50 ile %300 mertebelerinde artış gösterdiği görülmüştür.

Cui vd. (2018) ekolojik sistem veriliğinin bağımlı olduğu nehir sistemlerinde nehir akış rejiminin iklim değişikliği etkisi altında incelemesini yapmışlardır. Araştırmada farklı konsantrasyon senaryosu etkisi altında farklı KDM verileri kullanılmıştır. Bölgede farklı KDM verilerinin hassasiyetinin de değerlendirilmesi sağlanmıştır. Çalışmada nehir rejimini incelemek için akış tahminleri proses bazlı SWIM modeli kullanılarak yapılmıştır. Modelde havzaya ait tarımsal veriler, topografik veriler ve iklimsel projeksiyon verileri girdi verisi olarak kullanılmış olup günlük ölçekte çıktılar elde edilmiştir. Çalışmada akış rejimleri aylık olarak incelenmiş olup nehir akışları farklı konsantrasyon senaryoları etkisi altında farklı KDM verilerine göre farklı değişimler göstermiştir. Çalışmanın bulgusu olarak, sıcaklık ve yağışların artış trendi göstereceği, yıllık maksimum akışların görülme zamanlarının değişeceği, nehir akış rejiminde yaşanacak değişimlerin günlük ölçekte tüm senaryolar altında gözleneceği ancak aylık ölçekte bazı konsantrasyon senaryoları altında çok düşük değişiklikler gözleneceği bildirilmiştir. Elde edilen bulgular çerçevesinde nehir akışına bağlı ekolojik yaşamın olumlu yönde etkileneceği ancak artış trendinin devam etmesi durumunda bu olumlu etkinin olumsuz etkiye dönebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Mishra vd. (2021) iklim değişikliğinin, insan yaşamına önemli bir etkisi olan nehir akışları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarında 1991-2014 yıllarında kaydedilmiş verileri referans olarak kullanmışlar ve araştırma sonuçlarını gelecek zamanı belirli zaman periyotlarına ayırarak incelemişlerdir. Çalışmada gelecek nehir akışını SWAT modeli kullanarak, tarımsal sulama suyu ihtiyacını ise CROPWAT yazılımını kullanarak belirlemişlerdir. Çalışmada farklı konsantrasyon senaryoları etkisi altında farklı üç KDM verisi kullanılmıştır. Çalışmaya göre iklimsel parametrelere esas alındığında gelecekte yağışın %15 ile %25 arasında, sıcaklığın ise 2 °C ile 4,5 °C arasında artış göstereceği beklenmektedir. Çalışma sonucunda referans dönem esas alındığında nehir

akışında yeterli olmayan su miktarının gelecekte de yeterli olmayacağı ve bu durumun tarımsal üretimde göz önünde bulundurularak daha az su ihtiyacı olan ürünlerin yetiştirilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Valeriy vd. (2021) gelecekteki su ihtiyacının karşılanması konusunun iklim değişikliğinin olası etkileri altında incelenmesinin önemini vurgulamıştır. Çalışmalarında farklı konsantrasyon senaryoları etkisi altında farklı KDM verileri kullanmışlar ve SWAT modeli ile gelecek nehir akışı tahmini yapmışlardır. Araştırma bulgularına göre, çalışma bölgesinde yıllık nehir akışları anlamlı artışlar göstermiş olup, artan sıcaklıkların etkisiyle vejetasyonun risk altında olduğu görülmüş olup bu konuda önlem alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Literatür özeti kapsamında değerlendirilen çalışmalar incelendiğinde, araştırmacılar iklim değişikliğinin geçmişten günümüze doğru gelindikçe daha hissedilir etkilerinin olduğunu ve iklimde yaşanması beklenen değişikliklerin su kaynaklarının planlanması ve olası risklerin en aza indirilmesi açısından önemle incelenmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda iklim değişikliğinin etkileri genel olarak, insan nüfusunun yoğun olduğu bölgelerde veya akarsu akışına bağlı canlı hayatının en çok etkilenmesi beklenen bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu nedenle araştırmaların birçoğunda akarsu akışları incelenmiştir. Akarsu akışlarının gelecekteki durumunu incelemek için, sera gazı salınımı esas alınarak önerilen konsantrasyon senaryoları etkisi altında farklı KDM verileri kullanılmıştır. İncelenen çalışmaların birçoğunda RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında bölgeye en uygun olduğu düşünülen KDM verileri kullanılarak gelecek akarsu akışı tahmini yapılmıştır. Literatürde incelenen çalışmalarda, bölgeye en uygun konsantrasyon senaryosunun ve KDM tipinin seçilmesi konusunda herhangi bir önermeye rastlanmamıştır. Literatürde girdi verisi olarak büyük çoğunlukla yağış ve sıcaklık kullanılmış ve kullanılan modellere göre ise arazi kullanımı gibi farklı parametreler de eklenmiştir. İncelenen çalışmalardan iklim değişikliğinin meteorolojik parametrelere ilişkin çıkarılan ortak sonuçlara göre yağışlar bölgesel olarak farklı değişimler gösterse de sıcaklıklar genel olarak küresel ölçekte artış gösterecektir. Meteorolojik parametrelere ilişkin bulgulara paralel olarak akarsu akışlarındaki değişimler de bölgesel olarak farklılık göstermiştir. Ayrıca akarsu akışlarında hesaplanan değişimler konsantrasyon senaryoları ve seçilen KDM tipine göre de değişkenlik göstermektedir. Gelecek akarsu akışı tahminlerinden elde edilen bulgular kullanılarak, günlük tahminlerden

düşük ve yüksek akarsu akışları, aylık tahminlerden mevsimlik akarsu akışı değişimleri ve yıllık tahminlerden ise havza su dengesine ilişkin çıkarımlar yapılmıştır.

1.3. Amaç ve Kapsam

Önceki bölümlerde incelenmiş olan çalışmalarda iklim değişikliği geniş bölgelerde pek çok parametreyi etkileyen ve küresel ölçekte incelenmesi gereken bir husus olarak belirtilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalara göre iklim değişikliği hidrolojik ve meteorolojik pek çok parametreye direkt olarak etki etmekte ve hidrolojik sistemlerin işleyişini etkilemektedir. Ülkemizin içinde bulunduğu kuzey yarım kürede sıcaklıkların 2100 yılına kadar artış göstermesi beklenmekte olup yağışların bölgesel olarak artışlar göstereceği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. İklim değişikliği etkilerinin bir sonucu olarak ülkemizin özellikle kuzey kesimlerinde şiddetli yağışlar gerçekleşmiş ve bunun bir sonucu olarak büyük can ve mal kayıplarına neden olan taşkınlar ile mücadele edilmiştir. İklimdeki değişime bağlı olarak gelişen etkilerin incelemesi sonucu olarak Türkiye’de 2100 yılı sonuna kadar sıcaklıkların 2°C – 4°C artış göstermesi ve bölgesel olarak kritik seviyelerde yağışların azalması beklenmekte olup bu durum kuraklık riskini barındırmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası geçmiş çalışmalara göre, Türkiye için su potansiyelinin en yüksek beklendiği havzalar arasında ilk sıralardadır. Bu nedenle havzaya gelecek olan suyun planlanması ve kontrol altında tutulması Türkiye’nin su geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. Havzadaki suyun verimli kullanılması taşkın gibi yıkıcı afetlerin zararlarını azaltacağı gibi, kuraklık yaşanması beklenen çevre bölgelere gerektiğinde taşınarak sürdürülebilir çevre yönetim sistemlerinin bir enstrümanı olarak kullanılabilir. Bu nedenler göz önüne alındığında çalışma bölgesi olarak Doğu Karadeniz Havzası seçilmiştir.

Literatürde incelenen çalışmalarda araştırmacılar iklim değişikliğinin akarsu akışlarına etkisinin araştırılmasının önemine vurgu yapmışlardır. Akarsu akışları gerek flora ve fauna için gerek insan faaliyetleri gerekse de tarımsal faaliyetler için direkt olarak etkilidir. Bu etkenler üzerinden sosyo-ekonomik olarak da dolaylı etkiye sahiptir. Çalışmada Doğu Karadeniz Havzası akarsu akışlarının iklim değişikliğine karşı duyarlılığı incelenmiştir. Türkiye’nin en yüksek su potansiyeline sahip havzalarından olan Doğu Karadeniz Havzası’nın 2100 yılına kadar olan akarsu akışlarından kaynaklı su dengesinin planlanması için gerekli çıktılar çalışma kapsamında elde edilmiştir.

Küresel ölçekte geliştirilen çok sayıda KDM ve bu modelleri etkileyen farklı konsantrasyon senaryoları geliştirilmiş ve önerilmiştir. İklim değişikliği ile ilgili yapılan çalışmaların kesin sonuçlar elde etmediği ancak elde edilen çıktıların kuvvetli öngörü olarak değerlendirilebileceği geçmiş çalışmalarda bildirilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda, araştırma bölgelerinde farklı konsantrasyon senaryoları etkisi altında farklı KDM verileri kullanılmış ve aynı bölge için her veri setine göre farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Doğu Karadeniz Havzası için yapılan bu tez çalışmasının bölge akarsu suyunun iklim değişikliğine duyarlılığının belirlenmesi için IPCC tarafından önerilen, olumsuz konsantrasyon senaryoları kategorisinde yer alan, RCP4.5 ve RCP8.5 (Representative Concentration Pathways) konsantrasyon senaryoları etkisi altında GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR KDM verileri kullanılmıştır. Kullanılan bu KDM'lerin Türkiye iklim koşullarına uygun parametreler kullanılarak oluşturulduğu incelenen MGM raporlarında görülmüştür. Bu çalışmada olumsuz kategorideki konsantrasyon senaryolarının etkileri araştırma bölgesinde yaşanabilecek en elverişsiz durumların değerlendirilmesi amaçlanarak seçilmiştir. Çalışmadan elde edilen çıktılar, konsantrasyon senaryoları ve farklı KDM tipleri kullanılarak geniş aralıkta elde edilmiş sonuçlar içerdiğinden, gelecekte yaşanacak farklı sera gazı salınımları ve iklimsel yönelimler gözlenerek en uygun duruma göre uyarlanarak fikir vermesi amaçlanmıştır.

Doğu Karadeniz Havzası'nda akarsu suyunun iklim değişikliğine duyarlılığının araştırılması amacıyla havza genelinde 17 Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) ve 11 Meteoroloji İstasyonu (Mİ) seçilmiştir. İklim duyarlılığının belirlenmesi amacıyla, AGİ konumlarında akarsu akışı tahmin modelleri oluşturulmuştur. Akış tahmin modellemeleri iki basamakta yapılmıştır. İlk olarak gözlenmiş tarihi veriler kullanılarak modeller oluşturulmuş ve havzada seçilen her analiz konumunda model kalibrasyonu yapılarak en iyi Akış Tahmin Modeli (SPM) belirlenmiştir. İkinci kısımda iklim modellerinden elde edilen projeksiyon verileri kullanılmış, 2021-2040 yılları (Yakın gelecek, P1), 2041-2070 yılları (Orta uzak gelecek, P2) ve 2071-2099 yılları (Uzak gelecek, P3) aralığında, üç farklı periyot için iklim değişikliği etkisi altındaki akarsu sistemlerinde gelecek akarsu akışlarının tahmin edilmesi amacıyla performansı en yüksek SPM kullanılmıştır. Literatürde yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde akış tahminlerinin birçok çalışmada simülasyon bazlı metotlar kullanılarak yapıldığı görülmüştür. Simülasyon bazlı modellerin içerdiği ön kabuller ve uyarlanabilir olmaması gibi nedenler ile bu metotların sınırlı çözümler üretebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışmada simülasyon temelli

modeller tercih edilmemiş, SPM yapıları makine öğrenmesi gerçekleştiren Yapay Sinir Ağları, Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS) yapay zeka yöntemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Makine öğrenmesi modellerine ek olarak SPM yapıları 3 farklı önerme kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda farklı SPM'lerin tahmin performansının kıyaslamasına yönelik bulgular elde edilmiştir. Çalışma bu yönüyle literatürde incelenen birçok benzer nitelikteki çalışmaya göre farklılık taşımaktadır.

Akış modellemesinde kullanılan yapay zeka yöntemleri ile oluşturulan SPM'lerin optimum çözümü elde etmesi ağ içerisindeki parametrelerin seçimine bağlıdır. Bu parametreleri, öncelikle girdi verileri olmak üzere pek çok faktör etkilemektedir ve bu durum, makine öğrenmesi gerçekleştiren modellerin tasarımını zorlaştırmaktadır. Farklı amaçlar ile benzer yöntemlerin kullanıldığı akış tahmin modellerinin tasarımı yapılırken, literatürde önerilmiş tasarım ilkeleri bulunmadığından, tasarımlar deneme-yanılma yoluyla yapılmaktadır. Bu çalışmada, optimum girdi seti kombinasyonu bulunarak, akış modeli tasarımlarının bu kriterlere göre yapılması, bu sayede analiz sürelerinin kısaltılması amaçlanmıştır. Optimum girdi seti seçilmesinde regresyon tabanlı çalışan ve belirlenen gün gecikmeler dahilinde olası bütün kombinasyonların denendiği En İyi Alt Kümeler Yöntemi (EAY) ve İleri Adımlı Seçim (FS) kullanılmıştır.

Akarsu akışları çok sayıda parametrenin kaotik ilişkisini barındıran ve sürekli değişkenlik gösteren dinamik bir prosestir. Bu proses mikro ve makro düzeyde dış etkenlere karşı yüksek toleransa sahiptir. Doğu Karadeniz Havzası, yüksek hidroelektrik enerji potansiyeli sebebiyle, Hidroelektrik Santral (HES) projelerinin yoğun olduğu bir havzadır. Yapılan bu tesisler akış prosesinin doğal dengesini değiştirerek akış modeli çıktılarında tutarsızlıklar oluşturmaktadır. Bu nedenle Doğu Karadeniz Havzası'nda ilgili analiz konumlarının etkilendiği bölgelerde HES projeleri konusunda araştırma yapılmıştır. En uzun süre kesintisiz gözlem ve kayıt yapılmış yıllar belirlenerek ve HES projelerinin işletmeye alındığı tarihin öncesi seçilmiş ve bu sayede bölgedeki doğal akış prosesinin incelenmesi sağlanmıştır.

SPM'lerden elde edilen bulguların değerlendirilmesi aşamasında iklim değişikliğinin akarsu akışı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması ve açıklanabilir olması açısından bölgede kullanılan farklı konsantrasyon senaryoları etkisi altındaki KDM verilerinin trend araştırması yapılmıştır. Ayrıca havzada sıcaklık ve yağışın analiz bölgesi dışında kalan alanlarda değişiminin irdelenmesi amacıyla çalışma bölgesinde 1971-2000 yıllarındaki

KDM verileri referans alınarak 2100 yılına kadar anomali araştırması yapılmıştır. Bu sayede sıcaklık ve yağışın analiz yapılan bölge dışında kalan alanlarda özellikle üst havzalarda nasıl değiştiği açıklanabilir olmuştur.

Havzada farklı konsantrasyon senaryosu altındaki KDM sıcaklık ve yağış verilerinden tahmin edilen müstakbel akarsu akışı veri setleri kullanılarak havzada değerlendirmeler yapılmış, akarsu akışlarının iklim değişikliği etkisi altında gelecekteki karakteristiği ortaya koyulmuştur. Akarsu akışlarının etkilediği konularda değerlendirmeler yapmak ve bulgular elde edebilmek amacıyla müstakbel akarsu akışı verileri kullanılarak Doğu Karadeniz Havzası'nda iklim değişikliği etkisi altında bölgesel su varlığı değerlendirilmiş ve farklı konsantrasyon senaryolarının ve KDM'lerin havza su varlığına etkileri irdelenmiştir. Müstakbel akışlar tarımsal sulama ve enerji üretimi gibi konuları yakından ilgilendiren dönemler olan kurak-sulak dönemler için değerlendirilmiş ve bu sayede iklim değişikliğinin havzadaki endüstriyel ve sosyal faaliyetlere etkisi ortaya koyulmuştur. Tez çalışmasının diğer bir araştırması olarak flora ve faunanın sürdürülebilirliği açısından önem arz eden düşük akışların ve gelecekteki taşkınlar hakkında fikir verecek olan yüksek akışların iklim değişikliği etkisi altında, tarihsel verilere göre değişimleri incelenmiş iklim değişikliği etkilerine toleransı değerlendirilmiştir.

Yapılan bu tez çalışması ile Doğu Karadeniz Havzası akarsu akışları, iklim değişikliği etkilerine karşı, farklı konsantrasyon senaryoları ve KDM'lerin etkisi altında değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre ilgili kurum ve kuruluşların 22. yüzyıl başlangıcına kadar akarsu akışına bağlı olan su yönetimi konularında yararlanabileceği veriler ve değerlendirmeler elde edilmiştir. Türkiye'de su potansiyeli en yüksek havzalardan olan Doğu Karadeniz Havzası akarsu akışlarını iklim değişikliğine karşı toleransı geniş perspektifle değerlendirilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yapılan Çalışmalara Genel Bakış

Hazırlanan bu tez kapsamında, IPCC tarafından AR5 değerlendirme raporunda ele alınan konulardan olan konsantrasyon senaryolarına göre farklı Küresel Dolaşım Modeli verileri, tarihsel meteorolojik ve hidrolojik veriler kullanılarak, Doğu Karadeniz Havzası'nda yapılan bu çalışma ile gelecekte suyun verimli yönetilmesi, arazi kullanımı ve tarımsal gelişmelerin iklim değişikliği etkisi altında tutarlı planlanmasına yardımcı çıkarımlar sağlaması amaçlanmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda çalışma kapsamında yapılan araştırmalar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Gözlem ve iklimsel projeksiyon verilerinin temin edilmesi

- Doğu Karadeniz Havzası'nda deniz seviyesine göre farklı seviyelerde bulunan ve havza genelinde yayılmış olan 11 Mİ'de kaydedilmiş günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık verileri ilgili kurum olan MGM'den temin edilmiştir.
- Doğu Karadeniz Havzası için bir kısmı Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından işletilmiş ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne (DSİ) devredilmiş olan istasyonlarda kaydedilmiş veriler de dâhil olmak üzere, 17 AGİ'de kaydedilmiş akım gözlem verileri ilgili kuruluş olan DSİ'den temin edilmiştir.
- Bölgede araştırılan Küresel Dolaşım Modelleri'ne (KDM) ait RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında oluşturulmuş ve analiz bölgelerine dinamik ölçek indirgeme yöntemi ile indirgenmiş iklimsel projeksiyon verileri MGM'den alınmıştır.

Gözlenmiş verilerin istatistiksel olarak incelemesi

- İlgili kurumlardan temin edilmiş veri setlerinin analizlerde girdi verisi olarak kullanılmadan önce, veri setlerinin istatistiksel incelemesi yapılması analizlerin başarılı sonuç üretmesi için önemlidir. Veri setlerine ait ortalama, medyan, çarpıklık, basıklık gibi temel istatistiksel parametreler belirlenerek veri setleri istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir.

Gözlem verilerin homojenlik incelemesi

- Ölçülmüş verilerin, cihaz kalibrasyonu, kayıt hatası vb. etkilerle homojenliğinde bozulma gözlenebilir. Bu durumun kullanılan veri setleri için değerlendirilmesi amacıyla veri setlerinin homojenliği incelenmiştir.

Kullanılan verilerinin bölgeselleştirilmesi

- Analiz bölgesine indirgenmiş iklimsel projeksiyon verilerinin ve kaydedilmiş verilerin temsil ettiği bölgelerin belirlenmesi gerekmektedir. Thiessen çokgenleri oluşturularak Analiz yapılan AGİ konumlarında, istasyonun temsil ettiği alanlara etki eden meteorolojik verilerin ölçüldüğü Mİ alanlarının etki düzeyi belirlenmiş ve katsayılar elde edilerek veriler taşınmıştır.

Tarihsel veri setleri için optimum zaman aralığının belirlenmesi

- Veri setleri analiz performansının yüksek olması için sürekli kayıt olan en uzun süre göz önünde bulundurularak düzenlenmiştir. Bu optimum süre belirlenirken havzada işletmeye açılmış olan ve doğal akış dengesini etkileyen su yapıları dikkate alınmıştır. Havzada işletmeye açılma tarihlerine bakılarak HES'ler incelenmiş ve doğal akış sürecini etkilemediği düşünülen en son yıla kadar mevcut veri setlerinin optimum zaman aralıkları belirlenmiştir.

Girdi modeli oluşturulması

- Girdi modellerinin optimum gün gecikme ve kombinasyonda yapılabilmesi hem analiz süreleri hem de analiz performansları için büyük önem arz etmektedir. Optimum girdi modellerini elde etmek için En İyi Alt Kümeler Yöntemi ve İleri Adımlı Seçilim yöntemleri kullanılarak farklı parametrelere göre hedef veriyi en iyi temsil eden girdi modelleri belirlenmiştir.

Tarihsel akarsu akışı tahmin modelleri oluşturulması

- Girdi setinde gözlenmiş yağış ve sıcaklık verilerinin bulunduğu, akarsu akışı verilerini tahmin eden yüzeysel akış tahmin modelleri, YSA, MARS, Çoklu Regresyon Modelleri ve ANFIS sayısal yöntemleri kullanılarak oluşturulmuştur.

Oluşturulan modellerin çıktı setleri gözlenmiş hedef akarsu akışı verileri ile kıyaslanarak model performansları farklı katsayılara göre belirlenmiştir.

İklimsel projeksiyon verileri için trend araştırması yapılması

- Küresel dolaşım modellerinin farklı konsantrasyon senaryoları altında üretilmiş iklimsel projeksiyon verilerinin gelecek dönemlerdeki kendi içerisindeki değişimi hakkında bilgi edinmek üzere trend araştırması yapılmıştır.

İklimsel projeksiyon verilerine göre bölgesel anomalilerin tespit edilmesi

- İklimsel projeksiyon verileri olan sıcaklık ve yağışın Doğu Karadeniz Havzası için çalışma kapsamında 22. yüzyıla kadar belirlenen Yakın Gelecek (P1), Orta Uzak Gelecek (P2) ve Uzak Gelecek (P3) periyotlarında, 1971-2000 yılları aralığında modellerin geçmiş dönem verileri kullanılarak elde edilen referans değerlere göre farklılıkları araştırılmış ve havzada anomali haritaları çizilmiştir.

Müstakbel akarsu akışlarının tahmin edilmesi

- Her analiz konumunda akarsu akışı tahmini konusunda en yüksek performans değerine ulaşan akarsu akışı tahmin modellerinde iklimsel projeksiyon verileri girdi setinde kullanılarak, 22. yüzyıla kadar olan dönemde müstakbel günlük ortalama akarsu akışları modellenmiştir.

Müstakbel akarsu akışı bulgularının analiz bölgelerine göre incelemesinin yapılması

- İklim değişikliği etkisi altında incelenen akarsu akışlarının, çalışmada incelenen zaman periyotları olan P1, P2 ve P3 dönemlerinde, temel istatistiksel parametreler olan standart sapma ve ortalama değerlerinin, aynı bölgelerdeki tarihi veri setlerinden elde edilen referans değerlere göre incelemesi yapılmıştır.

Müstakbel akarsu akışı bulgularına göre havzada bölgesel su varlığı değerlendirmesi yapılması

- İklim değişikliğinden etkilenen akarsu akışlarında yaşanması öngörülen değişimler havzada bölgesel olarak su varlığını etkilemiştir. Küresel dolaşım modellerinin farklı senaryolar altında üretilmiş verileri kullanılarak tahmin edilen müstakbel akarsu akışları kullanılarak küresel dolaşım modelleri ve farklı

konsantrasyon senaryoları altındaki en iyimser ve en kötümser tahminlere göre bölgesel su varlığı değerlendirmesi yapılmıştır.

Müstakbel akarsu akışı bulgularına göre havzada mevsimsel akarsu akışı miktarı değerlendirilmesi yapılması

- Tarihsel akış verilerinde üçer aylık ortalama akış değerleri belirlenmiş ve en küçük değerinde elde edildiği üç aylık dönem kurak, en yüksek değerinde elde edildiği üç aylık dönem sulak olarak belirlenmiştir. Tarihsel kurak-sulak mevsim ortalamaları referans alınarak, müstakbel akarsu akışları için belirlenen kurak-sulak mevsim ortalamaları bu referans değerler ile kıyaslanmış, gözlenmiş döneme göre iklim değişikliği etkilerinin sonuçları irdelenmiştir.

Müstakbel akarsu akışı bulgularına göre 22. yüzyıla kadar analiz bölgelerinde debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi, %5 ve %95 aşılma olasılığına karşılık gelen yüksek ve düşük akarsu akışı değerlendirmesi yapılması

- Tarihsel ve müstakbel akarsu akışı veri setleri yıllık olarak ayrılmış ve her yıl için debi süreklilik eğrileri elde edilmiştir. Debi süreklilik eğrilerinde %5 ve %95 aşılma ihtimaline karşılık gelen değerler yüksek ve düşük akarsu akışı olarak belirlenmiştir. Tarihsel veri setinden elde edilen değerler referans değer olarak kullanılmış ve müstakbel akarsu akışı veri setlerinden elde edilen değerler ile P1, P2 ve P3 dönemleri için kıyaslanmıştır. İklim değişikliği etkisi altında yüksek ve düşük akarsu akışları irdelenmiştir.

Bu bölümde, çalışma bölgesi olan Doğu Karadeniz Havzası hakkında bilgiler verilmiş olup, yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

2.2. Doğu Karadeniz Havzası

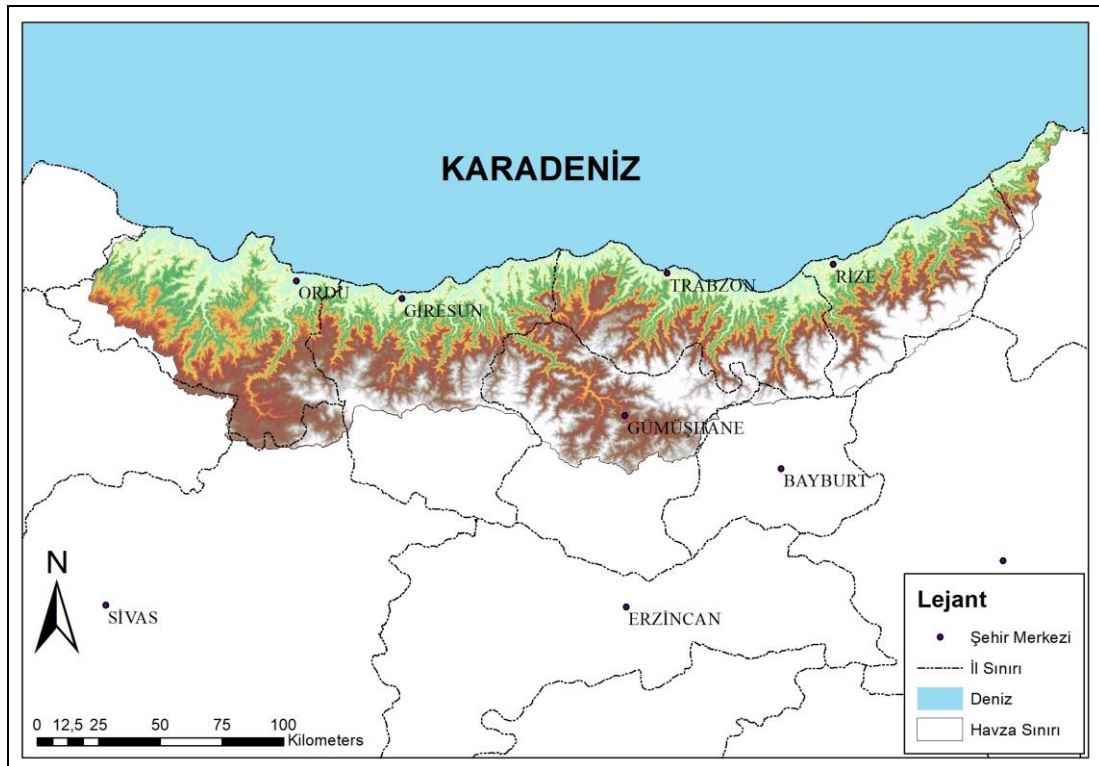
Doğu Karadeniz Havzası Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda bulunmaktadır. Havzada bulunan akarsuların suları Karadeniz'e dökülmektedir. Havza güney kısmında büyük dağ dizileri, kuzey kısmında Karadeniz ile sınırlandırılmıştır. Havzada akarsuların aşındırıcı etkisi yüksek olmakla beraber, akarsuların büyük kısmı

denize dik olarak, dar ve derin vadilerden akmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası'nda topografya haşın ve oldukça engebeldir, bu nedenle geniş ovalara rastlanmamaktadır.

Doğu Karadeniz Havzası'nın sınırları içerisinde batıdan doğuya doğru Samsun, Ordu, Sivas, Tokat, Giresun, Trabzon, Gümüşhane, Rize, Bayburt, Erzurum ve Artvin illeri yer almaktadır. Bu illerden alansal olarak Trabzon ilinin %100'ü, Rize ilinin %99'u, Ordu ilinin %90'ı Giresun ilinin %62'si, Gümüşhane ilinin %62'si, Gümüşhane ilinin %55'i, ve Artvin ilinin %7'si havza sınırları içerisinde yer almaktadır. Bayburt, Erzurum, Samsun, Sivas ve Tokat illerinin ise havzada kalan kısımlarında yerleşim bulunmamaktadır (Tübitak MAM, 2013).

Havza sınırları içerisinde yerleşim alanı bulunan şehirlerin Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) ile belirlenmiş, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayınlanan 2018 yılı verilerine göre toplam nüfusu yaklaşık 2246785 kişidir. Bu değer 2014 yılı verileri ile kıyaslaması yapıldığında, %4 gibi bir artış gösterdiği görülmektedir. 2018 yılı ADNKS verileri incelendiğinde havzada yaşayan insanların sayısı tüm Türkiye nüfusunun %2.96'sını oluşturmaktadır.

Doğu Karadeniz Havzası'nın Türkiye haritası üzerinde gösterimi Şekil 2.1' de görülmektedir.



Şekil 2.1. Doğu Karadeniz Havzası

Doğu Karadeniz Havzası'nda iklim özellikleri incelendiğinde iki farklı iklim tipinden söz etmek mümkündür. Denizden etkilenen kısımların olduğu birincil tip iklim kısmı, deniz etkisinden kısmen uzak kalan ikincil tip iklim kısmı olarak adlandırılmaktadır. Birincil tip iklim kısmı sahil kesiminde ve denize bakan dağların yamaçlarında görülmektedir, diğer iklim kısmı ise dağların denizi görmeyen yamaçlarında iç kesimlerde görülmektedir. Denizden direkt olarak etkilenen birincil tip iklim daha fazla yağış alırken, iç kesimler buraya göre daha kurak bir iklim tipi geçirmektedir. Birincil tip iklimde yazlar ılık ve yağışlıdır, kışlar ise yumuşak ve yağmurludur. İkincil tip iklimde ise karasal iklim tipine benzer özellikler görülmektedir, yazlar kurak ve ılık geçerken kışlar soğuk ve yağışlı geçmektedir.

Havzada topografik özellikler, kısa mesafelerde Mİ'lerde kaydedilen yağış değerlerinde farklılıklar görülmesine neden olmaktadır. Denizden gelen ve yağış taşıyan bulutlar topografya nedeniyle bazı kesimlerde ilerleyemeden yönünü değiştirmek durumunda kalmaktadır. Bu duruma en belirgin örnek olarak Trabzon Yoroş Burnu'nu vermek mümkündür. Denizden gelen yağmur yüklü bulutlar Yoroş Burnu'na geldiğinde buradan geçişine arazi yapısı müsaade etmemekte ve havzanın genel özelliği olan batıdan doğuya doğru artan yağış karakteristiği burada farklılık göstermektedir.

Doğu Karadeniz Havzası topografik olarak engebeli bir yapıya sahip olduğundan, tarla tarımı yapma olasılığı düşüktür. Düz alanların sınırlı olması tarımsal faaliyetleri önemli oranda sınırlamaktadır. Tarımsal faaliyetlerde verimi arttıran etkenlerden olan makineli tarım imkanı bu durumlar göz önüne alındığında düşük olacağından, Doğu Karadeniz Havzası'nda tarımsal faaliyetler genellikle insan gücüyle sürdürülmektedir. Bölgede yıllık yağış miktarı yüksek olduğundan, sulak iklimde yetişen tarım ürünleri bölgede hakim tarım ürünlerindendir. Ordu ve Giresun bölgelerinde hakim ürün genellikle fındıktır, Gümüşhane ilinde tarım alanlarından daha ziyade kuru şartlarda yapılan hububat üretimi yaygındır, Rize ilinde tarıma elverişli alanların sınırlı olması nedeniyle mevcut arazinin %92'sinde çay yetiştirilmektedir, bölgede diğer önemli illerden biri olan Trabzon'da düz kısımlarda sebze, tütün, az meyilli arazilerde tütün, patates ve fındık, meyilli arazilerde fındık ve çay yetiştirilmektedir (Tübitak MAM, 2013).

Doğu Karadeniz Havzası içerisine giren arazilerin %66'sı orman ve yarı doğal alanları, %33'ü tarım alanlarını, %0.6'sı yapay alanları ve %0.5'i yüzey sularını içermektedir (Tübitak MAM, 2013).

Havzada zemin cinsi, geçirirli veya yarı geçirirli olarak değişmektedir bu nedenle yağan yağışın önemli bir kısmı akışa geçmektedir (Uzlu vd., 2008). Ayrıca Doğu Karadeniz Havzası'nın dik topografyası akış katsayısını arttırmakta, şiddeti ve süresi yüksek yağışlarda taşkın riskini arttırmaktadır. Son 10 yılı kapsayan 2009-2019 yılları incelendiğinde, Rize'de 9, Trabzon'da 6, Giresun ve Artvin'de 4 ve Ordu'da 3 taşkın felaketi olmuştur. Yaşanan bu taşkın felaketlerinin sonucunda çok sayıda insan hayatını kaybetmiş ve bu can kayıplarının yanında büyük oranda mal kayıpları da yaşanmıştır.

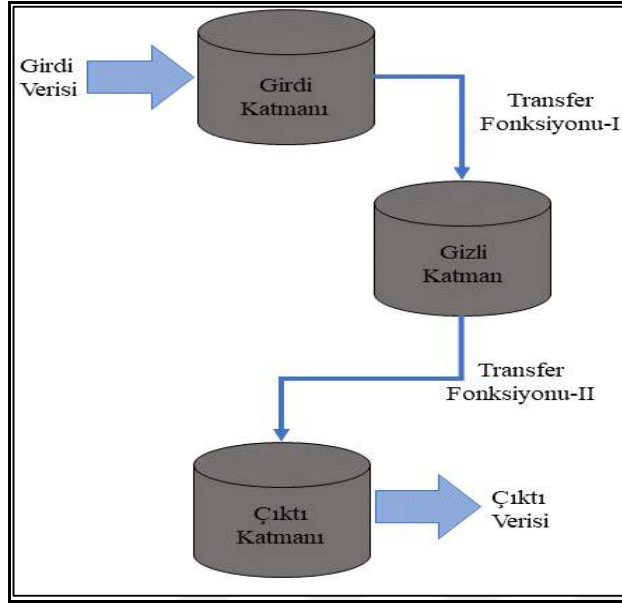
Türkiye'de 2018 yılında 1149 mm yağış alan Doğu Karadeniz Havzası ülkemizin en fazla yağış alan havzası konumundadır (MGM, 2019). Bu özelliğiyle oruh Havzası, Akdeniz Havzası ve Fırat Havzası gibi diğer önemli havzaların önündedir. 2019 yılı verilerine göre; Doğu Karadeniz Havzası'nın ortalama yıllık akışı 16,4 km³ olup, havzanın Türkiye su potansiyeline iştirak oranı %8,9'dur ve Doğu Karadeniz Havzası Fırat-Dicle Havzası'nın ardından Türkiye'de en yüksek su potansiyeline iştirak oranına sahip ikinci havzadır (URL-1, 2021).

2.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

2.3.1. Yapay Sinir Ağları

YSA temelinde insanda bulunan biyolojik sinir hücresine benzer şekilde çalışan düğüm noktalarını içeren ve bu düğüm noktalarının birlikte çalıştırarak, insan beynini taklit eden bir bilgisayar sistemidir. İnsan beynine benzer şekilde işlem yapabilmesi sayesinde, algoritmalar aracılığı ile geçmiş veri setlerini kullanarak öğrenme işlemi gerçekleştirmekte ve çıktısı belirli olmayan veri setleri için tahmin üretebilmektedir.

Paralel alışan denklemler ile oluşan YSA modelleri, farklı algoritmalar ile denenerek çok farklı yapıda YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu YSA modellerinden günümüzde en çok kullanılanı çok katmanlı YSA modelidir. Bu modelin çalışma prensibi ağa dışarıdan gelen bilgilerin farklı katmanlarda işlenerek çıktı üretilmesidir. Ağa girdi katmanından alınan veri, gizli katmana aktarılır ve burada gizli katman çıktısı oluşturularak çıktı katmanına iletilir. Çok katmanlı YSA yapısı şekil 2.2' de görölmektedir.



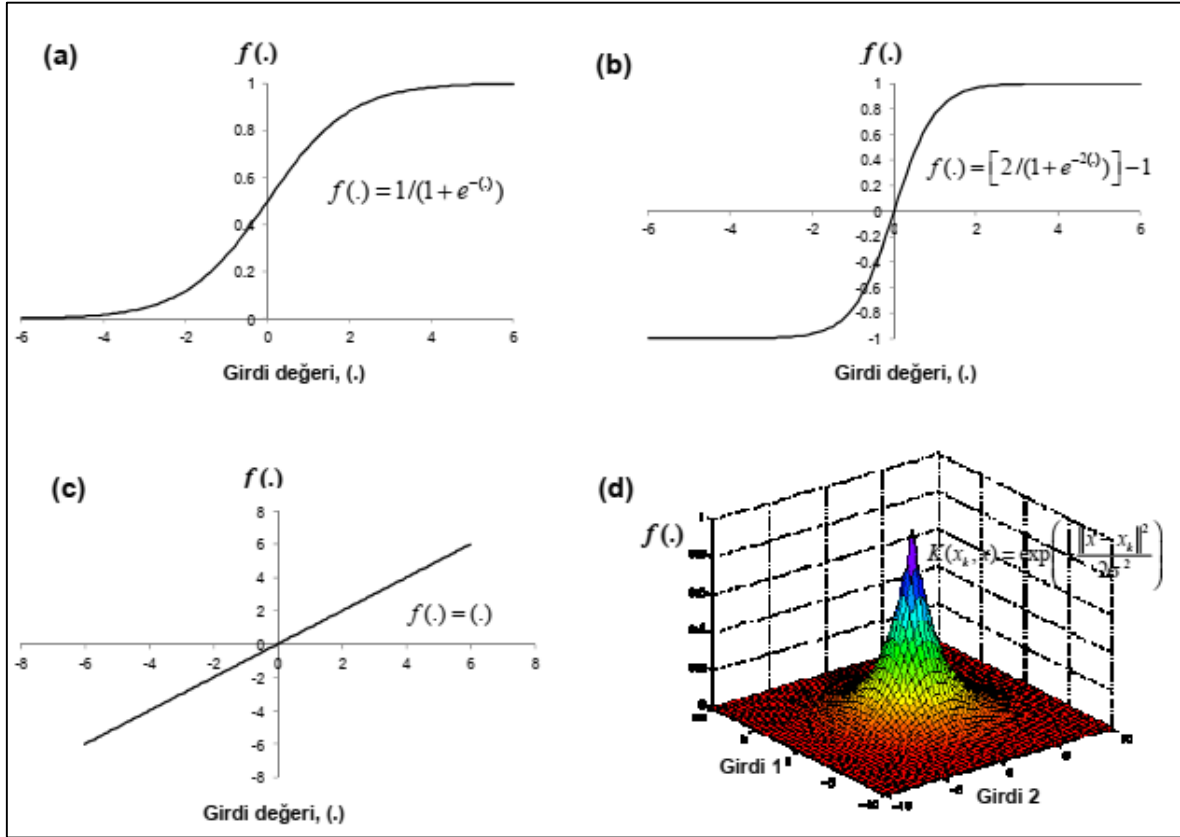
Şekil 2.2. Çok katmanlı YSA yapısı

Şekil 2.2’de ileri doğru işleyen bir YSA yapısını görülmektedir. Girdi katmanından ağa giren girdi verileri (x) girdi katmanının düğüm (nöron) sayısını belirlemektedir. Girdi katmanının nöronları ile gizli katmanda bulunan nöronlar arasındaki bağlantılara rastgele atanan ağırlık değerleri (w) ile net fonksiyonu (net) oluşturmaktadır. Oluşturulan bu net fonksiyonlardan üretilen ara çıktılar gizli katmana aktarılmaktadır. Gizli katmanda aktivasyon fonksiyonları (f) kullanılmaktadır. Bu aktivasyon (transfer) fonksiyonları doğrusal, gauss, logaritmik sigmoid veya hiperbolik tanjant sigmoid gibi fonksiyonlar olabilmektedir. Çıktı katmanına aktarılan ikincil çıktı değerleri burada tekrar bir transfer fonksiyonu ile dönüşüm geçirdikten sonra ağın nihai çıktısı (y) üretilir ve ağdan dışarı aktarılır. Bu işlem tüm gizli katman ve çıktı katmanı arasında tekrarlanmakta; çıktı katmanının çıktıları ($y \in R^{m \times 1}$) belirlendiğinde (Eşitlik 2.1) ileri hesaplama aşaması tamamlanmaktadır (Okkan, 2013). Şekil 2.3’te bazı transfer fonksiyonları gösterilmiştir (Tayfur, 2012; Okkan, 2013).

$$y_m = f^{(2)} \left\{ \sum_{j=1}^m \left[f^{(1)} \left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij} + b_j \right) \right] w_{jm} + b_m \right\} \quad (2.1)$$

Burada x_i ağın girdilerini, w_{ij} girdi katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkları, b_j girdi katmanı ile gizli katman arasındaki sabit (bias) terimleri, $f^{(1)}$ girdi katmanı ile gizli

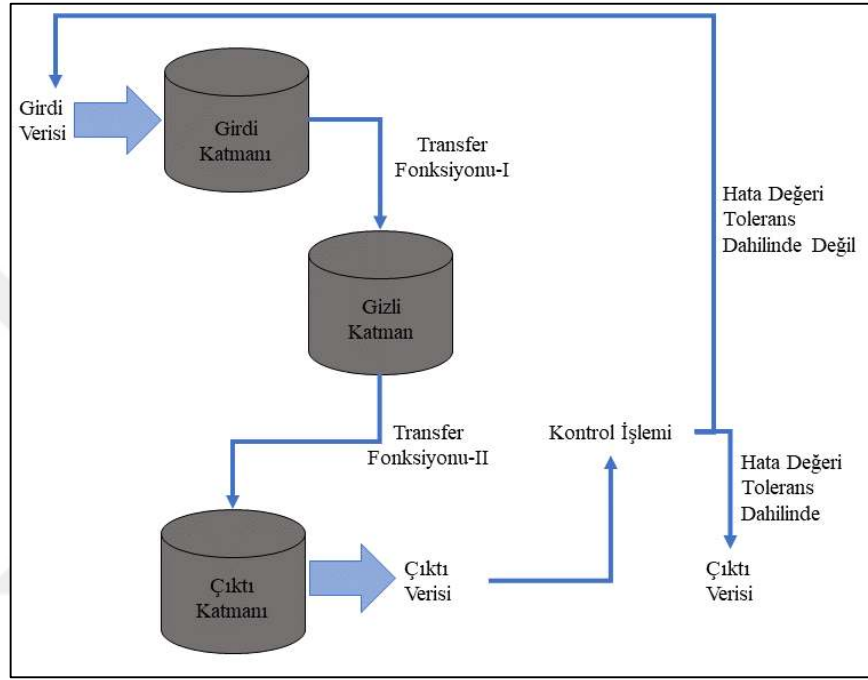
katman arasındaki aktivasyon fonksiyonunu, $f^{(2)}$ çıktı katmanı ile gizli katman arasındaki aktivasyon fonksiyonunu, j gizli katmana ait hücre sayısını, n girdi katmanındaki hücre sayısını, m çıktı katmanındaki hücre sayısını, w_{jm} çıktı katmanı ile girdi katmanı arasındaki ağırlıkları, b_m çıktı katmanı ile gizli katman arasındaki sabit (bias) terimleri göstermektedir (Okkan, 2013).



Şekil 2.3. Transfer fonksiyonları: (a) logaritmik sigmoid [0 1], (b) hiperbolik tanjant sigmoid [-1 1], (c) doğrusal $[-\infty \infty]$ ve (d) radyal tabanlı Gauss fonksiyonu (Okkan, 2013)

Günümüzde analizlerde kullanılan YSA yapıları hatayı geriye doğru tekrar çalışarak azaltan ileri yayımlı geri beslemeli olarak tercih edilmektedir (Babacan, 2015). Bu ağ yapısı girdi katmanından çıktı katmanına doğru çalışırken, ileri doğru işleyen YSA yapısıyla aynı şekilde çalışmaktadır. Hatanın optimize edilmesi için ağ nihai çıktıyı ürettikten sonra, hedef çıktı ile sentetik çıktının arasında hata değeri hesaplamaktadır. Hesaplanan bu hata değeri, ağ tasarımcısı tarafından tasarım sırasında belirlenen maksimum hata değeri ile kıyaslanmaktadır. Eğer hata değeri hedeflenen maksimum hata

değerini aşmıyorsa üretilen bu çıktı ağın çıktı katmanından dışarı aktarılır. Eğer hata değeri hedeflenen değerden fazla ise ağın ürettiği bu ara çıktı, mevcut ağ işleyişine göre tersinir yönde hareket ettirilerek ağa yeni girdi değeri olarak atanır. İterasyon işlemi tekrarlanır ve hata değeri tekrar kıyaslanır. İleri yayımlı geri beslemeli ağ yapısı Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. İleri yayımlı geri beslemeli YSA yapısı

Geri yayımlı olarak çalışan YSA modellerinde sistem ara çıktı ve hedeflenen çıktı arasındaki hata oranına bakmakta ve hata oranının belirlenen değerden düşük olma durumuna göre kıyaslama yapmaktadır. Ara çıktı ve hedef çıktı arasındaki farkın minimize edilmesi belirli algoritmalar aracılığı ile ağ içerisinde sağlanmaktadır. Bu algoritmalar öğrenme algoritmaları olarak bilinmektedir. YSA yapısında farklı öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır bu algoritmalar arasından en yaygın kullanılanı Levenberg-Marquardt algoritmasıdır (Ardalani-Farsa ve Zolfaghari, 2011).

Levenberg-Marquardt algoritması lineer olmayan fonksiyonları minimize etmek için, Newton metodu benzeri olarak geliştirilen sayısal bir yöntemdir (Marquardt, 1963; Yu ve Wilamowski, 2011). Levenberg-Marquardt algoritması YSA yönteminde ileri beslemeli geri yayımlı ilerleyiş için öğrenme algoritması olarak kullanılmaktadır (Atluri vd., 1999; Coulibaly vd., 2000; Babacan, 2015).

Eşitlik 2.2’de Gauss-Newton yöntemi ile ağırlıkların iteratif bir yöntemle hesaplandığı eşitlik gösterilmiştir. Eşitlikte, k iterasyon numarasını, H_k Hessian matrisini, w_k ağırlık değerlerini ve J_k hatanın jakobiyenini göstermektedir. Burada Hessian matrisi Eşitlik 2.3’te görülmektedir.

$$w_{k+1} = w_k - [H_k]^{-1} J_k^T e_k \quad (2.2)$$

$$H \approx J^T J \quad (2.3)$$

Newton yönteminde ağırlık değerleri iteratif yöntemle hesaplanması sırasında her iterasyonda Hessian matrisinin tersi alınmakta ve bu durum bu yöntemin çözüm ürettiği sırada sorun oluşmasına neden olmaktadır. Bu sorunun düzeltilmesi amacıyla, Hessian matrisi Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak yeniden düzenlenmektedir (Eşitlik 2.4).

$$H \approx J^T J + \lambda I \quad (2.4)$$

Eşitlikte λ kombinasyon katsayısı ve daima pozitif bir sayıdır, denklemde görülen I , birim matrisi ifade etmektedir. Eşitlik 2.4’ten anlaşıldığı üzere Hessian matrisinin köşegeni üzerinde bulunan değerler her durumda 1’den büyük olacaktır ve bu da gösteriyor ki H matrisinin her zaman tersi alınabilir (Yu ve Wilamowski, 2011).

Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak elde edilen yeni Hessian matris ifadesi, Gauss-Newton yönteminde yerine yazılarak yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 2.5 elde edilir.

$$w_{k+1} = w_k - [J^T J + \lambda_k I]^{-1} J_k^T e_k \quad (2.5)$$

Elde edilen bu eşitlik (Eşitlik 2.5) kullanılarak ağırlık değerleri hızlı ve güvenilir biçimde, iteratif bir şekilde elde edilebilmektedir.

Levenberg-Marquardt algoritması YSA’da öğrenme fonksiyonu olarak kullanılan en hızlı algoritmalarından birisidir (Yu ve Wilamowski, 2011; Mete, 2008). Levenberg-Marquardt algoritmasının amacı hedef değer ile ara değer arasındaki farkı minimum değere kadar yakınsatmaktır.

Levenberg-Marquardt algoritmasının YSA içerisindeki çalışması aşağıda tarif edilmektedir. Toplam fonksiyonu olduğu kabul edilen $E(w)$, m tane hata terimi için $e_k^2(w)$ Eşitlik 2.6’da verilmiştir.

$$E(w) = \sum_{k=1}^m e_k^2(w) = \|f(w)\|^2 \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte; $e_k^2(w) \equiv (y_k - y_{dk})^2$ kabulü yapılmaktadır. Burada y_k hedef değer, y_{dk} üretilen çıktı değeridir. Ayrıca burada amaç fonksiyonu $f(w)$ ve onun jakobiye j ’nin bir noktada w ’nin bilindiği kabul edilmektedir. Levenberg-Marquardt algoritmasında hedef, parametre vektörü w ’nin $E(w)$ minimum iken bulunmasıdır. Levenberg-Marquardt algoritmasının kullanılmasıyla yeni vektör w_{k+1} farz edilen vektör w_k kullanılarak Eşitlik 2.7’deki gibi hesaplanır.

$$w_{k+1} = w_k + \delta w_k \quad (2.7)$$

δw_k değerinin hesaplanması için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak elde edilen Hessian matrisi ifadesi kullanılmaktadır (Eşitlik 2.8).

$$(J_k^T J_k + \lambda I) \delta w_k = -J_k^T f(w_k) \quad (2.8)$$

Levenberg-Marquardt algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir (Mete, 2008).

- i) $E(w_k)$ ’yı hesapla
- ii) Küçük bir λ değeri ile başla (mesela $\lambda=0.01$)
- iii) δw_k ’yı Eşitlik 2.8’de olduğu gibi çöz ve $E(w_k + \delta w_k)$ değerini hesapla
- iv) Şayet $E(w_k + \delta w_k) \geq E(w_k)$ ise λ ’yı 10 kat artır ve (iii)’ye git
- v) Şayet $E(w_k + \delta w_k) < E(w_k)$ ise λ ’yı 10 kat azalt ($w_{k+1} = w_k + \delta w_k$)’yı güncelleştir ve (iii)’e git.

Hedef çıkışı hesaplamak için çok katmanlı yapının Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak öğrenmesi işlemi için ağ başlangıçta rastgele değer ataması yapmaktadır. Başlangıç değeri atanan ilk parametre w_k olmaktadır. Hessian matrisinin yeniden ifade

edilmesi için kullanılan λ değeri için, tasarımcının belirlediği bir değer yoksa, rastgele bir başlangıç değeri atanır. Ağa atanan bu parametreler ile algoritma çalışmaya başlar ve üretilen çıktı ile hedef çıktının arasındaki farkların karesi hesaplanır ($e_k^2(w) \equiv (y_k - y_{dk})^2$). Girdi setlerinin tamamına karşılık üretilen sentetik çıktı verileri ile hesaplanan e_k^2 hata terimlerinin elde edilmesiyle, ağırlık değerleri w_k , optimize edilmektedir.

YSA kullanılarak tasarlanacak olan yağış-akış modelinde tasarım için literatürde önerilmiş herhangi bir yöntem bulunmamaktadır. Benzer çalışmalar incelendiğinde tasarımın deneme-yanılma yöntemiyle yapıldığı görülmektedir. Çalışmada YSA yöntemi kullanılarak oluşturulan akış tahmin modelinin; öğrenme algoritması Levenberg Marquardt, gizli katman sayısı 1, gizli katmandaki nöron sayıları 2, 5 ve 10, transfer fonksiyonları; Hiperbolik Tanjant ve Logaritmik Sigmoid, ve Lineer Fonksiyon seçilmiştir.

2.3.2. Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Klasik sayısal yöntemlerin temelinde basit mantık kavramı yer almaktadır. Basit mantık kavramı bir değer için sabit küme sınırları içerisinde kaldığı varsayımını yapmaktadır. Bu varsayım; ikili mantık veya siyah-beyaz mantığı olarak adlandırılmaktadır (Hines vd., 1997). Bu ikili mantık kavramı üçüncü bir kavramın olmayacağı bir mantık olarak kabul edilmektedir. Sabit küme sınırları kabulü ile bir değer ya bir kümeye dâhil olabilmekte ya da hariç olabilmektedir. Bu temelde düşünüldüğünde klasik bilgisayar sistemlerinin temeli de $\{0,1\}$ mantığı ile çalışmaktadır. Bulanık sistemler klasik mantık anlayışından farklı bir yaklaşım olarak sabit küme sınırları ile değer sınıflandırması yapmaksızın, değerlerin kümelerle belirli oranlarda ait olacağı dereceli aidiyet ilkesine göre çalışmaktadır. Bulanık mantık sisteminde bir değer için, klasik mantık yaklaşımından farklı şekilde doğru veya yanlış olarak sınıflandırılması yerine, karşıt ifadeler arasında sınıflarda da olabilmektedir. Bu ara sınıflara genel olarak bulanık küme denilmektedir. Bulanık mantık kavramı çok değerli mantık değer kümesinin $[0,1]$ aralığında tanımlanması ile ortaya çıkmıştır (Zadeh, 1965).

Hidrolojik verilerin belirsizlikler içermesi ve hidrolojik süreçler içerisinde kullanılan parametrelerin karmaşık süreçler içerisindeki önem düzeyinin tam olarak bilinmemesi nedeniyle klasik mantık temelinde değerlendirilmesi süreçlerin anlaşılmasını ve parametrelerin süreç içerisindeki öneminin belirlenmesini zorlaştıracaktır. Karmaşık

ilişkiler içeren hidrolojik olayların modellenmesinde, bulanık mantık sınıflandırması kullanılması klasik mantık sistemlerindeki belirsizliği ortadan kaldırmakta ve daha doğru sonuçlar üretmektedir (Zhu vd., 2019). Bulanık mantık sistemi ile yapılmış, karmaşık hidrolojik süreçlerin modellendiği çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır (Zhu vd., 2019; Maroufpoor vd., 2019; Kumar ve Sihag, 2019; Roy ve Singh, 2020, Terzi vd., 2006).

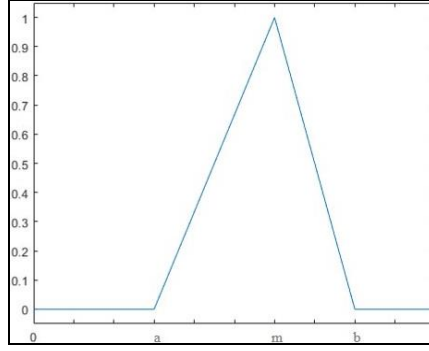
Bulanık küme kavramında klasik küme kavramına göre farklılıklar bulunmaktadır. Klasik küme kavramında bir eleman yalnızca tek bir kümede ifade edilebilmekteyken bulanık küme sisteminde aynı anda dereceli olarak farklı kümelere de ait olabilmektedir. Klasik kümeler, $\mu_i: X \rightarrow \{0,1\}$ biçiminde ifade edilmektedir. Buna karşılık bulanık kümeler, $\mu_i: X \rightarrow [0,1]$ şeklinde ifade edilmektedir (Doğan, 2012). Bulanık kümenin bu ifadesine göre bir elemanın $[0,1]$ sınırları içerisinde bir üyelik fonksiyonu olduğunu söylemek mümkündür.

Üyelik fonksiyonları bir elemanın herhangi bir bulanık kümeye aitlik durumunu gösteren fonksiyonlardır. Bulanık mantık işlemcilerinde kümeleme mantığı temel kurallar ile gerçekleştirilmektedir (IF, THEN).

Üyelik fonksiyonları girdi veri setinin durumu göz önüne alınarak tasarımcı tarafından ağın tasarlanması aşamasında belirlenmektedir. Üyelik fonksiyonları daima $[0,1]$ aralığında değer almaktadır, bu aralıkta değerlerin oluşmasını karşılayan üyelik fonksiyonları, klasik kümelerdeki gibi bir nokta olarak ifade edilmektense bir aralığı ifade ettiğinden genelde lineer veya eğrisel fonksiyonlar olmaktadır. Literatürde farklı tip üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Kullanılan üyelik fonksiyonları arasından en yaygın olanları, Üçgen tip üyelik fonksiyonu, Gauss üyelik fonksiyonu ve genelleştirilmiş çan fonksiyonudur.

Üçgen tip üyelik fonksiyonları, elemanların küme içerisine üyeliğini lineer bir fonksiyona benzer şekilde ifade etmektedir. Üçgen tip üyelik fonksiyonunun denklemi Eşitlik 2.9'da, fonksiyon grafiği Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

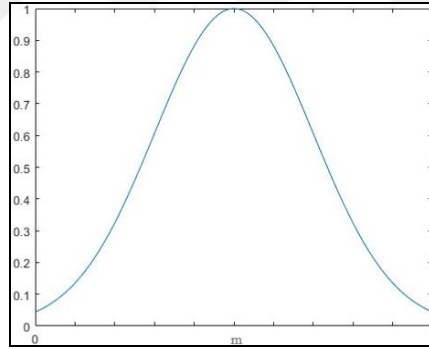
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & m < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (2.9)$$



Şekil 2.5. Üçgen üyelik fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu merkezi bir m değeri ve σ standart sapma değeri etrafında belirlenmiş çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonudur. Gauss üyelik fonksiyonunun denklemi Eşitlik 2.10'da, Gauss fonksiyonunun şekli Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

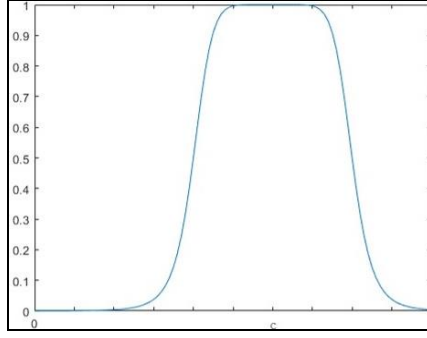
$$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.10)$$



Şekil 2.6. Gauss üyelik fonksiyonu

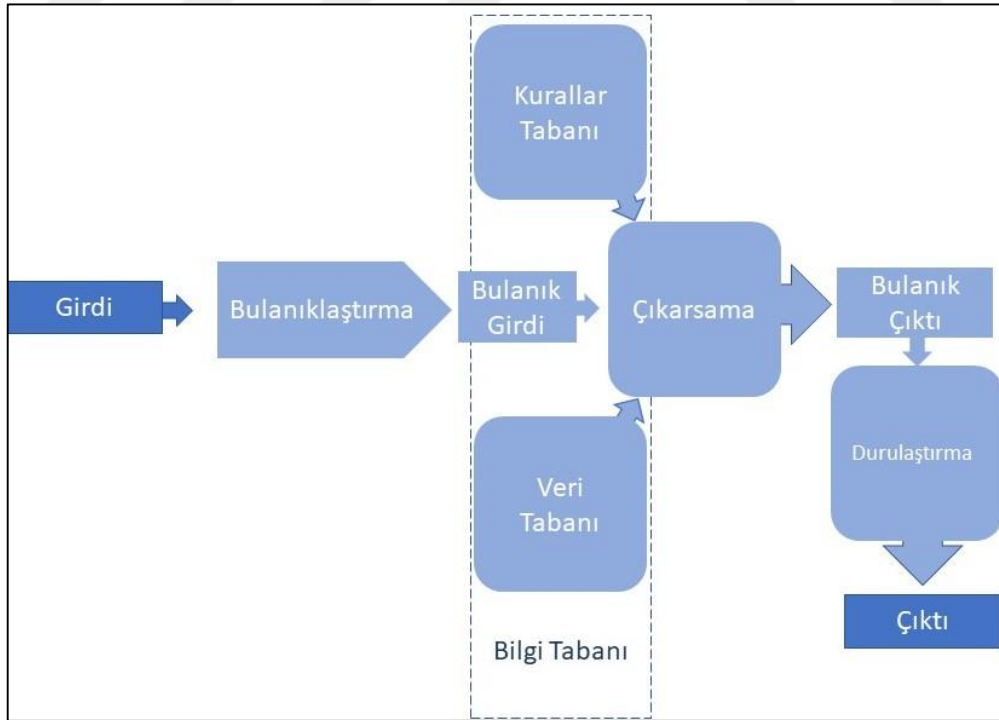
Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu üç parametre kullanılarak özelleştirilen üyelik fonksiyonudur. Fonksiyonun şeklinin belirlendiği bu parametreler sırasıyla; a üyelik işlevinin genişliğini, b eğrinin orta noktasına göre her iki tarafındaki eğrinin şeklini ve c fonksiyonun merkez değerini tanımlar. Fonksiyonun denklemi Eşitlik 2.11'de, fonksiyonun şekli Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.11)$$



Şekil 2.7. Genelleştirilmiş çan üyelik fonksiyonu

Bulanık çıkarsama sistemlerinde girdilerin tümünün, çıktıların tamamı ile ilişkilendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Bu ilişkilendirme süreci belli kurallara göre gerçekleştirilmektedir. Bu kurallar tasarımcının bulanık sistem tasarımı sırasında belirlenir ve bulanık kurallar olarak anılırlar. Bulanık çıkarsama sistemleri dört ana işlem gerçekleştirilmektedir, bu işlemler sırasıyla; bulanıklaştırma, çıkarsama, birleştirme ve durulaştırma (Ösna, 2013). Bulanık çıkarsama sisteminin genel çalışma prensibi Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Bulanık çıkarsama sistemi yapısı

Bulanıklaştırıcı birim dışarıdan sisteme girecek olan girdi değerlerinin çıkarsama sistemine alındığı birimdir. Burada dışarıdan giren kesin girdi değerleri bulanık değerlere dönüştürülmektedir. Bu adımda kesin girdiler, tasarımcı tarafından belirlenen fonksiyonlara göre üyelik fonksiyonları altında tanımlanırlar. Temel bulanık mantık işlemlerinin YSA ile gerçekleştirilmesi mümkün olup, YSA geniş olasılık alanı içerisinde çok sayıda üyelik fonksiyonunun yapılandırmasını gerçekleştirebilir (Zhang ve Morris, 1995; Genç, 2005).

Çıkarsama adımından önce gelen bilgi tabanı kısmında bulunan veri tabanında üyelik fonksiyonları ile ilgili bilgiler, kural tabanında ise değişik giriş değerleri için tespit edilmiş olan çıkış bilgileri bulunur. Çıkarsama adımı önceki aşamalarda üretilmiş olan ara bulguların toplandığı ve sistemin tek çıktısının üretildiği aşamasıdır. Bulanıklaştırma biriminden üretilen ara çıktıların üyelik fonksiyonu ve üyelik derecelerine göre yorumlanması ile başlayan işlemler, kurallar tabanından alınan bulanık kurallar ile çıktı değeri oluşturulması ile sonuçlanmaktadır.

Birleştirme aşamasında çıkarsama yapıldıktan sonraki sözel değişken değerlerin birleştirilmesi sağlanmaktadır. Her bir kuralın çıktısı için oluşturulan bulanık kümeler birleştirilmektedir (Ösna, 2013).

Durulaştırma aşamasında çıkarsama sisteminin ürettiği bulanık çıktıların kesin çıktılara dönüştürülme işlemi gerçekleşmektedir. Durulaştırma işleminde, üyelik fonksiyonuna üyelik derecesi mertebesinde tanımlanmış bulanık çıktı kümelerinin durulaştırılması gerçekleşmektedir. Bir bulanık kümeden kesin bir değer elde edilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Durulaştırma aşamasında kullanılan başlıca yöntemler; maksimum üyelik, ağırlık merkezi, toplamın merkezi, maksimum ortalama, maksimumun en büyüğü, maksimumun en küçüğü ve en büyük alan merkezi yöntemleridir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılan ağırlık merkezi yöntemi olup, durulaştırma işlemi yapılırken sonuç bulanık kümelerin ağırlık merkezi hesaplanarak bulunmaktadır (Ösna, 2013).

Bulanık kurallardan en yaygın olarak kullanılanları Mamdani (Mamdani, 1975) ve Sugeno (Tagaki ve Sugeno, 1985) bulanık kurallarıdır. Mamdani ve Sugeno bulanık kuralları arasındaki temel farklılık IF-THEN kurallarının çıktı biçimleridir. Mamdani bulanık kuralında IF-THEN kurallarının sonucunda elde edilen değerler bir bulanık kümeyi oluşturmaktadır. Sugeno bulanık kuralı sırasında işletilen IF-THEN kuralları, sabitler veya girdi verilerine bağlı bir fonksiyon olarak sonuç üretmektedir. IF-THEN kurallarının sonuç

ifadesi sabit bir değerse bu tip sistemler sıfırıncı dereceden Sugeno bulanık sistemler, sonuç ifadesi giriş değişkenlerinin lineer bir fonksiyonu şeklindeyse birinci dereceden Sugeno bulanık sistemler olarak adlandırılmaktadır (Jang, 1997; Demirkoparan vd., 2010). Birinci dereceden iki girişli bir Sugeno bulanık sistemi için IF-THEN kuralı basitçe Eşitlik 2.12'deki gibi verilebilir.

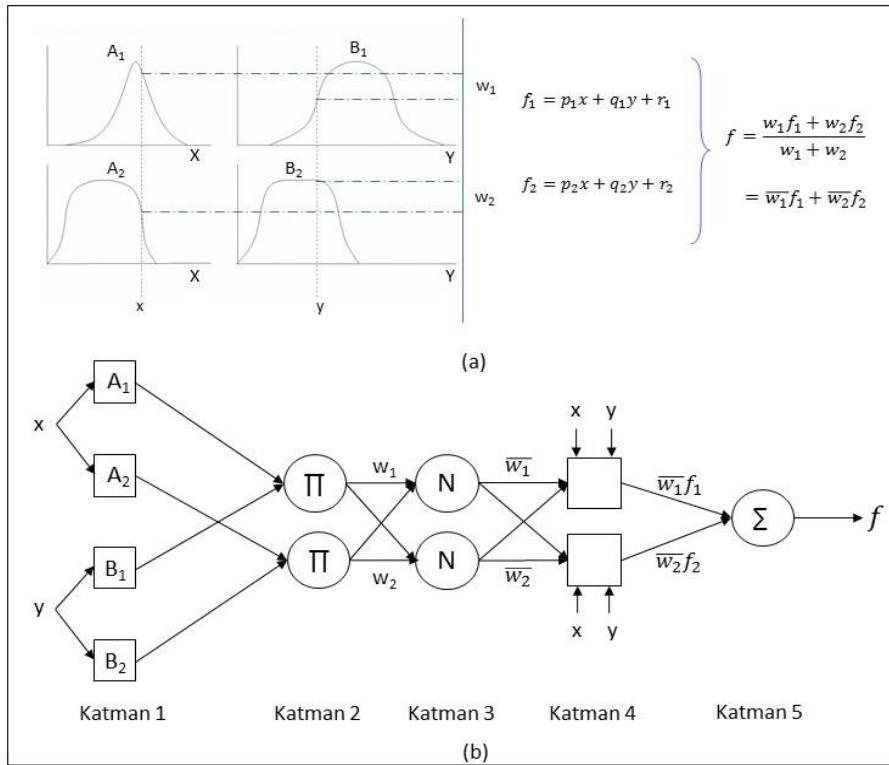
$$IF\ x\ is\ A_i\ and\ y\ is\ B_i\ THEN\ f_i = p_i x + q_i y + r_i \quad (2.12)$$

Eşitlikte, A_i ve B_i girdi değişkenlerine ait sözlü ifadeleri, p_i , q_i ve r_i parametreleri kurala ilişkin sonuçları göstermektedir.

YSA'da başlangıçta atanan ve ağırlık öğrenme işlemi sonrası optimum şekilde düzenlenen ağırlık değerleri ağırlık karar verme performansında en önemli etkenler arasındadır. Ağırlık değerlerinin farklı veri setlerine göre uyarlanması pek mümkün olmayacağından, esnek bir sistem değildir. Yüksek işlem hızına sahip YSA'nın paralel işlem yürütme becerisi diğer sistemler ile YSA'nın hibrit modeller kurabilmesini kolaylaştırmaktadır. Bulanık Sistemler (BS) hem nitel hem nicel veriler ile işlem yapabilmektedir. BS'lerin sözel terimler ve IF-THEN kuralları kullandığından YSA'nın aksine anlaşılması kolaydır (Baykal ve Beyan, 2004; Doğan, 2012). Ancak BS'lerde öğrenme algoritmaları yoktur. BS'lere öğrenme kabiliyeti kazandırılması için uygun olan YSA'nın, paralel işlem yapabilmesi, hızlı sonuç üretmesi ve öğrenme algoritmasının uyarlanabilir olması BS için tamamlayıcı olmaktadır. Klasik eğitimsiz bulanık çıkarım sistemlerinde, uzman deneyimleri ile ortaya konan üyelik derecelerinin kişiye bağlı olarak ve sadece yaklaşık değerler almasından dolayı üzerinde çalışan problemlere sadece yaklaşık çözümler getirebilmekte ve böylece girdi çıktı ilişkisini yeterli doğrulukta ortaya koyamamaktadır (Akyılmaz, 2005; Kaya, 2018). Bu nedenle YSA-BS hibrit modelleri geliştirilmiştir. Tasarlanan bu modeller Sinirsel Bulanık Sistemler (S-BS) olarak adlandırılmaktadır. Sinir ağı ve bulanıklık ilişkisine göre farklı S-BS'ler mevcuttur ve bunlardan en yaygın kullanılanları; ANFIS, GARIC, FUN, NEFCON, FALCON, SONFIN, FINEST, EfuNN ve dmEFuNN olarak sayılabilmektedir (Vairappan vd., 2009; Vieira, vd., 2004). Literatürde hidrolojik olayların sayısal modellenmesi çalışmalarında kullanılan S-BS yöntemleri incelendiğinde, ANFIS modelinin sıkça kullanımına rastlanmaktadır (Dalkılıç ve Hashimi, 2020; Zhang, vd., 2020).

ANFIS modeli S-BS'ler arasında en çok kullanılan yöntemler arasındadır. ANFIS modeli doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesine, kaotik zaman serilerinin analizinde ve tahmininde kullanılmak üzere Jang (1993) tarafından geliştirilen bir modeldir. ANFIS modeli BS içerdiği sözel kurallar bütünü, sinirsel bir çıkarım üzerine adaptif bir şekilde uyarlanmasıdır.

ANFIS sisteminde çözüm ağı, düğümler ve düğümlerin özelleştirilmiş fonksiyonları veya görevlerini içeren katmanlar bulunmaktadır (Tsoukalas ve Uhrig, 1997). Düğümler işlem dirimleridir. Düğümlerin birbiri ile olan bağlantısı, düğümler arasındaki nedensel ilişki düzeyini belirlemektedir. YSA'da olduğu gibi ANFIS modelinde de düğümler arası bağlantılar ve düğümler adaptiftir, düğümler arası bağlantılar ve düğümlerin içerisindeki fonksiyonlar düzenlenebilir parametreler içermektedir. Ağın beklenen çıktısı ile ağın ürettiği çıktı arasındaki fark hata olarak adlandırılmaktadır. Bu hata değerini minimize etmek üzere öğrenme algoritması ile düğümler ve bağlantılardaki adaptif parametreler düzenlenir. Parametrelerin optimum düzeyde ayarlanması sonucu katmanların paralel olarak çalışması ile modelin çıktısı oluşturulur. Bulanık çıkarım sistemi işleyişi ve ANFIS yapısı Şekil 2.9' da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. (a) Bulanık çıkarım sistemi yapısı (b) ANFIS yapısı

Şekil 2.9’da görülen, iki girdi değişkeni (x ve y) olan ve tek çıktısı (f) olan, iki bulanık kural içeren, Takagi-Sugeno tipi ANFIS yapısı aşağıdaki gibi özetlenebilir (Jang, 1993; Takagi ve Sugeno, 1985):

Kural 1: Eğer x girdisi A_1 , y girdisi B_1 bulanık kümelerinden ise, bulanık çıktı $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ şeklinde olacaktır.

Kural 2: Eğer x girdisi A_2 , y girdisi B_2 bulanık kümelerinden ise, bulanık çıktı $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ şeklinde olacaktır.

Katman 1: Her i düğümü (Şekil 2.9 (b)’de kare şeklinde görülmektedir), çıktı fonksiyonu Eşitlik 2.13’te gösterilen adaptif bir düğümdür.

$$O_i^1 = \mu A_i(x) \quad (2.13)$$

Burada x , i düğümü girdisi, A_i bu düğüm işleviyle ilgili sözel etikettir. Diğer bir deyişle O_i^1 , A_i ’nin üyelik fonksiyonudur. Bu üyelik fonksiyonu genellikle 0 ile 1 aralığında değer verdiği için Eşitlik 2.14’te görüldüğü gibi çan eğrisi şeklinde seçilmektedir. Ancak bu üyelik fonksiyonları özelleştirilmekte ve farklı biçimlerde de kullanılmaktadır (Trapez, Üçgen Gauss ve Sigmoid üyelik fonksiyonları gibi). Eşitlikte; $\{a_i, b_i, c_i\}$ çan eğrisi fonksiyonu için ayarlamaların yapılabileceği sabit değerlerdir. Sözel kurallara uyumlu olarak bu parametreler farklı değerler alabilmektedir.

$$\mu A_i(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}} \quad (2.14)$$

Katman 2: Şekil 2.9 (b)’de Π ile işaretlenmiş yuvarlak semboller ile görülen bu düğümler bir önceki katmandan gelen sinyalleri çarpım olarak üreten ve dışarı gönderen düğümlerdir. Düğümden yapılan bu işlem Eşitlik 2.15’teki gibi örneklenebilir. Burada üretilen her düğüm çıkışı kuralın ateşleme gücünü temsil eder.

$$w_i = \mu A_i(x) * \mu B_i(y) \quad (2.15)$$

Katman 3: Bu katmandaki düğümler Şekil 2.9 (b)’de görülen yuvarlak şekilli olup N ile işaretlenmiştir. Bu katmanda bir önceki katmandan gelen her ateşleme gücünün, tüm

ateşleme güçlerinin toplamına oranı hesaplanır. Eşitlik 2.16'da hesaplamaya dair örnek eşitlik gösterilmiştir. Burada; $\overline{w}_1$ düğüm çıktısını ifade etmekte ve bu değer normalize ateşleme dayanımı olarak da ifade edilmektedir.

$$\overline{w}_1 = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2. \quad (2.16)$$

Katman 4: Bu katmandaki düğümler Şekil 2.9 (b)'de kare sembolü ile gösterilmiştir. Bu katmandaki düğümler bir önceki katmandan gelen çıktıları kullanmaktadır ve adaptif yapıya sahiptir. Düğümlerde Eşitlik 2.17'de gösterilmiş işlemler gerçekleşmektedir.

$$O_i^1 = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.17)$$

Burada $\overline{w}_i$ 3. Katmanın çıktısı olup, $\{p_i, q_i, r_i\}$ düğümler için uyarlanabilir parametrelerdir. Bu parametreler, uyarlanabilir çıkış parametreleri olarak da adlandırılabilirler.

Katman 5: Bu katmandaki tek düğüm sistemin çıkışını sağlamaktadır. Bu katmanda gelen bütün sinyaller toplanarak çıktı oluşturulur (Eşitlik 2.18).

$$O_i^5 = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.18)$$

ANFIS yöntemi kullanılarak oluşturulacak akış tahmin modeli tasarımı yine diğer yapay zeka modellerinde olduğu gibi deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Takagi-Sugeno tipi ANFIS yönteminde üyelik fonksiyonlarının ağırlık performansı üzerinde direkt etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle literatürde benzer çalışmalarda yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları olan, üçgen, genelleştirilmiş çan ve gauss fonksiyonları araştırılmıştır.

2.3.3. Çoklu Regresyon Analizi

Regresyon analizi pek çok farklı alanda değişkenlerin karşılıklı olarak ilişkilerini incelemek amacıyla kullanılmaktadır. İstatistik biliminin temel analizlerinden olan regresyon analizinde değişkenlerin ilişkileri, matematiksel fonksiyon olarak ifade

edilmekte ve bu fonksiyonun parametreleri optimum değerde atanarak analizler yapılmaktadır. Literatürde regresyon analizinin fonksiyonlar aracılığıyla çalıştırılmasına regresyon modellemeleri de denilmektedir.

Regresyon analizleri bir değişkenin diğer değişkene göre değişimini inceleyebilmekte veya farklı değişkenlerden biri veya birkaçı belli ise diğer değişken için kurulan bu matematiksel ilişki yardımıyla tahmin de yapılabilir. Bu şekilde yapılan regresyon analizleri için diğer değişkenler farklı türde isimlendirilmektedir. Bir değişken eğer diğer değişken veya değişkenlere göre değişiyorsa bağımlı değişken, diğer değişkenlerin değişiminden bağımsız olarak değişiyorsa bağımsız değişken olarak adlandırılmaktadır.

X ve Y iki değişkenli bir regresyon analizi incelenecek olursa; bu iki değişken arasında temel lineer bir ilişki olduğu varsayımı ile lineer bir ilişki araştırılması yapılacaksa Eşitlik 2.19'daki gibi bir matematiksel ifade kullanılmaktadır.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.19)$$

Burada β_0 ve β_1 fonksiyonun parametreleri, ε hata değeridir. Bağımlı değişken olan X için tahmin yapmak üzere regresyon analizi yapılacağında öncelikle seride belli olan değerler yardımıyla fonksiyon parametreleri ve hata değeri belirlenir. Belirlenen parametrelerin fonksiyona atanması ile analizin ilk adımı tamamlanmakta ve bağımsız Y değerlerine göre X değerlerinin tahmin edilmesi için fonksiyon koşturulmaktadır. Bu aşamayla birlikte tahmin yapmak üzere kurulan bir regresyon modeli iki aşamada tamamlanmış olacaktır. Bağımlı değişken değerlerinin tahmin edilmesinin yanında regresyon modelleri bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki yapısal ilişkiyi de ortaya koyabilmektedir.

Regresyon yöntemleri modele alınacak değişken sayısına, matematiksel ilişki şekline göre farklı isimler almaktadır. Regresyon modelleri değişken sayısı ve matematiksel ilişki modeline göre aşağıdaki gibi isimlendirilmektedir (Özbalcı, 2008).

Çalışmada bağımlı değişken olarak günlük ortalama akış (Q [m^3/s]), bağımsız değişken olarak günlük toplam yağış (P [mm]) ve günlük ortalama sıcaklık (T [$^{\circ}\text{C}$]) kullanılmıştır. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki matematiksel ilişki, bağımsız değişkenin $Q=f(P, T)$ fonksiyonları şeklinde denemesi ile ortaya koyulmuştur. Elde edilen

$Q=f(P, T)$ fonksiyonları kıyaslanarak Q tahminleri yapılmıştır. Tahminlerin gözlenen değerler ile kıyaslanması ile performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Doğal akarsu akışını oluşturan ilişkiler, lineer olmayan bir yapıya sahiptirler (Abrahart ve See, 2007). Lineer ilişki araştırmasının yapılabilmesi için, Çoklu Regresyon (ÇR) analizinde araştırılacak üç farklı matematiksel ilişkinin biri lineer fonksiyon olarak seçilmiştir. Tablo 2.1.'de ÇR analizi ile araştırılacak matematiksel ifadeler gösterilmiştir.

- Bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenden oluşan Basit Regresyonlar;
 - Basit Doğrusal Regresyon
 - Polinomial Regresyon
 - Geometrik Regresyon
 - Üssel Regresyon
 - Basit Eğrisel Regresyon
- Bir bağımlı ve k sayıda ($k \geq 2$) bağımsız değişkenden oluşan Çoklu Regresyonlar;
 - Çoklu Doğrusal Regresyon
 - Çoklu Eğrisel Regresyon
- m sayıda ($m \geq 2$) bağımlı ve k sayıda ($k \geq 1$) bağımsız değişkenden oluşan Çok Değişkenli Regresyonlar;
 - Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon
 - Çok Değişkenli Eğrisel Regresyon

Tablo 2.1. Çoklu regresyon analizinde kullanılan matematiksel ilişkiler

Eşitlik No	Matematisel İlişki
1	$Q = e^{(a+b*P)} - e^{(c+d*T)} + \varepsilon$
2	$Q = a * P^b - c * T^d + \varepsilon$
3	$Q = a * \frac{P}{b} - \frac{c}{T} + \varepsilon$

a, b, c, d denklem parametreleridir.

ε denklem sabit hata değeridir.

2.3.4. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS)

Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri yöntemi, parçalı sürekli doğrusal fonksiyonları kullanarak, doğrusal olmayan ve karmaşık olayları açıklamak için geliştirilmiş parametrik olmayan bir regresyon yöntemidir (Friedman, 1991). Parametrik olmayan regresyon yöntemleri, doğrusal regresyon yöntemlerine kıyaslandığında lineer eğilim göstermeyen karmaşık olayları incelemede daha başarılıdır. Parametrik olmayan regresyon yöntemlerinin kullanım sıklığı, bağımsız veri sayısının artışı ile birlikte düşmektedir. Bağımsız verinin artması modelleme ve sınıflandırmada çok boyutluluk sorunu oluşturduğundan parametrik olmayan regresyon yöntemleri kolay yorumlanabilir olmamaktadır. MARS yöntemi de parametrik olmayan bir regresyon modeli olmasına karşın bağımsız verilerin artması kurulacak matematiksel ilişkinin performansını ve modellemenin yorumlanmasını olumsuz olarak etkilememektedir.

MARS klasik regresyon yöntemlerinde yapılanın aksine, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi incelerken varsayımlarda bulunmaz. Bu varsayımlar yerine, veri setlerinden çıkarılan temel fonksiyonları kullanır, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir ilişki kurar. Böylece bağımsız değişkenlerin farklı kesitlerinin değerlendirildiği esnek bir regresyon modeli oluşturulmuş olur. Kesit oluşturulması için yatayda tasarımcı tarafından atanan değere göre uygun sayıda bölge oluşturulmakta ve bu bölgeler arasındaki sınır değerleri de düğüm olarak adlandırılmaktadır. Burada ayrılan her kesit matematiksel fonksiyonlarla ifade edilmektedir. Bu fonksiyonlar Temel Fonksiyon olarak (TF) adlandırılmaktadır. Her bir fonksiyon orijinal verideki değişimi sıfır yapacak bölgeleri seçmekte, MARS verinin özellikli alt bölgelerine odaklanmaktadır. MARS en uygun değişken dönüşümlerini ve kesişimlerini kullanarak çok boyutlu veri içerisinde gizli olan karmaşık yapıyı ortaya çıkarma ve yorumlamada diğer yöntemlere göre başarılıdır (Friedman, 1991; Özfalcı, 2008). Bu işlem şekli sayesinde MARS diğer parametrik olmayan regresyon yöntemlerinden ayrılmaktadır.

Modeldeki bağımsız değişkenlerin farklı kesitlerde incelenmesi ve bu aralıklarda ilişki düzeyinin matematiksel olarak ifade edilmesine TF denilmektedir. TF'ler dönüştürülmüş tek bir değişken incelenerek veya bağımsız değişkenlerin karşılıklı olarak etkileşimleri incelenerek oluşturulabilmektedir. TF'ler bağımsız değişkenlerin kendi değişimlerini veya karşılıklı değişimlerini inceleyen ve MARS modeline esneklik kazandıran matematiksel ifadelerdir.

MARS yönteminin çalışma prensibini adımsal ilerleme ve adımsal gerileme olarak iki aşamada özetlemek mümkündür. Aşağıda MARS yönteminin çalışması özetlenmiştir (Friedman, 1991);

Aşama 1: Bağımsız değişkenler ve kesit noktaları incelenerek TF'ler oluşturulur. MARS TF oluşturulma aşamasında maksimum karmaşıklık seviyesine gelinceye kadar devam eder ve bu seviyeye erişildiğinde TF üretimini durdurur. Bazı durumlarda tasarımcı tarafından TF kriteri daha düşük tutulmak istenebilir. Bu durumda MARS hedeflenen TF sayısına eriştiğinde maksimum karmaşıklığa ulaşmasa da durabilir, ya da hedeflenen TF sayısına ulaşmadan maksimum karmaşıklığa ulaşır ve durabilir. TF'lerin oluşturulması ve MARS'ın maksimum karmaşıklık düzeyine erişmesinin ardından, TF'ler eklenerek model karmaşıklığı artırılır ve model esnek bir yapı halini alır. MARS yöntemine dair eşitlikler aşağıda gösterilmiştir (Eşitlik 2.20 ve 2.21).

$$y = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m H_{km}(X_{v(k,m)}) \quad (2.20)$$

$$H_{km} = \prod_{k=1}^K h_{km} \quad (2.21)$$

Eşitlik 2.20'de, $X_{v(k,m)}$ k . girdinin m . TF'si için üretilen çıktı, y bu girdiye karşı oluşturulmuş çıktı değeridir. β_0 fonksiyon sabiti değerini; M toplam TF sayısını; $H_{km}(X_{v(k,m)})$ k . bağımsız değişken için üretilmiş m . TF ve $\beta_m H_{km}(X_{v(k,m)})$ TF'nin katsayısını göstermektedir. Eşitlik 2.21'de; K etkileşim derecesi ve h_{km} k . girdinin m . TF'si için üretilen değeri göstermektedir (Rezaie-Balf vd, 2017).

Aşama 2: Eğilim varyanslarının optimum dengesi bulununcaya kadar temel fonksiyonlar modelden çıkarılır. TF'lerin modelden çıkarılması işlemi budama olarak adlandırılmaktadır. MARS aşama 1'de ileri doğru işlem yaparken bu aşamada geri doğru işlem yapmaktadır. Modele yalnızca TF sabitini içeren en küçük model ile başlanır, tahminin hatasını en aza indiren değişken ve düğümler için temel fonksiyon uzayı araştırılır, maksimum karmaşıklığa ulaşan model bütün değişken ve düğümlere bakma işlemi tekrarlanır ve son olarak budama prosedürüne başvurulur (Özfalcı, 2008). Budama

işlemi sonucunda modelden, sonuca en az etki eden TF'leri çıkarılır. Değişken ve düğümler incelenerek çıktı hata değerini en aza indiren TF'ler modelde kalır.

MARS budama işlemini genellikle Genelleştirilmiş Çapraz Doğrulama (GCV) algoritmasını kullanarak gerçekleştirmektedir. GCV parametresi nihai MARS modelinin hata değerini ve karmaşıklığının dâhil edildiği bir kareler toplamıdır. MARS modeli elde edilirken GCV aşırı sayıda kesit ve TF oluşturulmaması için kullanılır. GCV parametresinin elde edilmesiyle ilgili eşitlikler aşağıda gösterilmiştir (Eşitlik 2.22 ve 2.23).

$$GCV(M) = \frac{1}{n} \frac{\sum_m^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(1 - C(M)/n)^2} \quad (2.22)$$

$$C(M) = M + dM \quad (2.23)$$

Burada; n çalışmadaki girdi değişkeni sayısını, y_i , i . girdi değişkenine karşı modelin hedeflediği çıktısını, $\hat{y}_i$, i . girdi değişkenine karşı modelin ürettiği çıktıyı, $C(M)$ karmaşıklık ceza fonksiyonunu, M sabit olmayan TF sayısını ve d tasarımcı tarafından atanan TF optimizasyon katsayısını (serbestlik derecesi) ifade etmektedir (Put vd., 2004).

MARS yöntemi kullanılarak oluşturulacak kurulacak akış tahmin modelinde MARS parametrelerinin belirlenmesi için çeşitli denemeler yapılmış ve optimum sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Tasarımcı tarafından belirlenen temel özelliklerden olan maksimum TF sayısı [10, 45] aralığında rastgele denenmiş olup, her analiz için belirlenen optimum değere göre analiz yapılmıştır. Serbestlik derecesi budama işlemi sırasında kullanılan önemli bir parametre olduğundan bu parametre için [1, 35] aralığında rastgele denemeler yapılmış ve TF sayısında olduğu gibi her analiz grubu için bulunan optimum değer ilgili analizlerde kullanılmıştır.

2.3.5. Thiessen Çokgenleri Analizi

Thiessen (1912) tarafından ileri sürülmüş olan bu yöntem, ölçüm istasyonlarının temsil ettikleri alanları belirlemek için kullanılmaktadır. Yöntem; istasyonların bölge üzerine gerçek koordinatları ile işaretlenmesi ve bu noktaların birbirleri ile birleştirilmesi esasına dayanan grafik bir yöntemdir. İstasyonlar birbirlerine doğru parçaları ile birleştirilir. İstasyonları birleştiren doğru parçalarının ağırlık merkezleri tespit edilir. Doğru

parçalarının ağırlık merkezlerinden, bunlara dik doğrular çizilir. Bu doğruların birbirini kesinceye kadar uzatılması ile kapalı alanlar oluşturulur. Oluşturulan kapalı alanlar sadece bir istasyonun temsil ettiği varsayılan alanlardır.

Çalışmada kullanılan veriler farklı konumlarda ölçülmüş veriler olduğundan bu verilerin analiz yapılacak alanlardaki karşılıklarının belirlenmesi amacıyla, CBS yazılımları aracılığıyla Thiessen Çokgenleri yöntemi kullanılmıştır.

2.4. Çalışmada Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Çalışma kapsamında gözlem ve projeksiyon verisi olmak üzere iki farklı veri türü kullanılmıştır. Gözlem verileri; günlük ortalama akış, günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış veri setlerinden oluşmaktadır. Projeksiyon verileri ise HadGEM2-ES, GFDL-ESM2M ve MPI-ESM-MR küresel veri setlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında türetilmiş ve Doğu Karadeniz Havzası'nda Mİ konumlarına indirgenmiş olan, günlük ortalama yağış ve günlük ortalama sıcaklık veri setlerinden oluşmaktadır.

Hem gözlem verileri grubunda olan, hem de projeksiyon verileri grubunda olan veri setleri için ayrı ayrı temel istatistik analizleri yapılmıştır. Burada veri setlerine ait; ortalama, standart sapma, çarpıklık, basıklık gibi temel parametreleri incelenmiştir.

Havzanın genelini temsil etmek üzere 11 Mİ ve 17 AGİ seçilmiştir. Veri setlerinin analize uygunluğunun değerlendirilmesi için veri setleri homojenlik yönünden sınanmıştır. Homojenlik analizine ait detaylar aşağıda sunulmuştur.

Homojenlik testi tamamlanan veri setleri sayısal yöntemler ile oluşturulacak akış tahmin modellerinde değerlendirilmiş ve projeksiyon verilerinin kullanıldığı müstakbel akış tahmin modellerinin sonuçları elde edilmiştir. Oluşturulacak akış tahmin modellerinde optimum çözüme erişmek amacıyla girdi setindeki bağımsız verilerin düzenlenmesi büyük önem taşımaktadır. Girdi setleri, hidrolojik araştırmalarda yapay zeka ile oluşturulacak akış tahmin modellerinde kararlılığı ve modelin performansını arttırdığı belirtilen gün gecikmeli setlerden oluşturulmuştur (Babacan, 2015; Abdollahi vd., 2017; Daliakopoulos ve Tsanis, 2016). Girdi setlerinde kullanılan değişkenler EAY ve FS kullanılarak incelenmiş olup, kullanılan istatistiksel yöntemlere dair detaylar aşağıda sunulmuştur.

2.4.1. Homojenlik Analizi

Çalışmada kullanılan veriler, atmosferik ve çevresel koşulların direkt olarak etkilediği hidrometeorolojik ve hidrolojik verilerdir. Bu verileri çok fazla etken değiştirebilmektedir. Bu etkenler incelendiğinde; doğal etkenler ve yapay etkenler olarak ayrılabilir. Doğal etkenler, gerçekleşen çeşitli ekstrem atmosferik olaylarda kaydedilen verilerin normal trendine göre aykırı bir yön izlemesi ile sonuçlanmaktadır. Yapay etkenler ise insan faktörüyle verilerin değişimine neden olan etkilere, ölçüm cihazı kalibrasyon hataları, manuel kayıt tutulan istasyonlarda kayıtların hatalı girilmesi, ölçüm yapılan kısımda ölçümü normalliğini bozan etkenler olması gibi örnekler verilebilmektedir.

Doğal etkenler, normal trende uymayan bir sıçrama yapmak suretiyle, veri setlerinde aşırı uç değerler oluşturduklarından akış tahmin modellerinin performansını etkileyecektir. Çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak bu aşırı uç veriler veri setinden ayrıştırılarak akış tahmin modelinde, ayrıştırılmış veri setleri kullanılabilir. Çalışmada aşırı uç değerler için incelemeler yapılmış ve verilerde yığışımlı bir artış ve kademeli bir azalma tespit edilmiştir. Bu nedenle veri setlerinde aşırı uç değerler doğal süreç olarak yorumlanmış ve akış tahmin modellerinin doğallığının bozulmaması için veri setlerinden atılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan gözlem verilerinde, yapay etkenler nedeniyle oluşmuş değişimlerin araştırılması için (ölçüm cihazı değişimi, kalibrasyon hataları benzeri durumlar) veri setlerinde homojenlik analizi yapılmıştır. Literatürde hidrometeorolojik ve hidrolojik veri setlerinin homojenlik incelemesi için önerilen (Mallakpour ve Villarini, 2016; Toreti vd., 2011; Farsi ve Mahjouri, 2019; Che Ros vd., 2016); Buishand's Test (BT), Pettitt's Test (PT), Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) ve von Neumann Ratio Test (VNRT) yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan tüm yöntemlerde başlangıçta iki hipotez kurulmuştur. Hipotezler Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Homojenlik analizi hipotezleri

Hipotez Adı	Hipotez
H_0	$F_1(X) = F_2(X)$ (Veri setinde değişim yoktur)
H_1	$F_1(X) \neq F_2(X)$ (Veri setinde değişim vardır)

Buishand Test iki yönlü bir hipotez testidir. Dağılım tipine bakılmaksızın tüm dağılım tipleri için veri setlerine uygulanabilir bir testtir. Bu test, standart sapmaya göre serideki değişimi incelemektedir (Buishand, 1982) (Eşitlik 2.24 ve 2.25). Eşitliklerde $\hat{\sigma}$ standart sapmayı, $\hat{\mu}$ serinin ortalamasını, S_k^* verilen terimin kısmi toplamını ve R test istatistiğini ifade etmektedir. n serinin eleman sayısı olacak şekilde, $R/\sqrt{n}$ değeri hesaplanarak tablo değerleri ile karşılaştırılarak veri setinin homojenliğine karar verilir.

$$S_0^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^k (x_i - \hat{\mu}), \quad k = 1, 2, 3, \dots, T \text{ ve } S_k^{**} = \frac{S_k^*}{\hat{\sigma}} \quad (2.24)$$

$$R = \max_{1 \leq k < T} (S_k^{**}) - \min_{1 \leq k < T} (S_k^{**}) \quad (2.25)$$

Pettitt's Test parametrik olmayan bir testtir. PT veri setlerinin dağılımı hakkında fikir vermekte ve Mann-Whitney istatistiği ile ilişkilidir. Çalışmada kullanılan PT modeli işleyişi aşağıdaki eşitliklerde sırasıyla gösterilmiştir (Eşitlik 2.26, 2.27, 2.28 ve 2.29) (Pettitt, 1979). Eşitliklerde; X rastgele değişken, $U_{t,T}$ test istatistiği ve K_t kıyaslama değeridir. K_t değeri örnek sayısına bağlı olarak belirlenen kritik değeri aştığında homojenliğin bozulmasından söz edilir.

$$D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (2.26)$$

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & (X_i - X_j) > 0 \\ 0 & (X_i - X_j) = 0 \\ -1 & (X_i - X_j) < 0 \end{cases} \quad (2.27)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^T D_{ij} \quad (2.28)$$

$$K_t = U_{t,T} = \max |U_{t,T}|, 1 \leq t < T \quad (2.29)$$

Standard Normal Homogeneity Test iklimsel veri setlerinin değişimini incelemek için geliştirilen bir yöntemdir (Alexandersson, 1986). SNHT yöntemi esnek ve iklimsel verilere başarı ile uygulandığından hidrolojik araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu testte; incelenen veri seti önce rastgele bir c noktasından ikiye bölünür ve $T(c)$ değeri hesaplanarak başlanır (Eşitlik 2.30, 2.31, 2.32) ve Eşitlik 2.33'te görüldüğü gibi T_0 test

istatistiği hesaplanır (Yerdelen, 2013). Hesaplanan bu istatistik değeri tablo değeri ile kıyaslanarak homojenlik araştırması tamamlanır. Eşitliklerde; n toplam eleman sayısı, $\bar{y}$ serinin ortalaması ve y_i serinin i . değerini göstermektedir.

$$T(c) = c \cdot \bar{z}_1^2 + (n - c) * c * \bar{z}_2^2 \quad (2.30)$$

$$\bar{z}_1 = (\sum_{i=1}^c (y_i - \bar{y}) / \sigma) / c \quad (2.31)$$

$$\bar{z}_2 = (\sum_{i=1+c}^n (y_i - \bar{y}) / \sigma) / (n - c) \quad (2.32)$$

$$T_0 = \max_{1 \leq c < n} T(c) \quad (2.33)$$

Çalışmada veri setlerinin homojenliğinin değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir yöntem Von Neumann's Ratio Test'tir. Bu testte, test istatistiği Eşitlik 2.34'te olduğu gibi hesaplanmaktadır (Von Neumann, 1941). Eşitlikte, N test istatistiğini, x serinin elemanı olan değişkeni, n serinin eleman sayısını ve $\hat{\sigma}$ serinin standart sapmasını göstermektedir.

$$N = \frac{1}{n \cdot \hat{\sigma}} * \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - x_{i+1})^2 \quad (2.34)$$

2.4.2. En İyi Alt Kümeler Yöntemi (EAY)

Bu yöntem tüm bağımsız değişken kombinasyonlarının, bağımlı değişkeni tahmin etmek üzere kullanıldığı regresyon denklemlerinin oluşturulması esasına göre çalıştırılmaktadır. Yöntemde Furnival-Wilson algoritmasının uygulaması yapılmaktadır. Seçilen modeller tüm model ile olabilirlik oran testi kullanılarak karşılaştırılır.

En iyi alt kümeler yönteminde maksimum olabilirlik tahmini iteratif olarak belirlenir ve $\hat{\beta} = (X'VX)^{-1}X'Vz$ olarak gösterilebilir. Burada z vektörü gerçek olmayan değerleri içermektedir. $z = X\hat{\beta} + V^{-1}r$ ve burada $r = (y - \hat{\pi})$ olup kalıntılar vektörü olarak isimlendirilir (Önder ve Cebeci, 2002).

En iyi alt kümenin belirlenmesi sırasında EAY bazı parametreleri referans almaktadır. Bu parametreler; korelasyon katsayısı (r^2), düzeltilmiş korelasyon katsayısı ve Mallows C_p katsayısıdır (Eşitlik 2.35).

$$C_p = (N - k) \frac{MSE_i}{MSE_f} - (N - 2i - 1) \quad (2.35)$$

Burada; MSE_i , i değişkenli modeldeki hata kareleri ortalaması, MSE_f k sayıda değişkeni olan, tam modeldeki hata kareleri ortalamasıdır. Hata oranının sıfıra yakınsadığı, C_p değeri en küçük olan model en başarılı model olarak belirlenmektedir (Kobayashi ve Sakata, 1990).

2.4.3. İleri Adımlı Seçilim (FS)

Bu yöntem bağımlı değişkeni ifade edecek şekilde bağımsız değişkenlerin kullanıldığı bir regresyon yöntemidir. Yöntemde bağımlı değişkeni ifade edecek modeller oluşturulmakta ve bağımsız değişken tahmin katsayısının F istatistiğine göre kıyaslanmaktadır. FS yöntemi öncelikle, bağımlı değişken ile en yüksek korelasyona sahip bağımsız değişkeni belirler ve tek değişkenli bir regresyon modeli oluşturur. Bağımlı değişken ile ilişkilendirilen bu bağımsız değişken seri içerisinde en yüksek F istatistik değerine sahip bağımsız değişkendir. Modele kademeli olarak eklenecek diğer değişkenler, bağımlı değişken ile en yüksek korelasyona sahip olma durumuna göre değerlendirilir. Modele eklenen diğer bağımsız değişkenler ile iki değişkenli regresyon modelleri elde edilmiş olur. Elde edilen bu modeller katsayı tahminine ait F değerine göre bir önceki model ile kıyaslanır. Eğer bu değer bir önceki F değerinden yüksekse modele dahil edilir. Bu işlem F katsayısında artış gözlenmeyene kadar devam ettirilir (Çakır Zeytinoğlu, 2007).

2.5. Gözlem Verileri ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması

İklimsel projeksiyonların Doğu Karadeniz Havzası'na bölgesel etkilerini araştırmak üzere seçilen 17 AGİ konumlarına havzada bulunan Mİ verileri Thiessen Çokgenleri yöntemi ile bölgeselleştirilerek veri setleri oluşturulmuştur. Günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık verileri girdi, günlük ortalama debi verileri hedef parametre olarak belirlenmiş ve $Q=f(P, T)$ olarak bir hipotez oluşturulmuştur.

2.5.1. YSA ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması

Q değerlerini tahmin etmek üzere kullanılan sayısal model olan YSA'da tahmin performansı girdi modelleri başta olmak üzere gizli katmandaki nöron sayısı (m), transfer fonksiyonu ve gizli katman sayısının optimum olarak seçilmesine bağlıdır. YSA kullanarak benzer analizler yapan araştırmacılar YSA'da kritik öneme sahip bu parametreleri deneme-yanılma metoduyla belirlemişlerdir. Veri setleri ve bölge karakteristikleri farklılık gösterdiğinden herhangi benzer bir çalışmada elde edilen en iyi modelin direkt olarak kullanımı uygun olmayacağından çalışmada bu YSA parametreleri 17 farklı AGİ konumu için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Girdi setleri; İleri Adımlı Seçilim ve En İyi Alt Kümeler Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemlerde P ve T setleri 7 gün (t-7) kadar gün gecikmeli serilere dönüştürülerek, bu setlerden oluşturulan kombinasyonlarla hedef çıktı olan Q setini tahmin etme performansı değerlendirilmiş ve her yöntemin en iyi üç modeli seçilmiştir. Seçilen bu modellerden benzer girdi setleri elde edilmesi nedeniyle, analizler bazı analiz bölgelerinde (Veri Grupları) 5 girdi modeli kullanılarak yapılmıştır.

YSA'da en önemli parametrelerden olan gizli katman nöron sayısı için optimum değerler her bir veri grubuna göre değişeceğinden her veri grubunda performansı araştırılan tüm girdi modelleri için optimum m değeri deneme-yanılma yoluyla araştırılmıştır. Optimum m değerinin bulunması için [2, 10] aralığı denenmiştir.

Transfer fonksiyonunun seçiminde verilerin istatistiksel özellikleri değerlendirilmiş ve sigmoid fonksiyon seçilmiştir. Ayrıca önceki çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların hidrolojik ve hidrometeorolojik verilerin analizinde, sigmoid fonksiyonların veri setlerine uygunluk sağladığını belirtmişlerdir (Babacan, 2015). Analizlerde tanjant sigmoid ve logaritmik sigmoid fonksiyonlar denenmiştir.

Ara katman sayısı YSA yapısının karmaşıklık düzeyini arttırmakta ve buna bağlı olarak donanım bağımlılığını arttırmaktadır. Araştırmacılar önceki çalışmalarda ara katman sayısının belirlenmesine ilişkin olarak bir yöntem önermemiş ancak benzer çalışmalarda YSA yapısı tek ara katman ile oluşturulmuştur. Çalışmada donanım bağımlılığını azaltmak ve bu sayede YSA yapısının kararlılığını arttırmak amacıyla ve benzer analizlerde tek ara katman kullanımının yaygın olduğu görüldüğünden, YSA ile oluşturulan SPM'de tek ara katman kullanılmıştır.

YSA ile oluşturulan akarsu akışı tahmin modellerinde toplam veri sayısı ağın eğitimi ve ağın performans değerinin tespit edileceği test kısmında kullanılmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Ağın eğitiminde kullanılacak veri sayısı oranının belirlenmesi hususunda literatürde kesin bir önerme mevcut değildir ve YSA ile yapılacak tahminlerde ağ yapısına göre veri setleri eğitim ve öğrenme verisi olarak tasarımcı tarafından farklı oranlarda veri sayısı içeren iki gruba ayrılmaktadır (Bala ve Kumar, 2017, Demirel vd., 2012). Veri setinde bulunan verilerin %85'i eğitim seti, kalan %15'i de test seti olarak kullanılmıştır.

2.5.2. MARS ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması

Q değerlerini tahmin etmek üzere kullanılan sayısal model olan MARS tahmin performansı belirli parametrelerin optimum seçilmesi ile doğrudan ilgilidir. Bu parametrelerden başlıcaları; TF sayısı, Serbestlik Derecesi (SD) ve Ceza Derecesidir (Pe).

Tahminleyici fonksiyon ağın ileri iterasyonu sırasında veri setlerine bağlı olarak üretilen fonksiyonlardır. Bu TF'ler çözüm uzayının oluşturulması ve ağın esnek işlem yapabilme yeteneğini kazanması konusunda büyük önem taşımaktadır. Maks TF sayısının fazla seçilmesi ağın yeni TF üretme konusunda zorlanmasına ve tutarlı olmayan TF üretiminde bulunmasına neden olmaktadır. Bu değer düşük seçilmesi durumunda ağ çözüm uzayı oluşturma konusunda kısıtlanacağından optimum çözüme ulaşma şansı düşük ve sadece rassal olacaktır.

Serbestlik derecesi budama işlemi sırasında asıl çözüm fonksiyonunun oluşturulması konusunda önemli bir parametredir. Serbestlik derecesinin yüksek olması TF kesişim alanlarını arttıracak ve ağda tutarsız sonuçlar üretilmesine neden olacaktır.

MARS model performansını etkileyen önemli parametrelerden olan ceza değeri; TF oluşturulması esnasında ağda seçilecek bağımsız parametrelerin belirlenmesine etki etmektedir. Ceza değerinin yüksek seçilmesi bağımlı değişkenin tahmin edileceği fonksiyonda kullanılacak bağımsız parametre sayısının fazla olması için ağı zorlayacağından optimum çözüm fonksiyonunun elde edilmesini zorlaştıracaktır.

MARS kullanılarak oluşturulan modelde, diğer modellerde olduğu gibi; veriler eğitim ve test için ayrılmıştır. MARS doğrulama işlemi gerçekleştirmediğinden eğitim verileri yapay zeka modeline göre daha yüksek olmuş ancak test edilen grup aynı aralıkta seçilmiştir. Veri setinde bulunan verilerin %85'i eğitim seti ve kalan %15'i de test seti olarak kullanılmıştır.

2.5.3. Regresyon Analizi ile Akarsu Akışı Tahmin Fonksiyonu Araştırması

Akarsu akışının tahmin edilmesi birçok disiplinin ilgilendiği bir konu olmuştur. Akarsu akışı hidrolik yapıların tasarlanması, hidrolojik planlamaların yapılması, orta ve uzun vadeli havza eylem planlarının hazırlanması, tarımsal faaliyetler, iklimsel planlamalar gibi pek çok farklı alanda büyük öneme sahiptir. Bu nedenledir ki literatür incelendiğinde araştırmacılar akarsu akışının yüksek kesinlikle tahmin edilebilmesi için çeşitli sayısal yöntemler kullanmışlardır. Sayısal yöntemler incelendiğinde debi tahmin fonksiyonlarının, geçmişten günümüze kadar sıklıkla regresyon analizi kullanılarak oluşturulmaya çalışıldığı ya da yeni sayısal modellerin tasarımında kıyas kriteri olarak kullanıldığı görülmektedir.

Çalışmada Yapay Zeka, Sezgisel Regresyon ve Bulanık Mantık Hibrit yöntemleri gibi yüksek donanım gücü gerektiren makine öğrenmesi gerçekleştiren akıllı tasarımlar kullanılmıştır. Bu tasarımlara kıyas olarak kullanılabilir olması ve yapılan eski çalışmalarda da rahatlıkla erişilebilir olması nedeniyle ÇR ile akarsu akışı tahmini yapılmıştır. ÇR kapsamında farklı önermeler denenmiştir.

ÇR kullanılarak akarsu akışı tahmin etmek üzere önceden belirlenmiş girdi setleri kullanılmıştır. Kullanılan bu girdi setleri tahmin fonksiyonunda bağımsız parametre olarak tanımlanmış ve bağımlı parametre olarak atanan akarsu akışı tahmin edilmeye çalışılmıştır. ÇR analizlerinde toplam üç farklı akış tahmin etmek üzere yağış ve sıcaklık ilişkisi araştırılmış olup bunlardan ikisi lineer olmayan ilişki, sonuncusu ise lineer ilişki olarak denenmiştir. ÇR analizlerinde denenilen eşitlikler Tablo 2.3'te görülmektedir.

Diğer sayısal yöntemler kullanılarak oluşturulan akış tahmin modellerinde toplam veri sayısı ağın eğitimi ve ağın performans değerinin tespit edileceği test kısmında kullanılmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Veri setinde bulunan verilerin %85'i eğitim seti ve kalan %15'i de test seti olarak kullanılmıştır. ÇR ile yapılan analizlerde tahmin fonksiyonunun elde edilmesi için veri setinin %85'i kullanılmış olup, diğer akış tahmin modeli çıktıları ile kıyaslanabilir şekilde %15'i elde edilen tahmin fonksiyonunun performans değerlendirmesi için kullanılmıştır.

Tablo 2.3. Regresyon analizi kapsamında araştırılan $f(Q)=F(P,T)$ ilişkileri

Önerme Numarası	Önerme	Regresyon Yöntemi
1	$Q_i = e^{(a_0 + \sum_{i=1}^n b_i * P_i)} - e^{(c_0 + \sum_{i=1}^n d_i * T_i)} + \varepsilon$	Lineer Olmayan Regresyon
2	$Q_i = a_0 * \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)^b - c_0 * \left(\sum_{i=1}^n T_i \right)^d + \varepsilon$	Lineer Olmayan Regresyon
3	$Q_i = \sum_{i=1}^n a_i * P_i - \sum_{i=1}^n b_i * T_i + \varepsilon$	Lineer Regresyon

a, b, c, d ve ε : Denklem katsayıları
n: Girdi setindeki değişken sayısı
Q: Akarsu akışı (m³/s)
P: Günlük toplam yağış (mm/gün)
T: Günlük ortalama sıcaklık (°C/gün)

2.5.4. ANFIS ile Akarsu Akışı Tahmin Modeli Oluşturulması

Gelecek Q değerlerini tahmin etmek üzere çalışma kapsamında araştırılan diğer bir yöntem ANFIS olmuştur. ANFIS, diğer sayısal yöntemlerden farklı olarak bulanık kurallar (FR) oluşturmakta ve değişkenleri Üyelik Fonksiyonları (MF) kullanarak girdilere dönüştürmekte ve bu sayede aynı girdi için sabit değerler üretilmesinin yanı sıra bulanık kurallara göre ara değerler oluşturabilmektedir. ANFIS tasarımı, ANFIS tipi, ağırlık atama algoritması, girdi değişkeni sayısı, üyelik fonksiyonu ve oluşturulan bulanık kural sayısı performansı doğrudan etkilemektedir.

Öğrenme işlemi sırasında düğümler arasındaki bağlantılara atanacak ağırlık değerleri sistemin üreteceği tahmin değerlerinin performansını büyük oranda etkilemektedir. Bu ağırlık değerlerinin atanma işleminin süresi ve performansı girdi değişkeni sayısına, seçilen algoritmaya ve çalışılan donanıma bağlı olarak değişmektedir. Çalışmada Sugeno ANFIS tipi ile tahminleyici tasarımı yapılmış olup, optimum yapı deneme-yanılma yoluyla belirlenmiştir. Optimum yapı belirlenirken donanım verimliliği, girdi değişken sayısı ve çıktı performansları sınanarak, ağırlık atama algoritması olarak Subtractive Clustering (SC), üyelik fonksiyonu olarak Gauss Olasılık Dağılımı (GPD) seçilmiştir. Analizin yapıldığı istasyonlarda farklı girdi değişkeni sayısına bağlı olarak üretilen FR sayısı

değişken olmuştur, en iyi tahminleyici model için optimum FR sayısı analiz bölgeleri için hazırlanan performans değerlendirme tablolarında ileri bölümlerde gösterilmiştir.

2.6. Performans Değerlendirme Kriterleri

Farklı algoritmalar kullanılarak oluşturulan akış tahmin modellerinin çalıştırılması ile Q değerleri tahmin edilmiştir. Tahmin edilen Q değerleri gözlenmiş olan tarihsel Q değerleri ile kıyaslanarak modellerin performansları belirli performans değerlendirme kriterleri kullanılarak belirlenmiş ve diğer model çıktıları ile kıyaslanmıştır. Modellerin kıyaslanması için; Ortalama Hata Kareleri Karekökü (RMSE), Pearson Korelasyon Katsayısı (r), Nash-Sutcliffe Belirlilik Katsayısı (E) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) kullanılmıştır. Kullanılan kriterler için eşitlikler sırasıyla Eşitlik 2.36, 2.37, 2.38 ve 2.39'da verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (Q_{i(gözlem)} - Q_{i(tahmin)})^2} \quad (2.36)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i(gözlem)} - \bar{Q}_{(gözlem)}) * (Q_{i(tahmin)} - \bar{Q}_{(tahmin)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{i(gözlem)} - \bar{Q}_{(gözlem)})^2 * \sum_{i=1}^n (Q_{i(tahmin)} - \bar{Q}_{(tahmin)})^2}} \quad (2.37)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i(gözlem)} - Q_{i(tahmin)})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{i(gözlem)} - \bar{Q}_{(gözlem)})^2} \quad (2.38)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{i(gözlem)} - Q_{i(tahmin)}|}{n} \quad (2.39)$$

Burada; $Q_{i(gözlem)}$ gözlenen tarihsel debi değerini, $Q_{i(tahmin)}$ YSA kullanılarak oluşturulan akış tahmin modellerinin ürettiği debi tahminlerini, $\bar{Q}_{(gözlem)}$ ve $\bar{Q}_{(tahmin)}$ ilgili serilerin aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.

Modeller 17 farklı AGİ konumunda çalıştırılmıştır. AGİ konumlarında oluşturulmuş veri setlerinin tamamı Veri Grubu (VG) olarak numaralandırılmıştır. Her veri grubu

bulunduğu konumdaki AGİ'ye DSİ tarafından verilmiş isim ile adlandırılmıştır. Analiz bölgelerinde verilerin tarihsel aralıkları ve veri setlerinin uzunlukları değişmekte olup, veri setlerinin uzunluğu kaydedilmiş en uzun süreli kesiksiz akım gözlem verileri ve bölgede mevcut su yapılarının işletmeye açılış tarihleri referans alınarak belirlenmiştir.

2.7. İklimsel Projeksiyon Verilerinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

2.7.1. Trend (Eğilim) Analizleri

İstatistiksel analizler insan faaliyetleri ile oluşturulmuş veya doğal olarak oluşmuş tüm süreçlerin incelenmesi, verimliliğin arttırılması, planlanması, kriz ve risk yönetiminin yapılabilmesi amacıyla kullanılmaktadır. İstatistiksel analizlerin yapılması için gerçek veya sentetik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçek verilerin güvenilirliği daha yüksek olup, bu çalışmanın konusu olan doğal proseslerin incelenmesinde gerçek verilerin kullanılması çalışmanın daha doğru sonuçlar üretebilmesi açısından oldukça önemlidir. İstatistiksel yöntemlerle incelenmek üzere, gözlem ve/veya ölçüm yapılarak zamana göre belirli aralıklarla kaydedilen, bir diğer deyişle zamana göre değişimi gözlenebilen veri setlerine zaman serisi denilmektedir.

Belirli aralıklarla zamana göre kaydedilmiş veriler kullanılarak zaman serilerinde gelecek projeksiyonu için yorum yapmak ve geleceğe dair kestirim yapabilmek mümkündür. Zaman serilerinde belirli zamansal periyotlar ile kaydedilmiş verilerin, yine zamana göre artış ve azalış trendinin (eğiliminin) belirlenmesi, geleceğe dair kestirim ve çıkarımları yapabilmek için kullanılan yaygın bir yöntemdir (Hess vd., 2001). Belirli bir periyotta kaydedilmiş verilerin artış ve azalış trendlerinin belirlenmesi için özel olarak geliştirilmiş farklı istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır (Esterby, 1993). Trend belirlemek için basit korelasyon ve regresyon analizleri ve parametrik olmayan istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır (Hess vd., 2001).

Hidrolojik prosesler farklı parametreler arasında oluşan karmaşık örüntüler ile gerçekleşmektedir. Kaydedilmiş gözlem verileri incelendiğinde bir önceki zaman periyodunda kaydedilmiş verinin bir sonraki periyotta kaydedilmiş veri ile ilişkili olma durumu sık karşılaşılan bir durumdur. Bu şekilde içsel bağımlılığı yüksek olan zaman serilerinde zamansal sıralamada verilerde yüksek bir içsel korelasyon olması zaman serisinin trend hesaplamalarında gerçekte olmayacak şekilde yüksek sonuçlar elde

edilmesine sebep olmaktadır (Yue vd., 2002). Bu belirsizliğin ortadan kaldırılması için zaman serilerinde trend belirlenirken serinin içsel bağımlılığının araştırılması ve içsel bağımlılık yüksek bulunursa, zaman serisinin içsel bağımlılığı arttıran verilerden arındırılması gerekmektedir (Akçay, 2018).

Farklı birçok etken ile bağlantılı olan hidrolojik zaman serileri uzun yıllar kaydedilen gözlem verileri, atmosferik ve coğrafi parametreler referans alınarak elde edilmiş projeksiyon verilerinden oluştuğundan, bu zaman serilerinde zamana bağlı olarak dalgalanmalar ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle hidrolojik zaman serilerinde trend belirlemek için oluşturulmuş bir hipotezi test etmek üzere, zaman serisinin dağılımına bağlı kalmayan, parametrik olmayan testler kullanılmaktadır (Yu vd., 1993). Parametrik olmayan yöntemler parametrik yöntemlere göre daha esnektir ve zaman serisinin karakteristik özelliklerinin incelenmesini parametrik yöntemlere göre daha fazla kolaylaştırmaktadır (Berryman vd., 1988). Parametrik olmayan testler, hidrolojik zaman serilerinin trend araştırmasında sıklıkla kullanılmakta olup, hidrolojik zaman serileri için başlıca parametrik olmayan trend belirleme yöntemleri Mann-Kendall Trend Analizi, Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi ve Sen'in Eğim Testi olarak sayılabilmektedir (Cong vd., 2009, Dawood, 2017).

2.7.2. Otokorelasyon Testi

Hidrolojik ve iklimsel veri setlerinde ölçüm sıklığı yüksek olan zaman serilerinde örneğin günlük veri setlerinde gecikmeli kaydedilen verilerin doğal proseste birbirini etkileme ihtimali oldukça yüksektir. Bu tip zaman serilerinde içsel bağımlılığın yüksek olabileceği düşünüldüğünden çalışılacak verilerin içsel bağımlılık açısından sınanması ve içsel bağımlılık tespit edilen verilerin düzenlenerek içsel bağımlılığının ortadan kaldırılması yapılacak eğilim analizlerinin daha doğru sonuç üretmesi için önemlidir (Hamed ve Rao, 1998).

Zaman serilerinde belirli bir zaman aralığı ya da öteleme periyodunda (k) bulunan gecikmeli verilerin birbiri arasındaki lineer ilişkisini tespit etmek için otokorelasyon (içsel bağımlılık) testi uygulanır. Seri içerisinde k öteleme periyodundaki bir verinin gecikmeli olan diğer bir veri ile bağımlılığı r_k otokorelasyon katsayısı hesaplanarak bulunabilmektedir. Otokorelasyon katsayısı boyutsuz bir katsayıdır ve aşağıdaki Eşitlik 2.40'taki gibi hesaplanır (Akçay, 2018).

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} [(X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})]}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.40)$$

Burada, X_i zaman serisindeki i . veriyi, $\bar{X}$ zaman serisinin aritmetik ortalama değerini, n zaman serisinin uzunluğunu ve k öteleme periyodunu ifade etmektedir. Zaman serisinde öteleme periyodu $k = 1$ olarak alınabilmektedir.

Otokorelasyon katsayısı tek yönlü hesaplamada $0 \leq r_k \leq 1$ aralığında değerler almaktadır. Değerin 0'a yakınsaması zaman serisinde içsel bağımlılığın düşük olduğunu, 1'e yakınsaması seride içsel bağımlılığın yüksek olduğunu göstermektedir. Otokorelasyon katsayısı r_k değerlendirilmesi için Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından değerlendirme yöntemi %95 güven aralığı için önerilmiş olup, genel kullanımı Eşitlik 2.41'deki gibidir (Salas vd., 1980).

$$r_k(\%95) = \frac{-1 + 1,645\sqrt{n - k - 1}}{n - k} \quad (2.41)$$

Burada n zaman serisindeki eleman sayısını ve k öteleme periyodunu ifade etmektedir. Eğer aralığında hesaplanan r_k değeri, $r_k(\%95)$ değerinden büyükse zaman serisinde içsel bağımlılık olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmada iklimsel projeksiyon verilerinden oluşturulmuş yıllık zaman serileri için yapılacak trend analizleri için, serilerin içsel bağımlılığı otokorelasyon testi ile %95 güven aralığında sınanmış olup içsel bağımlılık bulunan serilerde Trend Free Prewhitening Yöntemi (TFPW) uygulanarak içsel bağımlılık giderilmiştir (Cong vd., 2009).

2.7.3. Trend Free Prewhitening Yöntemi (TFPW)

TFPW yöntemi Mann-Kendall Trend Analizi ile zaman serilerindeki trend araştırmalarında, zaman serisinde bulunan içsel bağımlılığın, gerçekte var olan trendi etkilemeden, analiz sonucuna etkisinin önlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Yue ve Wang, 2002).

İçsel bağımlılık analizinde, $k = 1$ öteleme periyodu için hesaplanan otokorelasyon katsayısının anlamlılığı Eşitlik 2.42'deki gibi değerlendirilmektedir. Burada n zaman serisindeki eleman sayısını, $Z_{\alpha/2}$ seçilen α anlamlılık düzeyinde normal dağılım için kritik

değerdir (Douglas vd., 2000, Akçay, 2018). Bu koşulu sağlayan otokorelasyon katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. İçsel bağımlılık araştırıldığı otokorelasyon testinde $\alpha = 0,05$ olarak seçildiğinden $Z_{\alpha/2}$ değeri 1,96 olarak belirlenmiştir.

$$|r_k| > \frac{Z_{\alpha/2}}{\sqrt{n}} \quad (2.42)$$

TFPW yöntemi zaman serilerindeki içsel bağımlılığın giderilmesi ve serinin olağan trendi etkilenmeden içsel bağımlılıktan arındırılmış yeni seri oluşturmak için kullanılmaktadır (Yue ve Wang, 2002). Yöntem otokorelasyon katsayılarının istatistiksel açıdan anlamlı olduğu zaman serileri için uygulanabilmektedir. TFPW yöntemi ile içsel bağımlılıktan arındırılmış yeni seri elde etmek için izlenen hesap adımları aşağıda sırasıyla verilmiştir (Yue ve Wang, 2002, Beşel ve Kayıkçı, 2019).

- I. Zaman serisi için hesaplanan otokorelasyon katsayısının kontrol işlemi gerçekleştirilir. Otokorelasyon katsayısı Eşitlik 2.43'teki gibi kontrol edilir. Eğer hesaplanan r_k değeri aralıkta bir değer alıyorsa, zaman serisinde içsel bağımlılık olmadığı ve seride TFPW kullanılarak bir düzeltme yapılmasına gerek olmadığı sonucuna varılır. Eğer hesaplanan r_k aralık dışında bir değer alıyorsa, bu durumda zaman serisinde içsel bağımlılık olduğu kararı verilir ve zaman serisine TFPW uygulanarak içsel bağımlılıktan arındırılması gerekir.

$$\frac{-1 - 1,645\sqrt{n - k - 1}}{n - k} \leq r_k \leq \frac{-1 + 1,645\sqrt{n - k - 1}}{n - k} \quad (2.43)$$

- II. Zaman serisi için lineer regresyon modeli Eşitlik 2.44'teki gibi oluşturulur. Eşitlikte, y zaman bağlı değişen bağımlı değişkeni, x bağımsız değişkeni, a_1 regresyon doğrusunun eğimini, a_0 ise kesişim sabitini ifade etmektedir.

$$y = a_0 + a_1x \quad (2.44)$$

- III. Oluşturulan lineer regresyon modelinden elde edilen veriler kullanılarak seriden suni trend eğim değeri Eşitlik 2.45'teki gibi çıkarılır ve yeniden otokorelasyon katsayısı hesaplanır (r_1).

$$y'_i = y_i - a_1 x_i \quad (2.45)$$

- IV. Suni trend eğim etkisinin çıkarıldığı seriden, Eşitlik 2.46 kullanılarak içsel bağımlılık etkisi giderilir.

$$y''_i = y'_i - r_1 y'_{i-1} \quad (2.46)$$

- V. Elde edilen yeni zaman serisine eğim değeri tekrar eklenerek, içsel bağımlılık etkisinden arındırılmış seri Eşitlik 2.47'deki gibi elde edilmiş olur.

$$y'''_i = y''_i - a_1 x_i \quad (2.47)$$

İçsel bağımlılık etkisinden arındırılmış yeni zaman serisi içsel bağımlılığın suni trend etkisini taşımadığından Mann-Kendall Trend Analiz sonuçları gerçek trend değerini ifade edecektir (Yue vd., 2002, Wu vd., 2008).

2.7.4. Mann-Kendall Trend Analizi

Mann-Kendall yöntemi zaman serisinde herhangi bir yönde eğilim (trend) olup olmadığını araştırmak için kullanılan, parametrik olmayan bir yöntemdir (Mann, 1945, Kendall, 1975). Yöntem parametrik bir yöntem olmadığından esnek çalışabilmektedir ayrıca zaman serisinin dağılımından bağımsız olarak uygulanabilmektedir. Mann-Kendall Trend Analizi, WMO'nun hidroloji ve klimatoloji gibi alanlarda elde edilmiş zaman serilerinin trendlerinin belirlenmesi için önerdiği ve çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Beşel ve Kayıkçı, 2019).

Mann-Kendall Trend Analizi (MK) yönteminde zaman serisinde eğilim araştırması hipotez testi ile yapılmaktadır. MK başlangıçta iki hipotez oluşturarak başlamaktadır. Bu hipotezlerden H_0 hipotezi; bir n elemanlı zaman serisini oluşturan gözlem verilerinin $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ zamandan bağımsız, benzer dağılımlı ve rastgele değişkenler olduğudur.

Diğer hipotez olan H_1 hipotezi; zaman serisinde birbirinden farklı sıralardan seçilen elemanların dağılımının benzer olmadığı olarak ifade edilebilmektedir. MK'ya ait işlem adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- I. Zaman serisinde Mann-Kendall test değeri (S) Eşitlik 2.48'deki gibi hesaplanır. Eşitlikte; n zaman serisinin eleman sayısı, sgn işaret fonksiyonudur. Buradaki test, x_k ($k = 1, 2, 3, \dots, n - 1$) seti ve x_j ($j = i + 1, \dots, n$) setine olmak üzere aynı zaman serisinden türetilen iki veri setine uygulanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad (2.48)$$

- II. sgn fonksiyonunun değeri, x_k ve x_j verilerine bağlı olarak Eşitlik 2.49'daki gibi belirlenir.

$$sgn(x_j - x_k) = \begin{cases} 1; & (x_j > x_k) \\ 0; & (x_j = x_k) \\ -1; & (x_j < x_k) \end{cases} \quad (2.49)$$

- III. Hesaplanan S değerinin varyansı Eşitlik 2.50'deki gibi, eğer zaman serisi içerisinde aynı değerler mevcut ise S değerinin varyansı Eşitlik 2.51'deki gibi hesaplanmaktadır. Eşitliklerde; k zaman serisindeki bağıl grupların sayısını, t_i , i uzunluğundaki bir seride bağılı gözlemleri ifade etmektedir.

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (2.50)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^k t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2.51)$$

- IV. Bu adımda standartlaştırılmış Mann-Kendall (Z) istatistiği, Eşitlik 2.52'ye göre incelenmektedir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}; (S > 0) \\ 0; (S = 0) \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}; (x_j < x_k) \end{cases} \quad (2.52)$$

V. Son adımda %95 güven aralığında ($Z_{1-\alpha/2}$) bulunan değer, Z_{tablo} değeri olarak adlandırılacak olup, bu Z_{tablo} değeri Mann-Kendall test değeri Z ile karşılaştırılır. Eğer $|Z| < Z_{tablo}$ ise H_0 hipotezi kabul edilir ancak $|Z| > Z_{tablo}$ ise H_0 hipotezi reddedilir ve bu durumda zaman serisinde trend olduğu sonucuna varılmış olur.

I. Adımda hesaplanan S değeri sıfırdan büyük ise artan yönde bir trend olduğu, S değeri sıfırdan küçükse azalan yönde trend olduğuna karar verilir (Mann, 1945, Kendall, 1975, Beşel ve Kayıkçı, 2019).

2.7.5. Sen'in Eğim Testi

Yöntem Sen (1968) tarafından, zaman serisinde trend eğimi belirlemek üzere geliştirilmiştir. Yöntem parametrik olmayan bir yapıya sahip olduğundan esnek ve zaman serisinin dağılımından bağımsız olarak hesaplama yapabilmektedir.

Sen'in Eğim Testi kullanılarak trend belirlemek için, n elemanlı bir zaman serisinde, j ve k , $j > k$ olmak üzere x_j ve x_k zaman serisinin elemanlarıdır. N serideki veri çifti olup Eşitlik 2.53 kullanılarak zaman serisinin toplam eleman sayısına göre hesaplanmaktadır.

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.53)$$

Veri çiftlerinin sayısı kadar bulunacak verilerin zamansal sıra bileşeni Q_i Eşitlik 12'ye göre hesaplanarak küçükten büyüğe doğru sıralanır. Hesaplanan Q_i verilerinin sıralanmasıyla oluşturulan yeni serinin medyanı Q_{med} düzenlenmemiş zaman serisinin trend eğiminin belirlenmesi için kullanılır. Q_{med} değeri sıfırdan uzaklaştıkça trend eğiminin o yönde yükseldiği, sıfıra yakınsadıkça trendin o yönde azaldığı, Q_{med} değeri pozitif ise artan yönde, negatif ise azalan yönde trend eğimi olduğu çıkarımı yapılır. Q_{med} değeri Eşitlik 2.54'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_{med} = \begin{cases} N \text{ tek ise,} & Q_{[\frac{N+1}{2}]} \\ N \text{ çift ise,} & \frac{Q_{[\frac{N}{2}]} + Q_{[\frac{N+2}{2}]}}{2} \end{cases} \quad (2.54)$$

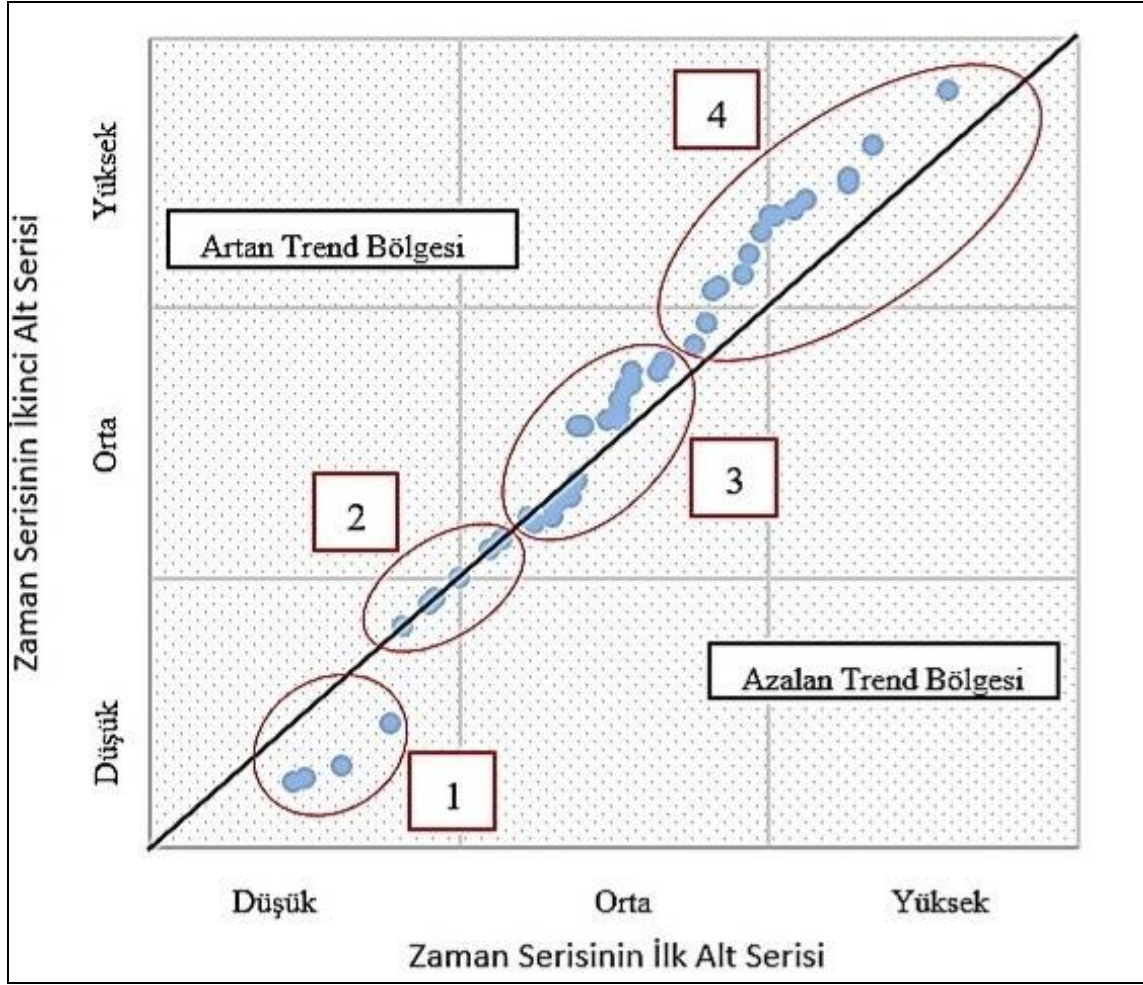
2.7.6. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi

Yenilikçi Eğilim Yöntemi zaman serisinin trendinin belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Yenilikçi eğilim yöntemi ön kabuller veya varsayımlar içermemektedir. Yöntem ile trend araştırması yapılacak zaman serisinin içsel bağımlılığı, veri setinde bulunan eleman sayısına ve veri setinin dağılımına bakılmaksızın uygulanabilmektedir (Şen, 2012).

Yöntem uygulama bakımından grafiksel bir yöntemdir. Yöntemin uygulanışı sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- I. Başlangıçtan itibaren sabit zaman periyoduna göre kronolojik olarak sıralanmış doğal zaman serisi, orta noktasından iki eşit alt seriye ayrılır. Ayrılan bu iki alt seri küçükten büyüğe doğru sıralanır.
- II. Kartezyen koordinat düzleminde x eksenine 1. Alt seri, y eksenine 2. Alt seri yerleştirilir.
- III. Kartezyen koordinat düzleminde, eksen kesişim noktasından başlayacak şekilde, 45° açıyla bir referans doğrusu çizilir.
- IV. Eksenlerde çakıştırılan verilerin kesişim noktalarının 45° doğrusuna göre konumu zaman serisinin trendi hakkında bilgi vermektedir.

Eğer veriler 45° doğrusu üzerinde veya çok yakınında kesişmiş ise zaman serisinde trend olmadığı veya çok düşük eğilimin olduğu düşünülür. Verilerin kesişimleri diyagonal üstünde bulunmuyor ve değerler büyüdükçe veya küçüldükçe çizgiden uzaklaşıyorsa trendin varlığı ve artan veya azalan olduğu anlaşılır (Şen, 2012). Şekil 2.10'da verilen grafik üzerinde farklı durumlara göre veri setinin trend incelemesi görülmektedir. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nde veri kesişimlerinin 45° eğime sahip diyagonal çizgiye yakınlığına göre trend varlığının mertebesi değerlendirilebilmektedir. Kesişimler diyagonal çizgiye yakınsa zayıf trend, çizgiden uzaksa güçlü trend varlığından söz edilebilmektedir (Avşaroğlu vd., 2021).



Şekil 2.10. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi trend varlığı değerlendirmesi

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi'nde alt serilerdeki veriler değerlerine göre, düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç kısımda incelenmektedir. Verilerin kesişiminin 45°'lik diyagonal çizgisine göre konumları serideki trend varlığının belirlenmesi hususunda kullanılmaktadır. Kesişim noktaları diyagonal çizgisinin altında yer alıyorsa azalan, üzerinde yer alıyorsa artan trend varlığından söz edilebilir. Kesişim noktaları diyagonal çizgisinden uzaklaştıkça trend varlığının güçlü olduğu değerlendirilmesi yapılmaktadır (Avşaroğlu vd., 2021). Şekil 2.10'da görülen 1 numaralı grup "Güçlü Azalan Trend", 2 numaralı grup "Trend Yok", 3 numaralı grup "Zayıf Azalan ve Zayıf Artan Trend" ve 4 numaralı grup "Güçlü Artan Trend" olarak değerlendirilmektedir.

2.8. Küresel Dolaşım Modelleri

İklim değişikliğinin incelendiği çalışmalarda, projeksiyon verileri, küresel ölçekte yeryüzü iklimini atmosfer, okyanuslar ve canlı aktiviteleri gibi temel faktörler esas alınarak geliştirilen küresel dolaşım modellerinden elde edilmektedir. Küresel dolaşım modelleri bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli değişim göstermektedir. İlk modellerde sadece atmosferik olaylar ve gözlemlenebilir parametrelere göre çıkarımlar yapılmış ve bu çıkarımlar neticesinde modelin gerçek iklimsel değişimlere yakınsama düzeyi düşük olmuş ve modeller geniş bölgelerde çalıştırılamamıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte artan gözlem imkanları sonucunda erişilebilen parametrelerin artışı ve bu parametreleri toplu olarak depolama ve işleme gücüne sahip bilgisayar sistemlerinin varlığı ile küresel dolaşım modelleri gerçek değişimlere daha yakın sonuçlar üretebilir hale gelmiştir. Bilgisayarların güçlerinin artışı ile küresel dolaşım modelleri tasarlanırken kara yüzeyi, okyanuslar, deniz buzları, sülfat, aerosoller, karbon çevrimi, dinamik bitki örtüsü ve atmosferin kimyası gibi parametreler girdi verisi olarak kullanılmakta ve geliştirilen modellerin çözünürlüğü ve doğruluğu geliştirilmektedir (Demircan, 2019). Küresel dolaşım modelleri farklı küresel araştırma merkezleri tarafından farklı parametreler ile kalibre edilerek geliştirilmektedir. Modeller yeryüzünü, kenarları 110-200 km arasında değişen kareler ile ayırmakta ve grid adı verilen bu yapının tüm açıklıkları için veriler elde etmektedir. Elde edilen bu veriler analiz yapılacak bölgelere dinamik veya istatistiksel ölçek indirgeme metotları kullanılarak indirgenebilmektedir. Çalışmada Mİ alanlarına indirgenmiş GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR model verileri kullanılmıştır.

GFDL karbon ve su gibi maddelerin çevrimini ve insan aktivitelerinin iklim üzerindeki etkilerini bir arada incelemek üzere Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Model, birleştirilmiş atmosfer ve okyanus çevrimi ile birlikte atmosferdeki kimyasal bileşenleri de (CO_2 , SO_4 , Aerosoller vb.) içermektedir. Model bitki biyolojisi, yüzey fiziği ve hidrolojisi, okyanus ekolojisi ve biyojeokimyası, okyanus çevrimi ve deniz buzulları konfigürasyonu ile geliştirilmiştir (Gürkan vd., 2016).

HadGEM İngiltere Meteoroloji Servisi'nin bir araştırma kuruluşu olan Hadley Centre tarafından geliştirilmiştir. HadGEM diğer iklimsel modeller gibi çok sayıda parametrenin etkisini barındırmaktadır. HadGEM2 serisi iklim modelleri atmosfer ve okyanus çevrimi,

dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi ve atmosfer kimyasının da bulunduğu yer-sistem yapılandırmasını içermektedir (MGM, 2015).

MPI Max Plank Enstitüsü tarafından Almanya’da geliştirilmiştir. Modelde enerji, momentum, su ve karbondioksit alışverişi yoluyla atmosfer, okyanus ve kara yüzeyinin etkileri birleştirilerek ortak değerlendirme imkanı bulunmuştur. MPI modelleri atmosfer, karasal biyosfer ve okyanusun biyojeokimyası bileşenlerine dayanmaktadır (MGM, 2015).

2.9. Temsili Konsantrasyon Rotaları

Temsili Konsantrasyon Rotaları IPCC tarafından değerlendirildikten sonra iklim değişikliği konularında yapılacak araştırmalarda kullanılması için benimsenen sera gazı konsantrasyon miktarlarını ifade etmektedir. IPCC 5. Değerlendirme Raporu (AR5) içeriğinde iklim araştırmaları için dört farklı konsantrasyon senaryosu kullanmıştır. Bu senaryolar gelecek yıllarda salınması planlanan sera gazlarının miktarına göre farklı özellikler içermektedir. Konsantrasyon senaryolarına ilişkin detaylar Tablo 2.4’te görülmektedir. Çalışmada RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları tercih edilmiştir. Tablo 2.4’teki veriler incelendiğinde, RCP8.5 senaryosunda 2100 yılına kadar olan radyatif zorlamanın 8,5 W/m² değerinden büyük olması ve CO₂ konsantrasyon değerinin 1370 ppm seviyelerinde olması beklenmektedir. RCP8.5 senaryosu diğer tüm senaryolara göre bir üst sınır oluşturmaktadır. RCP4.5 konsantrasyon senaryosunda ise 2100 yılına kadar radyatif zorlamanın 4,5 W/m² mertebesinde, CO₂ konsantrasyonun ise 650 ppm civarında olması beklenmektedir (MGM, 2015). RCP4.5 konsantrasyon senaryosu RCP8.5 senaryosuna göre radyatif zorlama değişiminde stabilizasyon olan en iyimser senaryo olduğundan, senaryolara arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar bulunabilecektir, ayrıca RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları küresel dolaşım modellerinde, en fazla tercih edilmiş senaryolardır (Gürkan vd., 2016).

Tablo 2.4. RCP tipleri ve detayları (MGM,2015)

RCP	Radyatif Zorlama (W/m²)	Zaman	Radyatif Zorlama Değişimi	2100'de Toplam Konsantrasyon (CO₂ eşdeğer)	Konsantrasyonlar (KYOTO Protokolü sera gazları)
RCP8.5	>8,5	2100'de	Yükselme	~1370 ppm	2100'e kadar artış devam ediyor
RCP6.0	~6,0	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~850 ppm	21. yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP4.5	~4,5	2100 öncesi	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~650 ppm	21. yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP2.5	~3,0	2100 öncesi	3,0 W/m ² 'e ulaşmadan zirve ve düşüş	Zirve ~490 ppm ve düşüş	21. yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Thiessen Çokgenleri Analizi

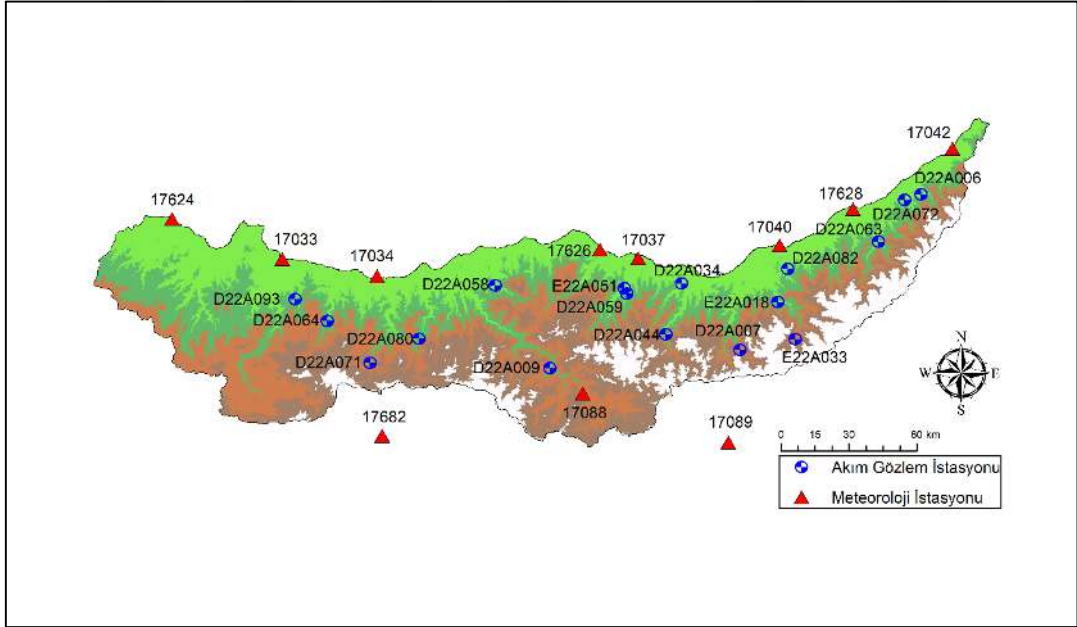
Analizin gerçekleşmesi için, Doğu Karadeniz Havzası'nın sayısal model olarak CBS yazılımı içerisine aktarılması gerekmektedir. Bu nedenle açık kaynak olan LANDSAT uydu görüntüleri kullanarak havza şekline uygun uydu görüntüleri parçalar halinde indirilerek mozaik haline getirilmiş ve birleştirilmiştir. Birleştirilen uydu görüntüleri işlenerek, Doğu Karadeniz Havzası SYM oluşturulmuştur. Hidrolojik analizler kullanarak havzada; su akış çizgileri ve yönleri, su toplama alanları ve su ayırım çizgileri belirlenmiştir ve elde edilen verilere kullanarak alt havzalar oluşturulmuştur. Doğu Karadeniz Havzası'na ait SYM sınırlarının gösterildiği görsel Şekil 3.1'de görülmektedir.

SYM  zerine MGM'den koordinatları alınan 11 M  verileri işlenmiş ve Google Earth programı yardımıyla görsel kontrolleri sağlanmıştır. Hatalı çıkan yerlerde Google Earth üzerinden pinleme işlemi yapılmış ve buradaki pin, CBS yazılımına aktararak koordinatların doğruluğu sağlanmıştır. Benzer işlemler 17 AG  için, DSÖ'den koordinat verileri alınmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. AG 'ler için önceki düzeltme işlemlerine ek olarak CBS yazılımı ile tespit edilen akım çizgileri kullanılmış ve ek bir kontrol daha gerçekleştirilerek olası koordinat sapmaları düzeltilmiştir. 11 M  ve 17 AG 'nin havza SYM  zerine aktarılmış görüntüleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Çalışmada akış tahmin modelleri için analizler akış ölçümlerinin kaydedildiği AG  konumlarında yapılacağından hidrometeorolojik gözlem verileri, AG 'ler tarafından temsil edilen bölgelere aktarılmalıdır. M 'ler ve AG 'lerin temsil ettiği alanların olduğu haritalar kullanarak aktarım sağlanmıştır. Bu haritalar çakıştırılmış ve kesişen alanlar hesaplanmıştır. Bu alanların toplam alanlara oranlanması ile AG  tarafından temsil edilen alanlarda M  verilerinin ağırlıkları bulunmuş veri setleri oluşturulmuştur. AG  ve M 'lerin temsil ettikleri alanların üst üste bindirilmesi ile oluşturulmuş kesişim haritası Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

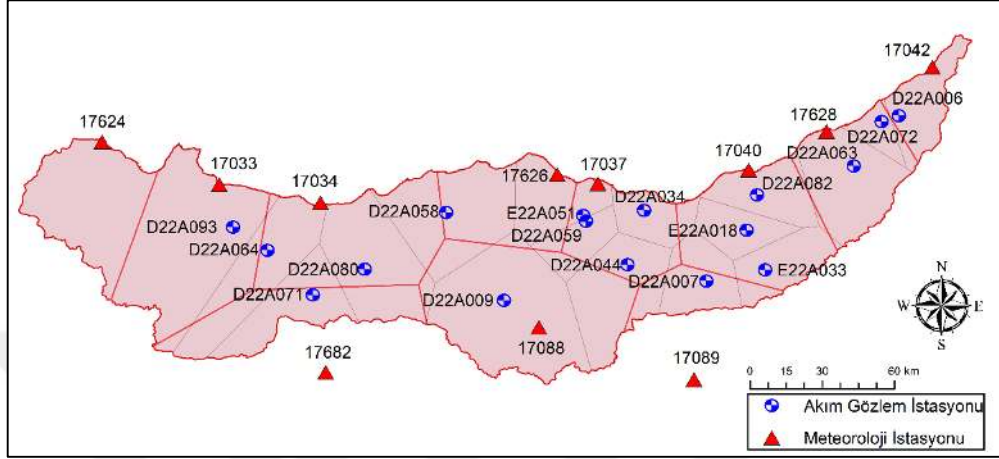


Şekil 3.1. Doğu Karadeniz Havzası sayısal yükseklik modeli sınırları



Şekil 3.2. Kullanılan gözlem istasyonları

Thiessen analizi sonrasında; AGİ alanları için Mİ verilerinin ağırlık değerleri Tablo 3.1’de görülmektedir. Tabloda görülen ağırlık değerleri (%) ile hidrometeorolojik gözlem verileri çarpılarak veri setleri elde edilmiştir.



Şekil 3.3. AGİ-Mİ Thiessen alanlarının kesişimi

Tablo 3.1. Hidrometeorolojik verilerin ağırlık değerleri

İstasyon No	İstasyon Adı	17034	17037	17040	17088	17089	17042	17626	17628	17682	17033	17624
E22A018	İYİDERE		100									
E22A033	TOZKÖY DERESİ		83									
E22A051	DEĞİRMENDERE	25						75				
D22A006	KÖPRÜBAŞI						92		8			
D22A007	ŞERAH	4		32		64						
D22A009	TORUL				98			2				
D22A034	FINDIKLI	81		19								
D22A044	AYTAŞ	32			55	13		51				
D22A058	CÜCENKÖPRÜ	36			13			15				
D22A059	ÇİFTDERE	61			24							
D22A063	MİKRONKÖPRÜ								100			
D22A064	KOVANLIK	48							29	23		
D22A071	İKİSU	25							75			
D22A072	ARILI						2		98			
D22A080	SINIRKÖY	70			4					26		
D22A082	KÖMÜRCÜLER			100								
D22A093	CUMHURİYET KÖYÜ TURNASUYU							58			42	

 %1-25
 %25-50
 %50-75
 %75-99
 %100-100

3.2. Havzadaki HES ve Su Yapılarının İncelenmesi

Akarsu akışını oluşturan ilişkiler, doğal olarak gerçekleşmekte olan hidrolojik çevrim sürecinin parçalarından birisidir. Akarsu akışı tahmin modellemeleri aynı hidrolojik çevrim esasında olduğu gibi girdiler ve bu girdilere karşı elde edilen çıktılarından oluşmaktadır. Yağış veya akış rejiminde atmosferik etkiler, iklimsel etkiler gibi doğal etkenler dışında kalan diğer insan yapımı etkiler verilerin doğal dengesini değiştirdiğinden yağış-akış dengesini bozmaktadır. Akarsu akışının doğal koşullarda incelenmesi için bu sebepler göz önünde bulundurularak, belirlenebilir yapay etkilerin oluşmadığı zaman aralıklarında yapılmalıdır.

Çalışmanın yapıldığı havzada yapımı bitmiş veya devam eden çok sayıda su yapısı bulunmaktadır. Doğal akarsu akış prosesinin araştırılması amacıyla havzadaki su yapılarının inşaaat başlama tarihleri ve işletmeye alındığı tarihler detaylı olarak incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda elde edilen bulgulara göre veri setleri düzenlenmiştir. Veri setlerinin düzenlenmesi için ilk kural su yapılarından etkilenmeyeceği yılda veri setinin sonlanması, ikinci kural ise en uzun ve sürekli veri aralığının kullanılması olarak belirlenmiştir. Yapılan incelemeler Tablo 3.2’de ve analizlere göre veri aralıkları Tablo 3.3’ te gösterilmiştir.

3.3. Verilerin Temel İstatistiksel Analizleri

Doğu Karadeniz Havzası’na ait günlük ortalama akımlar, üç tanesi Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından işletilmiş ve DSİ’ye devredilmiş ve DSİ tarafından kurulmuş ve işletilen 17 AGİ verilerinden elde edilmiştir. Verilerin genel karakteristiğinin belirlenebilmesi amacıyla yapılan temel istatistiksel analiz sonuçları Tablo 3.4’te gösterilmiştir.

Analiz yapılacak alanlar için kullanılacak günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık verilerinin hazırlanması için ölçümlerin yapıldığı Mİ verilerinin alan için ağırlık değerleri Thiessen Çokgenleri oluşturularak hesaplanmıştır. Bu ağırlık değerlerinin ham veri ile çarpılması ile analiz gruplarındaki günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık veri setleri oluşturulmuş olup ilgili veri setlerinin incelemeleri Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da görülmektedir.

Tablo 3.2. Doğu Karadeniz Havzası hidroelektrik santral ve su yapıları incelemesi

İl	Akarsu	İşletmeye Açılış Yılı*	En Erken Tarih
Rize	İyidere	2014	2010
	Tozköy	-	
	Abuçağlayan	-	
	Hala	-	
	Arılı	-	
	Salarha	-	
	Şenöz	2010	
Trabzon	Değirmendere	2013	2008
	Haldizen	-	
	Yanbolu	2010, 2015	
	Kara dere	2008, 2013	
	Solaklı	2012, 2012, 2013, 2015	
	Sürmene	-	
	Kalyon	-	
Giresun	Görele	-	2008
	Pazarsuyu	2011	
	Aksu	2008, 2012, 2014, 2014, 2015, 2016	
	Yağlıdere	2011, 2012, 2012, 2014	
	Gelevera	2015	
Ordu	Melet	2009, 2013, 2013, 2016	2009
	Turnasuyu	-	
Gümüşhane	Harşit	2008, 2014	2008

*Akarsu üzerindeki tesisin işletmeye alındığı tarihleri göstermektedir, virgül ile ayrılmış her tarih farklı bir tesisin işletmeye açıldığı tarihi ifade etmektedir.

-İlgili akarsu üzerinde su yapısı bulunmuyor veya tespit edilememiş.

Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları ve istasyonların akış veri setlerine ilişkin bilgiler

Veri Grubu	İşleten Kurum	Kod	Bulunduğu Akarsu	İl	Veri Seti	
					Başlangıç Yılı	Bitiş Yılı
VG 1	EİE	2218	İyidere	Rize	1999	2008
VG 2	EİE	2233	Tozköy Deresi	Rize	2001	2010
VG 3	EİE	2251	Değirmendere	Trabzon	2000	2009
VG 4	DSİ	22-06	Abuçağlayan Deresi	Rize	1996	2005
VG 5	DSİ	22-07	Haldizen Deresi	Trabzon	1999	2007
VG 6	DSİ	22-09	Harşit Çayı	Gümüşhane	1998	2006
VG 7	DSİ	22-34	Yanbolu Deresi	Trabzon	1997	2003
VG 8	DSİ	22-44	Kara Dere	Trabzon	1999	2005
VG 9	DSİ	22-58	Görele Deresi	Giresun	2007	2011
VG 10	DSİ	22-59	Kalyon Deresi	Trabzon	1996	2005
VG 11	DSİ	22-63	Hala Deresi	Rize	1999	2008
VG 12	DSİ	22-64	Pazarsuyu Deresi	Giresun	1996	2005
VG 13	DSİ	22-71	Aksu Deresi	Giresun	1990	1999
VG 14	DSİ	22-72	Arılı Deresi	Rize	1995	2004
VG 15	DSİ	22-80	Yağlı Dere	Giresun	1998	2007
VG 16	DSİ	22-82	Salarha Deresi	Rize	2006	2015
VG 17	DSİ	22-93	Turnasuyu Deresi	Ordu	2006	2015

Tablo 3.4. Tarihsel günlük akarsu akışı analiz setlerine ait temel istatistikî bulgular

Analiz Grubu	VG 1	VG 2	VG 3	VG 4	VG 5	VG 6	VG 7	VG 8	VG 9
$\bar{x}$	26,70	7,27	11,57	8,69	3,88	17,23	4,55	7,14	4,95
σ	21,73	8,33	13,26	6,61	4,35	24,13	4,44	9,86	6,02
x_{mod}	11,20	2,52	3,79	2,88	1,04	2,50	3,00	1,43	0,63
x_{maks}	214,00	59,50	101,00	57,40	35,10	167,00	39,00	85,80	68,70
x_{min}	7,40	1,00	1,67	0,97	0,42	1,04	0,44	0,53	0,21
C_s	2,00	2,12	2,36	1,94	2,31	2,29	2,53	2,07	3,44
C_k	5,67	4,48	6,56	5,36	6,99	5,37	9,99	4,51	19,47
Analiz Grubu	VG 10	VG 11	VG 12	VG 13	VG 14	VG 15	VG 16	VG 17	
$\bar{x}$	2,58	12,01	10,33	7,15	6,23	6,85	3,79	5,04	
σ	2,77	9,01	13,41	7,82	6,28	8,72	4,04	6,68	
x_{mod}	0,76	4,88	4,44	1,68	2,83	2,80	1,40	0,72	
x_{maks}	34,00	107,00	161,00	52,30	133,00	126,00	120,00	94,00	
x_{min}	0,30	2,37	0,47	0,95	1,11	0,60	0,13	0,08	
C_s	2,86	2,01	3,58	1,96	5,38	3,52	9,53	3,90	
C_k	13,34	7,24	20,40	4,07	64,06	20,63	209,10	26,77	

$\bar{x}$: aritmetik ortalama (m^3/s); σ : standart sapma (m^3/s); x_{mod} :serinin modu; x_{maks} : serinin maksimum değeri; x_{min} : serinin minimum değeri; C_s : çarpıklık; C_k : basıklık.

Tablo 3.5. Tarihsel günlük toplam yağış analiz setlerine ait temel istatistik bulgular

Analiz Grubu	VG 1	VG 2	VG 3	VG 4	VG 5	VG 6	VG 7	VG 8	VG 9
$\bar{x}$	6,47	5,66	2,12	6,20	2,09	1,35	2,52	1,65	2,26
σ	13,91	12,27	5,62	13,68	4,06	3,73	6,45	3,65	5,29
x_{mod}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{maks}	109,50	138,12	75,93	138,89	39,87	48,71	86,40	38,68	63,86
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C_s	3,22	3,58	5,09	3,75	3,13	5,35	4,65	3,99	4,59
C_k	12,19	17,08	37,31	18,72	13,34	41,47	31,25	22,00	31,98
Analiz Grubu	VG 10	VG 11	VG 12	VG 13	VG 14	VG 15	VG 16	VG 17	
$\bar{x}$	2,12	6,24	3,03	2,05	5,95	2,90	6,40	3,00	
σ	5,00	14,57	6,64	4,31	13,78	6,45	14,67	7,78	
x_{mod}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
x_{maks}	53,17	186,20	67,05	36,55	144,45	66,82	226,60	122,85	
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
C_s	4,09	4,27	3,77	3,36	4,03	3,85	4,42	5,12	
C_k	21,68	26,13	18,44	13,91	21,83	19,68	31,62	39,27	

$\bar{x}$: aritmetik ortalama (mm); σ : standart sapma (mm); x_{mod} :serinin modu; x_{maks} : serinin maksimum değeri; x_{min} : serinin minimum değeri; C_s : çarpıklık; C_k : basıklık.

Tablo 3.6. Tarihsel günlük ortalama sıcaklık analiz setlerine ait temel istatistik bulgular

Analiz Grubu	VG 1	VG 2	VG 3	VG 4	VG 5	VG 6	VG 7	VG 8	VG 9
$\bar{x}$	14,94	13,84	14,91	14,63	8,42	9,59	15,14	10,82	14,86
σ	7,02	7,36	6,80	7,06	9,26	8,54	6,88	7,98	6,83
x_{mod}	8,90	21,45	11,45	18,49	2,87	12,81	9,30	19,31	22,03
x_{maks}	28,80	28,29	28,15	30,76	27,37	28,65	29,80	28,40	28,17
x_{min}	-0,40	-3,39	-0,50	-2,11	-16,66	-15,87	-0,10	-11,18	-2,16
C_s	-0,02	-0,07	-0,03	-0,16	-0,23	-0,19	-0,06	-0,16	0,01
C_k	-1,17	-1,11	-1,15	-0,95	-0,93	-0,90	-1,08	-0,95	-1,15
Analiz Grubu	VG 10	VG 11	VG 12	VG 13	VG 14	VG 15	VG 16	VG 17	
$\bar{x}$	13,55	13,74	13,88	10,19	13,63	13,13	15,31	15,42	
σ	7,02	6,79	6,98	8,36	6,62	7,29	7,01	6,85	
x_{mod}	4,50	13,20	15,32	17,35	13,60	21,14	22,00	8,00	
x_{maks}	28,27	27,70	27,96	27,43	27,72	28,06	29,30	28,91	
x_{min}	-4,13	-2,50	-2,92	-10,90	-1,71	-4,82	-0,50	-1,11	
C_s	-0,07	-0,09	-0,09	-0,23	-0,10	-0,09	-0,01	-0,02	
C_k	-1,08	-1,08	-1,05	-0,95	-1,07	-1,06	-1,17	-1,14	

$\bar{x}$: aritmetik ortalama ($^{\circ}\text{C}$); σ : standart sapma ($^{\circ}\text{C}$); x_{mod} :serinin modu; x_{maks} : serinin maksimum değeri; x_{min} : serinin minimum değeri; C_s : çarpıklık; C_k : basıklık.

3.4. Homojenlik Analizleri

Çalışmada kullanılan tarihsel veriler uzun yıllar kaydedilmiş günlük gözlem verilerinden oluştuğu için yapay etkenler tarafından etkilenmiş olma ihtimali yüksektir. Çalışmada kullanılacak uzun veri setlerinin homojenliğinin sınanması akış tahmin modellerinin çıktılarının güvenilir olması açısından önemli bir husustur. Çalışmada homojenlik analizleri sırasıyla; Buishand's Test, Pettitt's Test, Standard Normal Homogeneity Test ve von Neumann Ratio Test olmak üzere dört farklı yöntem ile kıyaslanmıştır. Bu dört yöntem literatürde yapılmış ve gelecekte yapılacak çalışmalar ile kıyaslanabilirliğin sağlanması açısından seçilmiştir.

Çalışmada günlük veriler ve uzun tarih aralıkları seçildiğinden veri setleri çok fazla elemandan oluşmaktadır. Literatürde benzer durumlarda homojenlik analizlerinin yapılabilmesi için önerilmiş farklı çözümler bulunmaktadır. Yaygın çözümlerden biri, mevcut günlük veri setlerinin, ana kütleyi temsil edecek küçük seriye dönüştürülmesidir (Kang ve Yusof, 2012). Literatürde yapılan inceleme neticesinde ana kütleyi temsil etmesi için oluşturulan yeni serilerin günlük verilerden yıllık ortalamalar hesaplanması şeklinde oluşturulduğu görülmüştür. Ancak yıllık ortalama değerlerin yıl içerisindeki bozulmalara karşı toleransının yüksek olması nedeniyle yıllık ortalamalar ile serilerin homojenliğinin incelenmesi yüzeysel sonuçlar üretecektir. Ayrıca yıllık ortalama değerlerin aylık zaman periyotlarında yaşanmış olan etkileri açıklayamayacak olması düşünüldükçe; çalışmada günlük veri setlerinin aylık ortalama, aylık medyan ve aylık maksimumları bulunmuş ve alt veri setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan alt seriler yardımıyla ana kütlenin %95 güven aralığında homojenlikleri incelenmiştir. Akış, yağış ve sıcaklık verilerine ait homojenlik analizi sonuçları sırasıyla, Tablo 3.7, Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Çalışmada kullanılan akış verileri için homojenlik incelemesi

İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum	İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum
E22A018	BT 9,882	BT 9,921	BT 9,84	D22A058	BT 7,81	BT 6,165	BT 8,691
	PT 557	PT 541	PT 555		PT 170	PT 173	PT 140
	SNHT 2,11	SNHT 1,824	SNHT 2,692		SNHT 2,545	SNHT 3,528	SNHT 1,799
	VNRT 0,753	VNRT 0,796	VNRT 1,022		VNRT 1,465	VNRT 1,319	VNRT 1,889
E22A033	BT 9,553	BT 10,048	BT 9,538	D22A059	BT 13,77	BT 14,416	BT 14,002
	PT 728	PT 720	PT 719		PT 788	PT 698	PT 852
	SNHT 2,14	SNHT 2,375	SNHT 1,918		SNHT 6,348	SNHT 6,47	SNHT 14,23
	VNRT 0,769	VNRT 0,868	VNRT 0,705		VNRT 0,917	VNRT 0,848	VNRT 1,301
E22A051	BT 13,283	BT 11,973	BT 14,167	D22A063	BT 13,676	BT 14,544	BT 17,388
	PT 617	PT 489	PT 469		PT 598	PT 512	PT 1014
	SNHT 3,375	SNHT 2,276	SNHT 2,036		SNHT 3,903	SNHT 3,382	SNHT 8,23
	VNRT 1,06	VNRT 0,975	VNRT 1,064		VNRT 0,82	VNRT 0,798	VNRT 1,208
D22A006	BT 14,712	BT 12,704	BT 20,927	D22A064	BT 13,091	BT 11,735	BT 16,202
	PT 1091	PT 937	PT 1376		PT 741	PT 576	PT 931
	SNHT 7,192	SNHT 6,693	SNHT 15,186		SNHT 3,65	SNHT 2,689	SNHT 8,82
	VNRT 0,9	VNRT 0,826	VNRT 1,368		VNRT 1,07	VNRT 1,036	VNRT 1,304
D22A007	BT 11,639	BT 11,198	BT 13,985	D22A071	BT 10,001	BT 8,986	BT 12,76
	PT 719	PT 715	PT 701		PT 668	PT 670	PT 736
	SNHT 2,91	SNHT 2,695	SNHT 4,719		SNHT 2,521	SNHT 2,291	SNHT 4
	VNRT 0,885	VNRT 0,927	VNRT 1,006		VNRT 0,747	VNRT 0,762	VNRT 0,998
D22A009	BT 15,709	BT 15,38	BT 17,708	D22A072	BT 15,634	BT 16,721	BT 10,076
	PT 670	PT 628	PT 703		PT 622	PT 703	PT 595
	SNHT 4,833	SNHT 4,628	SNHT 7,102		SNHT 3,838	SNHT 3,542	SNHT 3,284
	VNRT 0,792	VNRT 0,849	VNRT 0,906		VNRT 1,211	VNRT 0,957	VNRT 1,765

Koyu punto ile yazılmış alanlar homojenlik olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.7'nin devamı.

İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum	İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum
D22A034	BT	8,178	BT	10,037	BT	9,698	
	PT	312	PT	373	PT	362	
	SNHT	3,048	SNHT	2,511	SNHT	4,503	D22A082
	VNRT	0,917	VNRT	0,84	VNRT	1,318	
D22A044	BT	10,503	BT	10,43	BT	11,355	
	PT	360	PT	370	PT	365	
	SNHT	3,115	SNHT	3,153	SNHT	4,179	D22A093
	VNRT	0,808	VNRT	0,845	VNRT	0,9	
D22A080	BT	18,115	BT	17,781	BT	14,196	
	PT	1246	PT	1307	PT	964	
	SNHT	9,37	SNHT	10,557	SNHT	3,876	
	VNRT	0,899	VNRT	0,921	VNRT	1,516	

Koyu punto ile yazılmış alanlar homojenlik olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.8. Çalışmada kullanılan yağış verileri için homojenlik incelemesi

İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum	İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum					
E22A018	BT	11,606	BT	8,562	BT	10,217	BT	10,321	BT	11,322		
	PT	689	PT	346	PT	436	PT	123	PT	153		
	SNHT	2,8	SNHT	1,877	SNHT	2,372	SNHT	1,792	SNHT	2,814		
	VNRT	1,301	VNRT	1,931	VNRT	1,455	VNRT	1,886	VNRT	1,447		
E22A033	BT	10,676	BT	8,434	BT	11,982	BT	7,727	BT	11,14		
	PT	607	PT	445	PT	470	PT	416	PT	700		
	SNHT	3,678	SNHT	3,663	SNHT	12,537	SNHT	3	SNHT	5,572	SNHT	4,635
	VNRT	1,546	VNRT	2,169	VNRT	1,375	VNRT	1,674	VNRT	1,893	VNRT	1,696
E22A051	BT	8,754	BT	11,594	BT	12,069	BT	10,72	BT	12,888	BT	12,217
	PT	358	PT	443	PT	490	PT	503	PT	1035	PT	423
	SNHT	7,291	SNHT	42,539	SNHT	18,502	SNHT	2,442	SNHT	2,507	SNHT	2,856
	VNRT	1,345	VNRT	1,743	VNRT	1,119	VNRT	1,492	VNRT	1,876	VNRT	1,389
D22A006	BT	8,715	BT	8,117	BT	14,72	BT	7,888	BT	14,77	BT	13,818
	PT	615	PT	576	PT	506	PT	458	PT	1030	PT	868
	SNHT	6,225	SNHT	1,536	SNHT	5,908	SNHT	2,547	SNHT	3,033	SNHT	5,253
	VNRT	1,368	VNRT	1,964	VNRT	1,161	VNRT	1,699	VNRT	1,896	VNRT	1,734
D22A007	BT	12,766	BT	7,319	BT	12,499	BT	9,35	BT	11,04	BT	9,4
	PT	606	PT	491	PT	560	PT	515	PT	653	PT	413
	SNHT	4,496	SNHT	1,763	SNHT	5,124	SNHT	5,206	SNHT	5,289	SNHT	4,734
	VNRT	1,573	VNRT	2,076	VNRT	1,597	VNRT	1,63	VNRT	1,779	VNRT	1,904
D22A009	BT	14,511	BT	9,729	BT	14,198	BT	11,839	BT	10,014	BT	16,27
	PT	432	PT	383	PT	637	PT	671	PT	937	PT	772
	SNHT	3,734	SNHT	4,147	SNHT	6,336	SNHT	4,699	SNHT	1,889	SNHT	5,183
	VNRT	1,319	VNRT	1,954	VNRT	1,847	VNRT	1,348	VNRT	1,702	VNRT	1,327

Koyu punto ile yazılmış alanlar homojenlik olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.8'in devamı.

İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum	İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum					
D22A034	BT	7,588	BT	10,804	BT	10,251	BT	13,389	BT	17,023	BT	11,252
	PT	216	PT	373	PT	329	PT	484	PT	812	PT	529
	SNHT	4,223	SNHT	17,367	SNHT	3,307	SNHT	6,32	SNHT	4,981	SNHT	2,261
	VNRT	1,576	VNRT	1,558	VNRT	1,725	VNRT	1,82	VNRT	1,885	VNRT	1,437
D22A044	BT	8,903	BT	8,973	BT	10,751	BT	8,701	BT	14,343	BT	9,87
	PT	235	PT	321	PT	373	PT	334	PT	506	PT	385
	SNHT	4,256	SNHT	2,765	SNHT	5,117	SNHT	4,301	SNHT	4,104	SNHT	2,651
	VNRT	1,622	VNRT	1,858	VNRT	1,904	VNRT	2,023	VNRT	1,96	VNRT	1,817
D22A080	BT	8,348	BT	12,965	BT	10,343						
	PT	441	PT	603	PT	587						
	SNHT	7,764	SNHT	5,094	SNHT	9,477						
	VNRT	1,577	VNRT	1,852	VNRT	1,799						

Koyu punto ile yazılmış alanlar homojenlik olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.9. Çalışmada kullanılan sıcaklık verileri için homojenlik incelemesi

İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum	İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum
E22A018	BT 8,15	BT 8,481	BT 7,568	D22A058	BT 6,867	BT 7,194	BT 7,706
	PT 351	PT 336	PT 387		PT 160	PT 177	PT 154
	SNHT 2,958	SNHT 3,201	SNHT 4,33		SNHT 4,533	SNHT 4,443	SNHT 5,615
	VNRT 0,33	VNRT 0,34	VNRT 0,502		VNRT 0,338	VNRT 0,339	VNRT 0,59
E22A033	BT 9,533	BT 9,375	BT 9,247	D22A059	BT 7,58	BT 7,974	BT 8,116
	PT 558	PT 496	PT 542		PT 415	PT 435	PT 446
	SNHT 4,369	SNHT 4,1	SNHT 3,763		SNHT 4,753	SNHT 4,992	SNHT 5,535
	VNRT 0,325	VNRT 0,334	VNRT 0,459		VNRT 0,327	VNRT 0,336	VNRT 0,581
E22A051	BT 8,112	BT 7,748	BT 7,475	D22A063	BT 9,118	BT 9,625	BT 7,866
	PT 454	PT 391	PT 399		PT 368	PT 364	PT 447
	SNHT 5,247	SNHT 5,865	SNHT 7,33		SNHT 2,791	SNHT 3,054	SNHT 3,727
	VNRT 2,05	VNRT 0,34	VNRT 0,598		VNRT 0,353	VNRT 0,355	VNRT 0,61
D22A006	BT 11,588	BT 12,25	BT 9,273	D22A064	BT 8,818	BT 9,242	BT 9,021
	PT 3,686	PT 442	PT 407		PT 468	PT 482	PT 425
	SNHT 6,027	SNHT 4,529	SNHT 1,861		SNHT 5,414	SNHT 5,743	SNHT 5,642
	VNRT 0,372	VNRT 0,371	VNRT 0,862		VNRT 0,335	VNRT 0,345	VNRT 0,595
D22A007	BT 7,117	BT 7,006	BT 6,956	D22A071	BT 8,877	BT 9,047	BT 8,621
	PT 268	PT 292	PT 288		PT 417	PT 431	PT 454
	SNHT 2,302	SNHT 2,557	SNHT 4,033		SNHT 4,457	SNHT 4,509	SNHT 5,18
	VNRT 0,335	VNRT 0,355	VNRT 0,369		VNRT 0,33	VNRT 0,356	VNRT 0,415
D22A009	BT 7,421	BT 7,555	BT 7,243	D22A072	BT 10,102	BT 10,232	BT 9,638
	PT 249	PT 251	PT 233		PT 419	PT 398	PT 415
	SNHT 5,59	SNHT 5,915	SNHT 5,243		SNHT 2,87	SNHT 2,966	SNHT 2,522
	VNRT 0,344	VNRT 0,361	VNRT 0,402		VNRT 0,338	VNRT 0,351	VNRT 0,546

Koyu punto ile yazılmış alanlar homojenlik olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.9'un devamı.

İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum	İstasyon No	Aylık Ortalama	Aylık Medyan	Aylık Maksimum				
D22A034	BT	8,269	BT	8,419	BT	7,772	BT	8,935			
	PT	278	PT	217	PT	454	PT	430			
	SNHT	6,177	SNHT	2,799	D22A082	SNHT	4,873	SNHT	4,255		
	VNRT	0,345	VNRT	0,357	VNRT	0,329	VNRT	0,336	VNRT	0,485	
D22A044	BT	6,76	BT	7,122	BT	8,571	BT	8,44	BT	9,789	
	PT	182	PT	184	PT	568	PT	572	PT	508	
	SNHT	2,661	SNHT	2,79	D22A093	SNHT	5,132	SNHT	5,366	SNHT	4,683
	VNRT	0,341	VNRT	0,352	VNRT	0,336	VNRT	0,339	VNRT	0,547	
D22A080	BT	7,874	BT	8,235	BT	9,21					
	PT	299	PT	312	PT	332					
	SNHT	5,748	SNHT	5,901	SNHT	6,466					
	VNRT	0,342	VNRT	0,36	VNRT	0,515					

Kovu punto ile vazırlmıs alanlar homojenlik olmadığını göstermektedir.

Koyu punto ile yazılmış alanlar homojenlik olmadığını göstermektedir.

Homojenlik analizleri ana kütleyi temsil eden üç alt seri ve bu serilere uygulanan dört farklı test ile tamamlanmıştır. Analizlerden elde edilen bulgular neticesinde her bir ana kütle için 12 farklı kriter oluşmuştur. Çok sayıda kriterin oluşması, çok yönlü değerlendirmeyi gerekli kılmış ve ana kütle homojenliğine skor değerlendirmesi yapılarak karar verilmiştir. Skor değerlendirmesi eşikleri Tablo 3.10’da görülmektedir.

Skor değerlendirmesi aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

- Ana kütleden oluşturulan ve ana kütleyi temsil ettiği varsayılan alt serilerin, kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçları, yöntemin kritik değeri ile kıyaslanır.
- Alt seriler; yöneme göre homojen kabul edilmişse 1 puan kazanır, homojen kabul edilmemişse puan yazılmaz.
- Alt serilerin kazanmış oldukları toplam puanlar aşağıdaki tabloya göre değerlendirilir ve ana kütlenin homojenlik durumuna karar verilir.

Tablo 3.10. Skor değerlendirme eşikleri

Önerme	Durum
$\sum S \geq 8$	Homojen
$5 \leq \sum S < 8$	Kullanılabilir
$\sum S < 5$	Şüpheli
$\sum S$: alt serinin toplam skoru	

Tablo 3.11’de tüm analiz setlerinde yapılan homojenlik değerlendirmeleri görülmektedir. Tabloda ana kütlelerin sembolleri; sırasıyla Q, P ve T gösterilmiş ve bu ana kütleleri temsil eden alt serilerin toplam skorları belirtilmiştir. Skor değerlendirmesi yönteminde anlatıldığı gibi yapılan değerlendirme neticesinde ana kütlelerin homojenlik durumlarına karar verilmiştir.

Tablo 3.11. Homojenlik değ erlendirmesi

Analiz Grubu	Q	Sonuç	P	Sonuç	T	Sonuç
VG 1	9	Homojen	9	Homojen	9	Homojen
VG 2	9	Homojen	9	Homojen	9	Homojen
VG 3	9	Homojen	8	Homojen	10	Homojen
VG 4	6	Kullanılabilir	10	Homojen	9	Homojen
VG 5	9	Homojen	10	Homojen	8	Homojen
VG 6	9	Homojen	11	Homojen	6	Kullanılabilir
VG 7	10	Homojen	9	Homojen	9	Homojen
VG 8	9	Homojen	11	Homojen	8	Homojen
VG 9	10	Homojen	11	Homojen	9	Homojen
VG 10	8	Homojen	10	Homojen	9	Homojen
VG 11	8	Homojen	10	Homojen	9	Homojen
VG 12	9	Homojen	12	Homojen	9	Homojen
VG 13	9	Homojen	11	Homojen	9	Homojen
VG 14	10	Homojen	10	Homojen	9	Homojen
VG 15	5	Kullanılabilir	11	Homojen	7	Kullanılabilir
VG 16	5	Kullanılabilir	11	Homojen	9	Homojen
VG 17	10	Homojen	11	Homojen	9	Homojen
Skor $\geq$ 8		Homojen				
5 $\leq$ Skor<8		Kullanılabilir				
Skor<5		��pheli				

3.5. Girdi Setlerinin Tasarlanması

Makine    renmesi gerçekleştiren yöntemler kullanılarak geliştirilecek akış tahmin modellerinde girdi setleri deneme-yanılma ile optimum performans elde edecek şekilde belirlenmektedir. Deneme-yanılma yöntemi, sonsuz c z m uzayında her zaman optimum c z me ulaşamamaktadır. Girdi değişkeni olarak kullanılacak parametrelerin sayısının artması, oluşabilecek kombinasyonları da arttırac ğından, kombinasyonların tamamının denenmesi, makine bağımlı olan bu modellerin eğitim ve tahmin sürelerini uzataca ğından mümkün olmamaktadır. Girdi setlerinin kısıtlı aralıkta denenmesi ile tahmin modeli tasarım süresinin kısaltılmaya c alı ılması da optimum c z me ulaşamama riskini arttırmaktadır.

Çalışma kapsamında, girdi setleri için kullanılması olası kombinasyonların hedef veri setini açıklama performansı EAY ve FS yöntemleri ile incelenmiştir. EAY ve FS yöntemlerinden elde edilen girdi seti çıktıları analizler için referans alınarak, en iyi model girdi setinin oluşturulması sırasında sürenin verimli kullanılması ve çözüm uzayından en iyi çözümün seçilebilmesi amaçlanmıştır. EAY ve FS yöntemlerinin uygulanmasına ait detaylar aşağıda verilmiştir.

Girdi değişkenlerinin makine öğrenmesi gerçekleştiren yöntemlerde kullanımı sırasında, algoritmalar tarafından belirli değerlerin ezberleme ve çıktı olarak sabit değerler üretme riskine karşın girdi değişkenlerine karşılık üretilen çıktı değerleri anlık olarak kontrol edilmiştir.

Girdi setlerinde kullanılacak olan P ve T gözlem setleri gün gecikmeli olarak incelenmiştir. Gün gecikmeleri en fazla yedi önceki gün olarak yapılmıştır (t-7). Literatürde yapılan benzer çalışmalar geriye doğru yapılacak fazla geciktirmelerin modellere olumlu etkisinin olmadığını belirtmişlerdir (Wang vd., 2006).

3.5.1. En İyi Alt Kümeler Yöntemi

Bu yöntemde basit regresyon analizleri ile değişkenler arasında ilişkiler kurularak Q_t değerini en iyi temsil eden girdi kombinasyonları araştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda P ve T gözlem veri setlerinden oluşturulan farklı gün gecikmeli setler kullanılarak oluşturulan kombinasyonlar, Mallow's C_p katsayılarına göre değerlendirilmiştir. Mallow's C_p katsayısının sıfıra yakınsadığı durumlar için denenen girdi setlerinin, hedef veri setini açıklama performansı yüksek olarak değerlendirilmiştir. Veri gruplarına göre yapılan değerlendirmelerde, en başarılı üç kombinasyon seçilerek tabloda gösterilmiştir (Tablo 3.12).

Tablolar incelendiğinde; Q_t akış değerini tahmin etmek için değerlendirilen gün gecikmeli serilerden, modeller içinde en çok etkiye sahip olanlar yağış verileri olmuştur. Yağış verilerinde tahmin edilecek gün en etkin olarak belirlenmiştir. Modelde tahmini yapılacak günden yedi gün önceki sıcaklık seti en etkin olarak belirlenirken, tahmin yapılacak güne ait sıcaklık serisinin performans konusunda ikinci önemli sıcaklık seti olduğu görülmüştür. Yağışın akış verilerini açıklama konusunda etkin parametre olarak bulunması akarsu akışlarının oluşumunda su girdilerinin su çıktılarına oranla daha büyük öneme sahip olduğunu göstermiştir. Sıcaklık verilerinde bir hafta öncesini temsil eden

verilerin, akışı açıklama konusunda daha etkin çıkması buharlaşma neticesinde atmosferde yağış oluşturma süresi olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.12. En İyi Alt Kümeler analizi girdi seti bulguları

Veri Grubu	C _p	P								T							
		t	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7	t	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
VG 1	6,6	•			•	•	•	•	•	•	•						•
	7,1	•		•	•	•	•	•	•	•							•
	7,5	•			•	•	•	•	•	•	•	•					•
VG 2	7,6	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•			•		•
	9,2	•	•		•	•	•	•	•	•		•			•		•
	9,4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					•
VG 3	5,6	•	•	•					•	•	•			•			•
	5,7	•	•	•	•				•	•	•				•		•
	5,8	•	•	•	•				•	•	•			•			•
VG 4	4,0	•	•	•	•				•	•	•						•
	4,7	•	•	•	•	•			•	•	•						•
	5,6	•	•	•	•				•	•	•			•			•
VG 5	11,0	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•				•
	11,8	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					•
	11,9	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•			•	•
VG 6	11,1	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•					•
	11,2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					•
	11,3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•				•
VG 7	6,0	•	•	•	•			•	•		•				•		•
	7,1	•	•	•	•			•	•		•	•			•		•
	7,4	•	•	•	•	•		•	•		•				•		•
VG 8	9,8	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•						•
	9,9	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					•
	10,6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•				•

Tablo 3.12'nin devamı.

Veri Grubu	C _p	P								T							
		t	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7	t	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7
VG 9	10,9	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•		•			•
	11,1	•	•	•	•		•	•		•	•	•		•			•
	11,8	•	•	•	•		•	•	•	•				•			•
VG 10	9,1	•	•	•	•	•	•		•	•	•						•
	9,1	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•			•		•
	9,5	•	•	•	•	•	•		•	•	•				•		•
VG 11	5,1	•	•				•	•	•	•	•						•
	5,1	•	•			•	•	•	•	•	•						•
	5,5	•	•				•		•	•	•						•
VG 12	8,0	•	•	•	•				•	•	•			•			•
	8,0	•	•	•	•				•	•	•	•		•			•
	8,1	•	•	•	•				•	•	•				•		•
VG 13	12,0	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•					•
	12,2	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•				•	•
	12,3	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•				•
VG 14	0,9	•	•	•					•		•						•
	1,2	•	•	•					•		•	•					•
	2,2	•	•	•	•				•		•						•
VG 15	3,0	•	•	•	•				•		•						•
	3,4	•	•	•	•				•		•			•			•
	3,5	•	•	•	•				•		•				•		•
VG 16	6,7	•	•	•	•	•	•	•			•						•
	6,9	•	•	•	•	•	•	•			•			•			•
	7,3	•	•	•	•	•	•	•			•	•					•
VG 17	11,5	•	•	•	•	•	•			•	•			•		•	•
	11,7	•	•	•	•	•	•			•	•		•		•		•
	11,7	•	•	•	•	•	•			•	•		•		•	•	•

3.5.2. İleri Adımlı Seçilim

Analizde değişkenlerin, tahmini yapılacak bağımlı değişken olan Q_t setine en yakın korelasyonda olan bağımsız değişkenin belirlenmesi ve bu değişkene sırasıyla diğer değişkenlerin eklenerek performans kıyaslaması yapılmasıyla girdi seti oluşturması sağlanmıştır. Modeller ile ilgili detaylar Tablo 3.13'te gösterilmiştir.

Tablo 3.13. İleri Adımlı Seçilim analizi girdi seti bulguları

Veri Grubu	r	Girdi Seti
VG 1	0,325	T(t-1), T(t-7), P(t-7), P(t-6), P(t-4), Tt, P(t-3)
	0,328	T(t-1), T(t-7), P(t-7), P(t-6), P(t-4), Tt, P(t-3), P(t-5)
	0,330	T(t-1), T(t-7), P(t-7), P(t-6), P(t-4), Tt, P(t-3), P(t-5), Pt
VG 2	0,343	Tt, T(t-7), P(t-7), T(t-2), P(t-6), P(t-4), P(t-5)
	0,346	Tt, T(t-7), P(t-7), T(t-2), P(t-6), P(t-4), P(t-5), P(t-3)
	0,348	Tt, T(t-7), P(t-7), T(t-2), P(t-6), P(t-4), P(t-5), P(t-3), P(t-1)
VG 3	0,223	T(t-7), T(t-1), Pt, P(t-1), P(t-7)
	0,229	T(t-7), T(t-1), Pt, P(t-1), P(t-7), Tt
	0,232	T(t-7), T(t-1), Pt, P(t-1), P(t-7), Tt, P(t-2)
VG 4	0,445	Pt, T(t-1), P(t-1), T(t-7), P(t-2), Tt
	0,446	Pt, T(t-1), P(t-1), T(t-7), P(t-2), Tt, P(t-3)
	0,447	Pt, T(t-1), P(t-1), T(t-7), P(t-2), Tt, P(t-3), P(t-7)
VG 5	0,437	T(t-1), Pt, P(t-2), T(t-7), P(t-4), P(t-6), Tt, P(t-1), P(t-3), P(t-5)
	0,439	T(t-1), Pt, P(t-2), T(t-7), P(t-4), P(t-6), Tt, P(t-1), P(t-3), P(t-5), T(t-3)
	0,440	T(t-1), Pt, P(t-2), T(t-7), P(t-4), P(t-6), Tt, P(t-1), P(t-3), P(t-5), T(t-3), P(t-7)
VG 6	0,496	Pt, P(t-2), P(t-1), P(t-4), P(t-7), P(t-3), Tt, T(t-7), P(t-5)
	0,502	Pt, P(t-2), P(t-1), P(t-4), P(t-7), P(t-3), Tt, T(t-7), P(t-5), P(t-6)
	0,508	Pt, P(t-2), P(t-1), P(t-4), P(t-7), P(t-3), Tt, T(t-7), P(t-5), P(t-6), T(t-2)
VG 7	0,295	T(t-7), Pt, T(t-1), P(t-1), P(t-7), P(t-2)
	0,299	T(t-7), Pt, T(t-1), P(t-1), P(t-7), P(t-2), T(t-4)
	0,302	T(t-7), Pt, T(t-1), P(t-1), P(t-7), P(t-2), T(t-4), P(t-3)
VG 8	0,358	Pt, P(t-1), Tt, T(t-7), P(t-3), P(t-5), P(t-2), P(t-4)
	0,366	Pt, P(t-1), Tt, T(t-7), P(t-3), P(t-5), P(t-2), P(t-4), P(t-6)
	0,373	Pt, P(t-1), Tt, T(t-7), P(t-3), P(t-5), P(t-2), P(t-4), P(t-6), T(t-1)
VG 9	0,476	Pt, T(t-7), P(t-5), Tt, P(t-1), P(t-2), T(t-4)
	0,479	Pt, T(t-7), P(t-5), Tt, P(t-1), P(t-2), T(t-4), P(t-3)
	0,482	Pt, T(t-7), P(t-5), Tt, P(t-1), P(t-2), T(t-4), P(t-3), P(t-6)
VG 10	0,297	Pt, P(t-1), T(t-7), Tt, P(t-2), T(t-1), P(t-3)
	0,300	Pt, P(t-1), T(t-7), Tt, P(t-2), T(t-1), P(t-3), P(t-5)
	0,302	Pt, P(t-1), T(t-7), Tt, P(t-2), T(t-1), P(t-3), P(t-5), P(t-4)

Tablo 3.13'ün devamı.

Veri Grubu	r	Girdi Seti
VG 11	0,347	T(t-1), Pt, P(t-5), T(t-7)
	0,350	T(t-1), Pt, P(t-5), T(t-7), Tt
	0,350	T(t-1), Pt, P(t-5), T(t-7), Tt, P(t-7)
VG 12	0,251	T(t-7), T(t-2), Pt, P(t-2), Tt, P(t-1), P(t-7), P(t-3)
	0,255	T(t-7), T(t-2), Pt, P(t-2), Tt, P(t-1), P(t-7), P(t-3), T(t-1)
	0,258	T(t-7), T(t-2), Pt, P(t-2), Tt, P(t-1), P(t-7), P(t-3), T(t-1), T(t-4)
VG 13	0,392	Pt, Tt, T(t-7), P(t-1), P(t-3), P(t-5), P(t-2), T(t-2), P(t-4)
	0,398	Pt, Tt, T(t-7), P(t-1), P(t-3), P(t-5), P(t-2), T(t-2), P(t-4), P(t-6)
	0,400	Pt, Tt, T(t-7), P(t-1), P(t-3), P(t-5), P(t-2), T(t-2), P(t-4), P(t-6), P(t-7)
VG 14	0,474	Pt, T(t-1), P(t-1)
	0,479	Pt, T(t-1), P(t-1), T(t-7)
	0,481	Pt, T(t-1), P(t-1), T(t-7), P(t-2)
VG 15	0,212	T(t-7), T(t-2), Pt, P(t-7), T(t-1)
	0,222	T(t-7), T(t-2), Pt, P(t-7), T(t-1), P(t-1)
	0,225	T(t-7), T(t-2), Pt, P(t-7), T(t-1), P(t-1), P(t-2)
VG 16	0,350	Pt, P(t-1), P(t-2), P(t-7), P(t-4)
	0,351	Pt, P(t-1), P(t-2), P(t-7), P(t-4), P(t-5)
	0,353	Pt, P(t-1), P(t-2), P(t-7), P(t-4), P(t-5), P(t-3)
VG 17	0,499	Pt, T(t-7), P(t-1), P(t-3), Tt, P(t-2), T(t-5), T(t-1)
	0,501	Pt, T(t-7), P(t-1), P(t-3), Tt, P(t-2), T(t-5), T(t-1), P(t-4)
	0,502	Pt, T(t-7), P(t-1), P(t-3), Tt, P(t-2), T(t-5), T(t-1), P(t-4), P(t-5)

Tablo incelendiğinde oluşturulan modellerde etkin çıkan serilerin ağırlıkla tahmini yapılacak gün (t) olduğu görülmektedir. Serilerin gün gecikmelerinin modellerin performansına olumlu etki yaptığı ancak, altı gün öncesine kadar (t-6) verilerin kullanma sıklığının azaldığı ve EAY analizi ile paralel olarak yedi gün önceki değerlerin (t-7) modelleri olumlu etkilediği gözlenmektedir. SPM araştırmasında girdi setinde kullanılacak veri kombinasyonunun EAY ve FS yöntemleri ile farklı veri grupları için belirlenen, bağımlı veri olan Q_t 'yi en yüksek performans ile açıklayabilen girdi setlerinin SPM'lerdeki kullanımları Tablo 3.14'te görülmektedir.

Tablo 3.14. SPM araştırmasında kullanılan girdi setleri

Veri Grubu	Model No	Girdi Seti	Model No	Girdi Seti
VG 1	M1	P (t-3) P (t-4) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	M4	P (t) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-7)
	M2	P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	M5	P (t) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	M6	-
VG 2	M1	P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-5) T (t-7)
	M2	P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-5) T (t-7)
	M3	P (t-1) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-7)	M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
VG 3	M1	P (t) P (t-1) P (t-7) T (t-1) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-4) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-5) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-4) T (t-7)
VG 4	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) T (t) T (t-1) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) T (t) T (t-1) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-4) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	M6	-
VG 5	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t) T (t-1) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t) T (t-1) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M6	-
VG 6	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M6	-

Tablo 3.14'ün devamı.

Veri Grubu	Model No	Girdi Seti		Model No	Girdi Seti	
VG 7	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-7) T (t-1) T (t-7)		M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-6) P (t-7) T (t-1) T (t-5) T (t-7)	
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-7) T (t-1) T (t-4) T (t-7)		M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-6) P (t-7) T (t-1) T (t-2) T (t-5) T (t-7)	
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t-1) T (t-4) T (t-7)		M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-6) P (t-7) T (t-1) T (t-5) T (t-7)	
VG 8	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) T (t) T (t-7)		M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t-1) T (t-7)	
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t) T (t-7)		M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t) T (t-1) T (t-7)		M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t-1) T (t-3) T (t-7)	
VG 9	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-5) T (t) T (t-4) T (t-7)		M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-4) T (t-7)	
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-5) T (t) T (t-4) T (t-7)		M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-5) P (t-6) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-5) T (t-7)	
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-5) P (t-6) T (t) T (t-4) T (t-7)		M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t-1) T (t-2) T (t-3) T (t-4) T (t-5) T (t-6) T (t-7)	
VG 10	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) T (t) T (t-1) T (t-7)		M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-5) T (t) T (t-1) T (t-7)		M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-5) T (t-7)	
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) T (t) T (t-1) T (t-7)		M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-5) T (t-7)	
VG 11	M1	P (t) P (t-5) T (t) T (t-1) T (t-7)		M4	P (t) P (t-1) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	
	M2	P (t) P (t-5) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)		M5	P (t) P (t-1) P (t-5) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)	
	M3	P (t) P (t-1) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-7)		M6	-	

Tablo 3.14'ün devamı.

Veri Grubu	Model No	Girdi Seti	Model No	Girdi Seti
VG 12	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-4) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-5) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-2) T (t-4) T (t-7)	M6	-
VG 13	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) T (t) T (t-2) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-6) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t) T (t-2) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-1) T (t-3) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) P (t-7) T (t) T (t-2) T (t-7)	M6	-
VG 14	M1	P (t) P (t-1) T (t-1)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-7) T (t-1) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) T (t-1) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-7) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) T (t-1) T (t-7)	M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t-1) T (t-7)
VG 15	M1	P (t) P (t-7) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t-1) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-7) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t-1) T (t-4) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-7) T (t-1) T (t-2) T (t-7)	M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-7) T (t-1) T (t-5) T (t-7)
VG 16	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-4) P (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t-1) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-4) P (t-5) P (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t-1) T (t-4) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-7)	M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) P (t-6) T (t-1) T (t-2) T (t-7)
VG 17	M1	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) T (t) T (t-1) T (t-5) T (t-7)	M4	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) T (t) T (t-1) T (t-4) T (t-6) T (t-7)
	M2	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) T (t) T (t-1) T (t-5) T (t-7)	M5	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) T (t) T (t-1) T (t-3) T (t-5) T (t-7)
	M3	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) T (t) T (t-1) T (t-5) T (t-7)	M6	P (t) P (t-1) P (t-2) P (t-3) P (t-4) P (t-5) T (t) T (t-1) T (t-3) T (t-5) T (t-6) T (t-7)

3.6. Akarsu Akışı Tahmin Modeli Bulguları

3.6.1. İyidere (VG 1)

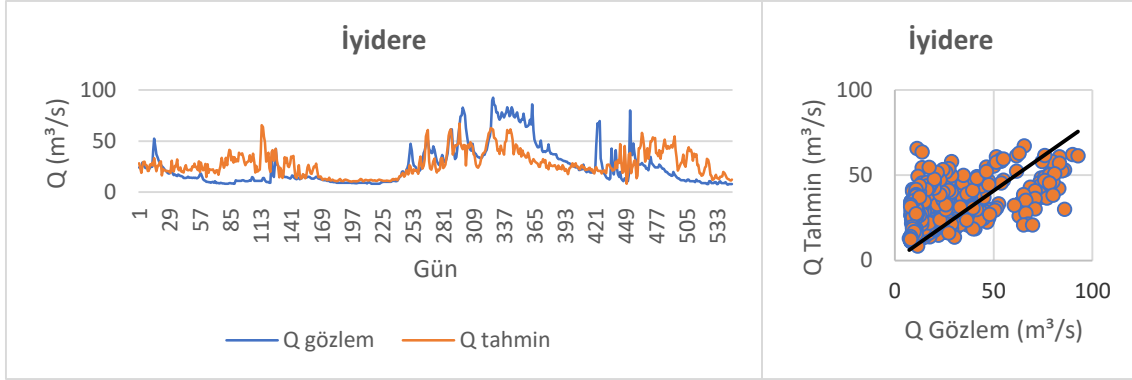
İyidere konumunda EİE tarafından kurulmuş ve DSİ'ye devredilmiş olan E22A018 numaralı AGİ bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1999-2008 yılları aralığındaki veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilen, gözlenen değerler ile korelasyonu en yüksek 5 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans çıktıları incelendiğinde, İyidere konumu için oluşturulan modeller arasından üç kritere göre performansı en yüksek olan model ara katmanda 6 nöron bulunan, girdi seti M3 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.15'te, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.4'te görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M5 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.16'da, en iyi model için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.5'te görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.17'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M4, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.6'da görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 5 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.18'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.7'de görülmektedir.

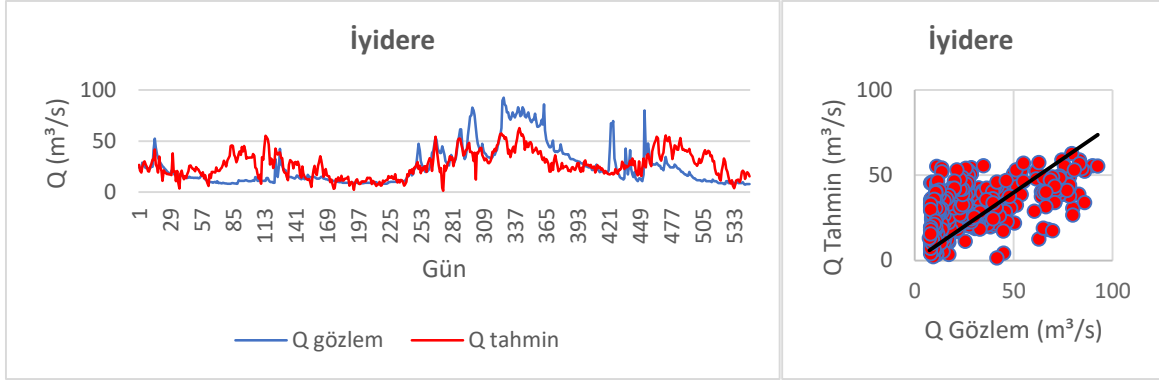


Şekil 3.4. İyidere YSA M3-6 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.15. İyidere YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : İYİDERE (VG 1)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	16,324	16,296	16,510	16,109	16,420	16,604	16,695	16,395	16,381
	M2	16,255	16,229	16,172	16,742	16,738	16,272	16,295	16,279	16,360
	M3	16,615	16,336	18,194	16,330	16,123	16,365	16,426	16,652	16,553
	M4	16,525	16,515	16,538	16,482	16,391	16,401	16,869	16,664	16,599
	M5	16,229	16,745	16,242	16,628	16,242	16,358	16,880	16,220	16,313
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,562	0,564	0,555	0,574	0,564	0,552	0,558	0,563	0,561
	M2	0,567	0,569	0,571	0,563	0,552	0,573	0,566	0,579	0,570
	M3	0,541	0,565	0,537	0,573	0,579	0,560	0,567	0,544	0,551
	M4	0,547	0,553	0,553	0,561	0,555	0,558	0,558	0,539	0,550
	M5	0,571	0,548	0,576	0,555	0,576	0,568	0,530	0,579	0,565
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,304	0,306	0,288	0,322	0,296	0,280	0,272	0,298	0,299
	M2	0,310	0,312	0,317	0,268	0,268	0,308	0,306	0,308	0,301
	M3	0,279	0,303	0,135	0,303	0,321	0,300	0,295	0,276	0,284
	M4	0,287	0,287	0,286	0,290	0,298	0,297	0,257	0,275	0,280
	M5	0,312	0,268	0,311	0,278	0,311	0,301	0,256	0,313	0,305
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	12,037	11,979	12,424	12,103	12,139	12,231	12,786	12,132	12,150
	M2	11,958	11,906	11,787	12,834	12,712	12,025	11,941	12,118	12,108
	M3	12,222	11,946	13,787	12,015	11,904	11,902	12,254	12,565	12,399
	M4	12,180	12,216	12,250	12,639	12,178	12,164	12,925	12,427	12,254
	M5	11,891	12,076	11,960	12,640	11,954	12,013	12,484	12,227	12,055

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



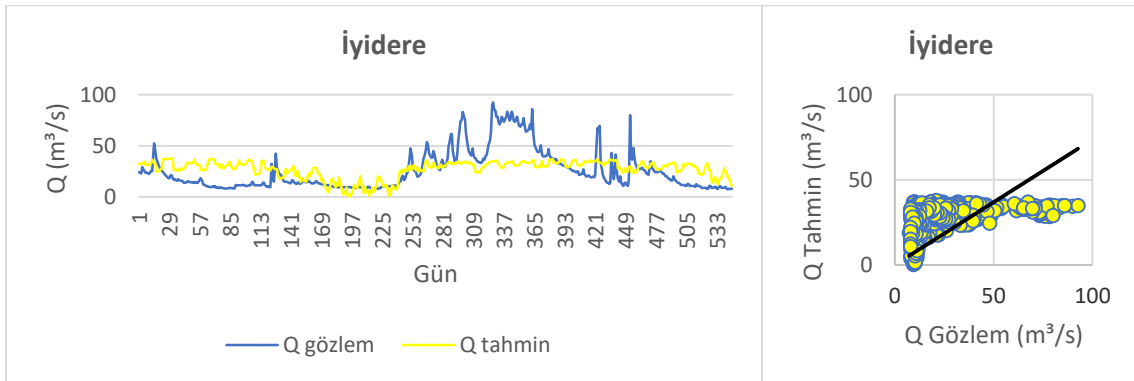
Şekil 3.5. İyidere MARS M5 modeli performans değerlendirilmesi

Tablo 3.16. İyidere MARS performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : İYİDERE (VG 1)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M5						
M1	44,686	0,547	0,287	12,183	Bağımsız Değişken Sayısı	10
M2	48,986	0,544	0,283	12,211	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	37,529	0,550	0,289	12,140	TF Sayısı	23
M4	32,114	0,552	0,293	12,053	SD	1
M5	28,555	0,560	0,301	11,915	Ceza Derecesi	0

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

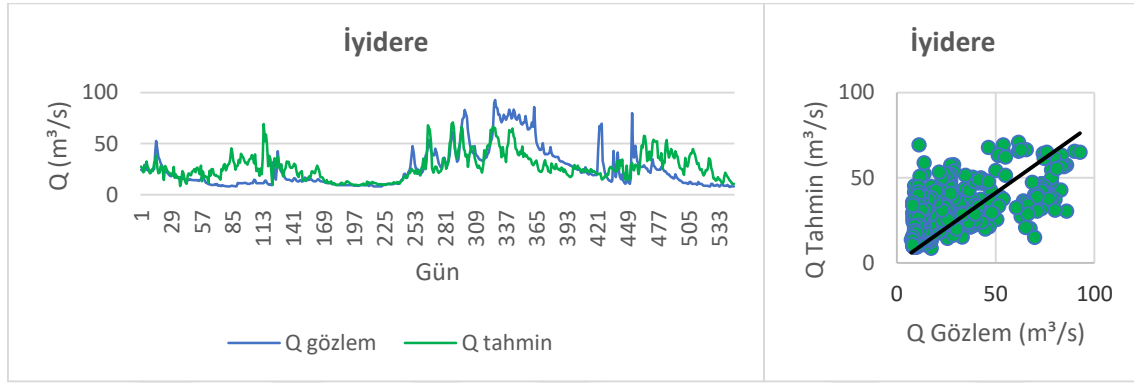


Şekil 3.6. İyidere F1-M4 model değerlendirilmesi

Tablo 3.17. İyidere ÇR performans değerlendirmesi

VG 1		İYİDERE			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M4	17,615	0,442	0,189	13,512
2	M4	17,756	0,426	0,176	13,593
3	M2	18,189	0,380	0,136	14,125

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7. İyidere ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.18. İyidere ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : İYİDERE (VG 1)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	16,096	0,580	0,323	11,797	Bağımsız Değişken Sayısı	10
M2	16,050	0,583	0,327	11,762	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	15,834	0,598	0,345	11,531	Düğüm Sayısı	101
M4	16,309	0,565	0,305	12,070	Çıkarım Algoritması	SC
M5	15,817	0,600	0,346	11,500	Bulanık Kural Sayısı	4

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.2. Tozköy Deresi (VG 2)

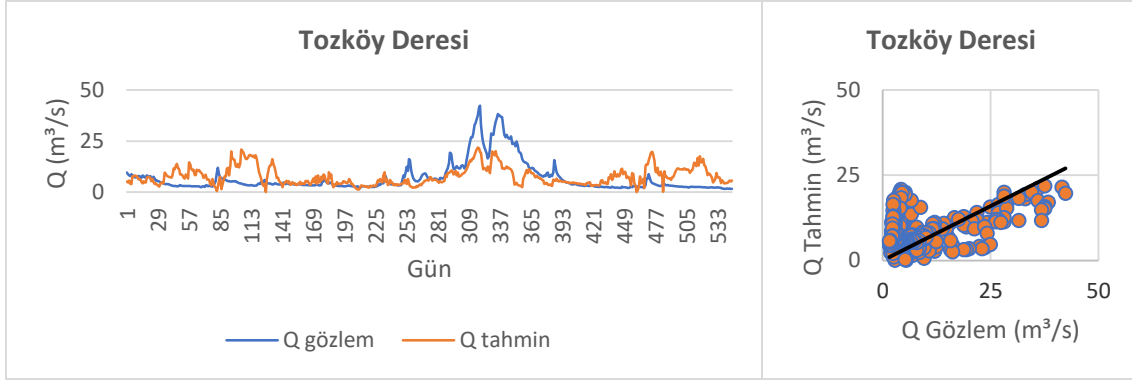
Tozköy Deresi konumunda EİE tarafından kurulmuş ve sonrasında DSİ'ye devredilmiş olan E22A033 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 2001-2010 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilen, gözlenen değerler ile korelasyonu en yüksek 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Tozköy Deresi konumu için oluşturulan modeller arasından iki performans kriterine göre performansı en yüksek olan model, ara katmanda 2 nöron bulunan, girdi seti M4 ve transfer fonksiyonu logaritmik sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.19'da, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.8'de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek olan M2 modeli olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.20'de, en iyi model için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.9'da görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.21'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M4, tahmin fonksiyonu 2. fonksiyon (F2) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.10'da görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.22'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.11'de görülmektedir.

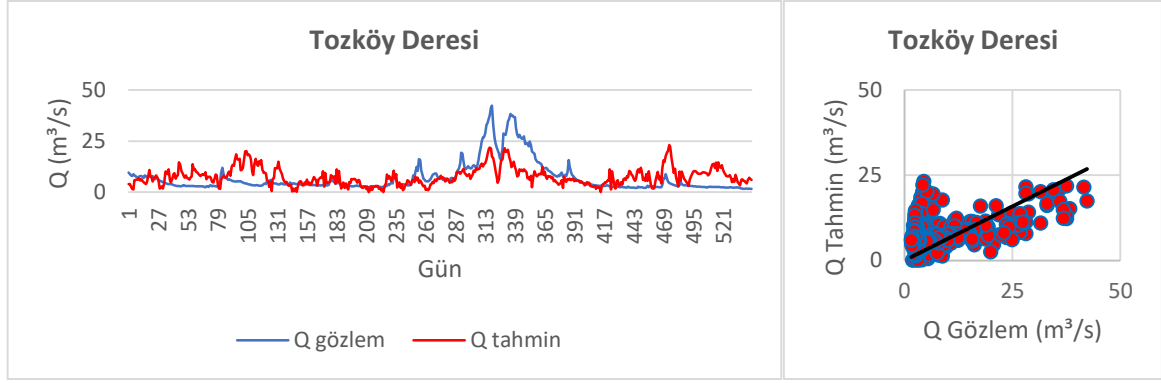


Şekil 3.8. Tozköy Deresi YSA M4-2 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.19. Tozköy Deresi YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : TOZKÖY DERESİ (VG 2)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	7,235	7,290	7,208	7,247	7,336	7,352	7,297	7,232	7,268
	M2	7,359	7,285	7,185	7,246	7,109	7,126	7,240	7,373	7,216
	M3	7,449	7,274	7,461	7,415	7,370	7,364	7,377	7,303	7,287
	M4	7,042	7,458	7,239	7,429	7,270	7,748	7,454	7,273	7,325
	M5	7,627	7,321	7,314	7,286	7,529	7,431	7,274	7,489	7,191
	M6	7,595	7,407	7,179	7,416	7,470	7,329	7,254	7,556	7,359
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,364	0,377	0,376	0,388	0,373	0,414	0,387	0,385	0,376
	M2	0,368	0,376	0,394	0,374	0,394	0,387	0,385	0,374	0,393
	M3	0,358	0,388	0,355	0,363	0,363	0,362	0,365	0,379	0,356
	M4	0,400	0,351	0,374	0,346	0,380	0,351	0,405	0,385	0,378
	M5	0,338	0,340	0,368	0,391	0,362	0,368	0,397	0,352	0,365
	M6	0,338	0,361	0,383	0,371	0,353	0,360	0,389	0,387	0,392
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,066	0,052	0,073	0,063	0,040	0,036	0,050	0,067	0,057
	M2	0,034	0,053	0,079	0,063	0,098	0,094	0,065	0,030	0,071
	M3	0,010	0,056	0,007	0,019	0,031	0,032	0,029	0,048	0,053
	M4	0,115	0,007	0,065	0,015	0,057	0,071	0,009	0,056	0,043
	M5	0,038	0,044	0,046	0,053	0,011	0,015	0,056	0,001	0,077
	M6	0,029	0,021	0,080	0,019	0,004	0,042	0,061	0,019	0,034
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	5,067	5,149	5,180	5,125	5,258	5,380	5,287	5,148	5,173
	M2	5,199	5,171	5,115	5,138	5,116	5,016	5,234	5,318	5,191
	M3	5,260	5,155	5,355	5,243	5,224	5,259	5,259	5,300	5,108
	M4	5,017	5,255	5,114	5,327	5,250	5,395	5,333	5,239	5,191
	M5	5,399	5,197	5,184	5,193	5,383	5,293	5,258	5,332	5,087
	M6	5,371	5,291	5,221	5,329	5,391	5,163	5,195	5,518	5,308

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



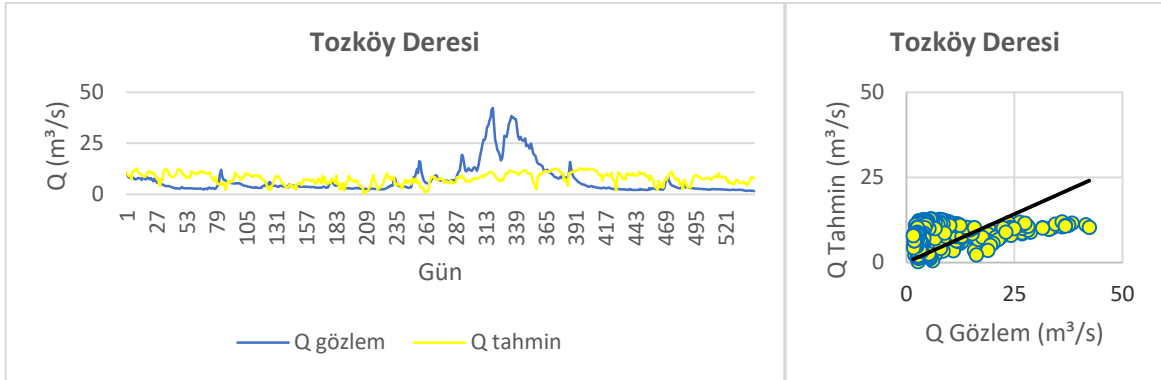
Şekil 3.9. Tozköy Deresi MARS M2 modeli performans değerlendirme

Tablo 3.20. Tozköy Deresi MARS performans değerlendirme

VERİ GRUBU : TOZKÖY DERESİ (VG 2)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M2						
M1	6,949	0,415	0,138	5,057	Bağımsız Değişken Sayısı	8
M2	6,888	0,426	0,154	4,959	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	6,960	0,415	0,136	5,047	TF Sayısı	23
M4	7,042	0,401	0,115	5,116	SD	1
M5	7,011	0,407	0,038	5,116	Ceza Derecesi	0
M6	7,010	0,405	0,029	5,104		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

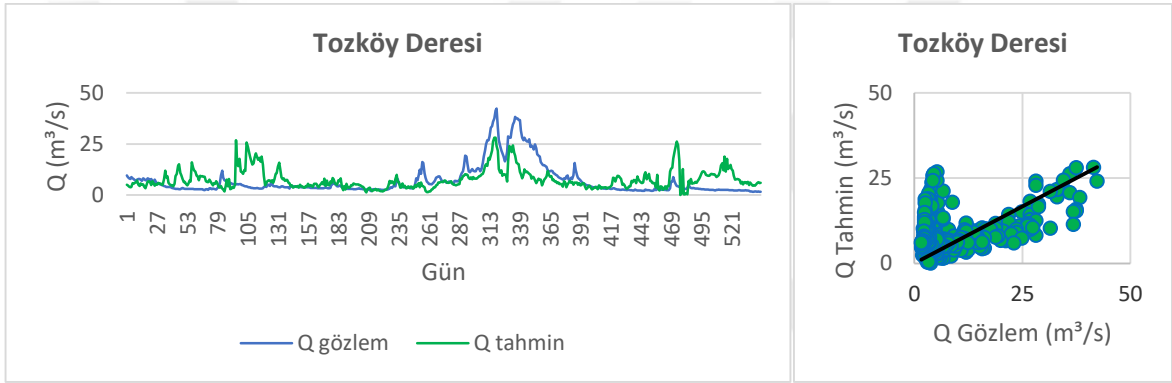


Şekil 3.10. Tozköy F2-M4 model değerlendirme

Tablo 3.21. Tozköy ÇR performans değerlendirmesi

VG 2		TOZKÖY			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M5	7,392	0,240	0,038	5,407
2	M4	7,273	0,243	0,056	4,855
3	M1	7,292	0,264	0,051	5,222

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Tozköy Deresi ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.22. İyidere ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : TOZKÖY DERESİ (VG 2)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	6,830	0,455	0,168	4,823	Bağımsız Değişken Sayısı	11
M2	6,817	0,460	0,171	4,830	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	6,842	0,458	0,165	4,837	Düğüm Sayısı	134
M4	6,832	0,460	0,167	4,804	Çıkarım Algoritması	SC
M5	6,817	0,461	0,171	4,805	Bulanık Kural Sayısı	5
M6	6,948	0,434	0,139	4,854		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.3. Değirmendere (VG 3)

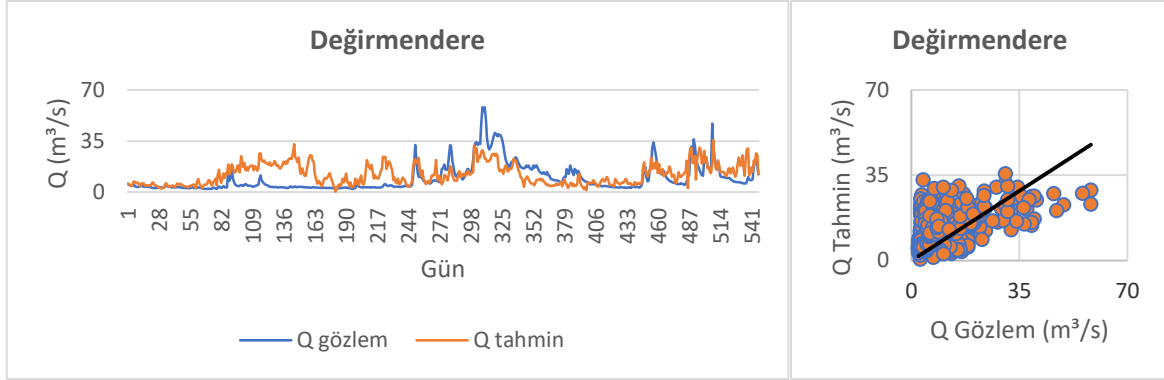
Değirmendere konumunda EİE tarafından kurulmuş ve sonrasında DSİ'ye devredilmiş olan E22A051 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 2000-2009 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilen, gözlenen değerler ile korelasyonu en yüksek 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans çıktıları incelendiğinde, Değirmendere konumu için oluşturulan Akarsu akışı tahmin modelleri arasından r değeri diğerlerine göre daha yüksek olan ve buna paralel olarak diğer performans kriterindeki en iyi değerlere çok yakın değerler elde edildiğinden, performansı en yüksek model, ara katmanda 8 nöron bulunan, girdi seti M4 ve transfer fonksiyonu logaritmik sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.23'te, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.12'de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M5 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.24'te, en iyi modele ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.13'te görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.25'te, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M4, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.14'te görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.26'da ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.15'te görülmektedir.

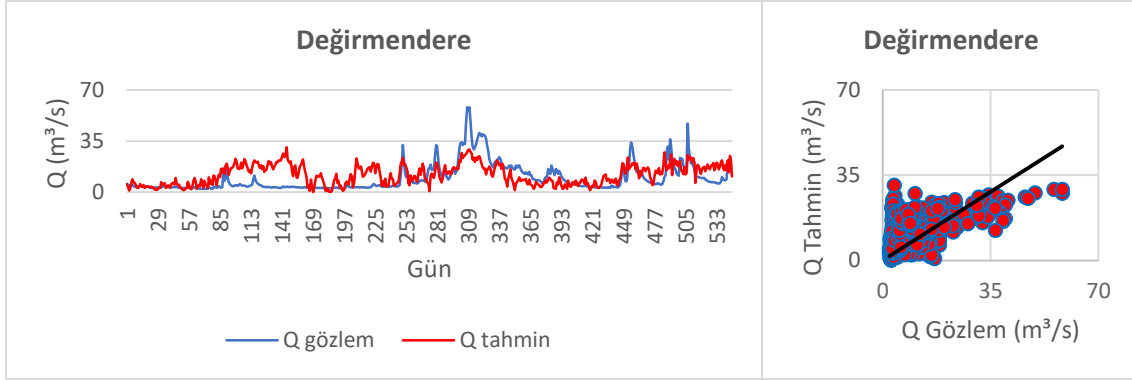


Şekil 3.12. Değirmendere YSA M4-8 modeli değerlendirmesi

Tablo 3.23. Değirmendere YSA performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : DEĞİRMENDERE (VG 3)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	9,101	9,291	9,400	9,072	9,530	9,595	9,576	9,783	9,632
	M2	9,386	9,598	9,378	9,316	9,215	9,203	9,438	10,133	8,924
	M3	9,591	9,230	9,583	9,710	9,448	9,498	10,170	9,585	9,775
	M4	9,762	9,397	9,309	9,533	9,721	9,052	9,070	9,796	9,415
	M5	9,362	9,579	9,393	9,310	9,600	9,253	9,498	9,149	10,147
	M6	9,393	9,310	9,423	9,414	9,132	9,117	9,764	8,953	9,493
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,444	0,456	0,434	0,459	0,442	0,442	0,414	0,413	0,420
	M2	0,447	0,452	0,446	0,450	0,470	0,472	0,443	0,433	0,454
	M3	0,438	0,457	0,425	0,425	0,434	0,411	0,421	0,429	0,447
	M4	0,458	0,452	0,459	0,435	0,442	0,468	0,479	0,418	0,432
	M5	0,456	0,448	0,454	0,457	0,431	0,455	0,436	0,455	0,476
	M6	0,452	0,432	0,436	0,429	0,464	0,438	0,467	0,468	0,435
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,080	0,041	0,018	0,086	0,009	0,023	0,018	0,063	0,030
	M2	0,022	0,023	0,023	0,036	0,057	0,059	0,011	0,041	0,115
	M3	0,022	0,054	0,020	0,047	0,008	0,002	0,017	0,020	0,061
	M4	0,059	0,019	0,037	0,009	0,050	0,090	0,086	0,066	0,015
	M5	0,027	0,019	0,020	0,037	0,024	0,049	0,025	0,070	0,113
	M6	0,020	0,037	0,014	0,016	0,074	0,077	0,059	0,110	0,050
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	6,836	6,893	7,021	6,724	7,296	7,149	7,151	7,632	7,231
	M2	6,955	7,233	6,965	6,868	6,804	6,785	6,883	7,601	6,653
	M3	7,588	6,883	7,150	7,438	7,047	7,091	7,853	6,935	7,354
	M4	7,453	6,919	6,856	7,064	7,350	6,676	6,737	7,450	6,998
	M5	6,875	7,275	6,845	6,948	7,239	7,325	7,026	6,681	7,110
	M6	6,910	6,698	6,907	6,964	6,731	6,784	7,612	6,594	7,007

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



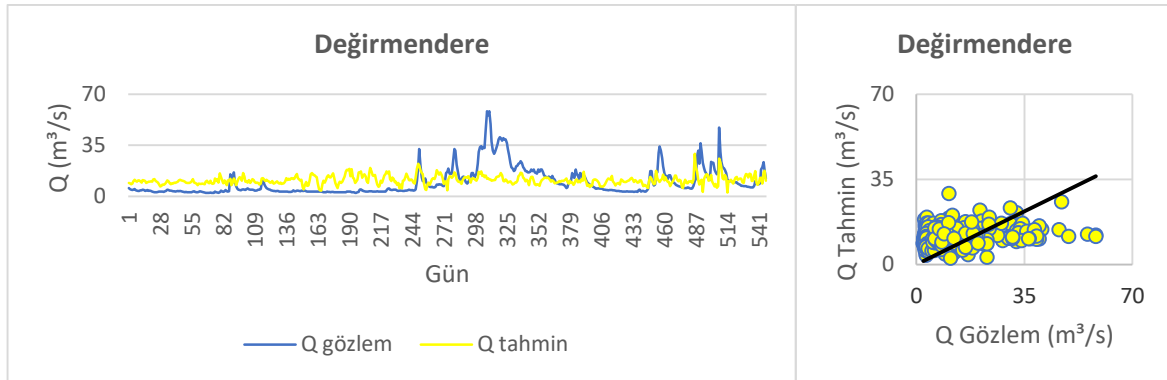
Şekil 3.13. Değirmendere MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.24. Değirmendere MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : DEĞİRMENDERE (VG 3)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M5						
M1	9,055	0,449	0,089	6,884	Bağımsız Değişken Sayısı	9
M2	8,967	0,466	0,107	6,837	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	8,888	0,482	0,022	6,827	TF Sayısı	22
M4	8,887	0,488	0,059	6,783	SD	1
M5	8,781	0,501	0,144	6,731	Ceza Derecesi	0
M6	8,837	0,495	0,133	6,767		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

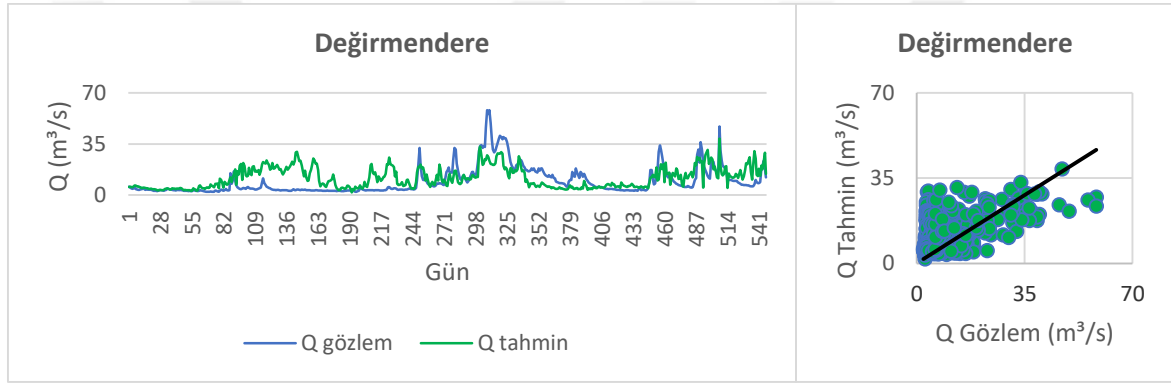


Şekil 3.14. Değirmendere F1-M4 model değerlendirmesi

Tablo 3.25. Değirmendere ÇR performans değerlendirmesi

VG 3		DEĞİRMENDERE			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M4	9,321	0,251	0,059	7,174
2	M4	9,552	0,229	0,059	7,673
3	M5	9,324	0,260	0,034	7,237

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Değirmendere ANFIS M6 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.26. Değirmendere ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : DEĞİRMENDERE (VG 3)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M6	
M1	9,051	0,449	0,090	6,830	Bağımsız Değişken Sayısı	9
M2	8,917	0,488	0,117	6,590	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	8,845	0,497	0,022	6,537	Düğüm Sayısı	92
M4	8,830	0,499	0,059	6,504	Çıkarım Algoritması	SC
M5	8,948	0,483	0,111	6,583	Bulanık Kural Sayısı	4
M6	8,827	0,497	0,135	6,519		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.4. Köprübaşı (VG 4)

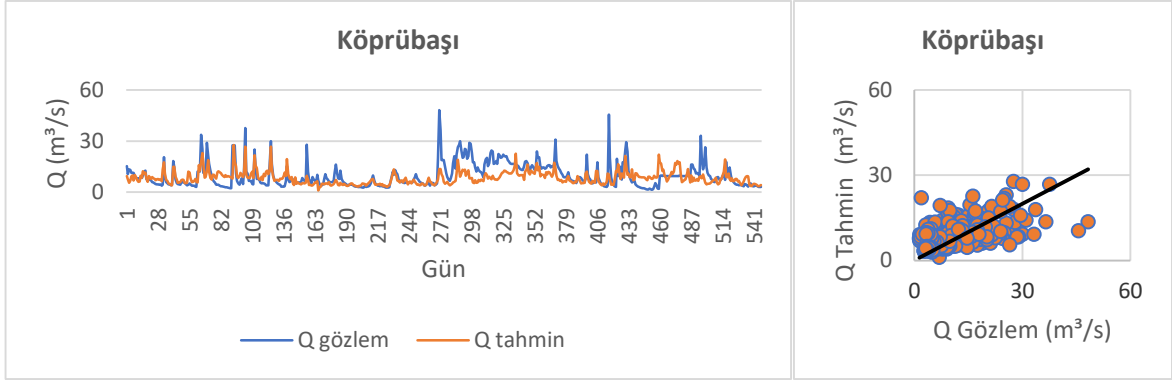
Köprübaşı konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A006 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1996-2005 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilen, gözlenen değerler ile korelasyonu en yüksek olan 5 girdi kombinasyonu denenmiştir.

Performans değerleri incelendiğinde, Köprübaşı konumu için oluşturulan modeller arasından, r kriterine göre yüksek olan ve MAE kriterine göre en düşük hata oranına sahip olan ve bunlara paralel olarak diğer performans kriterindeki en iyi değerlere çok yakın değerler elde edildiğinden, performansı en yüksek olan model, ara katmanda 8 nöron bulunan, girdi seti M5 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.27'de, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.16'da görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M4 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.28'de, en iyi modele ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.17'de görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.29'da, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M4, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.18'de görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 5 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.30'da ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.19'de görülmektedir.

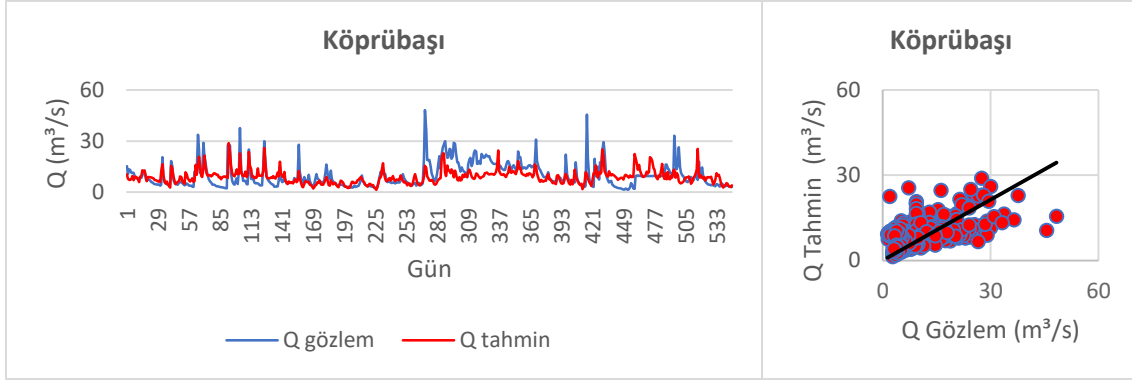


Şekil 3.16. Köprübaşı YSA M5-8 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.27. Köprübaşı YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : KÖPRÜBAŞI (VG 4)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	6,304	6,286	6,312	6,146	6,297	6,157	6,312	6,256	6,182
	M2	6,234	6,272	6,271	6,310	6,267	6,354	6,268	6,366	6,261
	M3	6,587	6,313	6,307	6,220	6,257	6,385	6,232	6,404	6,265
	M4	6,410	6,593	6,338	6,184	6,186	6,279	6,332	6,257	6,513
	M5	6,410	6,281	6,316	6,111	6,346	6,284	6,124	6,244	6,144
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,452	0,483	0,459	0,478	0,483	0,478	0,477	0,486	0,506
	M2	0,458	0,486	0,486	0,473	0,487	0,430	0,492	0,472	0,481
	M3	0,358	0,441	0,464	0,464	0,461	0,423	0,490	0,467	0,445
	M4	0,456	0,386	0,442	0,477	0,462	0,465	0,465	0,484	0,458
	M5	0,457	0,488	0,477	0,503	0,482	0,477	0,521	0,483	0,484
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,182	0,186	0,179	0,222	0,183	0,219	0,180	0,194	0,213
	M2	0,200	0,190	0,190	0,180	0,191	0,169	0,191	0,165	0,193
	M3	0,106	0,179	0,181	0,203	0,194	0,160	0,200	0,155	0,192
	M4	0,154	0,105	0,173	0,212	0,212	0,188	0,174	0,194	0,126
	M5	0,154	0,187	0,178	0,231	0,171	0,187	0,228	0,197	0,223
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	4,477	4,320	4,373	4,420	4,350	4,373	4,396	4,317	4,299
	M2	4,446	4,315	4,310	4,333	4,319	4,475	4,340	4,359	4,345
	M3	4,757	4,448	4,377	4,378	4,348	4,542	4,269	4,395	4,725
	M4	4,348	4,664	4,443	4,312	4,464	4,339	4,327	4,254	4,420
	M5	4,351	4,295	4,296	4,256	4,272	4,291	4,194	4,279	4,301

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



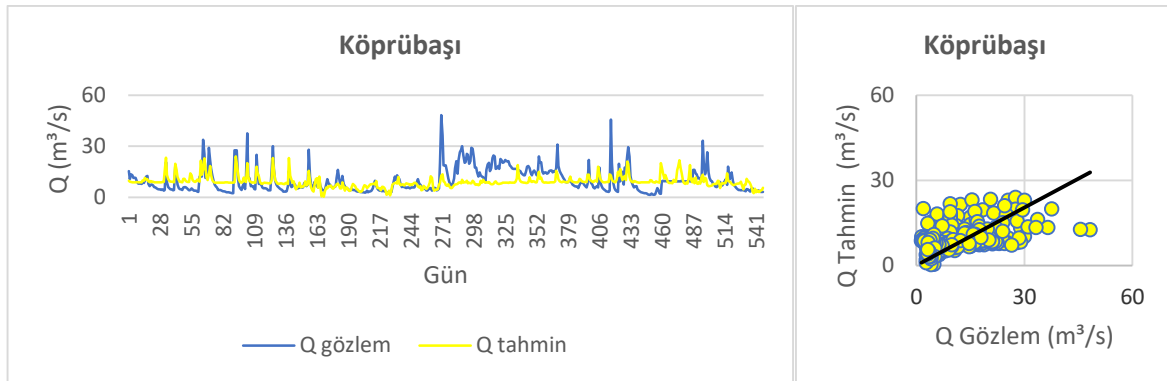
Şekil 3.17. Köprübaşı MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.28. Köprübaşı MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : KÖPRÜBAŞI (VG 4)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					MARS M4	
M1	6,057	0,513	0,244	4,236	Bağımsız Değişken Sayısı	9
M2	5,914	0,545	0,280	4,108	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	5,863	0,556	0,292	4,063	TF Sayısı	41
M4	5,853	0,558	0,295	4,052	SD	6
M5	5,901	0,550	0,283	4,094	Ceza Derecesi	0

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

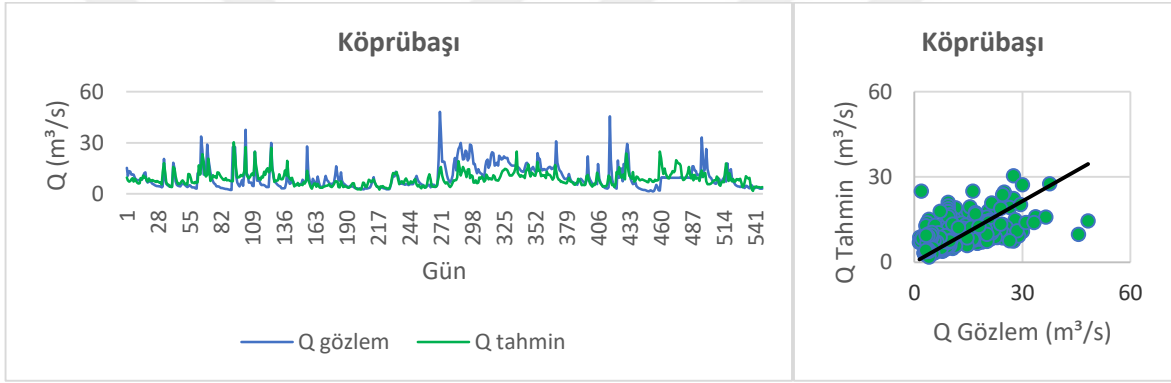


Şekil 3.18. Köprübaşı F1-M4 model değerlendirilmesi

Tablo 3.29. Köprübaşı ÇR performans değerlendirmesi

VG 4		KÖPRÜBAŞI			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M4	6,349	0,432	0,170	4,543
2	M2	6,648	0,325	0,090	4,815
3	M4	6,551	0,370	0,116	4,750

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Köprübaşı ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.30. Köprübaşı ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : KÖPRÜBAŞI (VG 4)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
ANFIS M5						
M1	6,014	0,521	0,255	4,185	Bağımsız Değişken Sayısı	9
M2	5,987	0,527	0,262	4,161	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	5,997	0,526	0,259	4,122	Düğüm Sayısı	112
M4	5,982	0,530	0,263	4,094	Çıkarım Algoritması	SC
M5	5,827	0,564	0,301	4,000	Bulanık Kural Sayısı	5

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.5. Şerah (VG 5)

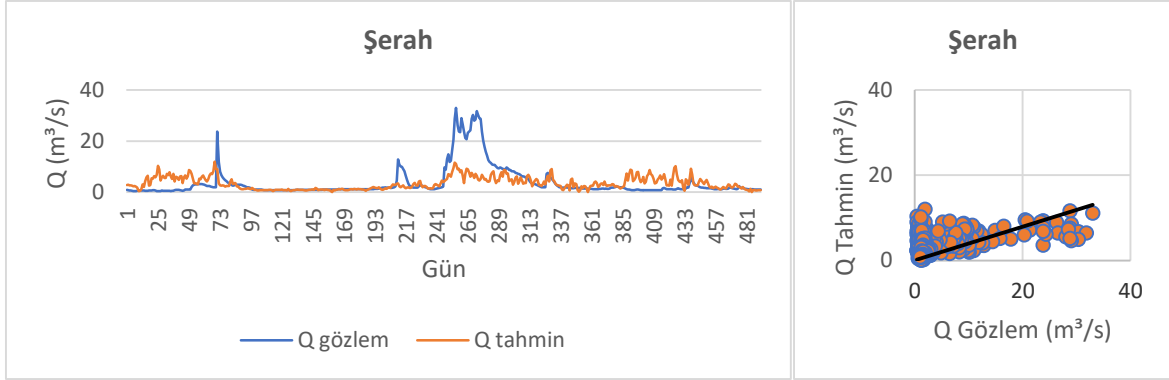
Şerah konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A007 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan Akarsu akışı tahmin modelleri 1999-2007 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilen, gözlenen değerler ile korelasyonu en yüksek 5 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans çıktıları incelendiğinde, Şerah konumu için oluşturulan Akarsu akışı tahmin modelleri arasından, tüm kriterlere göre en yüksek performansa sahip model, ara katmanda 4 nöron bulunan, girdi seti M5 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.31’de, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM’ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.20’de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M4 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM’ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.32’de, debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.21’dedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.33’te, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M2, tahmin fonksiyonu 1. Fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.22’de görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 5 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.34’te ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.23’te görülmektedir.

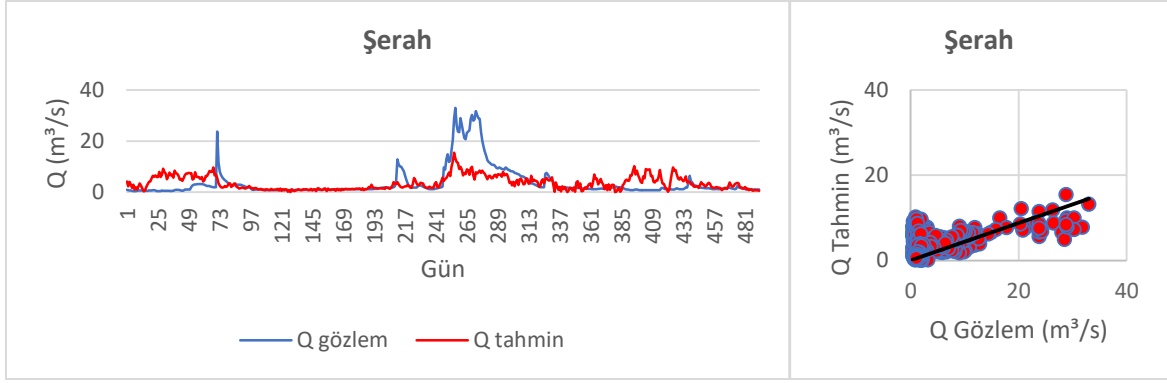


Şekil 3.20. Şerah YSA M5-4 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.31. Şerah YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : ŞERAH (VG 5)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	5,464	5,420	5,436	5,425	5,465	5,645	5,456	5,342	5,446
	M2	5,416	5,493	5,536	5,493	5,411	5,431	5,462	5,511	5,509
	M3	5,716	5,387	5,392	5,386	5,383	5,437	5,399	5,377	5,519
	M4	5,404	5,383	5,385	5,377	5,612	5,389	5,382	5,451	5,394
	M5	5,416	5,385	5,293	5,383	5,410	5,353	5,402	5,374	5,446
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,403	0,414	0,414	0,414	0,397	0,345	0,401	0,441	0,410
	M2	0,424	0,388	0,370	0,388	0,418	0,410	0,398	0,397	0,382
	M3	0,283	0,428	0,423	0,426	0,433	0,407	0,424	0,434	0,388
	M4	0,420	0,433	0,433	0,431	0,360	0,427	0,429	0,403	0,423
	M5	0,417	0,429	0,462	0,427	0,425	0,443	0,420	0,433	0,404
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,157	0,170	0,165	0,169	0,156	0,100	0,159	0,194	0,162
	M2	0,172	0,148	0,135	0,148	0,173	0,167	0,157	0,142	0,143
	M3	0,077	0,180	0,179	0,181	0,182	0,165	0,177	0,183	0,140
	M4	0,175	0,182	0,181	0,183	0,111	0,180	0,182	0,161	0,178
	M5	0,172	0,181	0,209	0,182	0,174	0,191	0,176	0,184	0,162
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	2,988	3,107	2,974	3,043	3,102	3,455	3,131	3,075	3,072
	M2	2,958	3,039	3,335	3,098	3,106	3,048	3,139	3,551	3,182
	M3	3,247	3,016	3,093	3,056	2,949	3,070	3,016	2,974	3,223
	M4	3,191	2,931	2,945	3,045	3,641	3,017	3,169	3,116	3,076
	M5	3,074	3,001	2,919	3,027	3,084	2,991	3,015	3,019	3,181

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



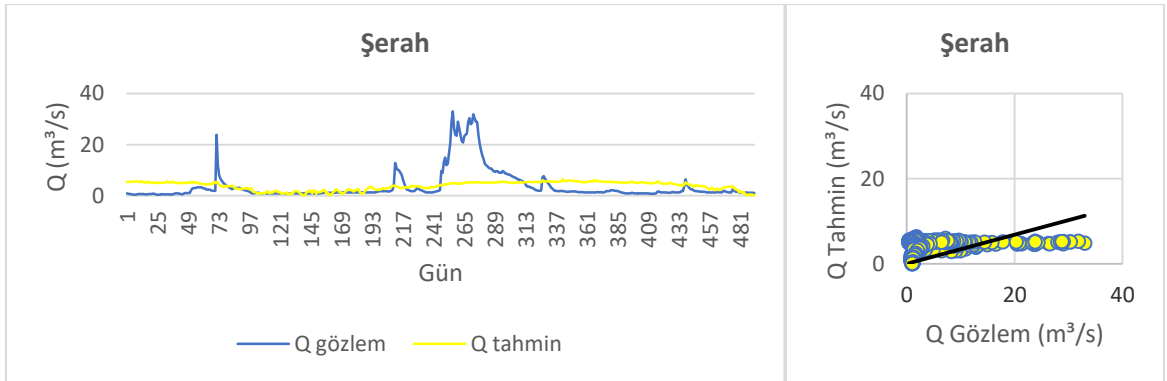
Şekil 3.21. Şerah MARS performans değerlendirilmesi

Tablo 3.32. Şerah MARS performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : ŞERAH (VG 5)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M4						
M1	5,207	0,490	0,234	3,074	Bağımsız Değişken Sayısı	12
M2	5,245	0,477	0,223	3,074	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	5,245	0,477	0,223	3,074	TF Sayısı	57
M4	5,058	0,536	0,278	2,931	SD	4
M5	5,245	0,477	0,223	3,074	Ceza Derecesi	0

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

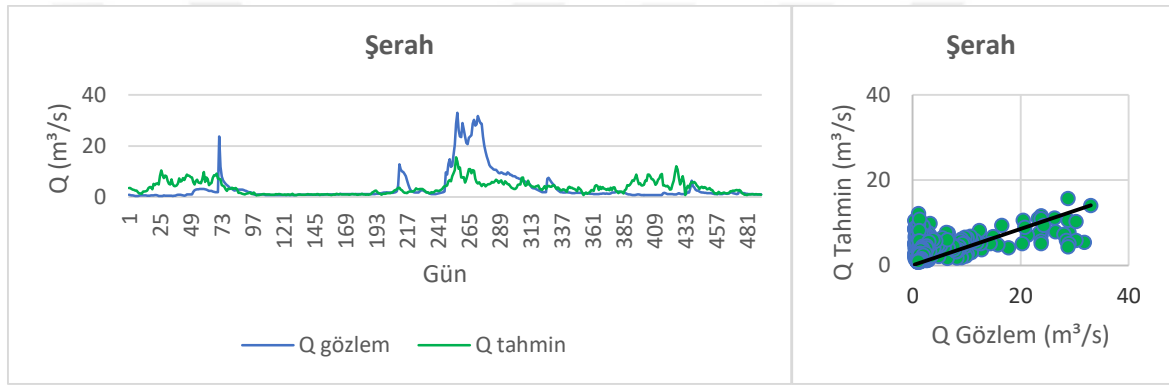


Şekil 3.22. Şerah F1-M2 model değerlendirilmesi

Tablo 3.33. Şerah ÇR performans değerlendirmesi

VG 5		ŞERAH			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M2	5,746	0,262	0,068	3,477
2	M3	5,758	0,253	0,064	3,144
3	M3	5,761	0,253	0,063	3,531

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Şerah ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.34. Şerah ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : ŞERAH (VG 5)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	5,322	0,448	0,200	3,080	Bağımsız Değişken Sayısı	13
M2	5,276	0,464	0,214	3,015	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	5,254	0,473	0,220	2,998	Düğüm Sayısı	128
M4	5,284	0,461	0,212	3,012	Çıkarım Algoritması	SC
M5	5,204	0,488	0,235	2,965	Bulanık Kural Sayısı	4

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.6. Torul (VG 6)

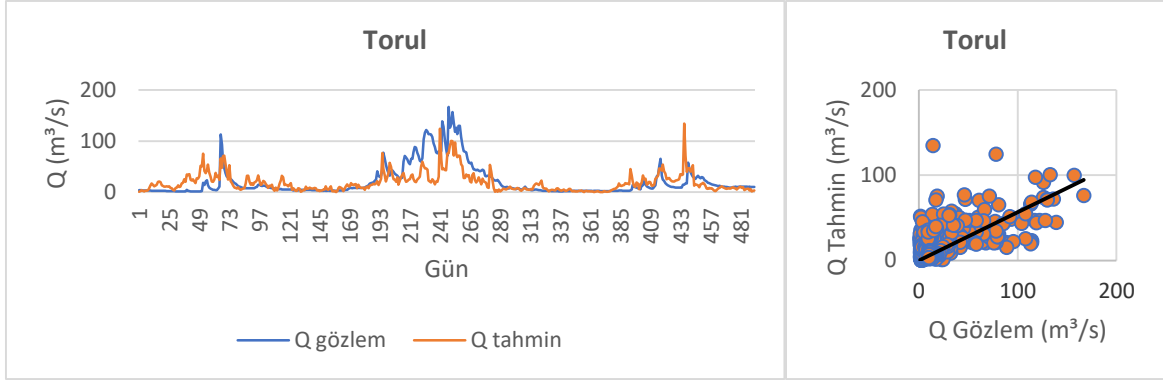
Torul konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A009 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1998-2006 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 5 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans çıktıları incelendiğinde, Torul konumu için oluşturulan Akarsu akışı tahmin modelleri arasından, tüm kriterlere göre en yüksek performansa sahip model, ara katmanda 5 nöron bulunan, girdi seti M4 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.35'te, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.24'te görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M2 modeli olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.36'da, debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.25'te görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.37'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M3, tahmin fonksiyonu 3. fonksiyon (F3) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.26'da görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 5 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.38'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.27'de görülmektedir.

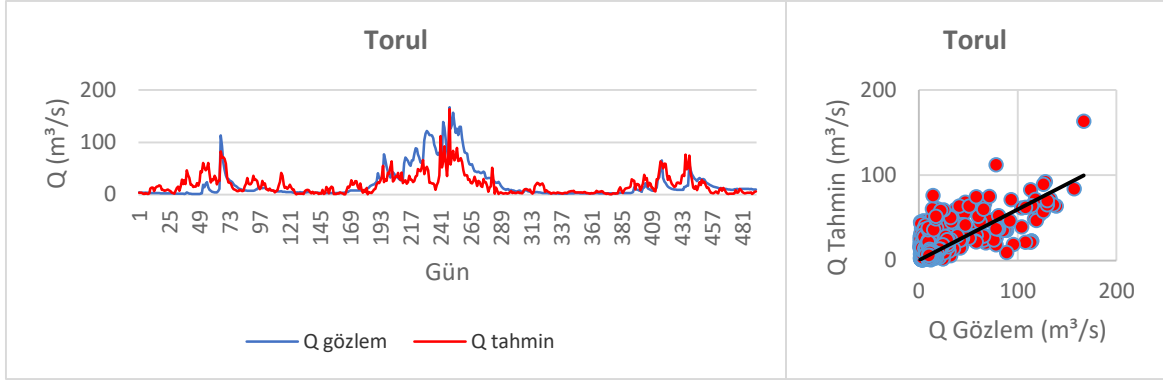


Şekil 3.24. Torul YSA M4-5 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.35. Torul YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : TORUL (VG 6)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	24,021	23,873	48,637	23,947	23,769	23,463	23,222	23,784	23,363
	M2	24,161	24,299	23,788	24,273	23,685	24,403	23,672	24,006	25,243
	M3	23,566	23,680	23,525	23,926	24,671	23,344	24,033	24,897	23,580
	M4	26,166	23,718	23,563	22,939	23,930	24,315	23,444	24,191	23,701
	M5	23,456	23,264	23,507	23,721	24,108	23,144	23,139	23,291	24,746
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,619	0,625	0,353	0,614	0,629	0,643	0,647	0,638	0,643
	M2	0,613	0,607	0,622	0,611	0,634	0,594	0,627	0,621	0,573
	M3	0,637	0,634	0,634	0,625	0,602	0,641	0,614	0,580	0,635
	M4	0,504	0,627	0,634	0,659	0,623	0,616	0,636	0,619	0,634
	M5	0,641	0,644	0,639	0,635	0,618	0,650	0,651	0,648	0,600
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,371	0,379	0,158	0,375	0,384	0,400	0,412	0,383	0,405
	M2	0,364	0,356	0,383	0,358	0,388	0,351	0,389	0,372	0,305
	M3	0,395	0,389	0,397	0,376	0,336	0,406	0,370	0,324	0,394
	M4	0,254	0,387	0,395	0,426	0,376	0,355	0,401	0,362	0,388
	M5	0,400	0,410	0,398	0,387	0,366	0,416	0,416	0,409	0,332
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	14,123	14,208	18,379	15,447	14,180	14,357	14,355	14,143	14,214
	M2	14,263	14,452	14,238	14,372	14,664	15,400	15,295	14,222	14,885
	M3	14,209	14,258	14,508	14,374	14,688	14,445	14,767	16,162	14,453
	M4	17,323	14,822	14,592	13,990	14,323	14,429	14,495	14,153	14,100
	M5	14,240	14,423	14,383	14,277	14,535	14,298	15,806	14,084	14,937

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



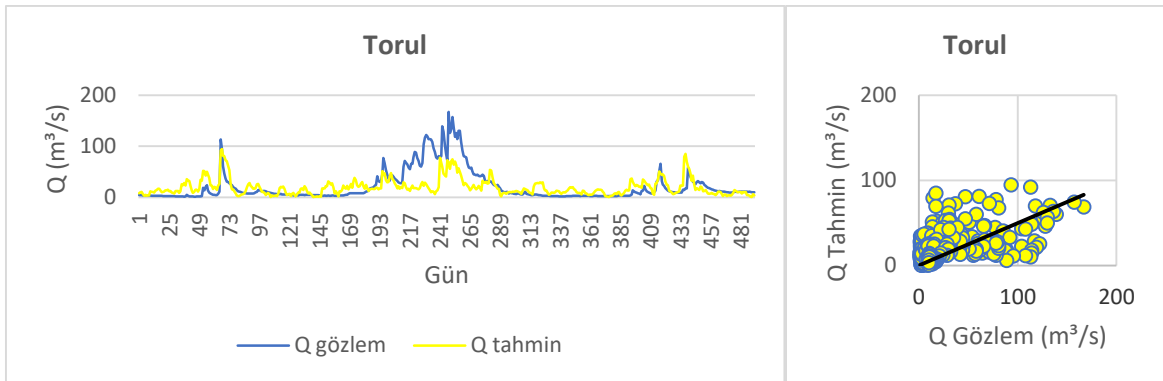
Şekil 3.25. Torul MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.36. Torul MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : TORUL (VG 6)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M2						
M1	21,750	0,703	0,484	13,842	Bağımsız Değişken Sayısı	10
M2	21,719	0,704	0,486	13,772	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	21,898	0,698	0,477	13,848	TF Sayısı	47
M4	21,898	0,698	0,477	13,848	SD	4
M5	22,019	0,693	0,471	14,056	Ceza Derecesi	0

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

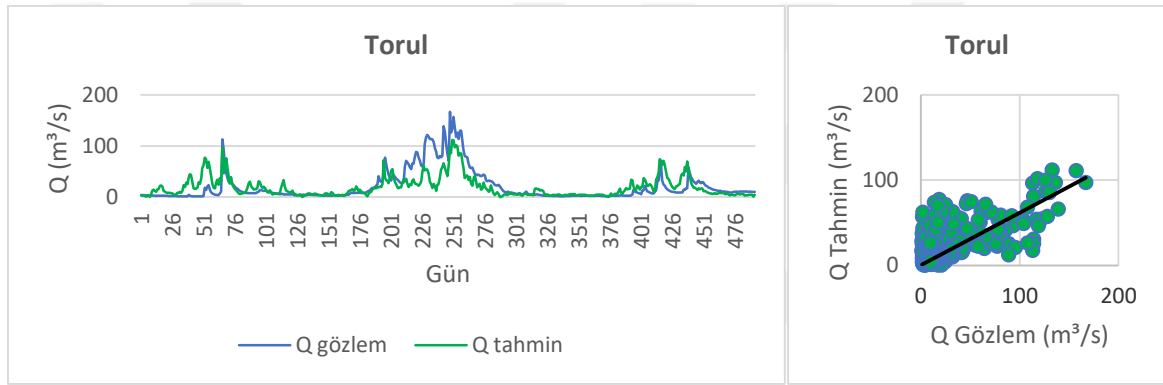


Şekil 3.26. Torul F3-M3 model değerlendirilmesi

Tablo 3.37. Torul ÇR performans değerlendirmesi

VG 6		TORUL			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M4	25,343	0,552	0,300	16,015
2	M3	25,909	0,527	0,268	16,386
3	M3	25,336	0,552	0,300	15,978

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Torul ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.38. Torul ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : TORUL (VG 6)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	23,286	0,644	0,409	15,235	Bağımsız Değişken Sayısı	12
M2	23,265	0,645	0,410	15,231	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	23,021	0,654	0,422	15,149	Düğüm Sayısı	93
M4	23,048	0,653	0,421	15,349	Çıkarma Algoritması	SC
M5	21,450	0,710	0,498	13,553	Bulanık Kural Sayısı	3

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.7. Fındıklı (VG 7)

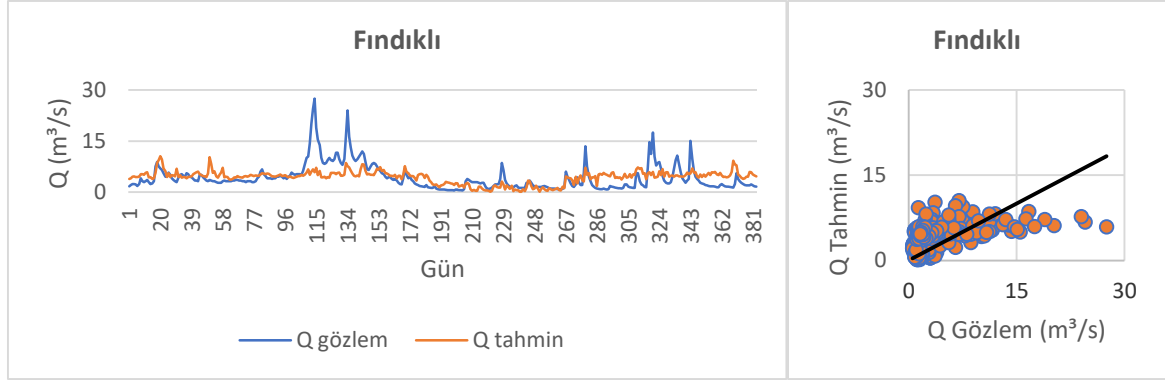
Fındıklı konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A034 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1997-2003 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA performans çıktıları incelendiğinde, Fındıklı konumu için oluşturulan Akarsu akışı tahmin modelleri arasından, RMSE ve E kriterlerine göre en düşük hata oranına sahip olan ve diğer kriterler için ise ulaşılan en iyi değere yakın performans elde eden model, ara katmanda 2 nöron bulunan, girdi seti M3 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.39'da, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.28'de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M4 modeli olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.40'ta debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.29'da görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.41'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M3, tahmin fonksiyonu 3. fonksiyon (F3) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.30'da görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 5 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.42'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.31'de görülmektedir.

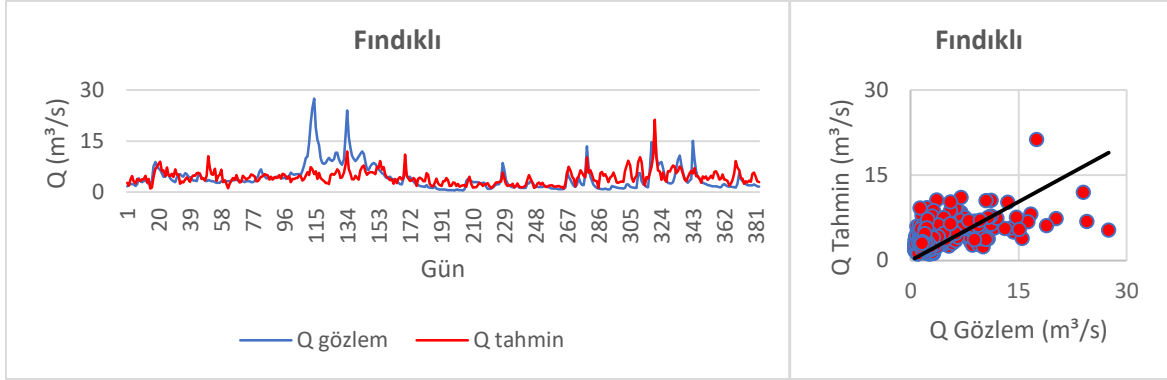


Şekil 3.28. Fındıklı YSA M3-2 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.39. Fındıklı YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : FINDIKLI (VG 7)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	3,740	3,468	3,648	3,696	3,657	3,541	3,626	3,703	3,437
	M2	3,535	3,716	3,528	3,513	3,594	3,576	3,722	3,600	3,793
	M3	3,418	3,621	3,573	3,604	3,588	3,653	3,733	3,593	3,723
	M4	3,493	3,607	3,687	3,622	3,649	3,643	3,554	3,651	3,488
	M5	3,561	3,822	3,715	3,600	3,563	3,422	3,851	3,608	3,582
	M6	3,557	3,595	3,576	3,479	3,533	3,735	3,641	3,546	3,569
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,287	0,428	0,329	0,313	0,332	0,388	0,340	0,310	0,472
	M2	0,404	0,273	0,403	0,411	0,374	0,389	0,330	0,373	0,232
	M3	0,455	0,338	0,402	0,375	0,359	0,348	0,322	0,397	0,256
	M4	0,414	0,366	0,402	0,369	0,337	0,348	0,380	0,335	0,420
	M5	0,379	0,190	0,264	0,359	0,369	0,451	0,210	0,355	0,390
	M6	0,386	0,390	0,369	0,430	0,416	0,300	0,332	0,401	0,400
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,048	0,181	0,094	0,070	0,090	0,146	0,051	0,066	0,196
	M2	0,150	0,060	0,153	0,160	0,121	0,130	0,057	0,118	0,021
	M3	0,205	0,108	0,131	0,116	0,124	0,092	0,052	0,121	0,057
	M4	0,170	0,115	0,075	0,107	0,093	0,097	0,140	0,092	0,172
	M5	0,137	0,005	0,061	0,118	0,136	0,203	0,009	0,114	0,126
	M6	0,139	0,120	0,130	0,176	0,150	0,050	0,098	0,144	0,133
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	2,630	2,316	2,459	2,476	2,476	2,435	2,525	2,498	2,364
	M2	2,449	2,597	2,409	2,422	2,611	2,281	2,649	2,440	2,782
	M3	2,381	2,650	2,330	2,558	2,498	2,626	2,571	2,451	2,530
	M4	2,393	2,420	2,327	2,505	2,365	2,496	2,454	2,429	2,373
	M5	2,465	2,684	2,550	2,424	2,416	2,223	2,632	2,589	2,382
	M6	2,491	2,363	2,495	2,285	2,210	2,421	2,543	2,589	2,363

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



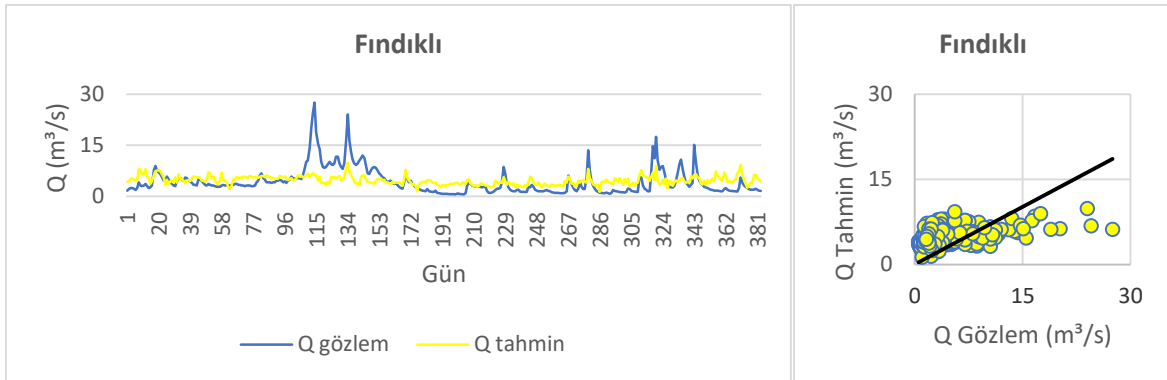
Şekil 3.29. Fındıklı MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.40. Fındıklı MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : FINDIKLI (VG 7)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M4						
M1	3,325	0,498	0,247	2,173	Bağımsız Değişken Sayısı	9
M2	3,356	0,485	0,233	2,192	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	3,305	0,506	0,256	2,175	TF Sayısı	45
M4	3,281	0,518	0,267	2,163	SD	6
M5	3,346	0,489	0,238	2,194	Ceza Derecesi	1
M6	3,347	0,489	0,238	2,167		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

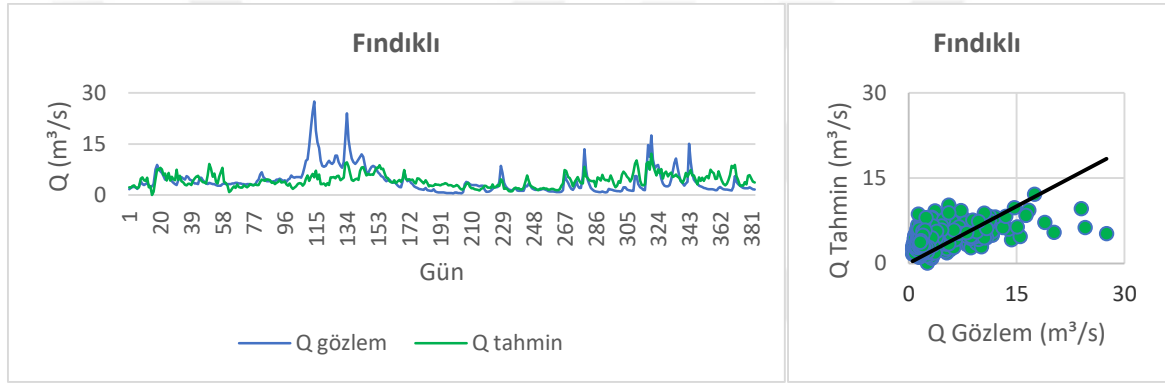


Şekil 3.30. Fındıklı F3-M3 model değerlendirmesi

Tablo 3.41. Fındıklı ÇR performans değerlendirmesi

VG 7		FINDIKLI			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M3	3,421	0,486	0,204	2,473
2	M2	3,568	0,407	0,133	2,545
3	M3	3,420	0,486	0,204	2,472

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Fındıklı ANFIS M1 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.42. Fındıklı ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : FINDIKLI (VG 7)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M1	
M1	3,333	0,494	0,244	2,259	Bağımsız Değişken Sayısı	6
M2	3,378	0,474	0,223	2,239	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	3,368	0,479	0,228	2,235	Düğüm Sayısı	37
M4	3,450	0,439	0,190	2,267	Çıkarım Algoritması	SC
M5	3,411	0,458	0,208	2,267	Bulanık Kural Sayısı	2
M6	3,441	0,444	0,194	2,253		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.8. Aytaş (VG 8)

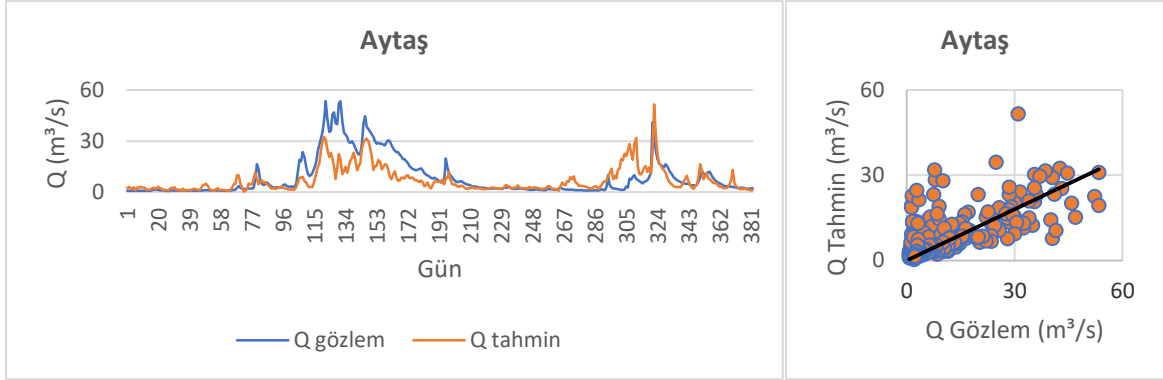
Aytaş konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A044 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1999-2005 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans çıktıları incelendiğinde, Aytaş konumu için oluşturulan modeller arasından, üç hata kriterine göre en düşük hata değerine ulaşan model, ara katmanda 8 nöron bulunan, girdi seti M6 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.43'te, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.32'de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M5 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.44'te debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.33'te görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.45'te, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M6, tahmin fonksiyonu 2. fonksiyon (F2) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.34'te görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.46'da ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.35'te görülmektedir.

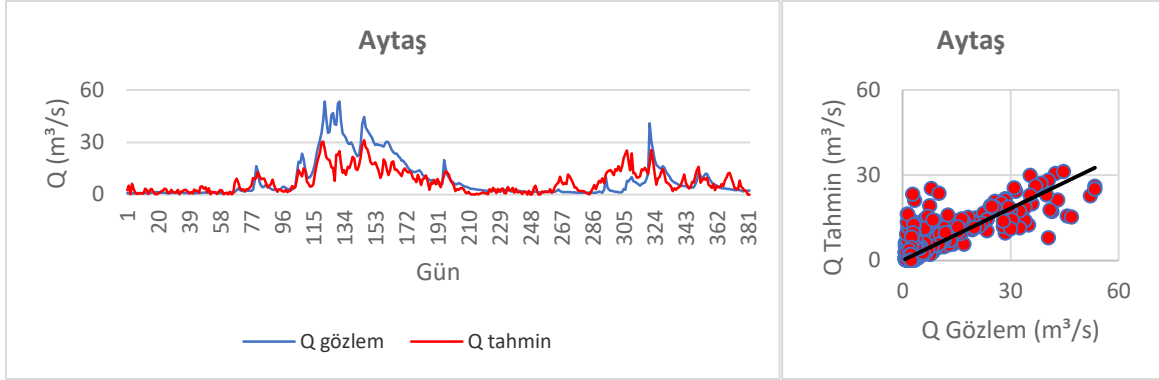


Şekil 3.32. Aytaş YSA M6-8 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.43. Aytaş YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : AYTAŞ (VG 8)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	8,225	8,154	8,626	8,312	8,685	9,029	9,154	8,294	9,893
	M2	10,866	8,381	12,397	8,993	8,193	8,387	8,584	8,246	10,766
	M3	8,140	12,764	8,155	8,392	8,140	8,138	7,926	9,438	8,307
	M4	8,382	8,249	8,638	8,423	8,223	8,051	8,872	8,465	8,197
	M5	8,087	8,380	8,217	8,687	8,770	8,309	8,425	8,000	8,513
	M6	8,345	8,333	10,449	8,146	8,807	8,238	7,917	8,129	9,155
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,713	0,714	0,672	0,707	0,652	0,613	0,628	0,683	0,571
	M2	0,327	0,696	0,480	0,616	0,695	0,690	0,671	0,703	0,526
	M3	0,731	0,466	0,720	0,690	0,721	0,728	0,735	0,601	0,690
	M4	0,705	0,719	0,698	0,692	0,721	0,714	0,645	0,702	0,711
	M5	0,732	0,707	0,703	0,671	0,639	0,702	0,688	0,730	0,691
	M6	0,707	0,727	0,550	0,720	0,658	0,713	0,731	0,717	0,628
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,466	0,476	0,413	0,455	0,405	0,357	0,339	0,457	0,228
	M2	0,069	0,446	-0,212	0,362	0,471	0,445	0,419	0,464	0,086
	M3	0,477	-0,285	0,178	0,445	0,477	0,478	0,505	0,297	0,456
	M4	0,446	0,463	0,411	0,440	0,467	0,489	0,379	0,435	0,470
	M5	0,484	0,446	0,467	0,405	0,201	0,455	0,440	0,495	0,428
	M6	0,451	0,452	0,139	0,477	0,388	0,465	0,506	0,479	0,339
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	4,992	5,057	5,392	5,197	5,299	5,606	5,526	5,220	5,592
	M2	7,082	5,246	6,051	5,841	5,200	5,100	5,435	5,102	5,803
	M3	5,219	5,604	5,001	5,097	5,014	5,126	4,920	5,461	5,077
	M4	5,545	5,213	5,554	5,215	5,061	5,414	5,452	5,383	5,258
	M5	4,971	5,410	5,086	5,244	5,765	5,405	5,119	4,947	5,447
	M6	5,387	5,012	5,544	4,938	5,970	5,336	4,867	5,011	5,855

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



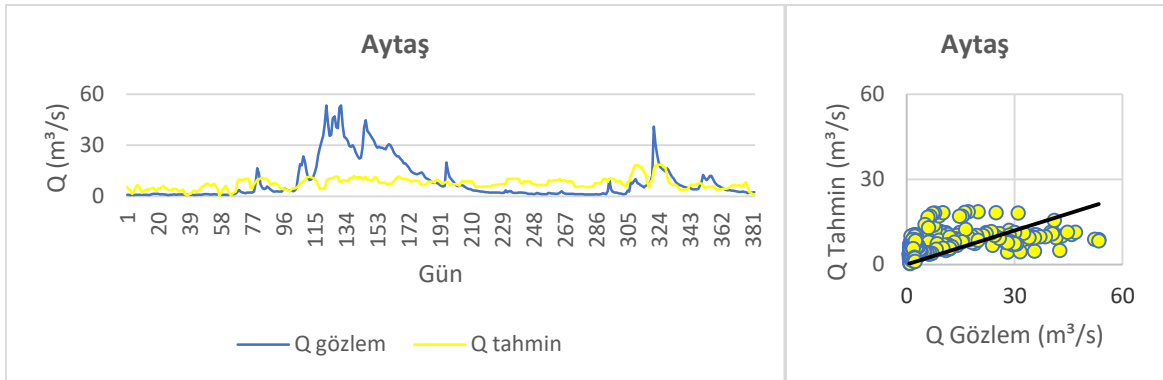
Şekil 3.33. Aytaş MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.44. Aytaş MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : AYTAŞ (VG 8)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M5						
M1	7,736	0,748	0,528	4,957	Bağımsız Değişken Sayısı	9
M2	7,803	0,744	0,520	4,966	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	7,600	0,764	0,544	4,890	TF Sayısı	45
M4	7,600	0,764	0,544	4,890	SD	6
M5	7,359	0,791	0,573	4,640	Ceza Derecesi	1
M6	7,444	0,783	0,563	4,859		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

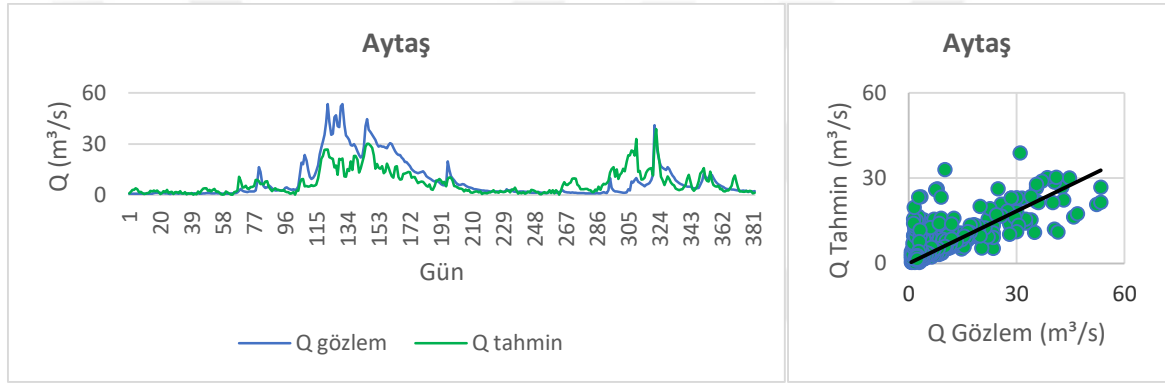


Şekil 3.34. Aytaş F2-M6 model değerlendirilmesi

Tablo 3.45. Aytaş ÇR performans değerlendirmesi

VG 8		AYTAŞ			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M6	10,383	0,398	0,150	7,023
2	M6	10,435	0,410	0,141	6,957
3	M5	10,396	0,399	0,147	6,985

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Aytaş ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.46. Aytaş ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : AYTAŞ (VG 8)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
ANFIS M5						
M1	8,386	0,695	0,445	5,456	Bağımsız Değişken Sayısı	12
M2	8,270	0,708	0,461	5,419	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	7,664	0,763	0,537	4,847	Düğüm Sayısı	93
M4	7,652	0,764	0,538	4,831	Çıkarım Algoritması	SC
M5	7,559	0,765	0,549	4,727	Bulanık Kural Sayısı	3
M6	7,627	0,758	0,541	4,802		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.9. Cücenköprü (VG 9)

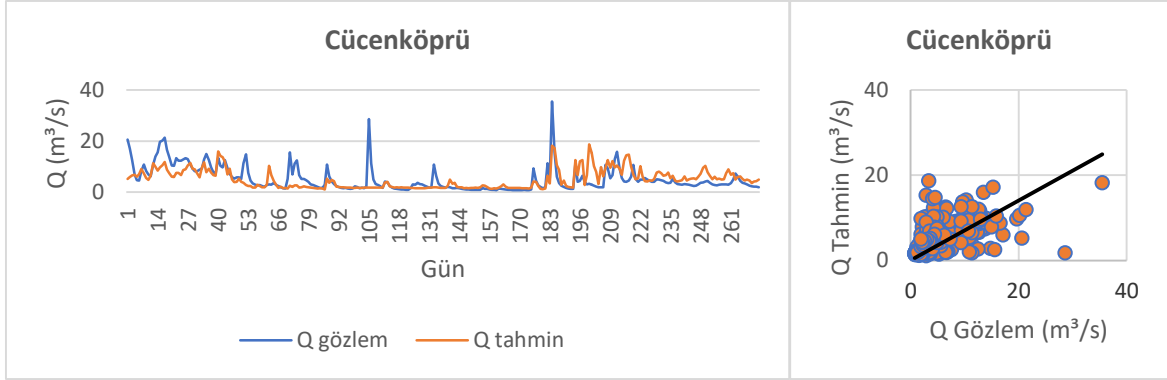
Cücenköprü konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A058 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 2007-2011 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans çıktıları incelendiğinde, Cücenköprü konumu için oluşturulan modeller arasından, üç kritere göre de iyi değere ulaşan model, ara katmanda 3 nöron bulunan, girdi seti M2 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.47'de, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.36'da görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M1 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.48'te debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.37'de görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.49'da, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M1, tahmin fonksiyonu 3. fonksiyon (F3) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.38'de görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.50'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.39'de görülmektedir.

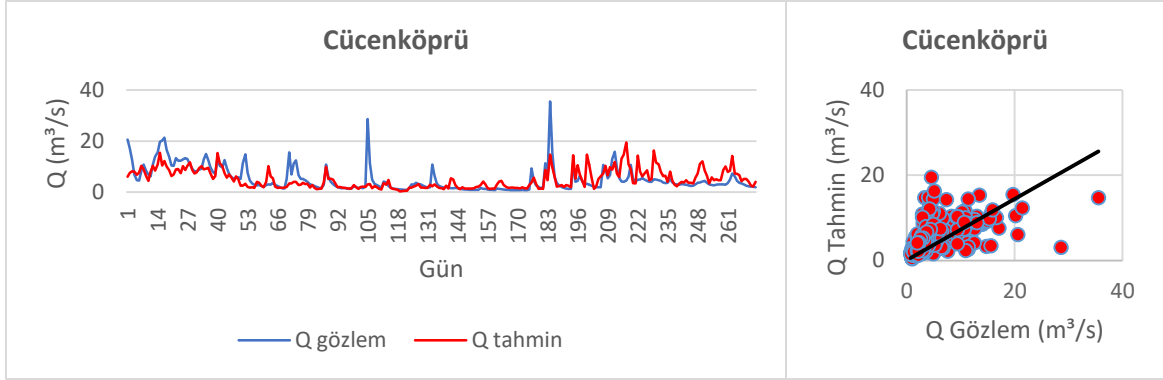


Şekil 3.36. Cücenköprü YSA M2-3 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.47. Cücenköprü YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : CÜCENKÖPRÜ (VG 9)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	4,333	4,264	4,349	4,349	4,607	4,510	4,451	5,097	4,593
	M2	4,451	4,220	4,233	4,351	4,439	4,801	4,420	4,761	4,767
	M3	4,636	4,377	4,369	4,616	4,729	4,606	4,463	4,509	4,415
	M4	4,435	4,737	4,288	4,415	4,565	4,447	4,772	4,614	4,619
	M5	4,666	4,597	4,250	4,944	4,991	4,384	4,665	5,020	4,496
	M6	4,826	4,633	4,527	4,531	4,454	4,882	4,557	4,493	5,581
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,531	0,533	0,492	0,536	0,421	0,489	0,486	0,441	0,467
	M2	0,513	0,545	0,535	0,526	0,478	0,446	0,484	0,477	0,436
	M3	0,365	0,515	0,519	0,492	0,451	0,494	0,452	0,442	0,495
	M4	0,513	0,321	0,507	0,510	0,465	0,486	0,461	0,470	0,462
	M5	0,345	0,392	0,539	0,447	0,420	0,493	0,493	0,424	0,489
	M6	0,291	0,333	0,489	0,493	0,466	0,399	0,449	0,452	0,363
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,214	0,238	0,208	0,208	0,111	0,148	0,029	-0,088	0,116
	M2	0,170	0,254	0,249	0,207	0,175	0,034	0,182	0,050	0,048
	M3	0,099	0,197	0,200	0,107	0,063	0,111	0,165	0,148	0,183
	M4	0,176	0,060	0,230	0,183	0,127	0,057	0,046	0,108	0,106
	M5	0,088	0,115	0,243	-0,024	-0,044	0,195	0,088	-0,056	0,153
	M6	0,024	0,101	0,142	0,140	0,169	0,002	0,130	0,154	0,005
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	2,714	2,627	2,717	2,731	2,820	2,942	2,784	3,225	3,010
	M2	2,872	2,637	2,632	2,777	2,957	3,056	2,736	3,058	2,972
	M3	3,137	2,775	2,746	2,857	3,151	2,874	2,864	2,998	2,894
	M4	2,744	3,251	2,800	2,747	2,827	2,920	3,021	2,936	3,018
	M5	3,157	3,072	2,714	3,044	2,848	2,790	3,118	3,118	2,771
	M6	3,287	3,152	2,944	2,716	2,772	3,054	2,892	2,898	3,451

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



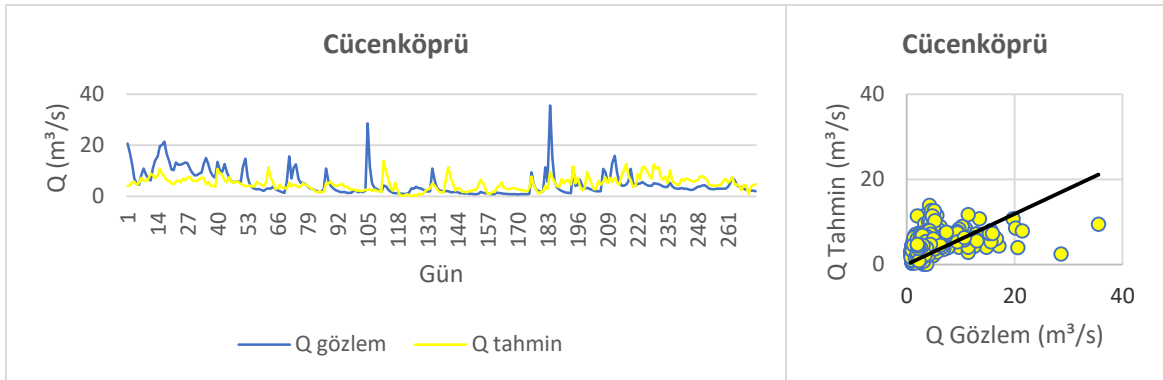
Şekil 3.37. Cücenköprü MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.48. Cücenköprü MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : CÜCENKÖPRÜ (VG 9)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M1						
M1	4,088	0,575	0,300	2,498	Bağımsız Değişken Sayısı	7
M2	4,115	0,571	0,291	2,524	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	4,226	0,551	0,252	2,680	TF Sayısı	35
M4	4,223	0,547	0,253	2,522	SD	5
M5	4,134	0,563	0,284	2,552	Ceza Derecesi	0
M6	4,144	0,560	0,280	2,534		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

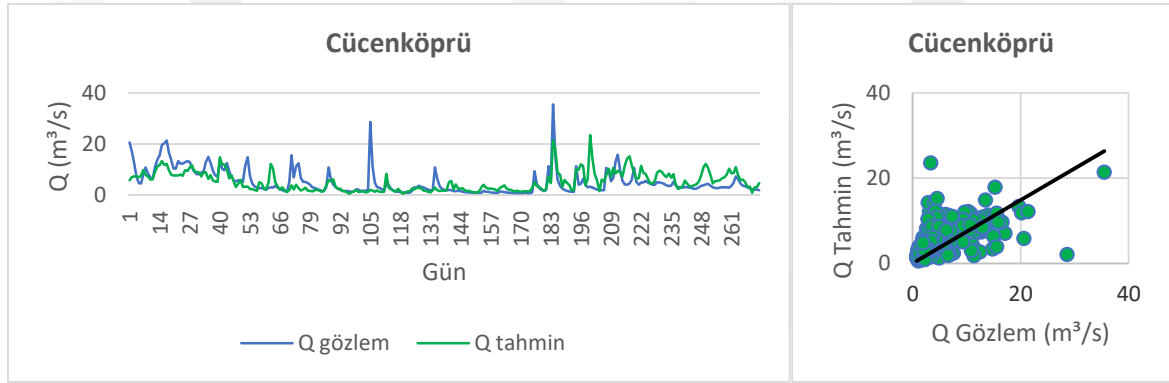


Şekil 3.38. Cücenköprü F3-M1 model değerlendirmesi

Tablo 3.49. Cücenköprü ÇR performans değerlendirmesi

VG 9		CÜCENKÖPRÜ			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M2	4,581	0,380	0,121	3,104
2	M1	4,544	0,381	0,135	3,129
3	M1	4,581	0,382	0,121	3,083

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Cücenköprü ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.50. Cücenköprü ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : CÜCENKÖPRÜ (VG 9)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	4,270	0,514	0,236	2,715	Bağımsız Değişken Sayısı	11
M2	4,275	0,513	0,235	2,729	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	4,309	0,504	0,222	2,773	Düğüm Sayısı	110
M4	4,230	0,553	0,250	2,670	Çıkarım Algoritması	SC
M5	4,207	0,557	0,258	2,702	Bulanık Kural Sayısı	4
M6	4,258	0,532	0,240	2,746		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.10. Çiftidere (VG 10)

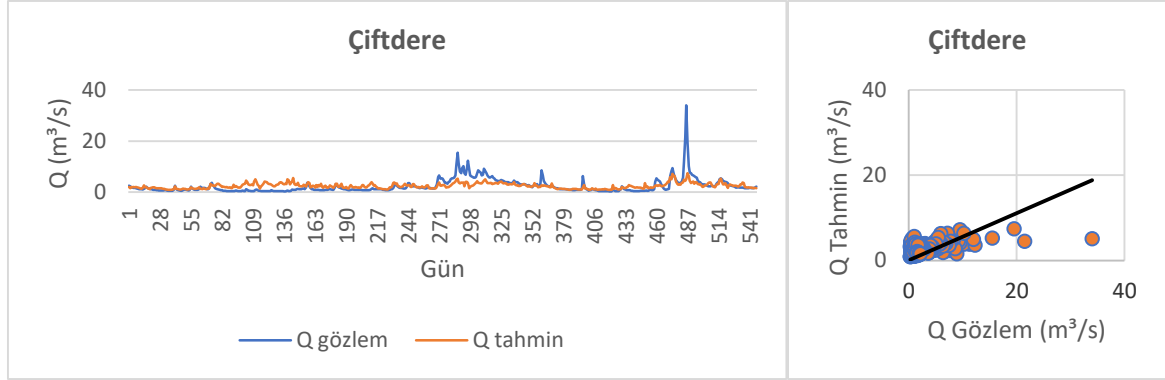
Çiftidere konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A059 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1996-2005 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Çiftidere konumu için oluşturulan modeller arasından, korelasyon katsayısı temel alınarak diğer kriterler incelendiğinde diğer kriterlerin en iyi değerlerine yakın değerlerde olduğu görüldüğünden konum için belirlenen en iyi model, ara katmanda 5 nöron bulunan, girdi seti M6 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.51'de, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.40'ta görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M6 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.52'de debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.41'de görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.53'te, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M6, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.42'de görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.54'te ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.43'te görülmektedir.

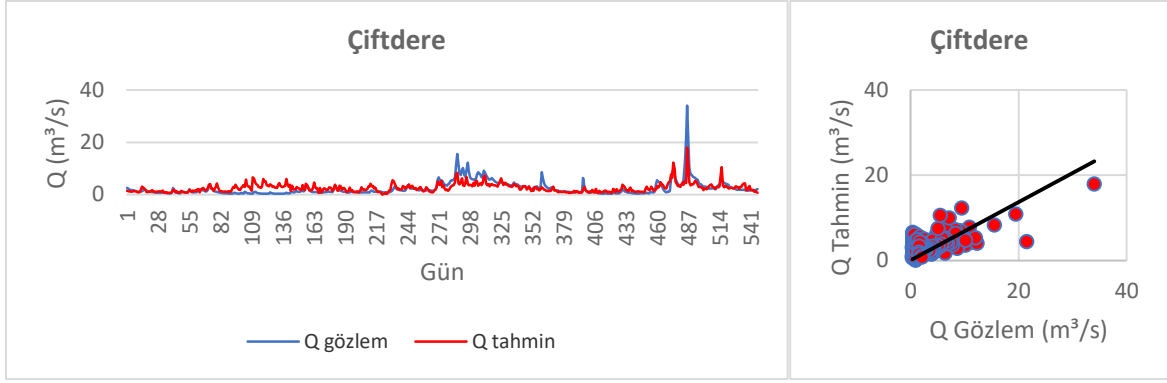


Şekil 3.40. Çiftidere YSA M6-5 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.51. Çiftidere YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : ÇİFTDERE (VG 10)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	2,426	2,474	2,423	2,414	2,501	2,459	2,552	2,462	2,905
	M2	2,399	2,386	2,443	2,421	2,403	2,436	2,519	2,413	2,546
	M3	2,459	2,437	2,432	2,504	2,539	2,517	2,741	2,527	2,478
	M4	2,445	2,395	2,478	2,410	2,611	2,425	2,541	2,557	2,514
	M5	2,645	2,385	2,435	2,401	2,661	2,515	2,497	2,505	2,469
	M6	2,391	2,389	2,623	2,387	2,580	2,643	2,435	2,513	2,696
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,558	0,511	0,541	0,531	0,471	0,497	0,440	0,497	0,149
	M2	0,552	0,555	0,525	0,534	0,544	0,519	0,480	0,537	0,514
	M3	0,511	0,514	0,532	0,473	0,500	0,459	0,326	0,451	0,488
	M4	0,521	0,546	0,486	0,552	0,392	0,536	0,441	0,429	0,476
	M5	0,364	0,557	0,521	0,530	0,359	0,459	0,472	0,472	0,489
	M6	0,556	0,543	0,383	0,574	0,420	0,376	0,540	0,463	0,456
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,265	0,236	0,267	0,272	0,219	0,245	0,187	0,243	0,054
	M2	0,281	0,290	0,255	0,268	0,279	0,259	0,208	0,273	0,191
	M3	0,245	0,258	0,262	0,218	0,195	0,209	0,062	0,203	0,233
	M4	0,253	0,284	0,233	0,275	0,149	0,266	0,194	0,184	0,211
	M5	0,127	0,290	0,260	0,280	0,116	0,210	0,222	0,216	0,239
	M6	0,287	0,287	0,141	0,288	0,169	0,128	0,260	0,211	0,093
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	1,405	1,464	1,395	1,390	1,359	1,340	1,494	1,401	1,851
	M2	1,318	1,390	1,452	1,372	1,329	1,343	1,580	1,411	1,693
	M3	1,390	1,411	1,515	1,383	1,670	1,382	1,824	1,411	1,401
	M4	1,399	1,340	1,462	1,389	1,410	1,476	1,418	1,398	1,523
	M5	1,694	1,389	1,332	1,380	1,424	1,385	1,457	1,524	1,409
	M6	1,329	1,346	1,409	1,376	1,399	1,391	1,401	1,402	1,962

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



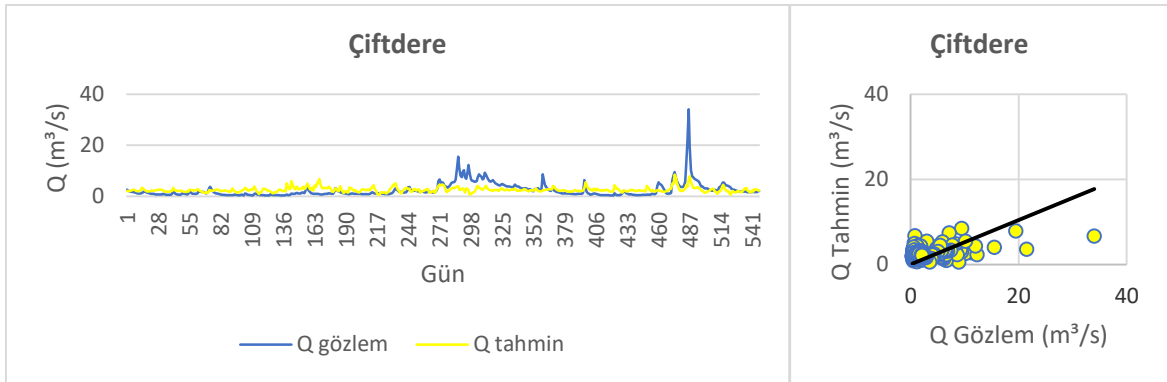
Şekil 3.41. Çiftdere MARS performans değerlendirilmesi

Tablo 3.52. Çiftdere MARS performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : ÇİFTDERE (VG 10)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M6						
M1	2,116	0,671	0,441	1,343	Bağımsız Değişken Sayısı	11
M2	2,117	0,670	0,440	1,346	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	2,079	0,687	0,460	1,320	TF Sayısı	49
M4	2,080	0,686	0,460	1,323	SD	4
M5	2,067	0,691	0,467	1,303	Ceza Derecesi	0
M6	2,064	0,694	0,468	1,301		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

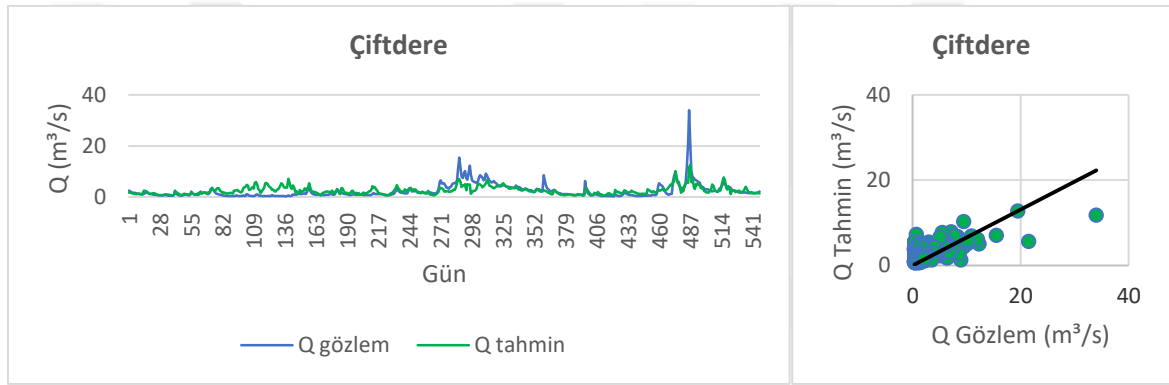


Şekil 3.42. Çiftdere F1-M6 model değerlendirilmesi

Tablo 3.53. Çiftidere ÇR performans değerlendirme

VG 10		ÇİFTDERE			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M6	2,598	0,412	0,157	1,727
2	M6	2,722	0,301	0,075	1,805
3	M6	2,600	0,406	0,156	1,736

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.43. Çiftidere ANFIS M5 modeli performans değerlendirme

Tablo 3.54. Çiftidere ANFIS performans değerlendirme

VERİ GRUBU : ÇİFTDERE (VG 10)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	2,341	0,569	0,316	1,373	Bağımsız Değişken Sayısı	12
M2	2,337	0,571	0,318	1,368	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	2,177	0,652	0,408	1,289	Düğüm Sayısı	119
M4	2,342	0,569	0,315	1,373	Çıkarım Algoritması	SC
M5	2,152	0,661	0,422	1,280	Bulanık Kural Sayısı	4
M6	2,167	0,659	0,414	1,295		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.11. Mikronköprü (VG 11)

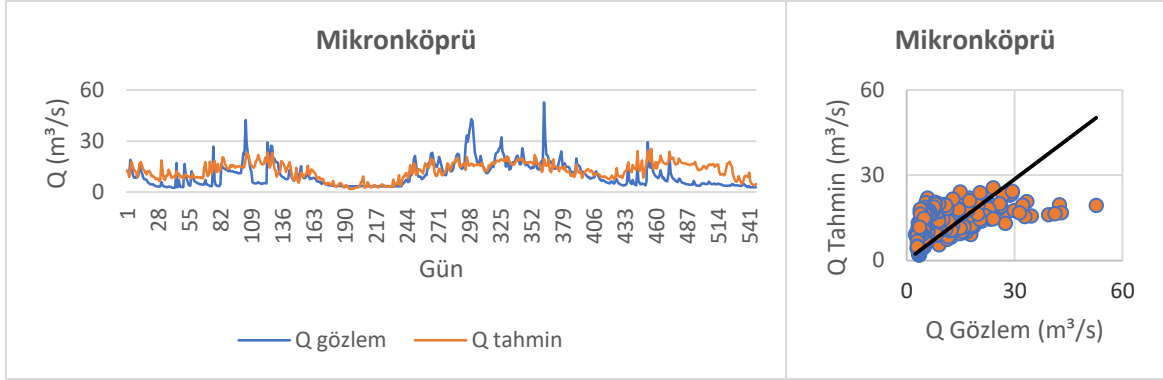
Mikronköprü konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A063 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1999-2008 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 5 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Mikronköprü konumu için oluşturulan Akarsu akışı tahmin modelleri arasından, üç kriterde en iyi değerin sağlandığı ve r kriteri için de en iyi sonuca çok yakın değer üretilmesi sebebiyle, konum için belirlenen en iyi model, ara katmanda 10 nöron bulunan, girdi seti M4 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.55'te, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.44'te görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M3 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.56'da debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.45'te görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.57'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M4, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.46'da görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 5 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.58'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.47'de görülmektedir.

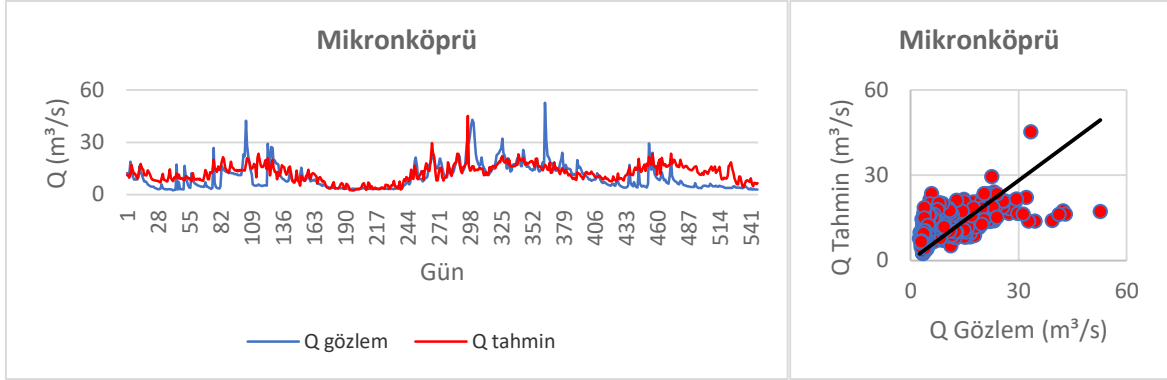


Şekil 3.44. Mikronköprü YSA M4-10 modeli değerlendirmesi

Tablo 3.55. Mikronköprü YSA performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : MİKRONKÖPRÜ (VG 11)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	7,338	6,652	7,728	7,170	6,907	7,450	7,025	6,700	7,423
	M2	6,724	6,657	7,531	6,658	6,758	6,775	6,872	7,118	6,796
	M3	6,771	7,139	6,861	6,861	6,911	6,907	7,009	6,907	7,587
	M4	7,655	6,680	7,163	6,719	6,901	7,018	6,965	6,981	6,464
	M5	6,673	6,873	6,506	7,027	6,724	6,847	7,815	7,118	6,987
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,489	0,557	0,510	0,537	0,571	0,532	0,534	0,566	0,552
	M2	0,553	0,577	0,514	0,566	0,564	0,563	0,560	0,565	0,570
	M3	0,575	0,529	0,578	0,563	0,550	0,563	0,554	0,553	0,523
	M4	0,574	0,565	0,559	0,559	0,552	0,563	0,541	0,561	0,582
	M5	0,558	0,574	0,583	0,541	0,561	0,558	0,577	0,547	0,558
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,010	0,170	0,121	0,035	0,105	0,042	0,074	0,158	0,034
	M2	0,152	0,168	0,064	0,168	0,143	0,139	0,114	0,049	0,133
	M3	0,140	0,044	0,117	0,117	0,104	0,105	0,078	0,105	0,080
	M4	0,100	0,163	0,037	0,153	0,106	0,076	0,090	0,085	0,216
	M5	0,164	0,114	0,206	0,073	0,152	0,120	0,146	0,049	0,084
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	5,870	5,024	6,261	5,502	5,392	6,012	5,274	5,026	5,868
	M2	5,061	5,088	5,894	5,000	5,010	5,096	5,040	5,527	5,257
	M3	5,247	5,678	5,322	5,220	5,130	5,395	5,219	5,082	6,104
	M4	5,933	4,950	5,536	5,007	5,221	5,549	5,044	5,204	4,839
	M5	5,044	5,408	4,914	5,178	5,057	5,275	6,029	5,197	5,067

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



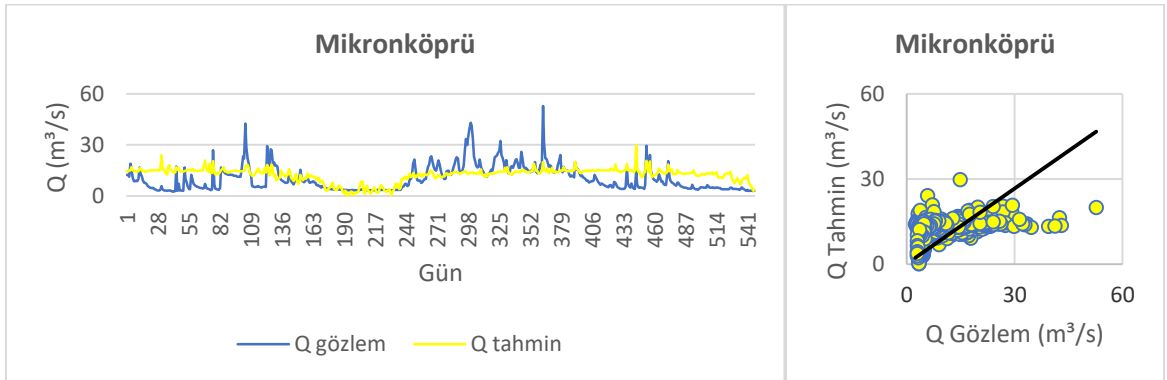
Şekil 3.45. Mikronköprü MARS performans değerlendirilmesi

Tablo 3.56. Mikronköprü MARS performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : MİKRONKÖPRÜ (VG 11)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M3						
M1	6,407	0,591	0,010	4,704	Bağımsız Değişken Sayısı	8
M2	6,289	0,596	0,258	4,670	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	6,289	0,596	0,258	4,670	TF Sayısı	29
M4	6,289	0,596	0,100	4,670	SD	6
M5	6,393	0,576	0,233	4,738	Ceza Derecesi	1

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

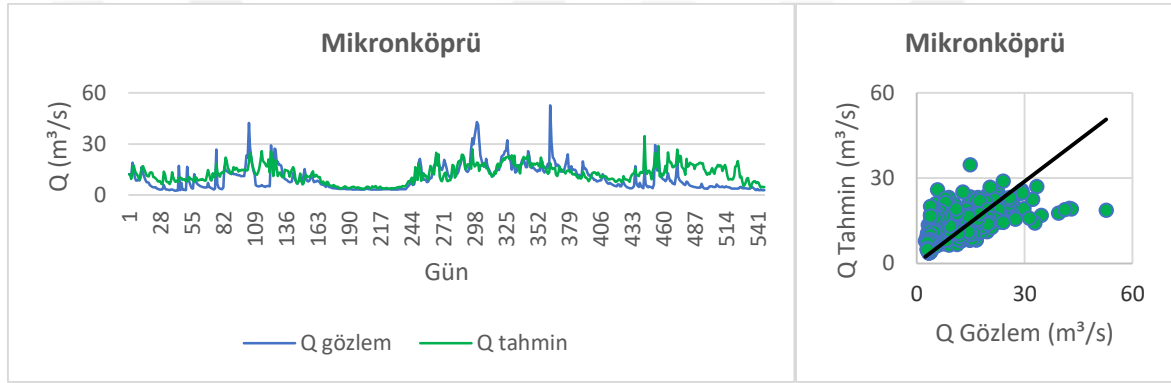


Şekil 3.46. Mikronköprü F1-M4 model değerlendirilmesi

Tablo 3.57. Mikronköprü ÇR performans değerlendirmesi

VG 11		MİKRONKÖPRÜ			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M4	7,111	0,413	0,051	5,507
2	M3	7,406	0,335	0,100	5,824
3	M3	7,440	0,304	0,100	5,918

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.47. Mikronköprü ANFIS M2 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.58. Mikronköprü ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : MİKRONKÖPRÜ (VG 11)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M2	
M1	6,399	0,593	0,232	4,705	Bağımsız Değişken Sayısı	8
M2	6,360	0,603	0,241	4,695	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	6,425	0,585	0,100	4,730	Düğüm Sayısı	83
M4	6,423	0,586	0,226	4,724	Çıkarım Algoritması	SC
M5	6,428	0,584	0,225	4,755	Bulanık Kural Sayısı	4

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.12. Kovanlık (VG 12)

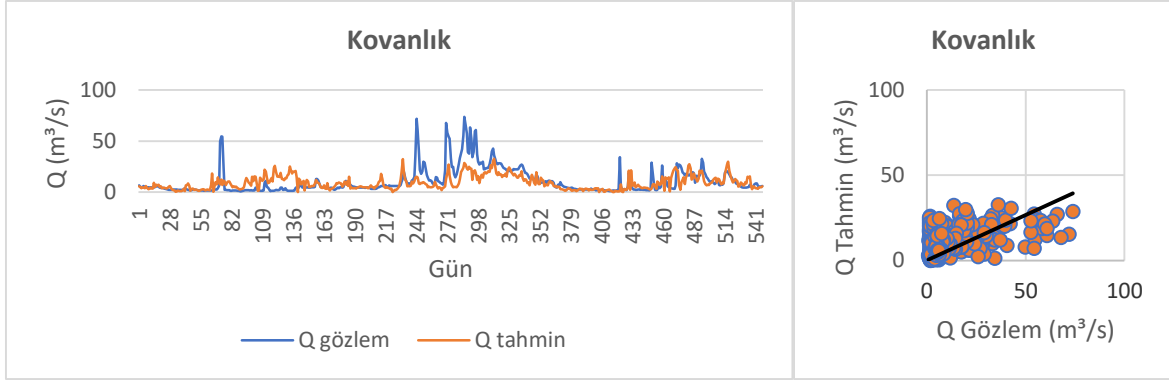
Kovanlık konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A064 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1996-2005 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 5 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Kovanlık konumu için oluşturulan Akarsu akışı tahmin modelleri arasından, tüm kriterde en iyi performansın sağlandığı model, ara katmanda 10 nöron bulunan, girdi seti M3 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.59'da, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.48'de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M3 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.60'da debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.49'dadır.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.61'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M1, tahmin fonksiyonu 2. fonksiyon (F2) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.50'de görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.62'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.51'de görülmektedir.

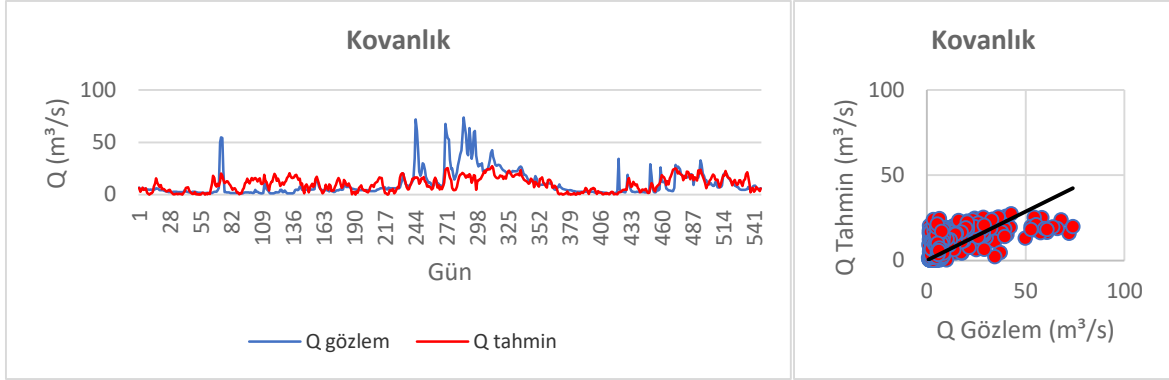


Şekil 3.48. Kovanlık YSA M3-10 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.59. Kovanlık YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : KOVANLIK (VG 12)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	11,235	11,589	11,140	11,094	10,907	11,063	11,355	10,557	10,875
	M2	10,880	10,719	11,145	11,057	10,843	10,737	10,909	10,784	10,806
	M3	11,042	11,218	10,986	10,912	10,994	10,925	10,953	10,533	10,493
	M4	10,971	10,818	10,860	10,912	10,834	10,727	11,030	10,749	10,763
	M5	11,267	11,124	11,145	10,957	11,247	10,844	12,298	11,151	10,853
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,447	0,392	0,461	0,479	0,494	0,489	0,449	0,547	0,514
	M2	0,497	0,523	0,470	0,472	0,505	0,513	0,495	0,512	0,528
	M3	0,470	0,465	0,484	0,512	0,496	0,491	0,509	0,548	0,558
	M4	0,489	0,512	0,497	0,491	0,515	0,514	0,481	0,522	0,524
	M5	0,433	0,456	0,479	0,502	0,444	0,513	0,328	0,472	0,506
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,192	0,140	0,205	0,212	0,238	0,216	0,174	0,286	0,243
	M2	0,242	0,264	0,204	0,217	0,247	0,262	0,238	0,255	0,252
	M3	0,219	0,194	0,227	0,237	0,226	0,236	0,232	0,290	0,295
	M4	0,229	0,251	0,245	0,237	0,248	0,263	0,221	0,260	0,258
	M5	0,187	0,208	0,205	0,231	0,190	0,247	0,031	0,204	0,246
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	7,201	7,845	6,673	6,721	7,152	6,726	7,887	6,579	6,814
	M2	6,934	6,840	6,844	7,412	6,467	6,781	6,971	6,788	6,509
	M3	7,016	7,463	6,582	6,519	6,480	6,606	6,476	6,455	6,268
	M4	6,721	6,409	6,668	6,753	6,455	6,666	6,630	6,957	6,896
	M5	7,368	7,294	6,818	6,581	7,121	6,501	9,137	7,707	6,845

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



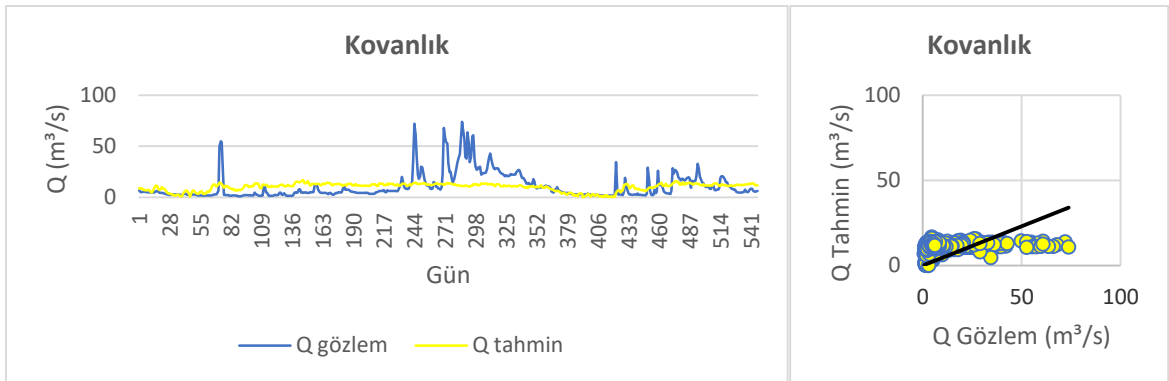
Şekil 3.49. Kovanlık MARS performans değerlendirme

Tablo 3.60. Kovanlık MARS performans değerlendirme

VERİ GRUBU : KOVANLIK (VG 12)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M3						
M1	10,375	0,562	0,311	6,410	Bağımsız Değişken Sayısı	10
M2	10,345	0,566	0,315	6,360	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	10,181	0,585	0,336	6,237	TF Sayısı	21
M4	10,288	0,573	0,322	6,380	SD	1
M5	10,368	0,563	0,312	6,416	Ceza Derecesi	0

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

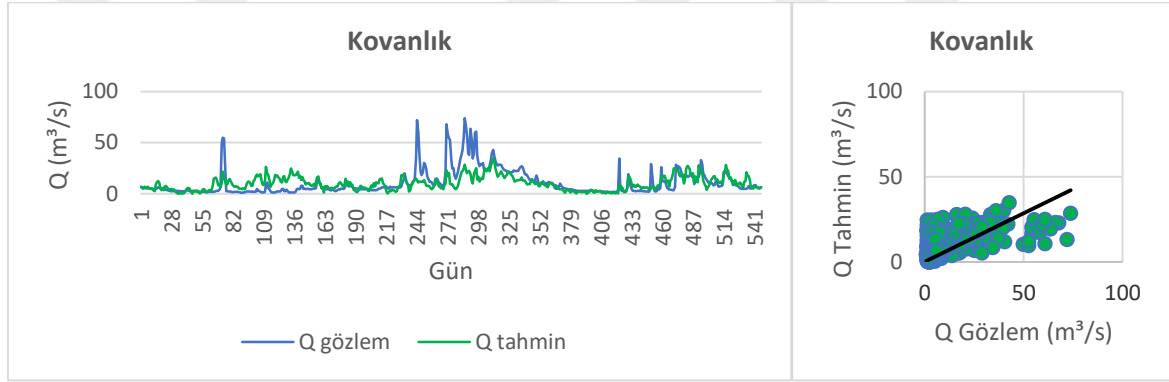


Şekil 3.50. Kovanlık F2-M1 model değerlendirme

Tablo 3.61. Kovanlık ÇR performans değerlendirme

VG 12		KOVANLIK			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M4	11,732	0,347	0,119	7,979
2	M1	11,690	0,362	0,125	7,610
3	M1	11,706	0,354	0,122	7,899

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.51. Kovanlık ANFIS M1 modeli performans değerlendirme

Tablo 3.62. Kovanlık ANFIS performans değerlendirme

VERİ GRUBU : KOVANLIK (VG 12)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
ANFIS M1						
M1	10,315	0,568	0,319	6,387	Bağımsız Değişken Sayısı	8
M2	10,405	0,557	0,307	6,411	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	10,516	0,544	0,292	6,414	Düğüm Sayısı	65
M4	10,472	0,549	0,298	6,426	Çıkarım Algoritması	SC
M5	10,377	0,559	0,310	6,447	Bulanık Kural Sayısı	3

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.13. İkisu (VG 13)

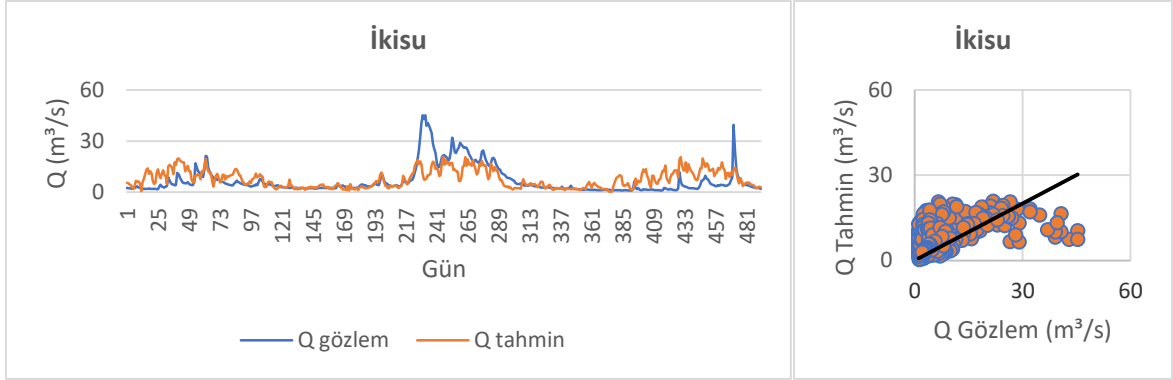
İkisu konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A071 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1990-1998 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 5 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans çıktıları incelendiğinde, İkisu konumu için oluşturulan modeller arasından, üç kriterde en iyi değerin sağlandığı ve r kriteri için de en iyi sonuca yakın değer üretilmesi sebebiyle, konum için belirlenen en iyi model, ara katmanda 6 nöron bulunan, girdi seti M1 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.63'te, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.52'de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M3 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.64'te debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.53'te görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.65'te, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M3, tahmin fonksiyonu 1. Fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.54'te görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 5 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.66'da ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.55'te görülmektedir.

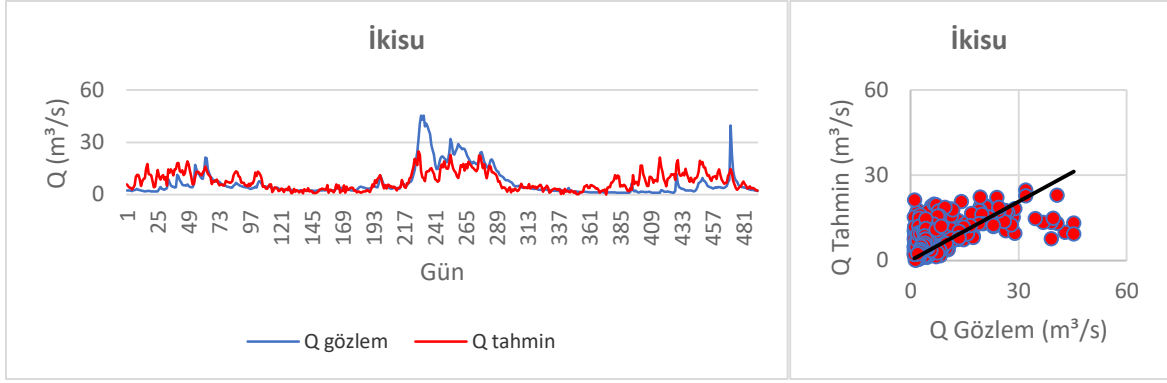


Şekil 3.52. İkisü YSA M1-6 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.63. İkisü YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : İKİSÜ (VG 13)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	7,316	7,133	7,969	7,574	6,939	7,106	7,110	7,408	7,599
	M2	7,098	7,252	8,200	6,977	7,034	7,118	7,136	7,106	6,956
	M3	7,099	7,113	7,235	7,276	7,265	7,347	7,239	7,138	7,147
	M4	7,084	7,040	7,117	6,977	6,950	7,755	7,161	7,443	7,258
	M5	7,149	7,397	7,083	7,213	7,220	7,490	7,025	7,118	7,246
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,512	0,480	0,449	0,467	0,523	0,511	0,502	0,476	0,527
	M2	0,499	0,484	0,474	0,540	0,515	0,509	0,500	0,515	0,520
	M3	0,490	0,495	0,475	0,484	0,487	0,488	0,514	0,505	0,508
	M4	0,486	0,506	0,494	0,522	0,524	0,416	0,503	0,492	0,498
	M5	0,485	0,464	0,513	0,492	0,483	0,486	0,499	0,499	0,477
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,163	0,204	0,006	0,102	0,247	0,210	0,209	0,141	0,096
	M2	0,212	0,177	0,052	0,238	0,226	0,207	0,203	0,210	0,243
	M3	0,211	0,208	0,181	0,172	0,174	0,155	0,180	0,203	0,201
	M4	0,215	0,224	0,207	0,238	0,244	0,059	0,198	0,133	0,176
	M5	0,200	0,144	0,215	0,186	0,184	0,122	0,228	0,207	0,179
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	5,452	4,901	5,829	5,382	4,464	4,663	4,582	5,226	6,097
	M2	4,585	5,119	5,966	4,923	4,634	4,656	4,690	4,739	4,648
	M3	4,993	4,620	5,129	4,825	5,004	5,231	5,218	4,831	4,720
	M4	4,756	4,554	4,627	4,747	4,523	5,606	4,765	5,518	5,004
	M5	4,567	5,077	4,568	4,744	4,919	5,512	4,499	4,653	5,071

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



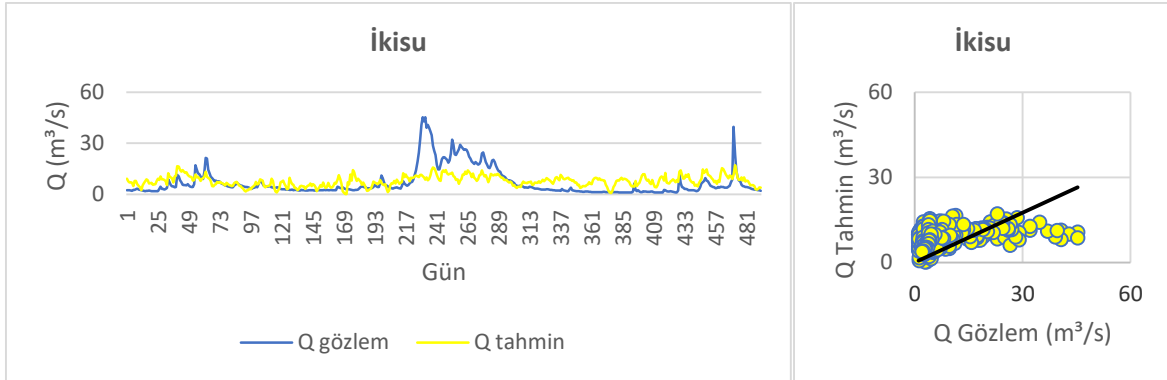
Şekil 3.53. İkisu MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.64. İkisu MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : İKİSU (VG 13)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M3						
M1	6,608	0,577	0,317	4,402	Bağımsız Değişken Sayısı	11
M2	6,608	0,577	0,317	4,402	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	6,605	0,578	0,317	4,393	TF Sayısı	28
M4	6,630	0,573	0,312	4,397	SD	2
M5	6,782	0,549	0,280	4,610	Ceza Derecesi	0

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

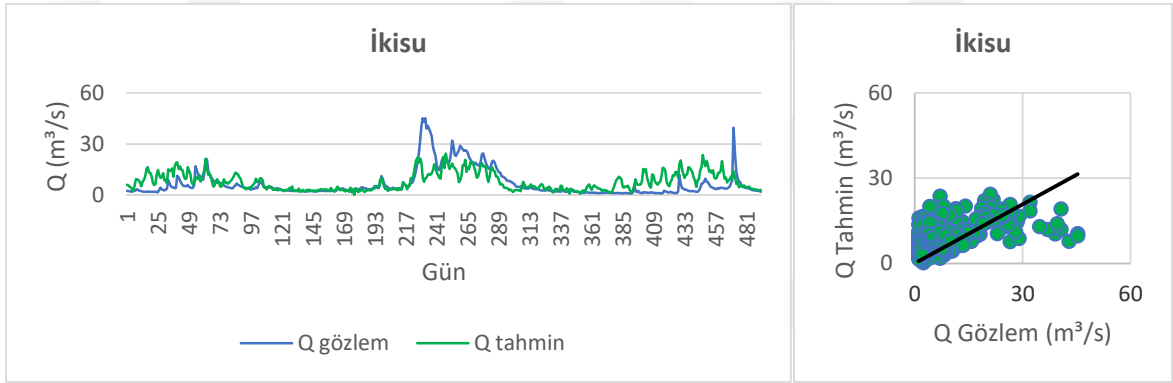


Şekil 3.54. İkisu F1-M3 model değerlendirme

Tablo 3.65. İkisu ÇR performans değerlendirmesi

VG 13		İKİSU			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M3	7,161	0,469	0,198	5,111
2	M3	7,419	0,410	0,139	5,237
3	M3	7,952	0,218	0,011	5,945

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.55. İkisu ANFIS M3 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.66. İkisu ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : İKİSU (VG 13)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M3	
M1	6,934	0,527	0,248	4,465	Bağımsız Değişken Sayısı	11
M2	6,925	0,530	0,250	4,442	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	6,852	0,544	0,265	4,428	Düğüm Sayısı	86
M4	6,978	0,520	0,238	4,541	Çıkarım Algoritması	SC
M5	6,927	0,532	0,249	4,469	Bulanık Kural Sayısı	3

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.14. Arılı (VG 14)

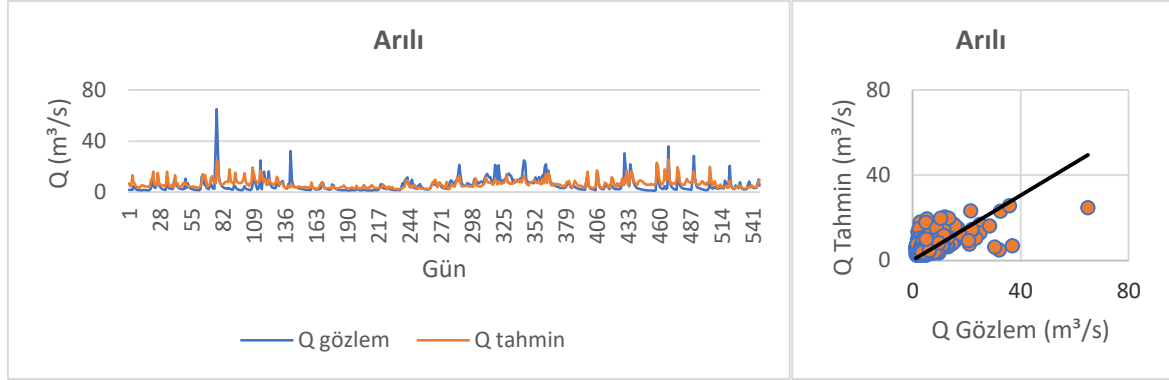
Arılı konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A072 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1995-2004 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Arılı konumu için oluşturulan modeller arasından, üç kriterde en iyi değerin sağlandığı ve MAE kriteri için de en iyi sonuca çok yakın değer üretilmesi sebebiyle, konum için belirlenen en iyi model, ara katmanda 4 nöron bulunan, girdi seti M3 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.67'de, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.56'da görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M4 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.68'de debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.57'de görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.69'da, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M5, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.58'de görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.70'te ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.59'da görülmektedir.

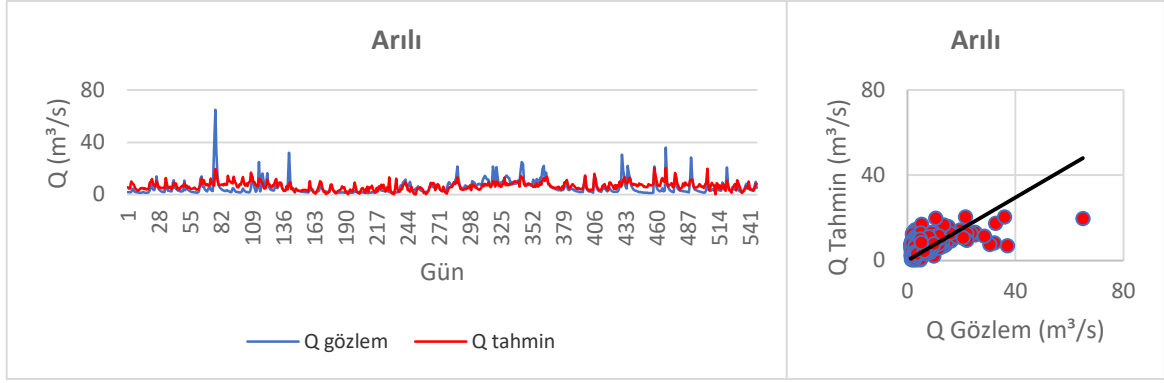


Şekil 3.56. Arılı YSA M3-4 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.67. Arılı YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : ARILI (VG 14)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	5,087	4,700	4,698	5,053	4,862	4,686	4,759	4,778	4,766
	M2	4,701	5,138	4,824	4,711	4,928	5,104	4,810	4,923	5,207
	M3	4,704	4,741	4,624	4,734	4,704	4,704	4,770	4,719	4,798
	M4	4,663	4,866	4,739	4,668	4,721	4,698	4,867	4,844	4,775
	M5	4,697	4,663	4,760	4,686	4,691	4,733	4,767	4,829	5,203
	M6	5,061	4,740	4,745	4,661	4,786	4,844	4,716	4,813	4,736
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,480	0,597	0,594	0,483	0,566	0,590	0,559	0,573	0,581
	M2	0,602	0,477	0,583	0,590	0,555	0,561	0,576	0,565	0,501
	M3	0,600	0,595	0,605	0,591	0,578	0,574	0,584	0,589	0,578
	M4	0,604	0,583	0,594	0,600	0,596	0,596	0,570	0,581	0,587
	M5	0,592	0,594	0,591	0,594	0,596	0,581	0,586	0,582	0,553
	M6	0,492	0,586	0,597	0,597	0,594	0,566	0,598	0,579	0,590
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,204	0,321	0,322	0,215	0,273	0,325	0,304	0,298	0,302
	M2	0,321	0,188	0,284	0,318	0,253	0,199	0,289	0,255	0,166
	M3	0,320	0,309	0,343	0,311	0,320	0,320	0,301	0,315	0,292
	M4	0,331	0,272	0,309	0,330	0,315	0,321	0,272	0,279	0,299
	M5	0,322	0,332	0,303	0,325	0,323	0,311	0,301	0,283	0,168
	M6	0,213	0,309	0,308	0,332	0,296	0,279	0,316	0,288	0,310
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	3,594	3,225	3,219	3,528	3,431	3,191	3,117	3,238	3,268
	M2	3,203	3,609	3,245	3,112	3,372	3,673	3,262	3,359	3,432
	M3	3,146	3,209	3,040	3,120	3,152	3,075	3,212	3,130	3,198
	M4	3,123	3,336	3,197	3,111	3,155	3,120	3,334	3,263	3,151
	M5	3,102	3,003	3,208	3,135	3,125	3,176	3,191	3,282	3,757
	M6	3,536	3,159	3,183	3,064	3,305	3,300	3,164	3,199	3,119

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



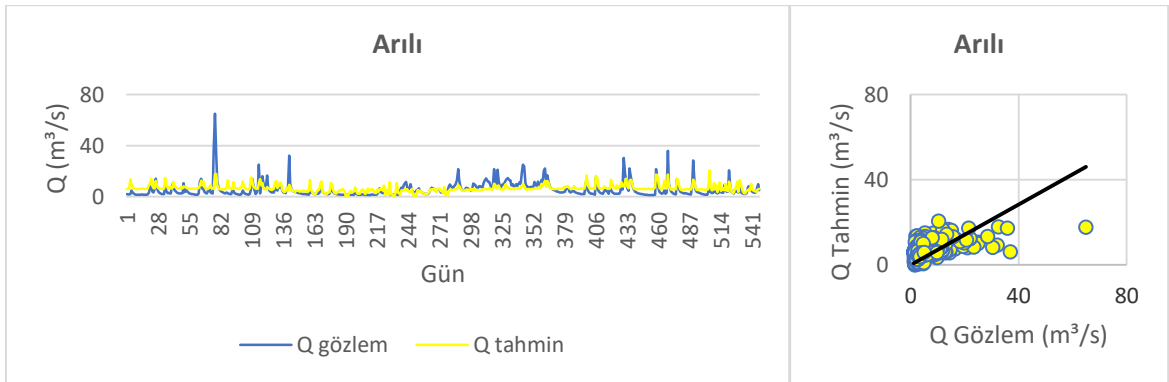
Şekil 3.57. Arılı MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.68. Arılı MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : ARILI (VG 14)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M4						
M1	4,834	0,551	0,282	3,248	Bağımsız Değişken Sayısı	6
M2	4,848	0,549	0,278	3,255	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	4,782	0,568	0,297	3,200	TF Sayısı	21
M4	4,762	0,573	0,303	3,187	SD	1
M5	4,786	0,567	0,296	3,202	Ceza Derecesi	0
M6	4,765	0,572	0,302	3,193		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

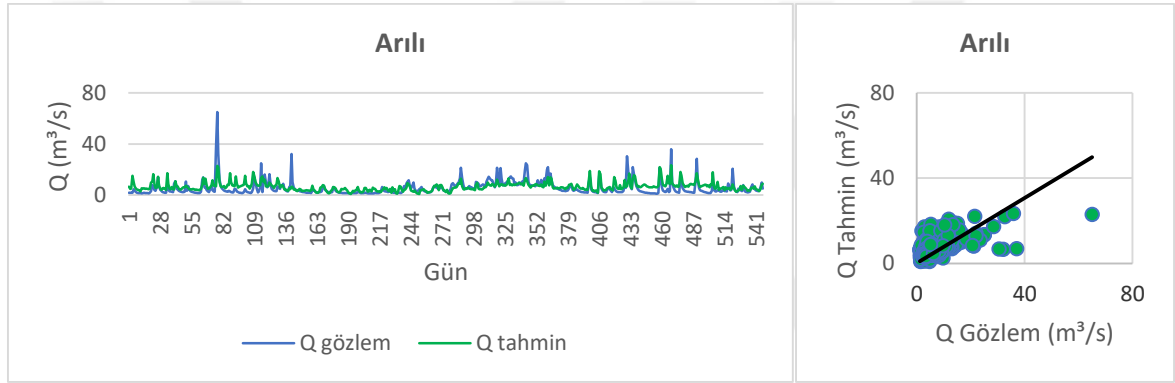


Şekil 3.58. Arılı F1-M5 model değerlendirmesi

Tablo 3.69. Arılı ÇR performans değerlendirmesi

VG 14		ARILI			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M5	4,932	0,527	0,252	3,411
2	M1	5,130	0,442	0,191	3,273
3	M1	5,080	0,475	0,207	3,543

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.59. Arılı ANFIS M4 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.70. Arılı ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : ARILI (VG 14)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M4	
M1	4,667	0,596	0,330	3,152	Bağımsız Değişken Sayısı	6
M2	4,667	0,598	0,330	3,076	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	4,654	0,603	0,334	3,080	Düğüm Sayısı	37
M4	4,627	0,609	0,342	3,053	Çıkarım Algoritması	SC
M5	4,669	0,602	0,330	3,094	Bulanık Kural Sayısı	2
M6	4,645	0,605	0,337	3,068		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.15. Sınırköy (VG 15)

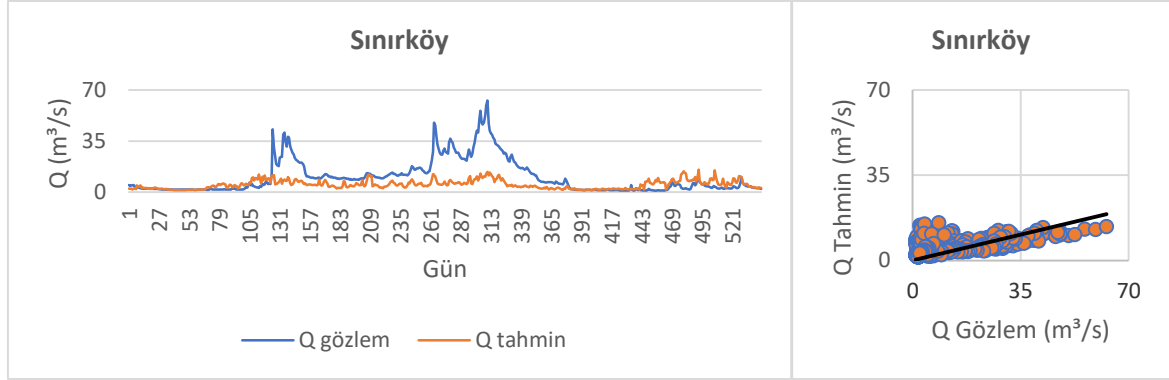
Sınırköy konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A080 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 1998-2007 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Sınırköy konumu için oluşturulan Akarsu akışı tahmin modelleri arasından, iki kriterde en iyi değerin sağlandığı, r kriterinde en iyi değere çok yakın sonuç elde edildiği, RMSE kriteri için de en iyi sonuca çok uzak olmayan değer üretilmesi sebebiyle, konum için belirlenen en iyi model, ara katmanda 3 nöron bulunan, girdi seti M1 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.71'de, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.60'ta görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M1 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.72'de debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.61'de görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.73'te, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M5, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.62'de görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.74'te ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.63'te görülmektedir.

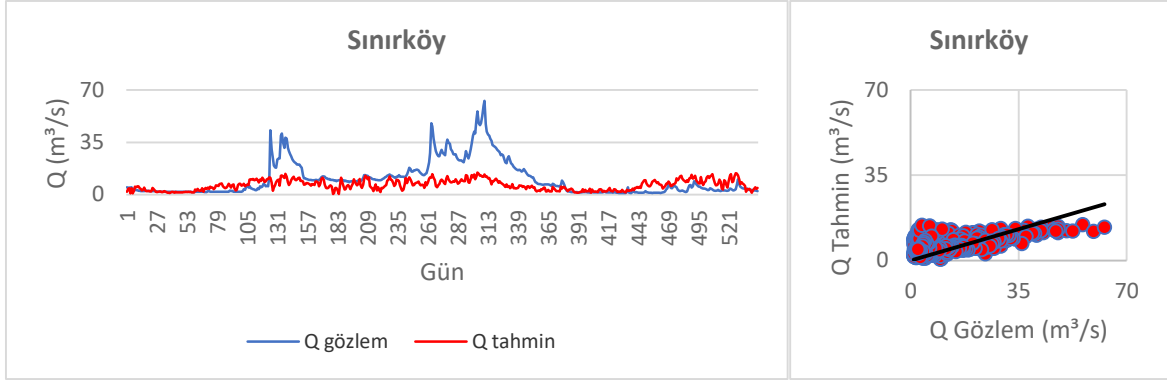


Şekil 3.60. Sınırköy YSA M1-3 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.71. Sınırköy YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : SINIRKÖY (VG 15)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	11,285	11,348	11,516	11,199	11,884	11,305	11,757	11,732	11,663
	M2	11,524	11,368	11,492	11,571	11,641	11,558	11,608	11,654	11,720
	M3	11,633	11,523	11,551	10,980	11,506	11,640	11,841	11,572	11,529
	M4	11,233	11,523	11,435	11,413	11,374	11,365	11,017	11,637	11,592
	M5	11,378	11,560	11,108	11,135	11,488	11,231	11,268	11,608	11,699
	M6	11,660	11,322	11,332	11,187	11,381	11,568	11,690	11,632	11,334
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,467	0,519	0,437	0,464	0,352	0,467	0,434	0,429	0,435
	M2	0,488	0,474	0,438	0,454	0,461	0,459	0,452	0,414	0,451
	M3	0,448	0,466	0,458	0,489	0,470	0,431	0,376	0,447	0,474
	M4	0,483	0,481	0,447	0,466	0,490	0,463	0,476	0,451	0,404
	M5	0,423	0,473	0,441	0,508	0,469	0,492	0,488	0,458	0,418
	M6	0,437	0,479	0,431	0,477	0,427	0,421	0,442	0,435	0,485
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,027	0,051	0,045	0,039	0,049	0,043	0,041	0,044	0,040
	M2	0,047	0,042	0,041	0,046	0,045	0,045	0,036	0,033	0,044
	M3	0,018	0,044	0,036	0,038	0,038	0,038	0,045	0,040	0,032
	M4	0,039	0,035	0,039	0,040	0,035	0,041	0,049	0,017	0,043
	M5	0,044	0,046	0,044	0,043	0,045	0,036	0,045	0,037	0,035
	M6	0,039	0,024	0,041	0,043	0,045	0,044	0,044	0,036	0,036
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	7,163	7,181	7,463	7,466	7,503	7,454	7,497	7,470	7,412
	M2	7,348	7,295	7,539	7,383	7,463	7,351	7,544	7,539	7,525
	M3	7,469	7,431	7,446	7,241	7,477	7,532	7,607	7,598	7,435
	M4	7,150	7,389	7,447	7,413	7,339	7,358	7,335	7,513	7,614
	M5	7,395	7,498	7,359	6,921	7,532	7,326	7,457	7,526	7,762
	M6	7,491	7,276	7,555	7,421	7,555	7,632	7,574	7,578	7,316

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.61. Sınırköy MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.72. Sınırköy MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : SINIRKÖY (VG 15)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M1						
M1	10,676	0,547	0,027	6,909	Bağımsız Değişken Sayısı	5
M2	10,716	0,535	0,047	6,984	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	10,745	0,530	0,018	7,018	TF Sayısı	10
M4	10,780	0,523	0,039	7,065	SD	1
M5	10,735	0,536	0,044	7,054	Ceza Derecesi	0
M6	10,700	0,537	0,039	7,013		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.62. Sınırköy F1-M5 model değerlendirilmesi

Tablo 3.73. Sınırköy ÇR performans değerlendirmesi

VG 15		SINIRKÖY			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M5	11,169	0,441	0,047	6,827
2	M5	11,178	0,443	0,047	6,878
3	M1	11,402	0,391	0,027	7,117

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.63. Sınırköy ANFIS M1 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.74. Sınırköy ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : SINIRKÖY (VG 15)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M1	
M1	10,764	0,538	0,103	7,012	Bağımsız Değişken Sayısı	5
M2	10,822	0,514	0,094	7,115	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	10,817	0,522	0,094	7,154	Düğüm Sayısı	32
M4	10,795	0,518	0,098	7,072	Çıkarım Algoritması	SC
M5	10,792	0,524	0,098	7,078	Bulanık Kural Sayısı	2
M6	10,817	0,520	0,094	7,057		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.16. Kömürcüler (VG 16)

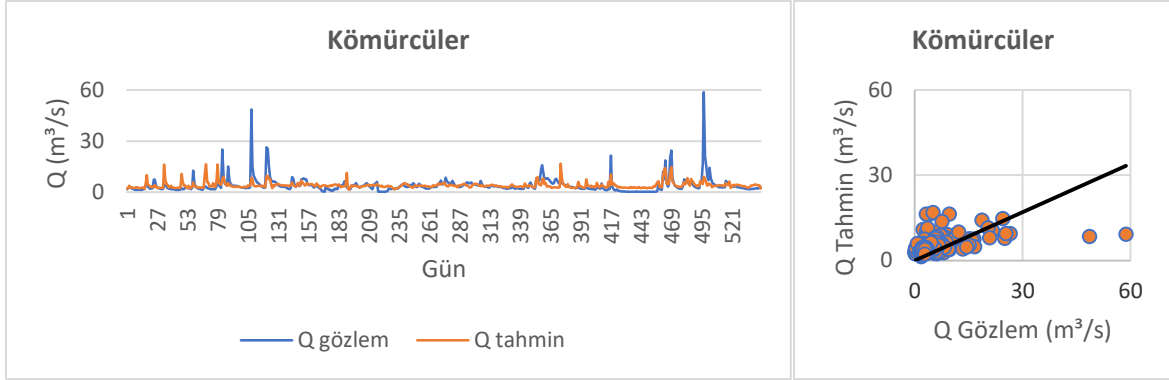
Kömürcüler konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A082 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 2006-2015 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Kömürcüler konumu için oluşturulan modeller arasından, r kriteri en yüksek değerine farklı bir modelde ulaşmış olsa da diğer kriterler için daha düşük hatalı tahminler üretilmiş olması sebebiyle, konum için belirlenen en iyi model, ara katmanda 7 nöron bulunan, girdi seti M6 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.75'te, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.64'te görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M6 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.76'da debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.65'te görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.77'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M6, tahmin fonksiyonu 3. fonksiyon (F3) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.66'da görülmektedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.78'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.67'de görülmektedir.

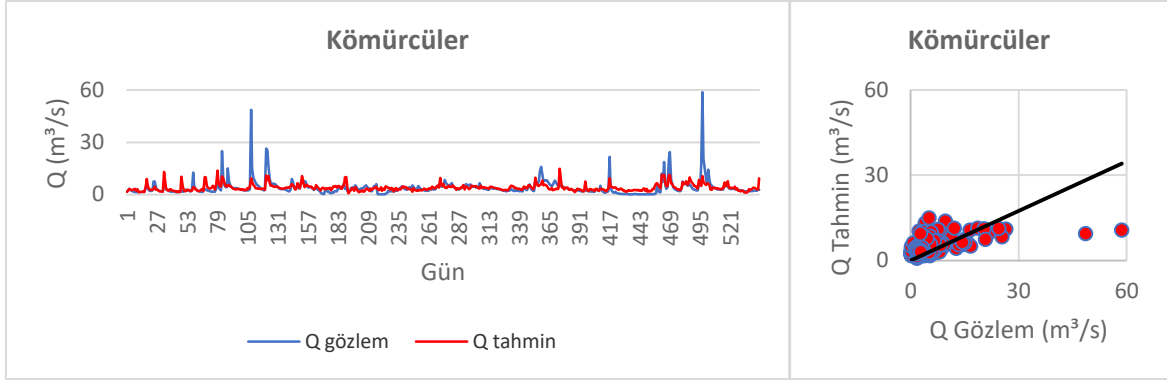


Şekil 3.64. Kömürçüler YSA M6-7 modeli değerlendirilmesi

Tablo 3.75. Kömürçüler YSA performans değerlendirilmesi

VERİ GRUBU : KÖMÜRCÜLER (VG 16)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	4,215	4,230	4,282	4,846	4,395	4,385	4,288	4,242	4,468
	M2	4,189	4,173	4,196	4,383	4,220	4,201	4,266	4,410	4,170
	M3	4,208	4,224	4,228	4,272	4,275	4,118	4,188	4,267	4,313
	M4	4,030	3,961	4,000	4,083	4,054	4,036	4,061	4,057	3,961
	M5	4,104	4,135	3,969	3,954	4,031	4,009	4,008	4,020	3,995
	M6	4,148	4,042	3,987	3,986	4,079	3,942	4,036	4,009	3,992
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,384	0,373	0,343	0,285	0,278	0,309	0,341	0,379	0,254
	M2	0,400	0,422	0,393	0,294	0,379	0,389	0,353	0,339	0,413
	M3	0,386	0,377	0,381	0,348	0,351	0,453	0,396	0,353	0,331
	M4	0,469	0,509	0,490	0,449	0,459	0,465	0,455	0,455	0,505
	M5	0,446	0,422	0,508	0,517	0,469	0,482	0,479	0,475	0,485
	M6	0,423	0,465	0,492	0,495	0,447	0,509	0,468	0,481	0,485
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,145	0,138	0,117	0,131	0,070	0,144	0,115	0,133	0,039
	M2	0,155	0,162	0,152	0,145	0,143	0,150	0,124	0,063	0,163
	M3	0,148	0,141	0,139	0,121	0,120	0,183	0,155	0,123	0,105
	M4	0,218	0,245	0,230	0,197	0,209	0,216	0,206	0,207	0,245
	M5	0,189	0,177	0,241	0,247	0,218	0,226	0,226	0,222	0,231
	M6	0,172	0,213	0,235	0,235	0,199	0,252	0,216	0,226	0,233
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	2,071	2,068	2,121	2,233	2,136	2,114	2,161	2,154	2,148
	M2	2,072	2,041	2,044	2,119	2,116	2,050	2,120	2,178	2,068
	M3	2,085	2,085	2,055	2,141	2,096	2,040	2,021	2,117	2,126
	M4	1,949	1,911	1,906	1,988	1,959	1,947	1,943	1,993	1,851
	M5	2,060	2,050	1,933	1,966	1,896	1,950	1,987	1,911	1,885
	M6	2,091	1,945	1,917	1,915	1,989	1,930	1,946	1,964	1,876

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



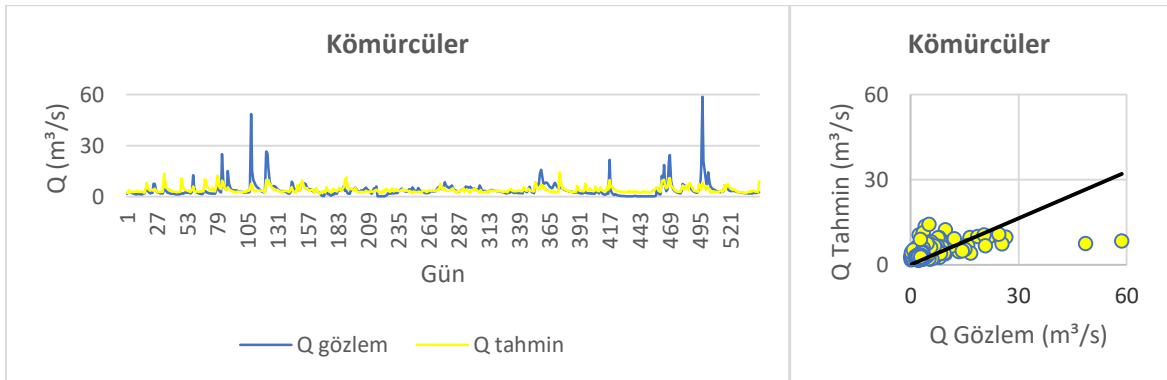
Şekil 3.65. Kömürcüler MARS performans değerlendirme

Tablo 3.76. Kömürcüler MARS performans değerlendirme

VERİ GRUBU : KÖMÜRCÜLER (VG 16)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M6						
M1	4,026	0,477	0,220	2,007	Bağımsız Değişken Sayısı	10
M2	4,026	0,477	0,220	2,007	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	3,990	0,495	0,234	2,012	TF Sayısı	19
M4	3,776	0,576	0,314	1,784	SD	1
M5	3,784	0,573	0,311	1,786	Ceza Derecesi	0
M6	3,776	0,577	0,314	1,780		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

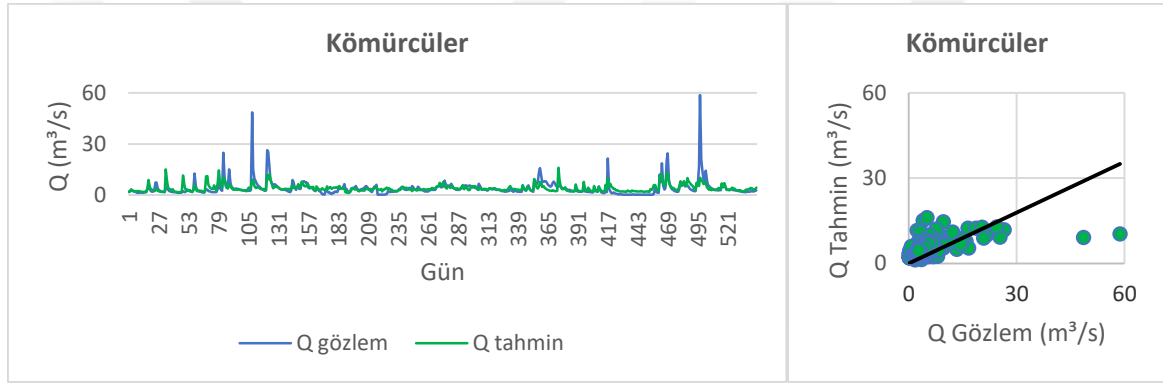


Şekil 3.66. Kömürcüler F3-M6 model değerlendirme

Tablo 3.77. Kömürçüler ÇR performans değerlendirmesi

VG 16		KÖMÜRCÜLER			
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M6	3,990	0,496	0,234	1,957
2	M2	4,222	0,392	0,142	2,054
3	M6	3,977	0,502	0,239	1,958

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.67. Kömürçüler ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.78. Kömürçüler ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : KÖMÜRCÜLER (VG 16)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	4,049	0,471	0,211	2,001	Bağımsız Değişken Sayısı	10
M2	4,036	0,477	0,216	1,990	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	4,027	0,481	0,219	1,994	Düğüm Sayısı	79
M4	3,834	0,549	0,292	1,823	Çıkarım Algoritması	SC
M5	3,734	0,587	0,329	1,762	Bulanık Kural Sayısı	3
M6	3,834	0,550	0,292	1,807		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.6.17. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu (VG 17)

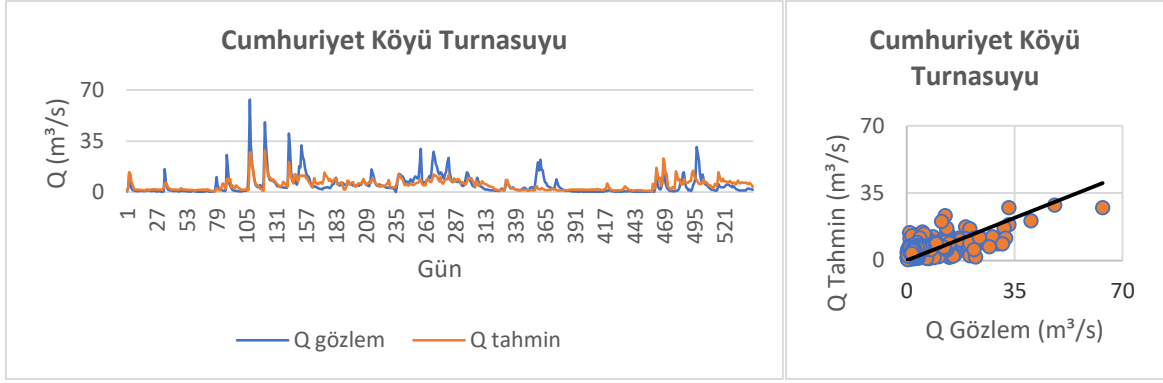
Cumhuriyet Köyü Turnasuyu konumunda DSİ tarafından kurulmuş D22A093 istasyonu bulunmaktadır. Bölgede kurulan SPM'ler 2006-2015 yılları aralığında oluşturulmuş veri setleri ile çalıştırılmıştır. Veri setlerinin farklı gün gecikmeleri ile elde edilmiş, gözlenen değerler ile en yüksek korelasyona sahip 6 girdi kombinasyonu denenmiştir.

YSA-SPM performans değerleri incelendiğinde, Cumhuriyet Köyü Turnasuyu konumu için oluşturulan modeller arasından, üç kriterde en iyi performansa ulaşılmış ve MAE kriteri için ise en iyi değere çok yakın değer elde edilmiş olması sebebiyle, konum için belirlenen en iyi model, ara katmanda 2 nöron bulunan, girdi seti M4 ve transfer fonksiyonu tanjant sigmoid olan modeldir. Girdi kombinasyonu ve gizli katmandaki nöron sayısına göre incelenmiş performans katsayıları Tablo 3.79'da, en yüksek performans değerinin elde edildiği YSA-SPM'ne ait debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.68'de görülmektedir.

MARS modelleri için performansı en yüksek modeldeki girdi kombinasyonu M5 olarak belirlenmiştir. En iyi MARS-SPM'ne ait performans değerlendirmesi ve model parametreleri Tablo 3.80'de debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.69'da görülmektedir.

ÇR ile SPM oluşturmak üzere 3 farklı fonksiyon denenmiş olup fonksiyonların girdi kombinasyonları ile çalıştırılması ile en yüksek performans değeri elde edilen ÇR-SPM modeli performans çıktıları Tablo 3.81'de, fonksiyonlar arasından en yüksek performans değerine ulaşılan, girdi kombinasyonu M6, tahmin fonksiyonu 1. fonksiyon (F1) olan ÇR-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.70'tedir.

ANFIS kullanılarak oluşturulması amaçlanan ANFIS-SPM eldesi için istasyondaki 6 girdi kombinasyonu denenmiş olup, optimum ANFIS yapısının oluşturulması için kümeleme algoritması SC kullanılmıştır. Modellere göre elde edilen performans katsayıları ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM model parametreleri Tablo 3.82'de ve en yüksek performansın elde edildiği ANFIS-SPM için debi-gidiş eğrisi ve saçılım diyagramı Şekil 3.71'de görülmektedir.

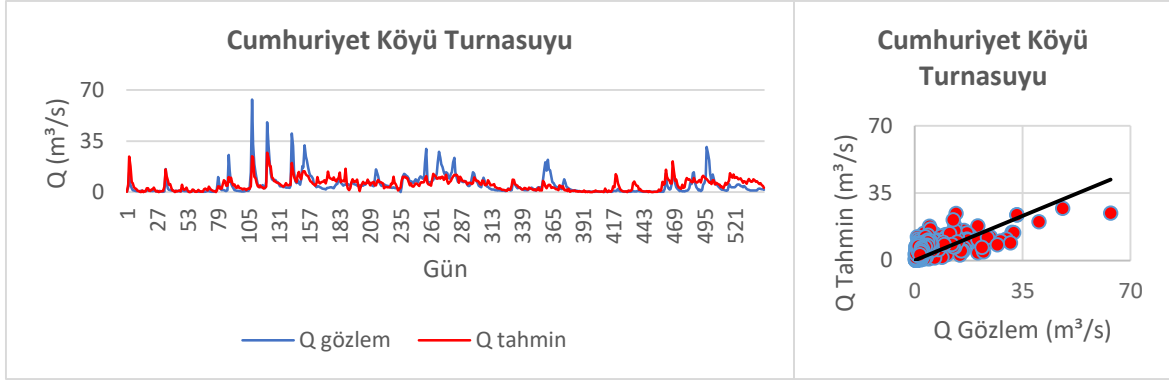


Şekil 3.68. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu YSA M4-2 modeli değerlendirmesi

Tablo 3.79. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu YSA performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : CUMHURİYET KÖYÜ TURNASUYU (VG 17)										
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
RMSE	M1	5,336	5,105	4,940	5,122	4,999	4,932	5,316	4,871	5,072
	M2	5,286	4,848	4,933	4,822	4,919	5,032	5,003	6,034	5,757
	M3	5,171	4,807	4,821	4,934	5,057	5,114	5,230	5,258	5,649
	M4	4,797	5,235	4,869	4,986	4,960	4,909	4,871	4,919	5,137
	M5	5,119	4,925	4,871	4,905	4,932	5,147	5,057	5,014	5,603
	M6	4,959	4,899	4,930	5,004	4,868	5,381	5,024	5,271	5,544
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
r	M1	0,607	0,656	0,672	0,643	0,667	0,674	0,604	0,683	0,650
	M2	0,614	0,689	0,677	0,696	0,679	0,660	0,662	0,476	0,537
	M3	0,634	0,695	0,695	0,675	0,659	0,642	0,621	0,621	0,536
	M4	0,702	0,633	0,684	0,666	0,675	0,681	0,684	0,677	0,639
	M5	0,661	0,680	0,684	0,678	0,675	0,642	0,657	0,660	0,552
	M6	0,673	0,678	0,680	0,661	0,689	0,616	0,660	0,615	0,574
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	M1	0,360	0,414	0,451	0,410	0,438	0,453	0,364	0,466	0,421
	M2	0,371	0,471	0,453	0,477	0,456	0,430	0,437	0,181	0,255
	M3	0,399	0,480	0,477	0,452	0,425	0,412	0,385	0,378	0,282
	M4	0,483	0,384	0,467	0,441	0,447	0,458	0,466	0,456	0,406
	M5	0,411	0,455	0,466	0,459	0,453	0,404	0,425	0,434	0,294
	M6	0,447	0,460	0,453	0,437	0,467	0,349	0,432	0,375	0,309
Per. Kriteri	Model	Nöron Sayısı								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAE	M1	3,284	3,319	2,960	3,064	2,951	2,841	3,104	2,869	3,084
	M2	3,093	2,995	3,098	2,913	2,892	3,097	2,966	3,351	3,217
	M3	3,183	2,910	3,023	3,065	3,180	2,984	3,168	3,060	3,180
	M4	2,904	3,289	2,992	2,861	3,056	2,886	2,970	3,003	2,936
	M5	2,886	3,046	2,929	2,984	2,892	2,965	2,844	2,980	3,096
	M6	3,083	2,988	2,913	3,060	2,999	3,342	3,081	2,999	2,998

Performansı en iyi olan YSA yapısı her performans kriterinde kalın punto ile gösterilmiştir.



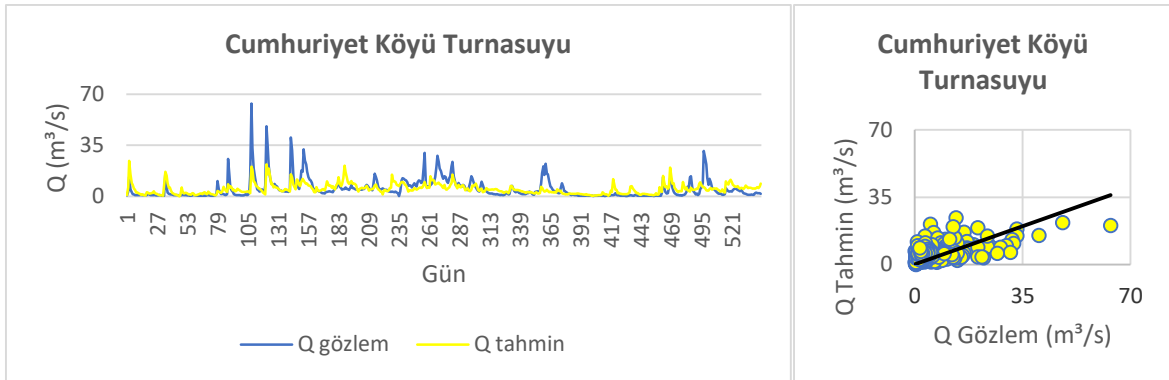
Şekil 3.69. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu MARS performans değerlendirmesi

Tablo 3.80. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu MARS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : CUMHURİYET KÖYÜ TURNASUYU (VG 17)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
MARS M5						
M1	4,907	0,679	0,458	3,031	Bağımsız Değişken Sayısı	11
M2	4,894	0,681	0,461	3,046	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	4,871	0,685	0,466	3,031	TF Sayısı	22
M4	4,866	0,686	0,467	3,024	SD	1
M5	4,851	0,690	0,471	2,983	Ceza Derecesi	0
M6	4,864	0,687	0,468	2,999		

SD: Serbestlik Derecesi

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

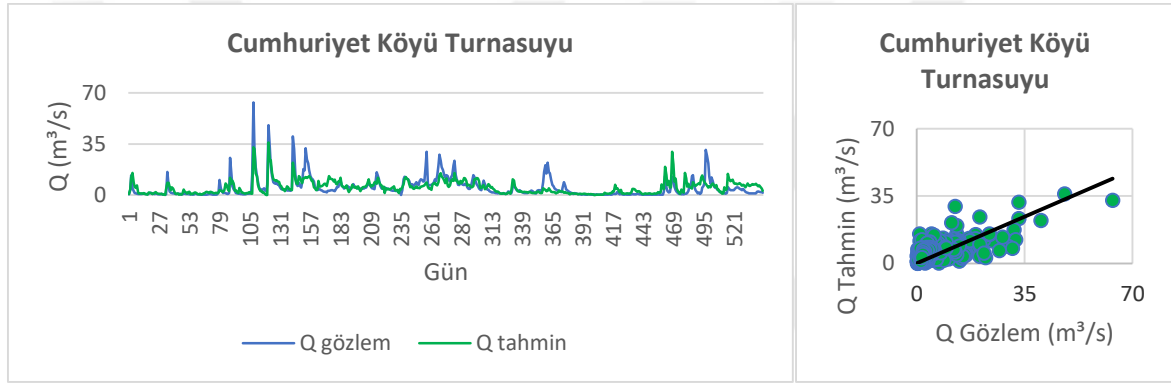


Şekil 3.70. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu F1-M6 model değerlendirilmesi

Tablo 3.81. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu ÇR performans değerlendirmesi

VG 17	CUMHURİYET KÖYÜ TURNASUYU				
Fonksiyon	Girdi	RMSE	r	E	MAE
1	M6	5,304	0,611	0,367	3,234
2	M1	5,700	0,519	0,269	3,318
3	M6	5,329	0,606	0,361	3,251

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.



Şekil 3.71. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu ANFIS M5 modeli performans değerlendirmesi

Tablo 3.82. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu ANFIS performans değerlendirmesi

VERİ GRUBU : CUMHURİYET KÖYÜ TURNASUYU (VG 17)						
Model	RMSE	r	E	MAE	Model Tasarımı	
					ANFIS M5	
M1	4,671	0,714	0,509	2,840	Bağımsız Değişken Sayısı	11
M2	4,649	0,718	0,514	2,823	Bağımlı Değişken Sayısı	1
M3	4,660	0,716	0,512	2,842	Düğüm Sayısı	110
M4	4,752	0,702	0,492	2,856	Çıkarım Algoritması	SC
M5	4,639	0,719	0,516	2,825	Bulanık Kural Sayısı	4
M6	4,666	0,715	0,510	2,841		

SC: Subtractive Clustering

Performansı en yüksek model için performans kriterleri koyu punto ile gösterilmiştir.

3.7. Akarsu Akışı Tahmin Modelleri Performans Değerlendirmesi

Çalışmada oluşturulan SPM yapıları dört farklı performans kriterine göre değerlendirilmiştir. Bu kriterlerin toplu şekilde irdelenmesi yapılmış ve analiz bölgelerinde en yüksek performans değeri elde eden SPM yapısı belirlenmiştir. Farklı sayısal yöntemler kullanılarak oluşturulan SPM'lerin her biri için performans değerlendirmesinde kullanılan katsayılar aynı test grubu ile benzer şekilde değerlendirilmiştir. Yapılan performans değerlendirmelerinde, dört kriter göz önüne alındığında, hata katsayıları olan RMSE ve MAE için en düşük değere, diğer performans katsayıları r ve E için en yüksek değere göre en yüksek performans belirlenmek üzere SPM çıktıları araştırılmıştır. Oluşturulan SPM'lerden performans katsayılarına göre en yüksek performans değerine ulaşan model, analiz bölgesinde iklim değişikliğinin akarsu akışına etkilerinin incelemesi için müstakbel akarsu akışlarını tahmin etmek üzere kullanılmıştır. Analiz bölgelerinde tarihsel veri setleri kullanılarak oluşturulan SPM'lerden elde edilen Q_{tahmin} setlerinin hedef çıktı olan $Q_{\text{gözlem}}$ seti ile sunulduğu debi-gidiş eğrileri sırasıyla ekte sunulmuştur.

SPM çıktıları incelendiğinde, gözlenen Q değerlerinin test periyodundaki artış-azalış seyirlerine uygunluk gösterdiği görülmektedir. Girdi setindeki veriler incelendiğinde, yağışın arttığı ve sıcaklık değerlerinin azalmaya başladığı zamanlarda beklenen debi artışlarının tahmin çıktılarına bazı noktalarda yansımadağı görülmüştür. Bu durumunun noktasal ölçüm verilerinin kaydedildiği istasyonların analiz yapılan AGİ konumuna uzaklığı ve buna bağlı olarak bölgenin engebeli topografyası da düşünüldüğünde yağış geçişlerinin farklılığı olabileceği düşünülmüştür. Pik debi değerlerinin tahmin edilmesi konusunda tüm SPM'ler ani çıkışları tahmin etme konusunda zorlanmış ancak, Makine öğrenmesi gerçekleştiren yöntemlerle oluşturulan SPM'ler debi artış günlerindeki trende uygun tahminler üretmişlerdir. AGİ'lere göre en iyi SPM'ler Tablo 3.83'te gösterilmiştir.

YSA, MARS ve ANFIS gibi karmaşık fonksiyonların çalıştırıldığı ve makine öğrenmesi gerçekleştiren yöntemlerle oluşturulan SPM'lerin ÇR yöntemi ile denenmiş üç fonksiyondan daha iyi tahmin performansı elde ettiği belirlenmiştir. Bu durum değerlendirildiğinde, makine öğrenmesi gerçekleştiren modellerin paralel olarak çok fazla fonksiyonu çalıştırarak sonuç araştırması, tahmin ile hedef değer arasındaki hata değerine göre katsayı optimizasyonu yapması ve yeni oluşturulan tahminleyici ile yeni tahminler üretmesi ile gösterdiği dinamik işlem gücü, ÇR ile elde edilemediğinden, YSA, MARS ve

ANFIS kullanılarak oluşturulan SPM'ler ÇR kullanılarak oluşturulan SPM'lere göre daha yüksek performans değerleri elde etmiştir.

Çalışma kapsamında oluşturulan ve AGİ konumlarında denenilen YSA-SPM, MARS-SPM, ÇR-SPM ve ANFIS-SPM'lerin tahmin performansı incelendiğinde MARS yöntemi ile oluşturulan SPM'lerin diğer sayısal yöntemler ile oluşturulan SPM'lere göre üstünlük sağladığı, ANFIS ile oluşturulan SPM'lerin de YSA ve ÇR ile oluşturulan SPM'lere göre daha fazla analiz konumunda üstünlük sağladığı belirlenmiştir. Analiz konumlarında başarılı tahminler üreten SPM mimarilerinde girdi kombinasyonlarının karmaşıklığındaki artışın performansı olumlu etkilediği gözlenmiştir. ANFIS yöntemi YSA ile bulanık sistem hibriti bir model olmasına rağmen YSA kullanılarak oluşturulmuş SPM'lere göre daha yüksek performans elde etmiştir. Girdi setinde bulunan bağımsız veri setlerinin gerçek değerler olarak kullanılmasına göre bir fonksiyonu ifade edecek şekilde dönüştürülmeleri ve SPM'de bu şekilde girdi verisi olarak kullanılmasının performansı arttırdığı görülmüştür. MARS modellerinde girdi değişkenlerinden oluşturulan TF'lerin ve ANFIS modelinde girdi değişkenlerinin ÜF kullanılarak sistem tarafından tahminlemede kullanılmasını bu konuya örnek olarak vermek mümkündür.

Analiz konumları için en yüksek performans değerine ulaşan SPM'lerdeki girdi kombinasyonlarının %65'inin En İyi Alt Kümeler Analizi kullanılarak, geri kalan %35'inin ise İleri Adımlı Seçim Analizi kullanılarak oluşturulduğu görülmüştür. Bu durumda, makine öğrenmesi ile oluşturulacak akarsu akışı tahmin modellerinde başarılı girdi kombinasyonu üretme konusunda, En İyi Alt Kümeler Analizinin, İleri Adımlı Seçim Analizine göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

YSA ile oluşturulan akarsu akışı tahmin modelinin, bazı analiz bölgelerinde MARS ve ANFIS yöntemi ile oluşturulan SPM'lere karşı daha yüksek performans değeri elde ettiği görülmüştür. YSA ile oluşturulan SPM'nin en yüksek performans değerine ulaştığı analiz bölgesi D22A072 (Arılı) AGİ'nin bulunduğu VG14 analiz bölgesi olmuştur. Bu istasyonda kaydedilmiş akım değerleri incelendiğinde akımlarda ortalama değerlerin %32 aşılma olasılığına karşılık gelen değere eşit olduğu görülmüştür. Benzer istatistiki incelemeler yağış ve sıcaklık veri setleri için yapıldığında yağış ortalaması tüm değerler içerisinde %23, sıcaklık ortalama değerleri de %49 aşılma olasılığı değerine denk gelmektedir.

Tablo 3.83. AGİ'lere göre en iyi akarsu akışı tahmin modelleri

Veri Grubu	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Sayısal Yöntem	En İyi Model
VG 1	E22A018	İyidere	ANFIS	ANFIS-SC-M5*
VG 2	E22A033	Tozköy Deresi	ANFIS	ANFIS-SC-M5*
VG 3	E22A051	Değirmendere	MARS	MARS-M5
VG 4	D22A006	Köprübaşı	ANFIS	ANFIS-SC-M5*
VG 5	D22A007	Şerah	MARS	MARS-M4
VG 6	D22A009	Torul	ANFIS	ANFIS-SC-M5*
VG 7	D22A034	Fındıklı	MARS	MARS-M4
VG 8	D22A044	Aytaş	MARS	MARS-M5
VG 9	D22A058	Cücenköprü	MARS	MARS-M1
VG 10	D22A059	Çiftdere	MARS	MARS-M6
VG 11	D22A063	Mikronköprü	ANFIS	ANFIS-SC-M2*
VG 12	D22A064	Kovanlık	MARS	MARS-M3
VG 13	D22A071	İkisu	MARS	MARS-M3
VG 14	D22A072	Arılı	YSA	YSA-4**-M4
VG 15	D22A080	Sınırköy	MARS	MARS-M1
VG 16	D22A082	Kömürcüler	ANFIS	ANFIS-SC-M5*
VG 17	D22A093	Cumhuriyet Köyü Turnasuyu	ANFIS	ANFIS-SC-M5*

*SC: Subtractive Clustering Algoritması

**Gizli katmandaki nöron sayısı

3.8.Trend Analizi Bulguları

Küresel iklim değişikliğinin akarsu akışlarına etkilerinin incelenmesi amacıyla araştırmacılar tarafından farklı küresel dolaşım modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu küresel dolaşım modelleri kullanılarak, iklim değişikliği etkisi altında farklı parametrelerin tahmini yapılmakta ve tahmini yapılan bu projeksiyon verileri kullanılarak küresel iklim değişikliğinin akarsu akışına etkisi modellenmektedir. Çalışmada GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel dolaşım modelleri kullanılarak RCP 4.5 ve RCP8.5 temsili konsantrasyon senaryoları altında üretilmiş Projeksiyon Sıcaklık Verileri (T_{pr}) ve Projeksiyon Yağış Verileri (P_{pr}) verileri kullanılmıştır.

Çalışmada iklim değişikliğinin akarsu akışına etkisi farklı periyotlar seçilerek araştırılmıştır. Bu periyotlar; 2021-2040 yılları arasındaki “Yakın Gelecek”, 2041-2070 yılları arasındaki “Orta Uzak Gelecek” ve 2071-2099 yılları arasındaki “Uzak Gelecek” olmak üzere üç farklı tarih aralığıdır. Bu zaman aralıkları için yapılacak modellemelerde beklenen etkilerin ortaya konulması ve zaman serisinin davranışı ile tahmin modellerinin

çıktısı olan akarsu akışı değerlerinin yorumlanması amacıyla, iklimsel projeksiyon verilerinin eğilimlerinin incelenmesi gerekmektedir. Veri setlerinin eğilimleri uzun yıllar boyunca değişim gösterdiğinden ve zaman serilerinde günlük ölçekteki hassasiyetin trend modellemesinde sapmalara neden olması sebebiyle trend analizleri günlük verilerden elde edilen; T_{pr} için yıllık ortalama, P_{pr} için yıllık toplam veri setleri kullanılarak tamamlanmıştır.

Hidrolojik proseslerin gerçekleşmesi sırasında genellikle geçmiş zaman aralığında yaşanan iklimsel ve hidrolojik olayların etkileri sonraki zaman aralıklarında görülebilmektedir. Hidrolojik ve klimatolojik veri setlerinde gözlem aralığı kısaldıkça zaman serisinde içsel bağımlılığın yükseleceği, gözlem aralığı uzadıkça içsel bağımlılığın azalacağı düşünülmektedir. Çalışmada trendi incelenecek projeksiyon verileri farklı küresel dolaşım modelleri ile sentetik olarak üretilmiş veriler olduğundan bu zaman serilerinde içsel bağımlılığın incelenmesi trend bulgularının tutarlı olması için önemli bir husustur.

İçsel bağımlılığın araştırılmasında çalışma kapsamında farklı konsantrasyon senaryoları altında küresel dolaşım modellerinin çalıştırılması ile tahmin edilmiş ve havza genelini temsil edeceği düşünülen 11 adet Mİ için indirgenmiş zaman serileri incelenmiştir.

GFDL-ESM2M küresel dolaşım modeli projeksiyon verilerinde içsel korelasyonun tespit edildiği zaman periyodu %71 oranında Uzak Gelecek için olmuştur. T_{pr} ve P_{pr} serilerinde tespit edilen içsel bağımlılıklar yaklaşık olarak benzer bulunmuştur.

HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli projeksiyon veri setleri, çalışmada kullanılan diğer küresel dolaşım modelleri ile üretilmiş veri setlerine göre daha fazla içsel bağımlılığa sahiptir. Bu veri setlerinde Yakın Gelecek periyodunda içsel bağımlılığa rastlanmazken, diğer zamansal periyotlardaki veri setlerinde, yaklaşık eşit sayıda içsel bağımlılık tespit edilmiştir. HadGEM2-ES küresel dolaşım model projeksiyon verilerinde içsel bağımlılık tespit edilen veri setleri %90 T_{pr} setlerinden olmuştur.

MPI-ESM-MR küresel dolaşım modeli projeksiyon veri setlerinde, tespit edilen içsel bağımlılıkların %14'ü Orta Uzak Gelecek periyodunda geri kalan %86'sı ise Uzak Gelecek periyodundadır. Orta Uzak Gelecek periyodunda içsel bağımlılık tespit edilmiş veri setlerinin tamamı P_{pr} , Uzak Gelecek zaman periyodunda içsel bağımlılık tespit edilmiş veri setlerinin tamamı T_{pr} setleri olmuştur.

GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR küresel dolaşım model verileri ile oluşturulmuş veri setleri arasından içsel bağımlılık tespit edilenlerin yaklaşık %13'ü

RCP4.5 konsantrasyon senaryosuna göre üretilmiş verilerden, geri kalan %87'si RCP8.5 konsantrasyon senaryosuna göre üretilmiş verilerden oluşmuştur.

İçsel bağımlılık tespit edilen veri setlerinde TFPW yöntemi kullanılarak suni trend etkisi çıkarılmış ve Mann-Kendall Trend Analizi arındırılmış serilere uygulanmıştır.

3.8.1. GFDL-ESM2M KDM Trend Bulguları

GFDL-ESM2M küresel dolaşım modeli ile üretilmiş projeksiyon verilerinin çalışmada incelenen zaman periyotlarına ayrılmış alt serilerine uygulanan Mann-Kendall Trend Analizi bulgularına göre trend saptanan istasyonların Sen Eğim değerleri ve trend yönleri Tablo 3.84'te verilmiştir.

Mann-Kendall Trend Analizi ile yapılan çalışma sonucunda Tablo 3.84'teki çıktılar incelendiğinde; Yakın Gelecek ve Orta Uzak Gelecek zaman periyotlarında Doğu Karadeniz Havzası'nda sıcaklık ve yağış projeksiyon verilerinde istatistiksel açıdan anlamlı artış veya azalışlara rastlanmadığı belirlenmiştir. Uzak Gelecek zaman periyodunda incelenen verilerde RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında üretilmiş sıcaklık verilerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında üretilen verilerden Giresun'da yağış verilerinde hızlı azalma eğilimi tespit edilmiş olup diğer istasyonlarda istatistiksel açıdan anlamlı trend tespit edilememiştir.

Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemine göre yapılan trend araştırmasında GFDL-ESM2M küresel dolaşım modeli sıcaklık projeksiyon verileri için, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında güçlü ve zayıf artan trend tespit edilmiş, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında genellikle güçlü artan trend tespit edilmiştir. Sıcaklık projeksiyon verilerinin eğilimlerinin, salınan sera gazı miktarının gelecek yüzyıla kadar artarak devam edeceği öngörüsü ile belirlenmiş RCP8.5 ve sera gazı salınımının belirli bir konsantrasyon değerinden sonra sabitleneceği varsayımı ile belirlenmiş RCP4.5 konsantrasyon senaryolarından beklendiği gibi sıcaklıklar RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında daha yüksek bir artış eğilimi göstermiştir, artış eğiliminin RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında daha az olduğu söylenebilmektedir. Yağış projeksiyon verileri için yapılan trend analiz çıktıları incelendiğinde ise RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında havza genelinde zayıf artan veya azalan trend tespit edilmiş olup, kötümser konsantrasyon senaryosu olan RCP8.5 altında üretilmiş verilerde ise havza

genelinde zayıf azalan trend tespit edilmiştir. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemi ile yapılan trend araştırmasının grafik incelemeleri; istasyon, konsantrasyon senaryosu ve veri türüne göre Şekil 3.72'de görülmektedir. Yöntem kullanılarak elde edilen bulgular istasyon ve konsantrasyon senaryosuna göre Tablo 3.85'te gösterilmiştir. Şekillerde sıcaklık projeksiyon verileri için "SCK", yağış projeksiyon verileri için "YAG" kısaltması kullanılmış olup grafik başlıklarında konsantrasyon senaryosu ve istasyon adı belirtilmiştir.

Tablo 3.84. GFDL-ESM2M KDM Mann-Kendall Analizi ile trend tespit edilen setlerin Sen Eğimi değerleri

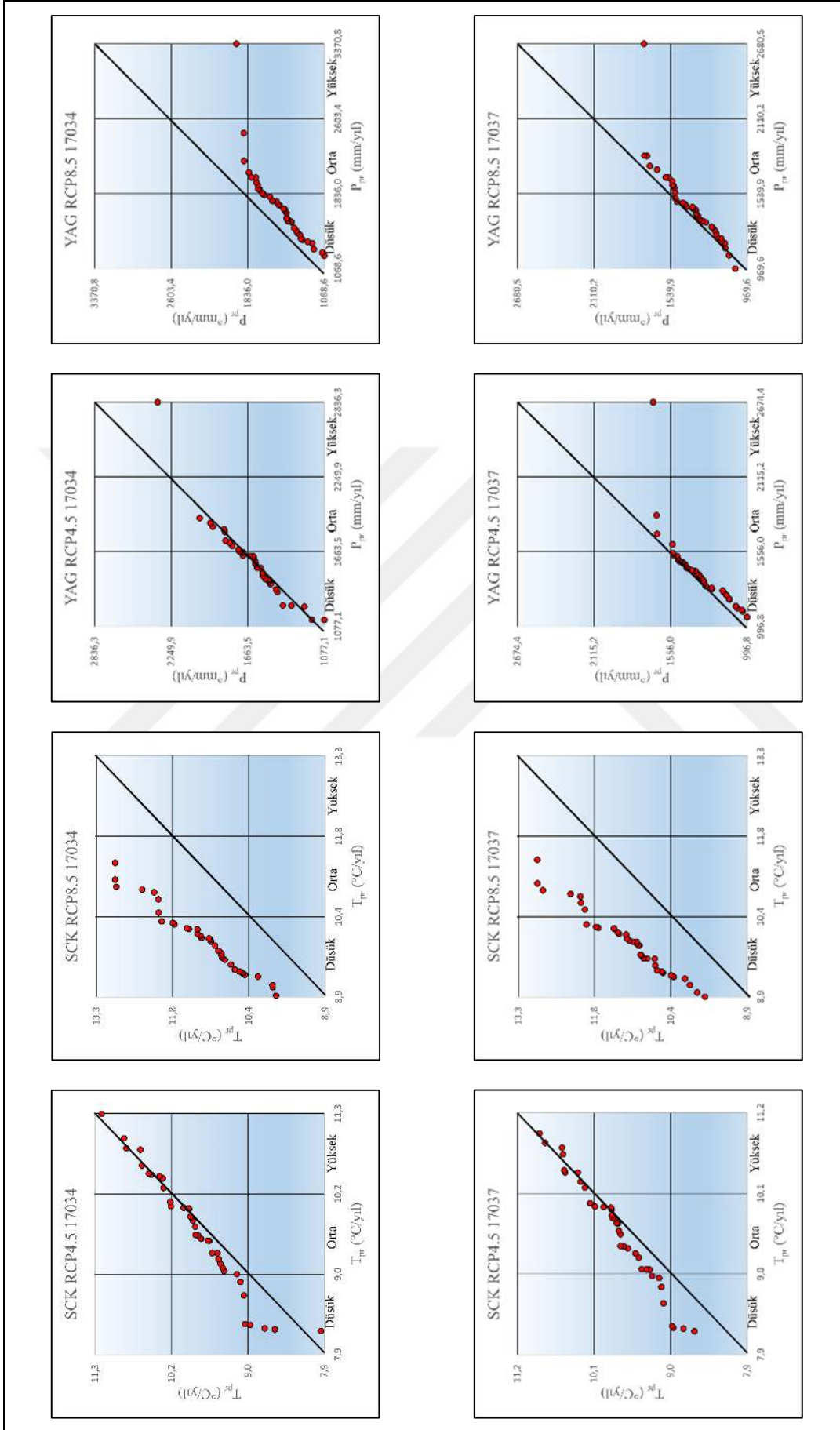
Zaman Periyodu	İstasyon Numarası	İstasyon Adı	RCP4.5			RCP8.5		
			Sıcaklık Y (°C/yıl)	Yağış Y (mm/yıl)	Y	Sıcaklık Y (°C/yıl)	Yağış Y (mm/yıl)	Y
P3	17034	Giresun	-	-15,333	▼	0,060	▲	-
	17037	Trabzon	-	-	-	0,061	▲	-
	17040	Rize	-	-	-	0,066	▲	-
	17042	Hopa	-	-	-	0,067	▲	-
	17088	Gümüşhane	-	-	-	0,072	▲	-
	17089	Bayburt	-	-	-	0,076	▲	-
	17626	Akçaabat	-	-	-	0,064	▲	-
	17628	Pazar	-	-	-	0,066	▲	-
	17682	Şebinkarahisar	-	-	-	0,071	▲	-
	17624	Ünye	-	-	-	0,060	▲	-
	17033	Ordu	-	-	-	0,060	▲	-

Y: Tespit edilen trend yönü (▼ : Azalış, ▲ : Artış)

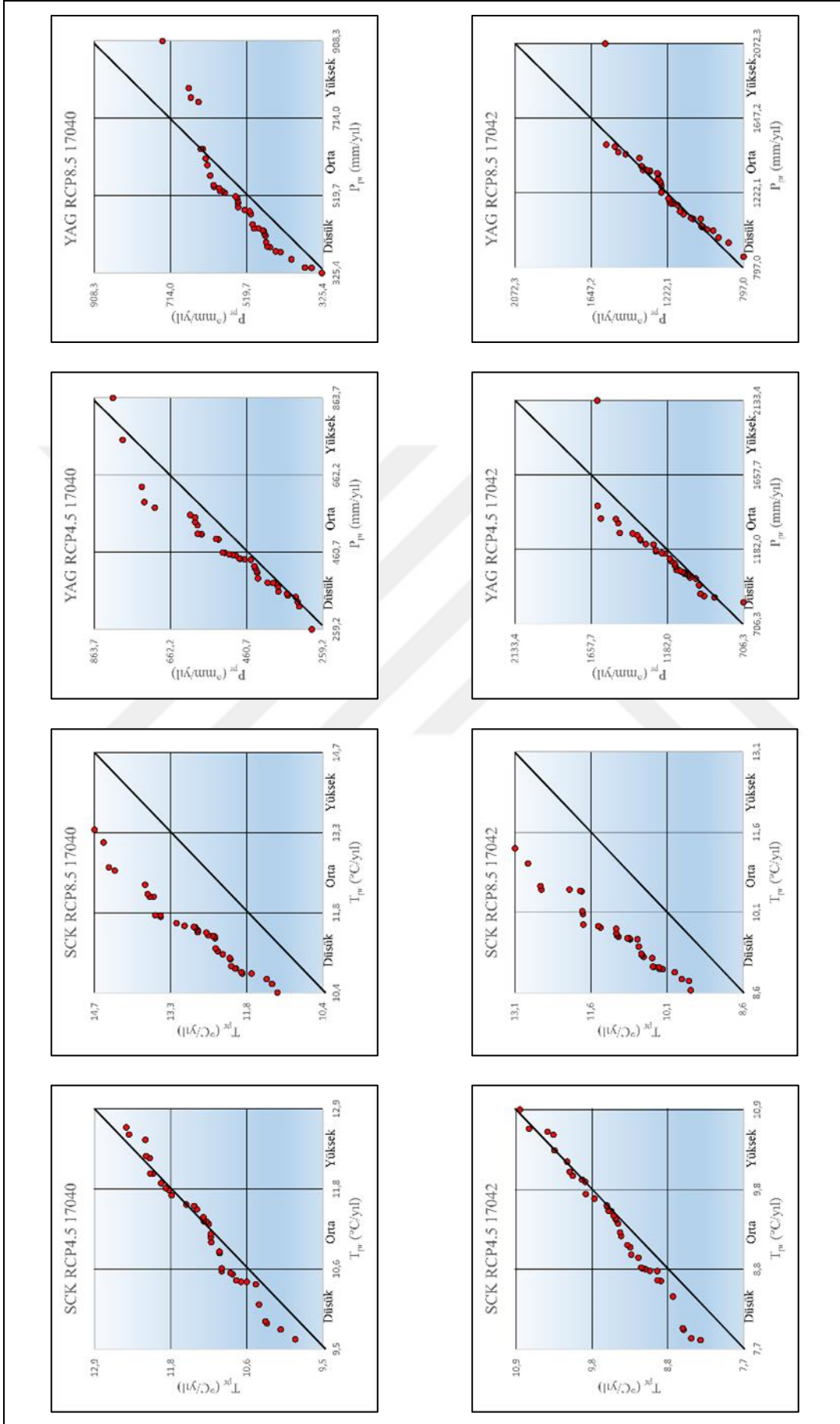
P1: Yakın Gelecek (2021-2040)

P2: Orta Uzak Gelecek (2041-2070)

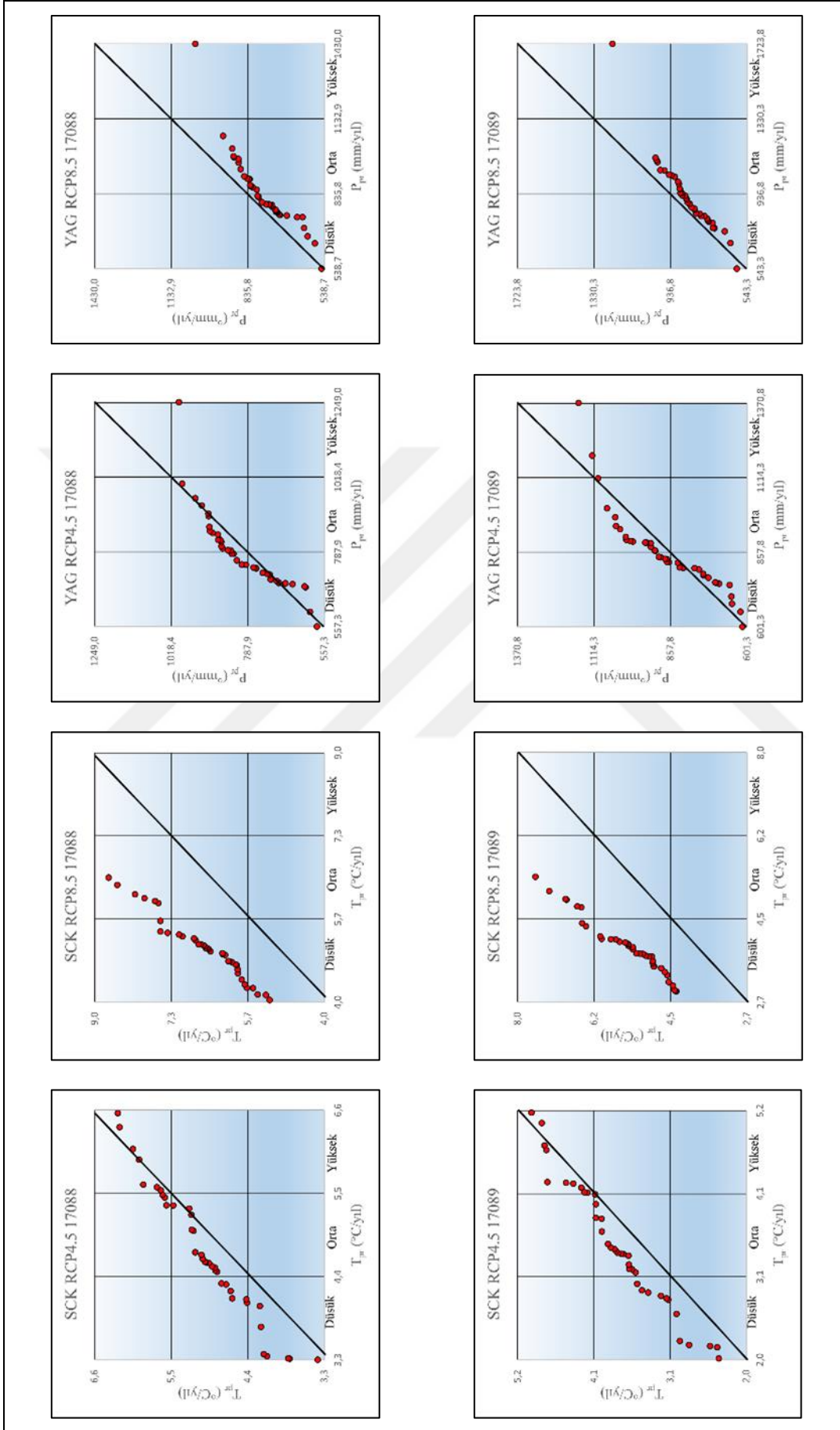
P3: Uzak Gelecek (2071-2099)



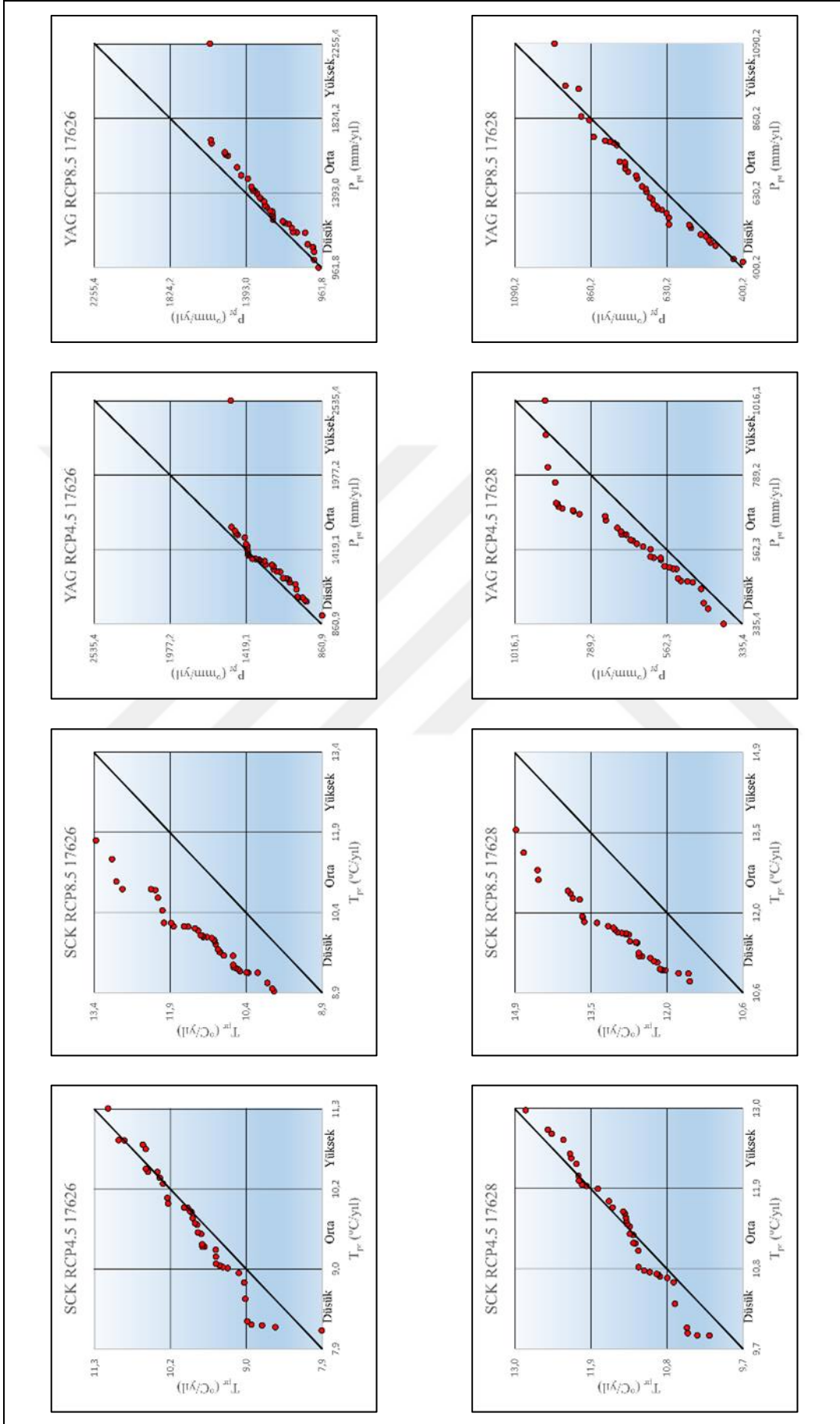
Şekil 3.72. GFDL-ESM2M küresel dolaşım modeli Şen Yenilikçi Eğilim Yöntemi bulguları



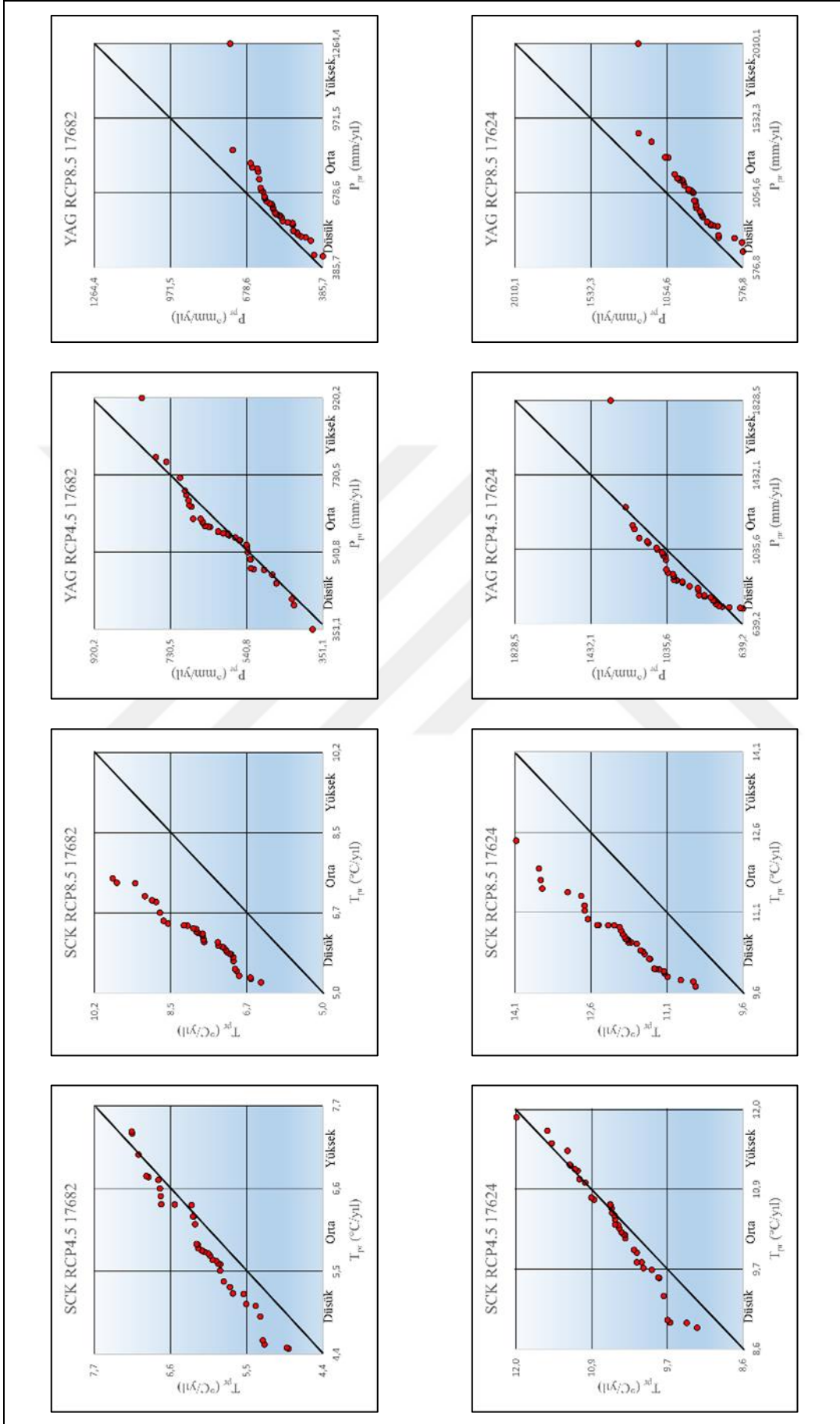
Şekil 3.72'nin devamı.



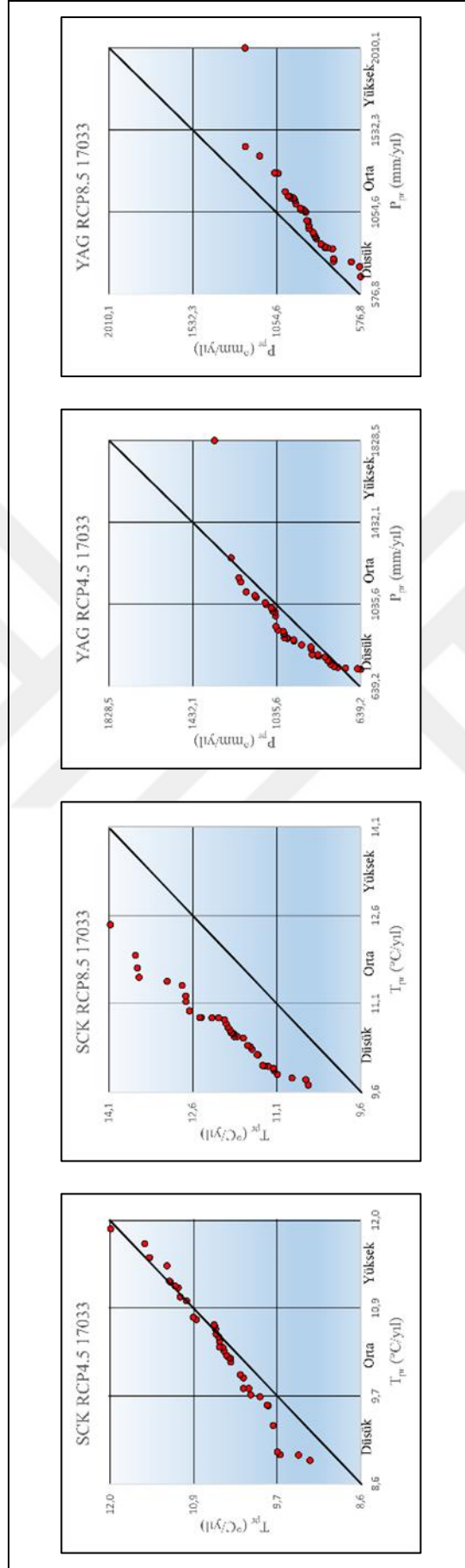
Şekil 3.72'nin devamı.



Şekil 3.72'nin devamı.



Şekil 3.72'nin devamı.



Şekil 3.72'nin devamı.

Tablo 3.85. GFDL-ESM2M KDM Verileri Şen'in Yenilikçi Eğilim Analizi bulguları

İstasyon	Veri Türü	RCP4.5			RCP8.5		
		Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
17034	Sıcaklık	↑↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↔	↔	↓↓	↓↓	-
17037	Sıcaklık	↑↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↓	↔	-	↔	↔	-
17040	Sıcaklık	↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↑	↑↑	↑	↑	↓↓
17042	Sıcaklık	↑↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↑	-	↔	↔	-
17088	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↓	↑	-	↓	↓	-
17089	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↓	↑	↓	↓	↓↓	-
17626	Sıcaklık	↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↔	↔	↓	↓	-
17628	Sıcaklık	↑↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↑↑	↑↑	↔	↑	↓
17682	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↑	↔	↓	↓↓	-
17624	Sıcaklık	↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↑	-	↓	↓↓	-
17033	Sıcaklık	↑↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↑	-	↓	↓↓	-

-. İlgili aralıkta trend belirlemeye yetecek kadar veri mevcut değildir.

↔: Trend Oluşmamıştır

↑: Zayıf Artan Trend

↑↑: Güçlü Artan Trend

↓: Zayıf Azalan Trend

↓↓: Güçlü Azalan Trend

3.8.2. HadGEM2-ES KDM Trend Bulguları

HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli ile üretilmiş verilerin çalışmada incelenen zaman periyotlarına göre ayrılmış alt serilerine uygulanan Mann-Kendall Trend Analizi bulgularına göre trend saptanan istasyonların Sen Eğim değerleri ve trend yönleri Tablo 3.86’da verilmiştir.

Mann-Kendall Trend Analizi ile yapılan trend araştırması sonucunda Tablo 3.86’daki veriler incelendiğinde; HadGEM2-ES KDM ile üretilmiş veri setlerinin eğilimleri iklimde yaşanacak büyük değişikliklerin yoğun olarak Uzak Gelecek periyodunda yaşanacağını göstermiştir. T_{pr} verilerinde eğilimlerin Doğu Karadeniz Havzası genelinde artan yönde olduğu, P_{pr} verilerinde eğilimlerin Trabzon, Rize, Ünye ve Ordu bölgelerinde güçlü azalan şekilde olduğu görülmüştür. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında üretilmiş yağış verilerinin, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında üretilmiş yağış verilerine göre daha yüksek azalış eğimi gösterdiği belirlenmiştir.

Şen’in Yenilikçi Eğilim Yöntemine göre yapılan trend araştırmasında HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli ile üretilmiş sıcaklık verileri için, çalışmada kullanılan RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryolarında genel olarak güçlü artış trendi tespit edilmiştir. Yağış projeksiyon verileri incelendiğinde; çalışmada kullanılan iki konsantrasyon senaryosunda da zayıf trend ilişkileri gözlenmiş olup, gözlenen trend ilişkileri genel olarak azalış yönünde olmuştur. Şen’in Yenilikçi Eğilim Yöntemi ile yapılan trend araştırmasının grafik incelemeleri; istasyon, konsantrasyon senaryosu ve veri türüne göre Şekil 3.73’te görülmektedir. Şekillerde sıcaklık projeksiyon verileri için “SCK”, yağış projeksiyon verileri için “YAG” kısaltması kullanılmış olup grafik başlıklarında konsantrasyon senaryosu ve istasyon adı belirtilmiştir. Şen’in Yenilikçi Eğilim Yöntemi kullanılarak analiz bölgesi ve konsantrasyon senaryosuna göre elde edilen bulgular Tablo 3.87’de gösterilmiştir.

Tablo 3.86. HadGEM2-ES KDM Mann-Kendall analizi ile trend tespit edilen setlerin Sen Eğimi değerleri

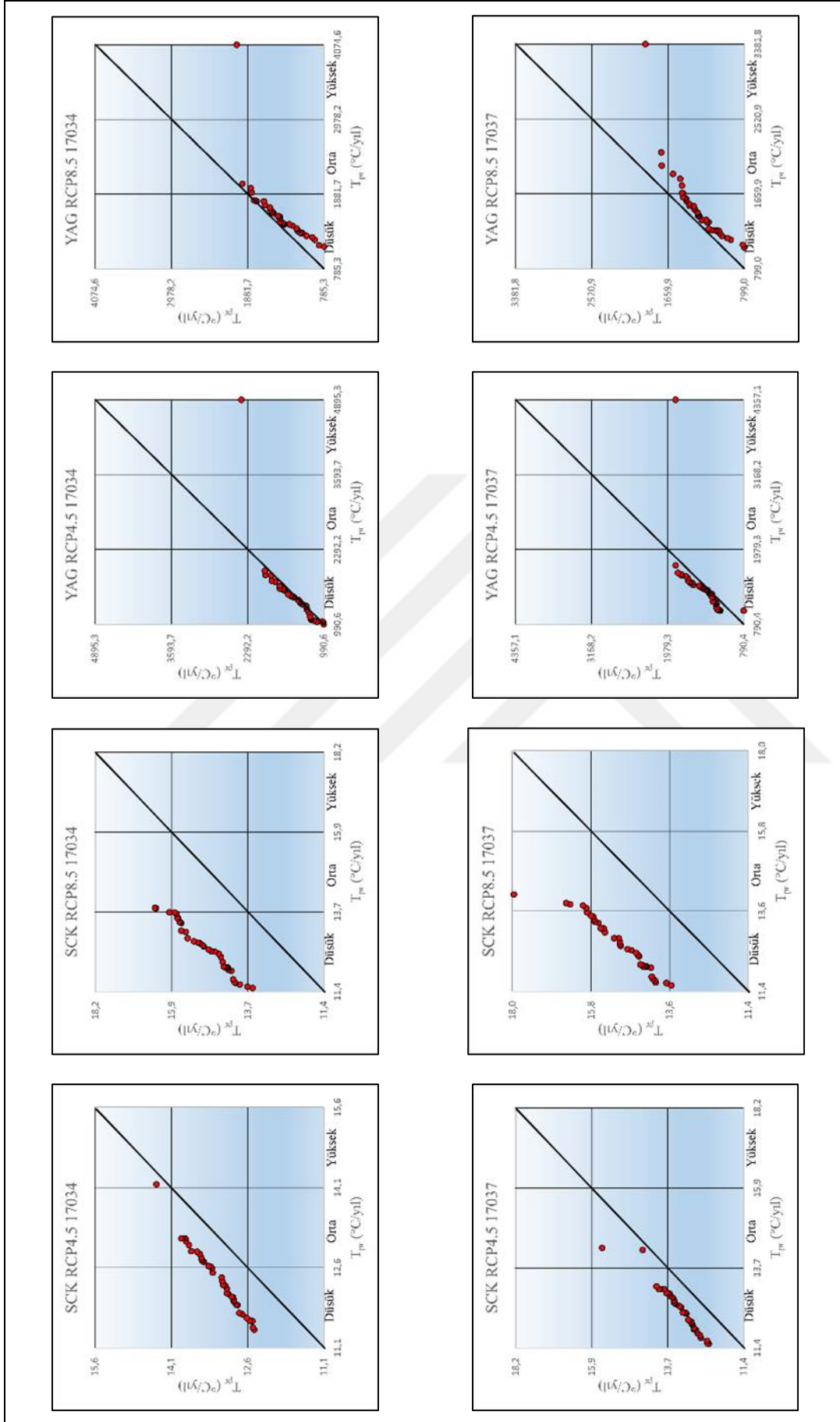
Zaman	İstasyon	İstasyon Adı	RCP4.5			RCP8.5					
Periyodu	Numarası		Sıcaklık	Y	Yağış	Y	Sıcaklık	Y	Yağış	Y	
			(°C/yıl)		(mm/yıl)		(°C/yıl)		(mm/yıl)		
P1	17089	Bayburt	0,044	▲		-		-		-	
	17034	Giresun		-		-	0,061	▲		-	
	17037	Trabzon		-		-	0,063	▲		-	
	17040	Rize		-		-	0,060	▲		-	
	17042	Hopa		-		-	0,058	▲		-	
	17088	Gümüşhane		-		-	0,064	▲		-	
	P2	17089	Bayburt		-		-	0,067	▲		-
	17626	Akçaabat		-		-	0,059	▲		-	
	17628	Pazar		-		-	0,058	▲		-	
	17682	Şebinkarahisar		-		-	0,069	▲		-	
	17624	Ünye	0,029	▲		-	0,065	▲		-	
	17033	Ordu	0,029	▲		-	0,065	▲		-	
		17034	Giresun	0,028	▲		-	0,075	▲		-
17037		Trabzon		-	-12,506	▼	0,078	▲		-	
17040		Rize	0,033	▲	-4,544	▼	0,084	▲		-	
17042		Hopa		-		-	0,083	▲	-11,390	▼	
17088		Gümüşhane		-		-	0,074	▲		-	
P3		17089	Bayburt		-		-	0,078	▲		-
		17626	Akçaabat		-		-	0,082	▲		-
		17628	Pazar		-		-	0,084	▲		-
		17682	Şebinkarahisar		-		-	0,079	▲		-
		17624	Ünye		-	-11,199	▼	0,080	▲		-
		17033	Ordu		-	-11,199	▼	0,080	▲		-

Y: Tespit edilen trend yönü (▼ : Azalış, ▲ : Artış)

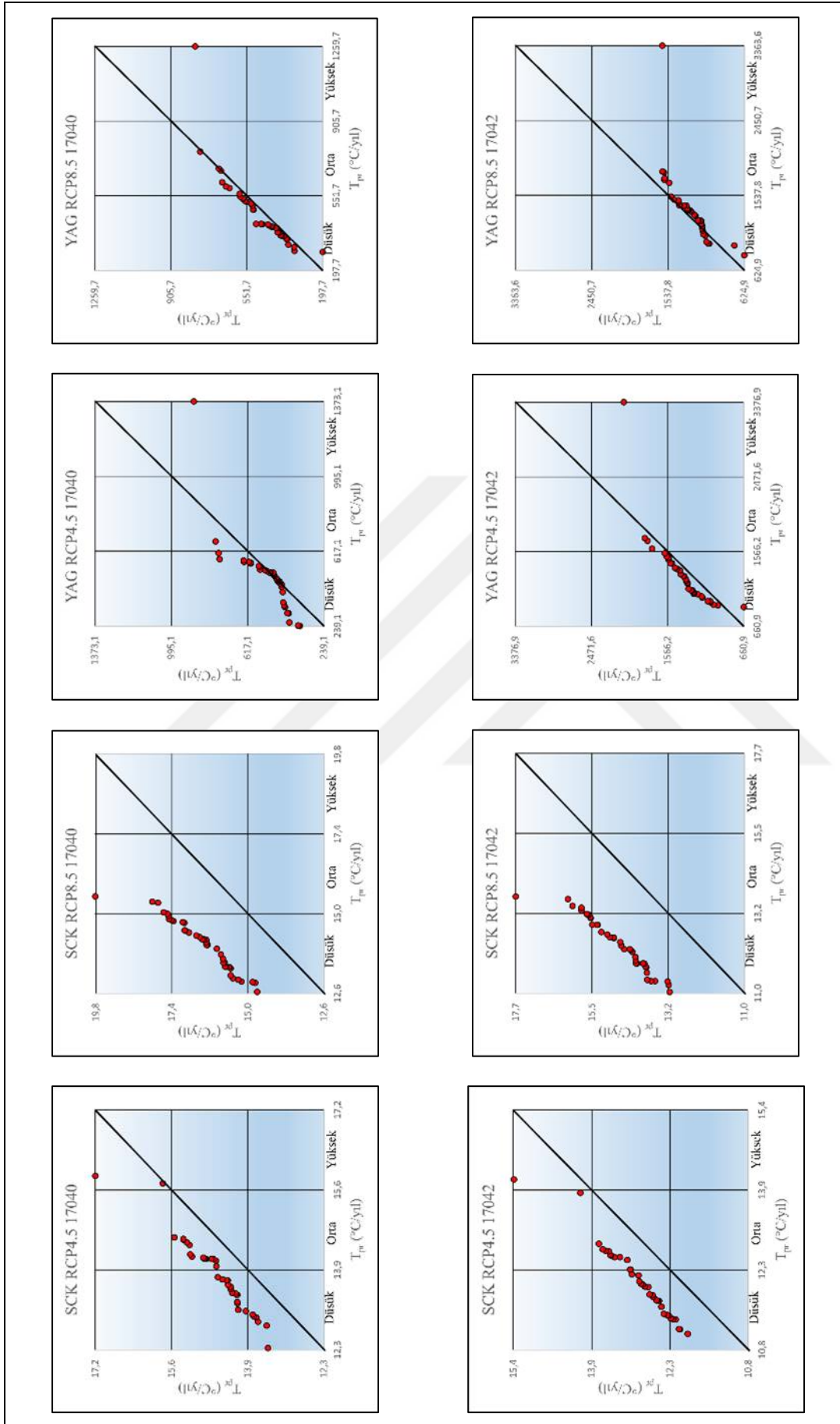
P1: Yakın Gelecek (2021-2040)

P2: Orta Uzak Gelecek (2041-2070)

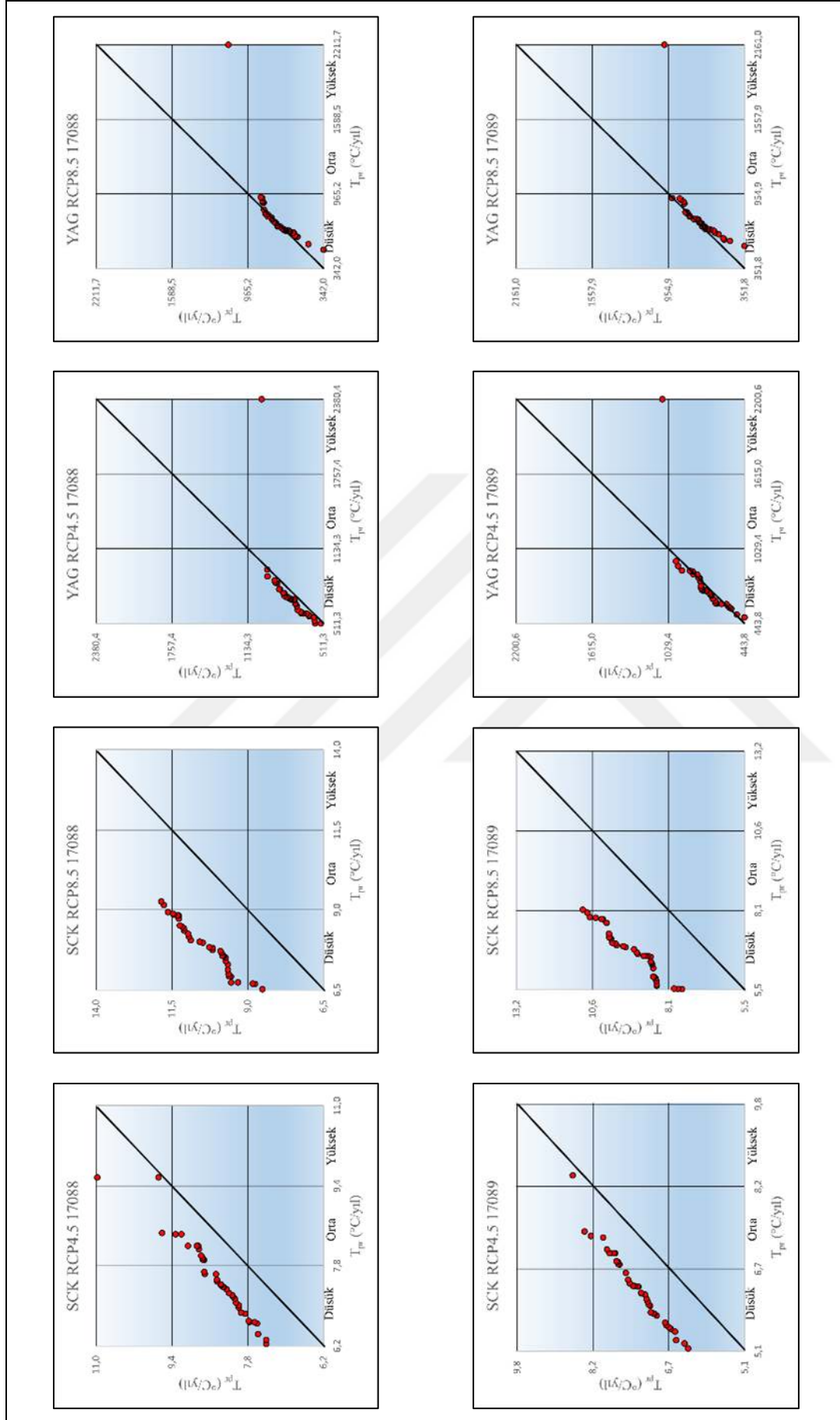
P3: Uzak Gelecek (2071-2099)



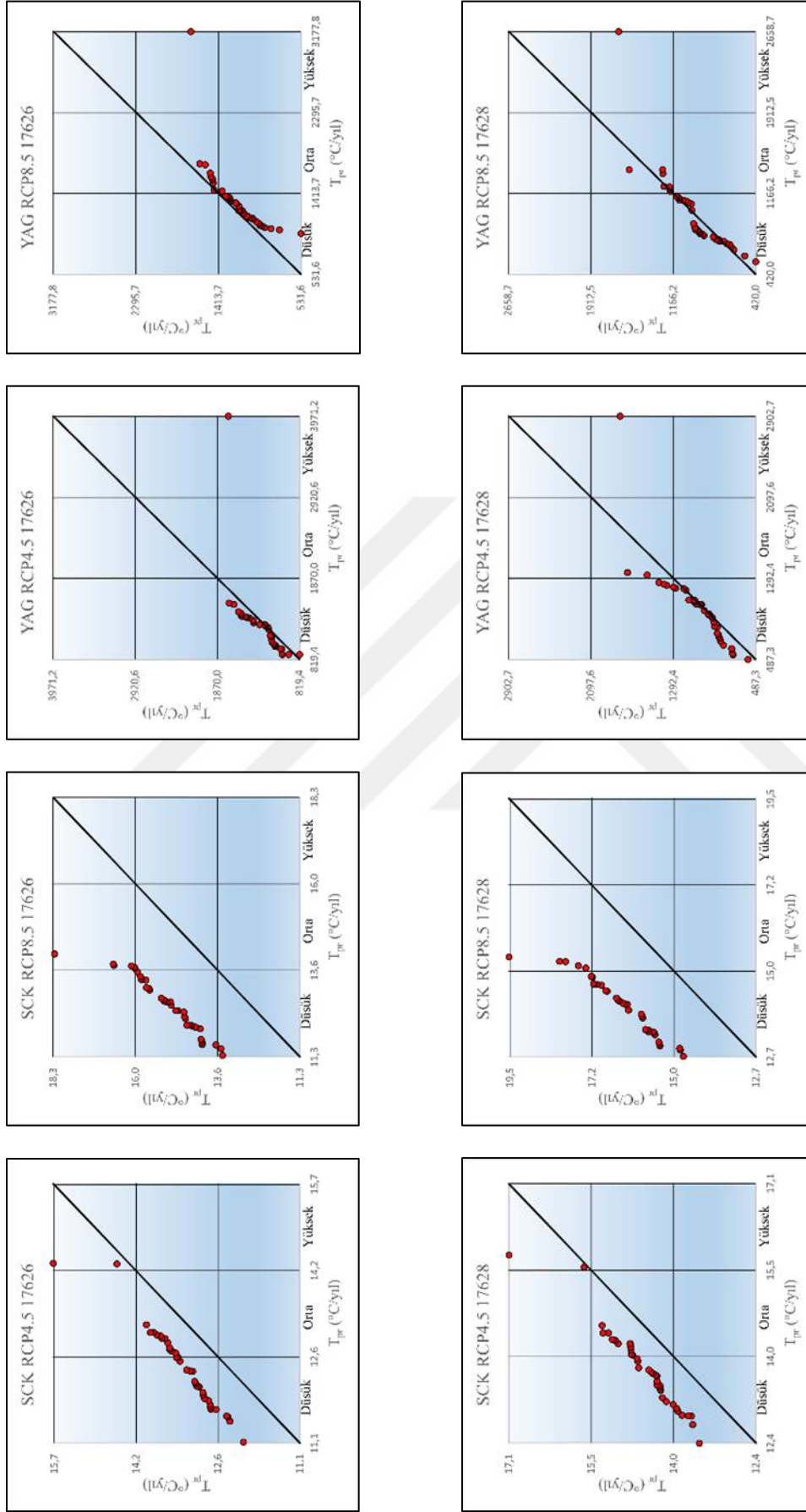
Şekil 3.73. HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli Şen Yenilikçi Eğilim Yöntemi bulguları



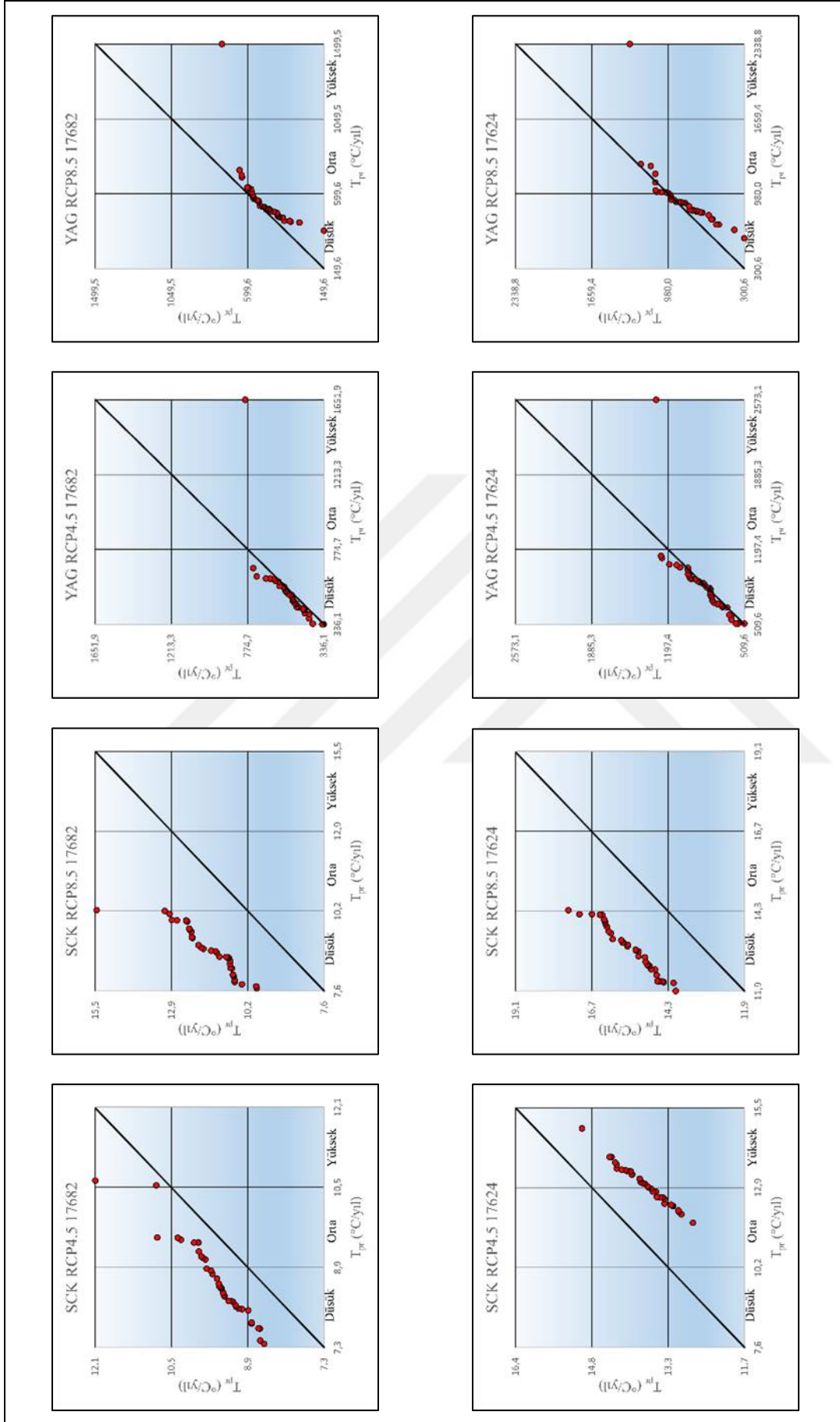
Şekil 3.73'ün devamı.



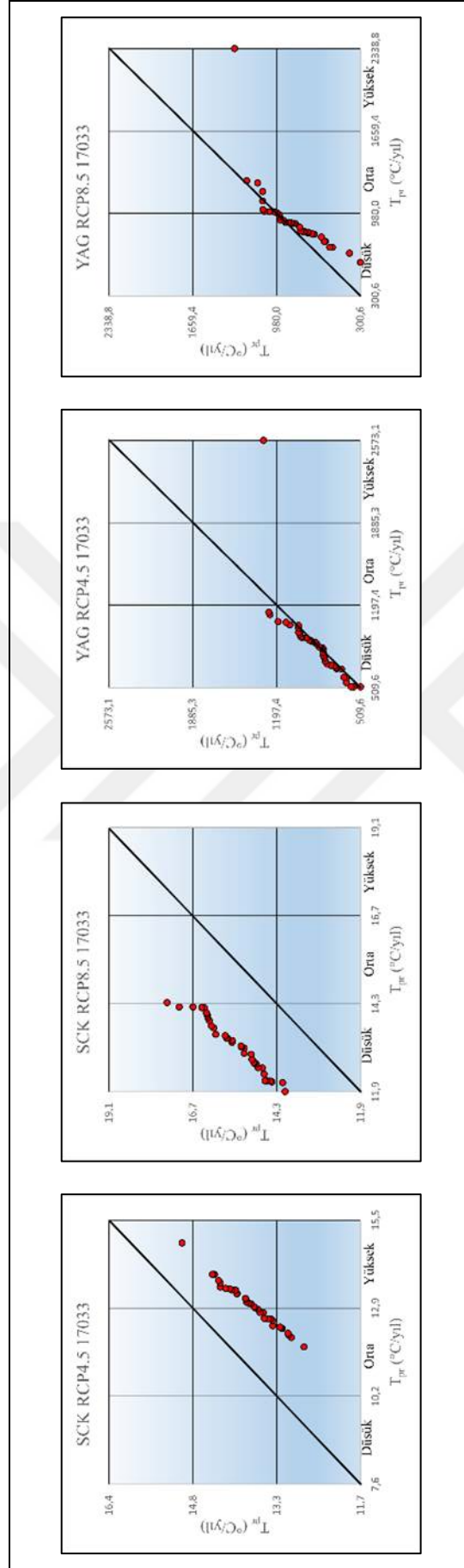
Şekil 3.73'ün devamı.



Şekil 3.73'ün devamı.



Şekil 3.73'ün devamı.



Şekil 3.73'ün devamı.

Tablo 3.87. HadGEM2-ES KDM Verileri Şen'in Yenilikçi Eğilim Analizi bulguları

İstasyon	Veri Türü	RCP4.5			RCP8.5		
		Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
17034	Sıcaklık	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	-
	Yağış	↔	-	-	↓	-	-
17037	Sıcaklık	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	-
	Yağış	↔	-	-	↓	↓	-
17040	Sıcaklık	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↑	-	↔	↔	-
17042	Sıcaklık	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	-
	Yağış	↔	↔	-	↔	↔	-
17088	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑
	Yağış	↔	-	-	↓	-	-
17089	Sıcaklık	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	-
	Yağış	↔	-	-	↔	-	-
17626	Sıcaklık	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	-
	Yağış	↔	-	-	↓	↓	-
17628	Sıcaklık	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↑	-	↑	↔	-
17682	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	-	-	↓	↓	-
17624	Sıcaklık	-	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↔	-	↓	↔	-
17033	Sıcaklık	-	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↔	-	↓	↔	-

∴ İlgili aralıkta trend belirlemeye yetecek kadar veri mevcut değildir.

↔: Trend Oluşmamıştır

↑: Zayıf Artan Trend

↑↑: Güçlü Artan Trend

↓: Zayıf Azalan Trend

↓↓: Güçlü Azalan Trend

3.8.3. MPI-ESM-MR KDM Trend Bulguları

MPI-ESM-MR küresel dolaşım modeli ile üretilmiş verilerin çalışmada incelenen zaman periyotlarına göre ayrılmış alt serilerine uygulanan Mann-Kendall Trend Analizi bulgularına göre trend saptanan istasyonların Sen Eğim değerleri ve trend yönleri Tablo 3.88’de verilmiştir.

Mann-Kendall Trend Analizi ile yapılan trend araştırması sonucunda Tablo 3.88’deki veriler incelendiğinde; MPI-ESM-MR KDM ile üretilmiş veri setlerinin eğilimleri iklimde yaşanacak büyük değişikliklerin yoğun olarak Uzak Gelecek periyodunda yaşanacağını göstermiştir. Bu durum HadGEM2-ES model verileri ile örtüşmektedir. Diğer modellere göre daha fazla eğilim tespit edilen MPI-ESM-MR verilerinde Yakın Gelecek periyodunda istatistiksel açıdan anlamlı bir eğilime rastlanmamıştır. Diğer KDM verilerinde olduğu gibi bu model verilerinde de eğilim tespit edilen sıcaklık verilerinde artış yönünde eğilim, yağış verilerinde azalış yönünde eğilim gözlenmiştir.

Şen’in Yenilikçi Eğilim Yöntemine göre yapılan trend araştırmasında MPI-ESM-MR küresel dolaşım modeli ile üretilmiş sıcaklık verilerinde, çalışmada kullanılan iki konsantrasyon senaryosu için de güçlü artış trendi tespit edilmiştir. Yağış projeksiyon verileri için, RCP4.5 senaryosu altında düşük değerlerde zayıf artış trendi gözlenmiş, orta ve yüksek değerlerde azalış trendi tespit edilmiştir. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında ise yağış projeksiyon verilerinde genel olarak güçlü azalış trendi görülmüştür. Şen’in Yenilikçi Eğilim Yöntemi ile yapılan trend araştırmasının grafik incelemeleri; istasyon, konsantrasyon senaryosu ve veri türüne göre Şekil 3.74’te görülmektedir. Şekillerde sıcaklık projeksiyon verileri için “SCK”, yağış projeksiyon verileri için “YAG” kısaltması kullanılmış olup grafik başlıklarında konsantrasyon senaryosu ve istasyon adı belirtilmiştir. Şen’in Yenilikçi Eğilim Yöntemi kullanılarak istasyon ve konsantrasyon senaryosuna göre elde edilen bulgular Tablo 3.89’da gösterilmiştir.

Tablo 3.88. MPI-ESM-MR KDM Mann-Kendall Analizi ile trend tespit edilen setlerin Sen Eğimi değerleri

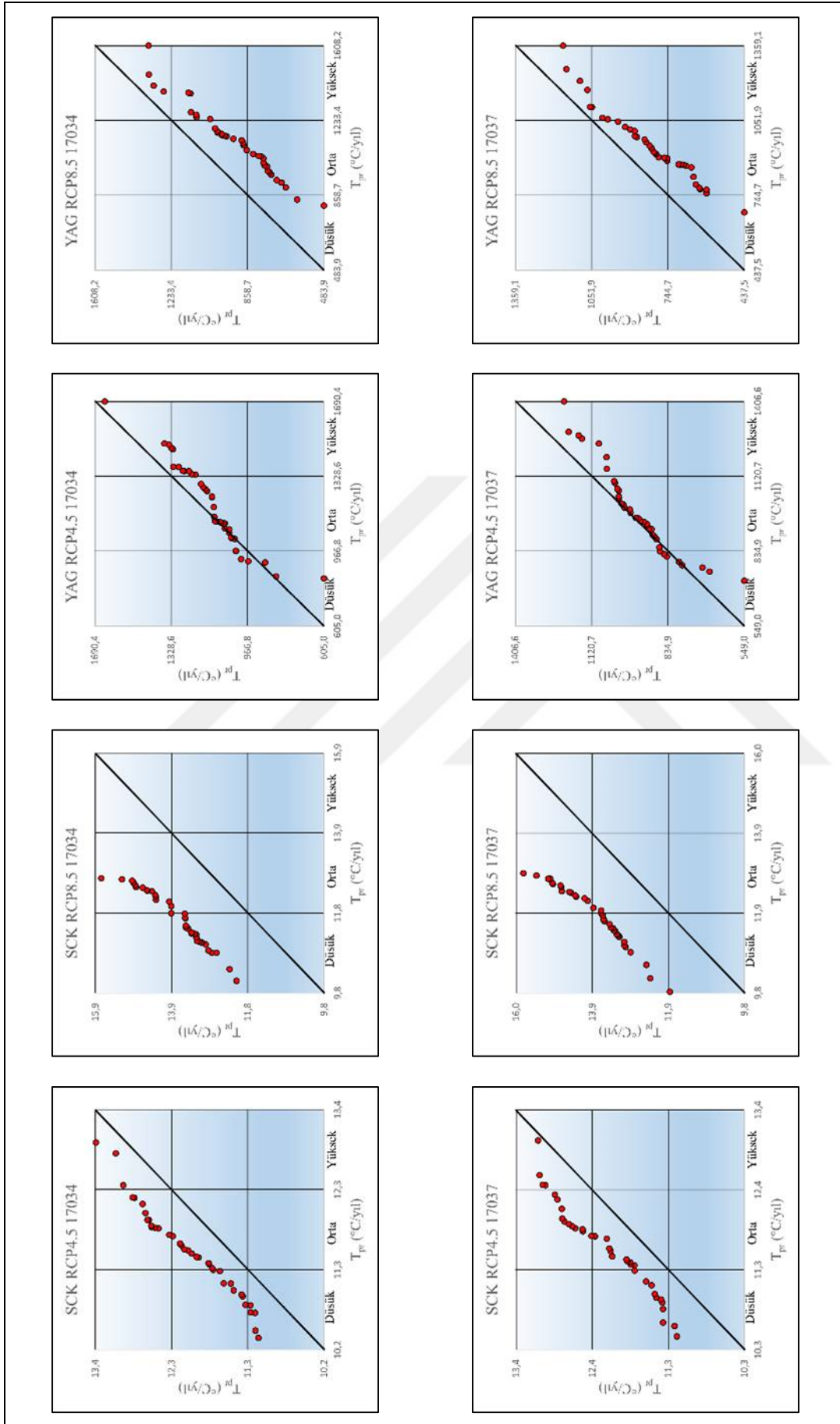
Zaman Periyodu	İstasyon Numarası	İstasyon Adı	RCP4.5				RCP8.5			
			Sıcaklık (°C/yıl)	Y	Yağış (mm/yıl)	Y	Sıcaklık (°C/yıl)	Y	Yağış (mm/yıl)	Y
P2	17034	Giresun	-	-	-	-	0,043	▲	-	-
	17037	Trabzon	-	-	-	-	0,042	▲	-	-
	17040	Rize	-	-	-	-	0,045	▲	-	-
	17042	Hopa	-	-	-	-	0,048	▲	-	-
	17088	Gümüşhane	-	-	-	-	0,058	▲	-	-
	17089	Bayburt	0,021	▲	-	-	0,062	▲	-	-
	17626	Akçaabat	-	-	-	-	0,046	▲	-	-
	17628	Pazar	-	-	-	-	0,046	▲	-	-
	17682	Şebinkarahisar	-	-	-	-	0,057	▲	-	-
	17624	Ünye	0,022	▲	-	-	0,047	▲	-	-
	17033	Ordu	0,022	▲	-	-	0,047	▲	-	-
P3	17034	Giresun	-	-	-	-	0,076	▲	-12,711	▼
	17037	Trabzon	0,041	▲	-	-	0,079	▲	-	-
	17040	Rize	0,050	▲	-4,707	▼	0,087	▲	-	-
	17042	Hopa	0,036	▲	-	-	0,084	▲	-	-
	17088	Gümüşhane	-	-	-	-	0,084	▲	-	-
	17089	Bayburt	-	-	-	-	0,082	▲	-	-
	17626	Akçaabat	0,041	▲	-	-	0,085	▲	-	-
	17628	Pazar	-	-	-	-	0,088	▲	-	-
	17682	Şebinkarahisar	-	-	-	-	0,088	▲	-	-
	17624	Ünye	0,044	▲	-	-	0,078	▲	-	-
	17033	Ordu	0,044	▲	-	-	0,078	▲	-	-

T: Tespit edilen trend yönü (▼: Azalış, ▲: Artış)

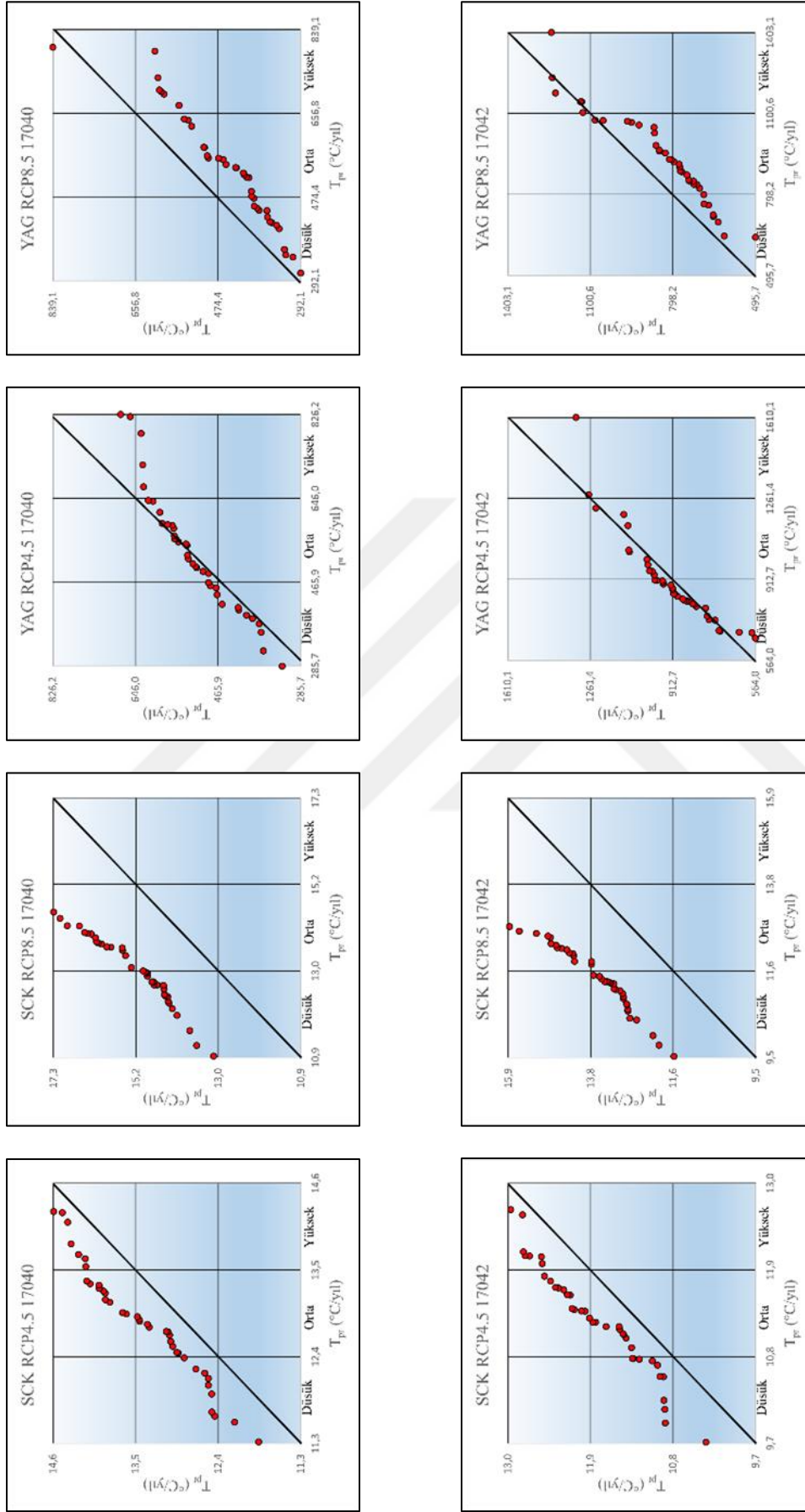
P1: Yakın Gelecek (2021-2040)

P2: Orta Uzak Gelecek (2041-2070)

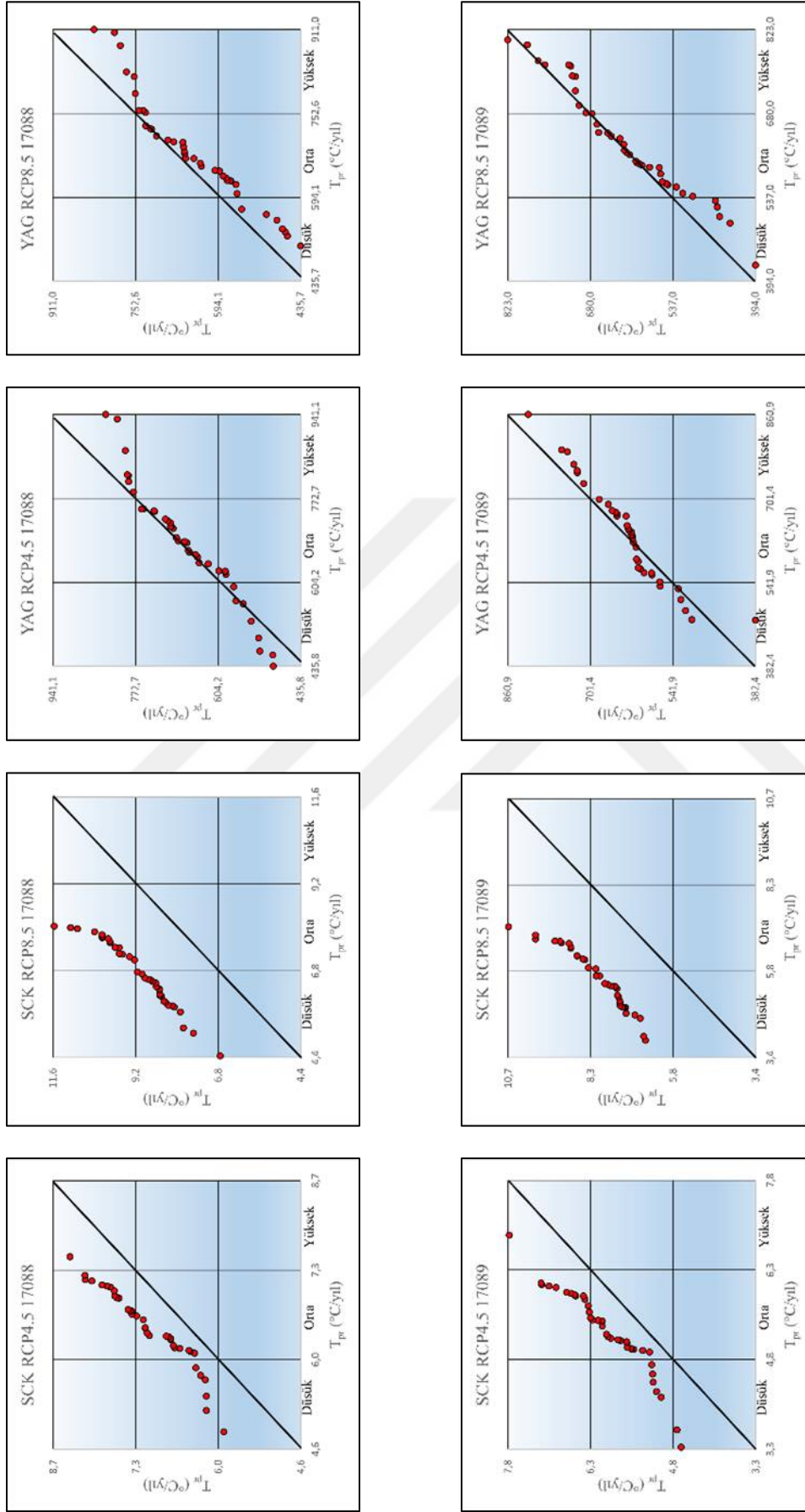
P3: Uzak Gelecek (2071-2099)



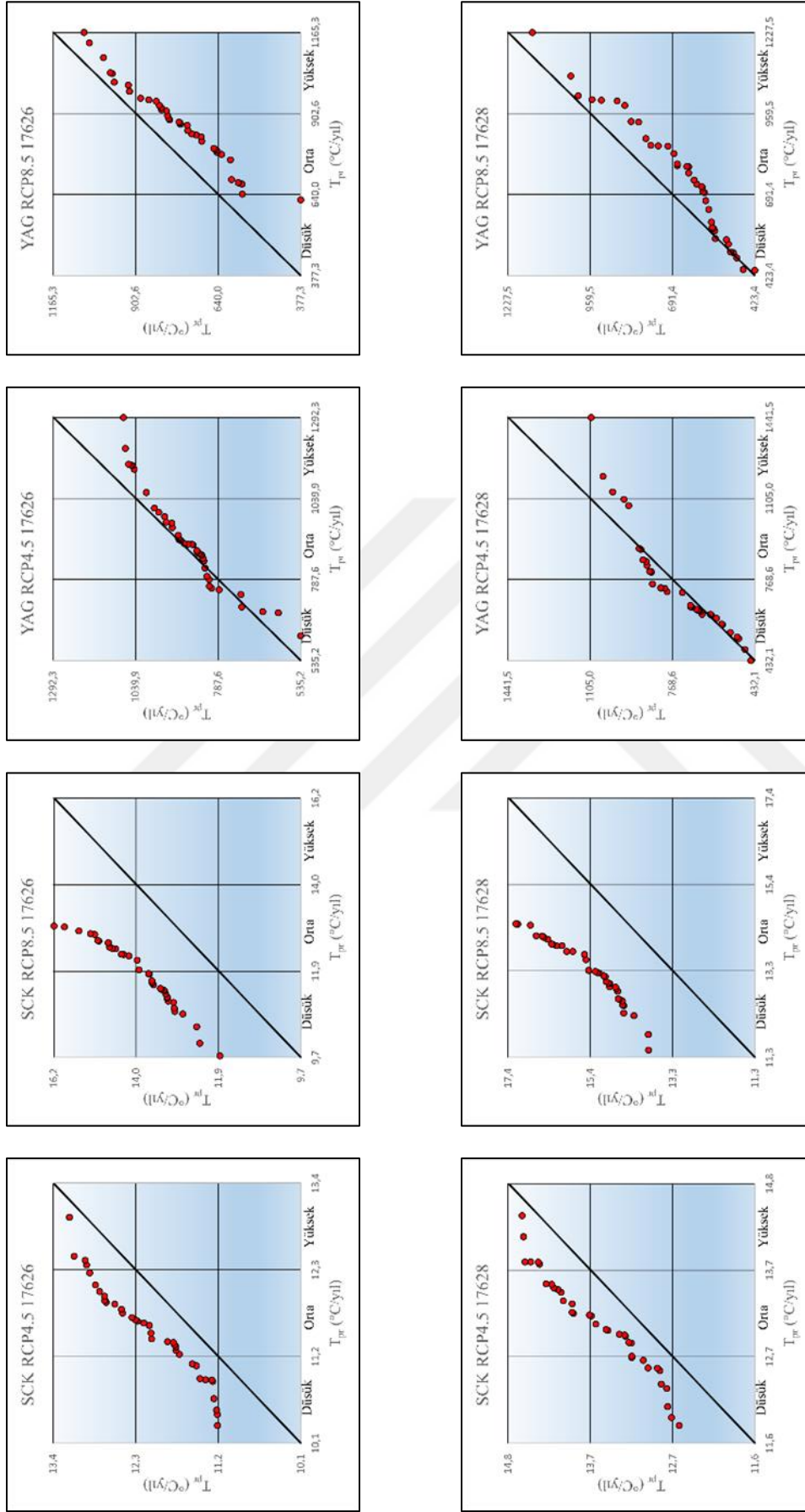
Şekil 3.74. MPI-ESM-MR küresel dolaşım modeli Şen Yenilikçi Eğilim Yöntemi bulguları



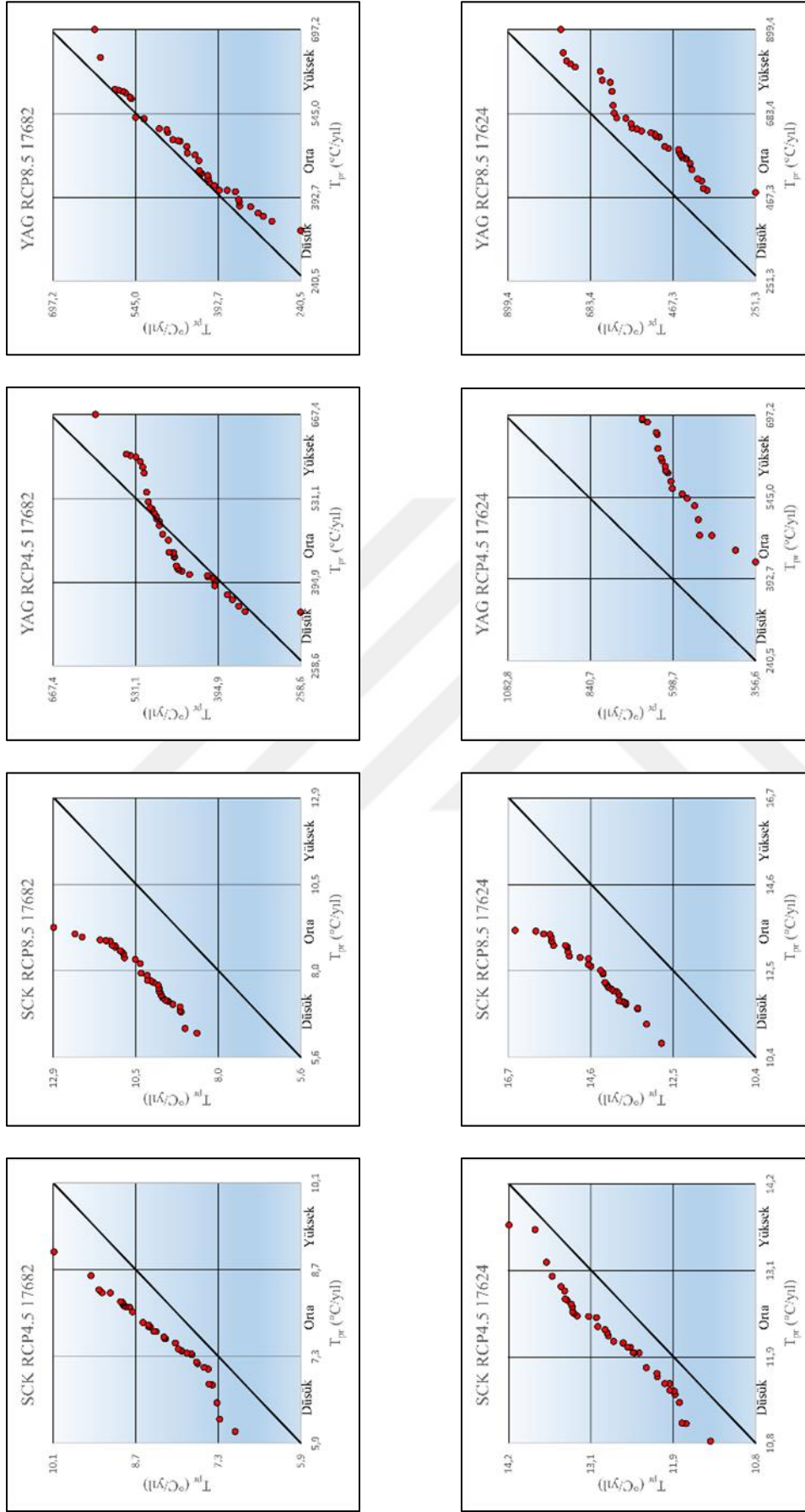
Şekil 3.74'ün devamı.



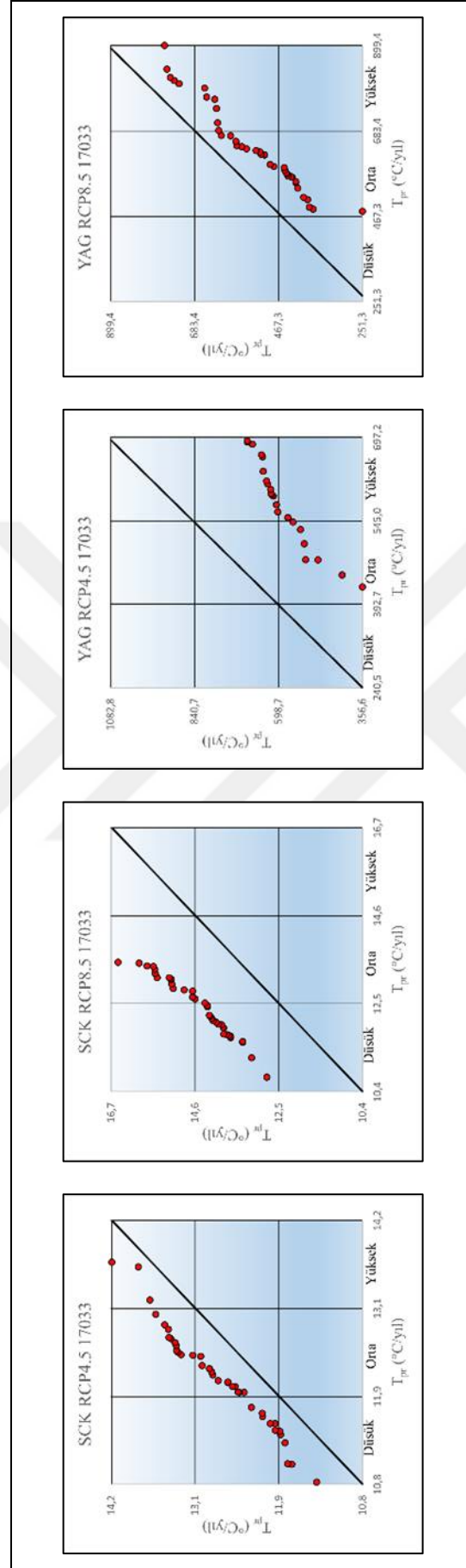
Şekil 3.74'ün devamı.



Şekil 3.74'ün devamı.



Şekil 3.74'ün devamı.



Şekil 3.74'ün devamı.

Tablo 3.89. MPI-ESM-MR KDM verileri Şen'in Yenilikçi Eğilim Analizi bulguları

İstasyon	Veri Türü	RCP4.5			RCP8.5		
		Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
17034	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓
17037	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↓↓	↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓
17040	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↔	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓
17042	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↑	-	↓↓	↓↓	↔
17088	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↔	↓↓	↓↓	↓	↓↓
17089	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↑	↔	↓	↓↓	↔	↓
17626	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↓	↔	↓↓	-	↓↓	↓↓
17628	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↑	↓↓	↓↓	↓↓	↓
17682	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↔	↑	↓↓	↓↓	↓	↓
17624	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓
17033	Sıcaklık	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
	Yağış	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓

∴ İlgili aralıkta trend belirlemeye yetecek kadar veri mevcut değildir.

↔: Trend Oluşmamıştır

↑: Zayıf Artan Trend

↑↑: Güçlü Artan Trend

↓: Zayıf Azalan Trend

↓↓: Güçlü Azalan Trend

3.9. Dönemsel Anomali Araştırması

İklimsel anomali kavramı; belirlenen zaman periyodu içerisinde uzun yıllar kaydedilmiş veya tahmin modelleri ile geçmişe yönelik tahmin edilmiş veriler kullanılarak elde edilen değerin referans kabul edilmesi ve incelenecek zaman periyotlarındaki verilerin, referans periyottakinden farklılığı olarak tanımlanabilmektedir (Güçlü, 2013). İklimsel veya hidrolojik parametrelerde anomali miktarlarının gerçeğe yakın oranda öngörülmesi hidrolojik araştırmalar için büyük önem taşımaktadır. Hidrolojik parametrelerin birçoğu meteorolojik parametrelerin fonksiyonu şeklinde yazılabildiğinden, hidrolojik ve meteorolojik parametreler arasında ilişki olduğundan söz etmek mümkündür. Çalışmada kullanılan 11 meteoroloji istasyonunu temsil eden alanlar seçilerek, ilgili alanlar için RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında üretilmiş GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR KDM yağış ve sıcaklık projeksiyon verileri kullanılmıştır. Referans dönem tespiti için, 11 Mİ'yi temsilen KDM'lerin geriye doğru çalıştırılması ile elde edilen 1971-2000 yılları aralığındaki yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Bu değerlerin yıllık ortalamaları belirlenerek projeksiyon verileri için referans değerler tespit edilmiştir.

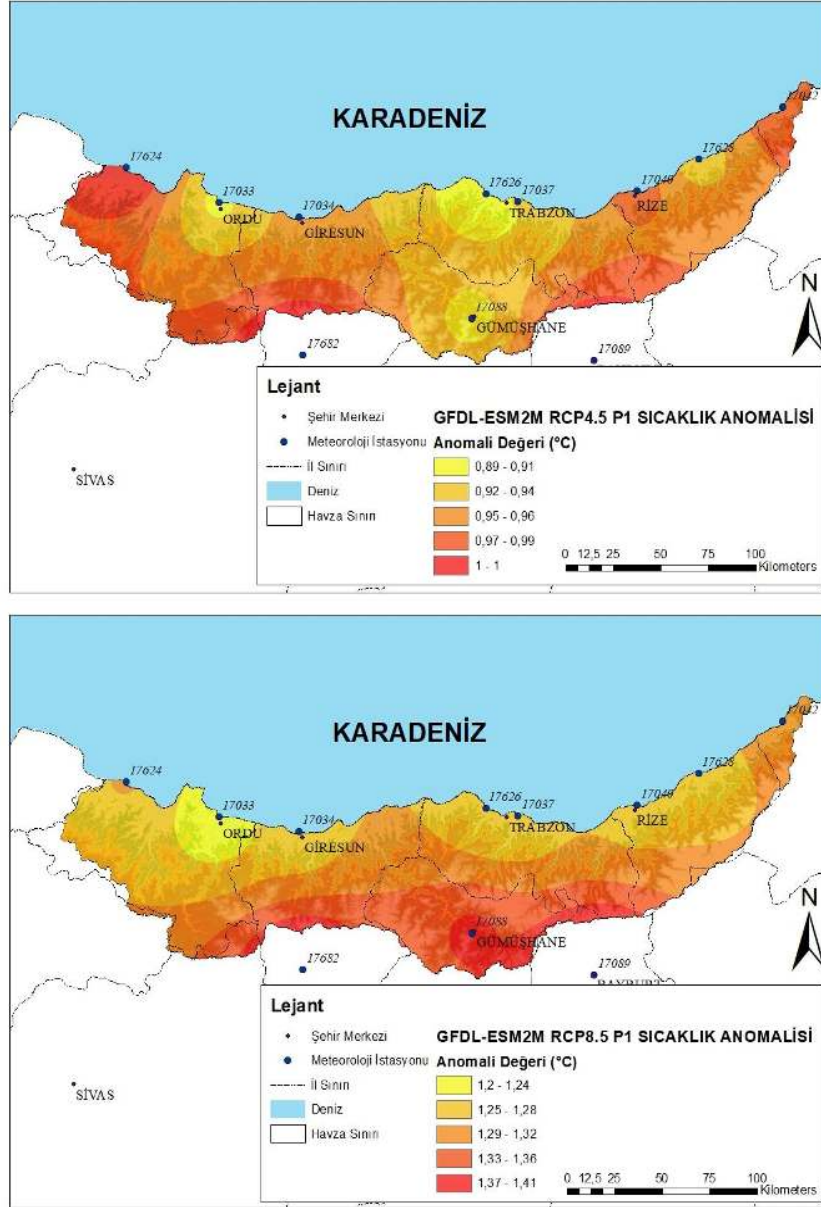
İklim değişikliğinin etkilerini araştırmak üzere çalışmada, RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında üretilmiş, GFDL-ESM2M, HadGEM-ES ve MPI-ESM-MR KDM sıcaklık ve yağış projeksiyon verilerinin yıllık anomalisi değerlendirilmiştir. Anomali değerlerini incelemek için daha önceden seçilmiş P1, P2 ve P3 periyotları için, yıllık anomalilerden dönemsel ortalamalar hesaplanmış, referans değerler ile kıyaslanmak suretiyle dönemsel anomali miktarları belirlenmiştir.

3.9.1. Yakın Gelecek (P1) Dönemi Anomali Araştırması

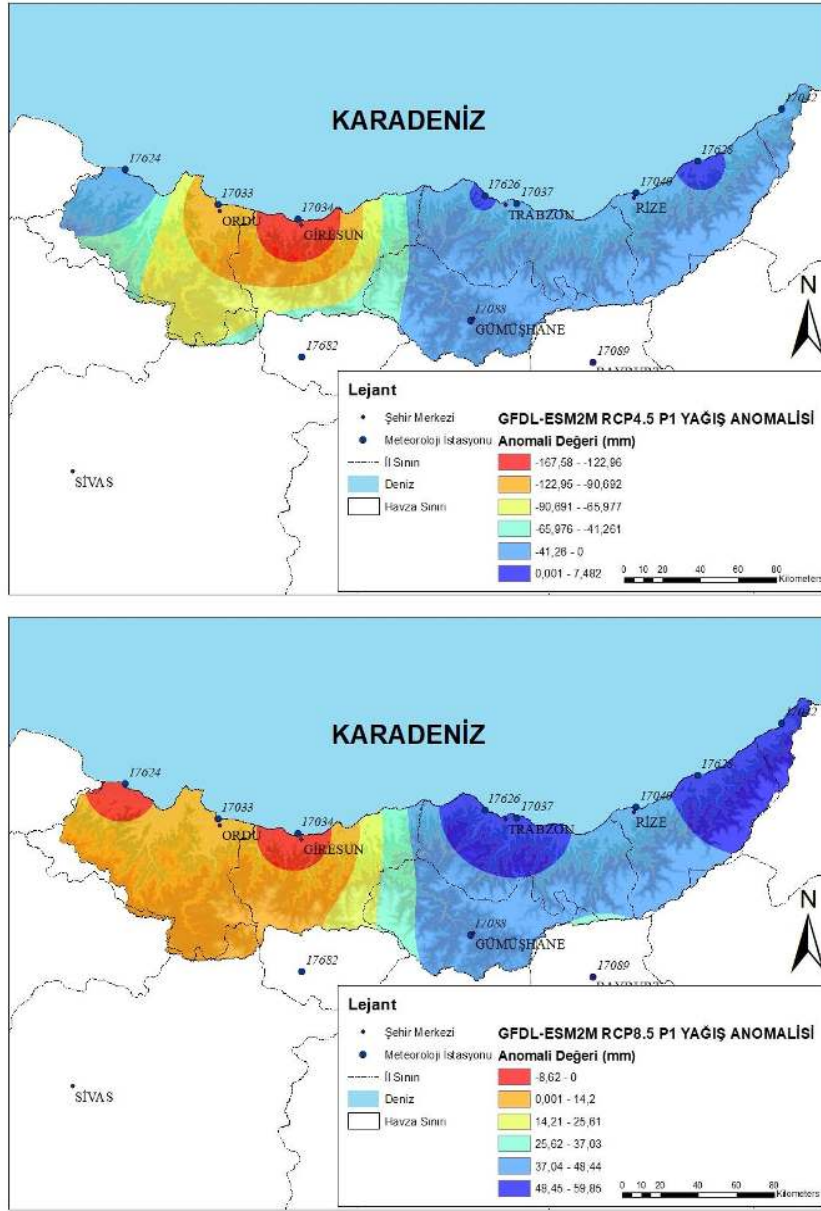
2021-2040 yılları aralığını temsil eden P1 döneminde referans periyot (1971-2000 yılları) için belirlenmiş referans değerlere göre, anlamlı anomaliler tespit edilmiştir. İncelenen periyotta sıcaklık değerlerinde tüm projeksiyon veri setleri için pozitif anomaliler görülmüştür. Yağış anomalilerinde KDM ve senaryoya göre birbirinden farklı anomali değerleri tespit edilmiş olup, bölgesel olarak artışlar belirlenmiştir.

GFDL-ESM2M KDM sıcaklık verilerine bakılarak havzada ortalama anomali değerleri, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında $0,95^{\circ}\text{C}$ ve RCP8.5 konsantrasyon

senaryosu altında $1,31^{\circ}\text{C}$ olarak gözlenmiştir. P1 döneminde sıcaklık artışlarından en fazla etkilenecek bölgeler, RCP4.5 konsantrasyon senaryosunda beklenen duruma göre Ordu ve Giresun'un güney kesimleri ve Rize olarak, RCP8.5 konsantrasyon senaryosunda beklenen duruma göre tüm havzanın güneyi olarak beklenmektedir. Aynı KDM verileri kullanılarak elde edilen yağış anomalilerine göre havzada ortalama yağışlar, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında negatif anomali, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında ise pozitif anomali değerleri almıştır. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında Trabzon ve Rize il merkezlerinde pozitif anomaliler görülmüş olup, en yüksek negatif anomaliler Giresun İli'nde tespit edilmiştir. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında ise havzanın doğu kesimlerinde yüksek pozitif anomaliler görülmekte ve bu yüksek anomaliler havzanın batısına doğru gidildikçe azalmaktadır. GFDL-ESM2M KDM için, P1 Dönemi anomali incelemeleri Şekil 3.75 ve Şekil 3.76'da gösterilmiştir.



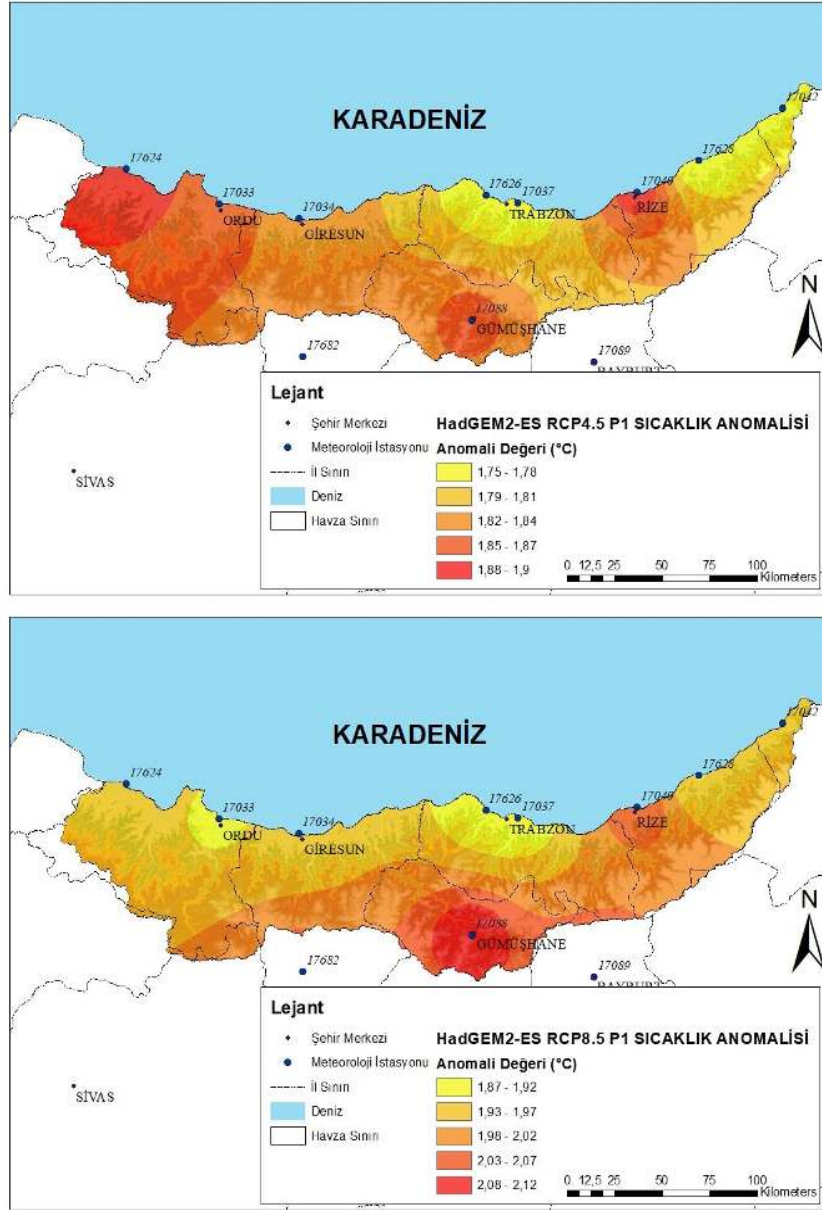
Şekil 3.75. GFDL-ESM2M P1 dönemi sıcaklık anomali haritaları



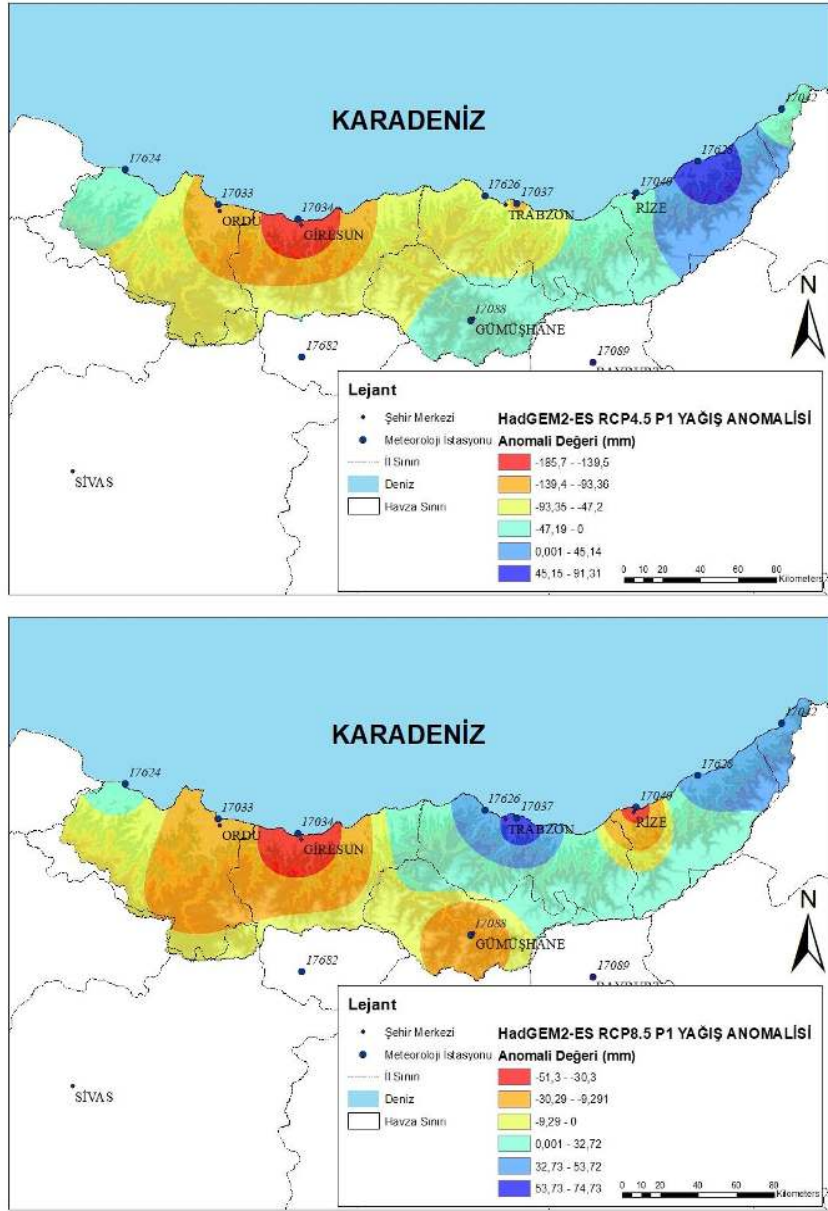
Şekil 3.76. GFDL-ESM2M P1 dönemi yağış anomali haritaları

HadGEM2-ES KDM, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında oluşturulmuş sıcaklık verilerine göre P1 döneminde havzada, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında 1,81°C, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında yaklaşık 2°C pozitif anomali tespit edilmiştir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altındaki durumlara göre, Ordu, Gümüşhane'nin kuzey kesimleri ve Rize illerinin, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altındaki durumlara göre havzanın güney kesimleri ve Rize ilinin yüksek pozitif anomaliler göstermesi beklenmektedir. KDM yağış verilerine göre RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında havza genelinde negatif yağış anomali beklenirken, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu

altında ise pozitif yağış anomalileri beklenmektedir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosuna göre yağışta en fazla azalma yaşanması beklenen il Giresun, en fazla artış beklenen il Rize, RCP8.5 konsantrasyon senaryosuna göre yağışta en fazla azalma beklenen il Giresun en fazla artış beklenen il ise Trabzon olarak öngörülmektedir. HadGEM2-ES KDM için, P1 Dönemi anomali incelemeleri Şekil 3.77 ve Şekil 3.78’de gösterilmiştir.



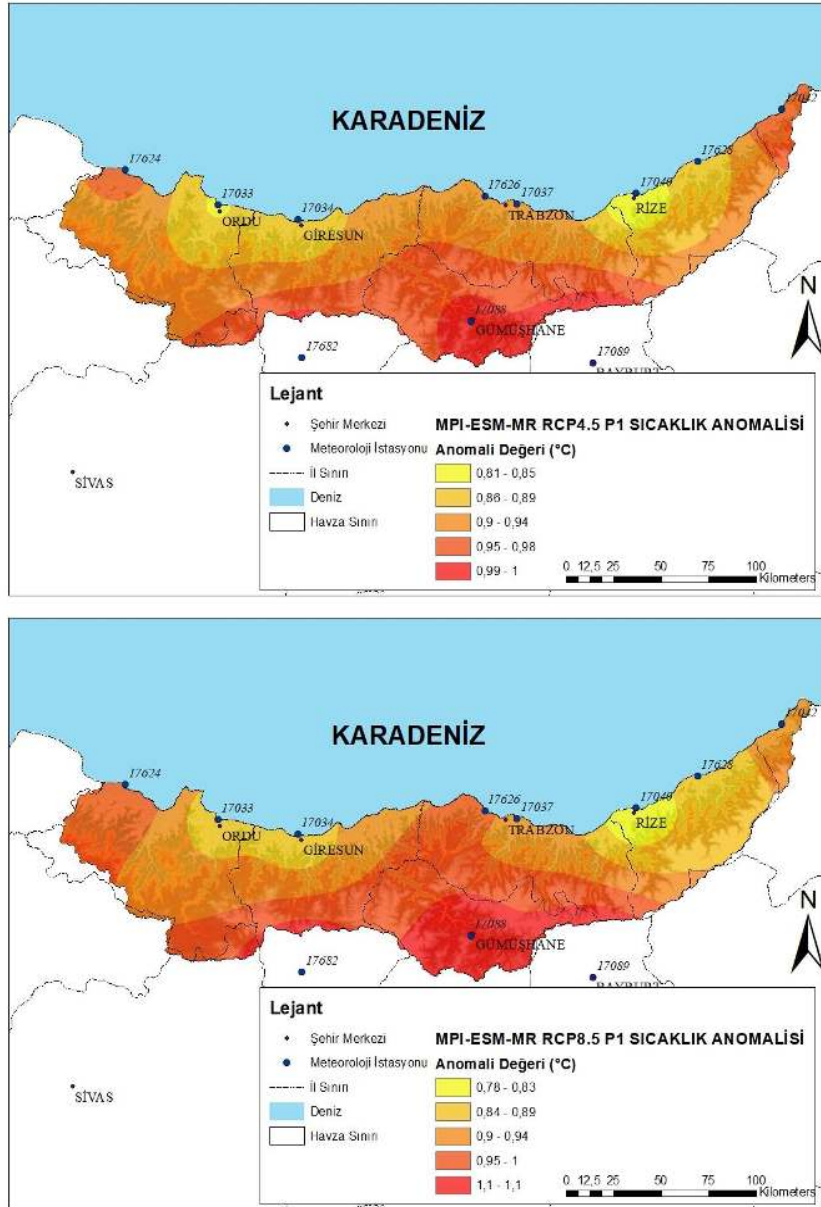
Şekil 3.77. HadGEM2-ES P1 dönemi sıcaklık anomali haritaları



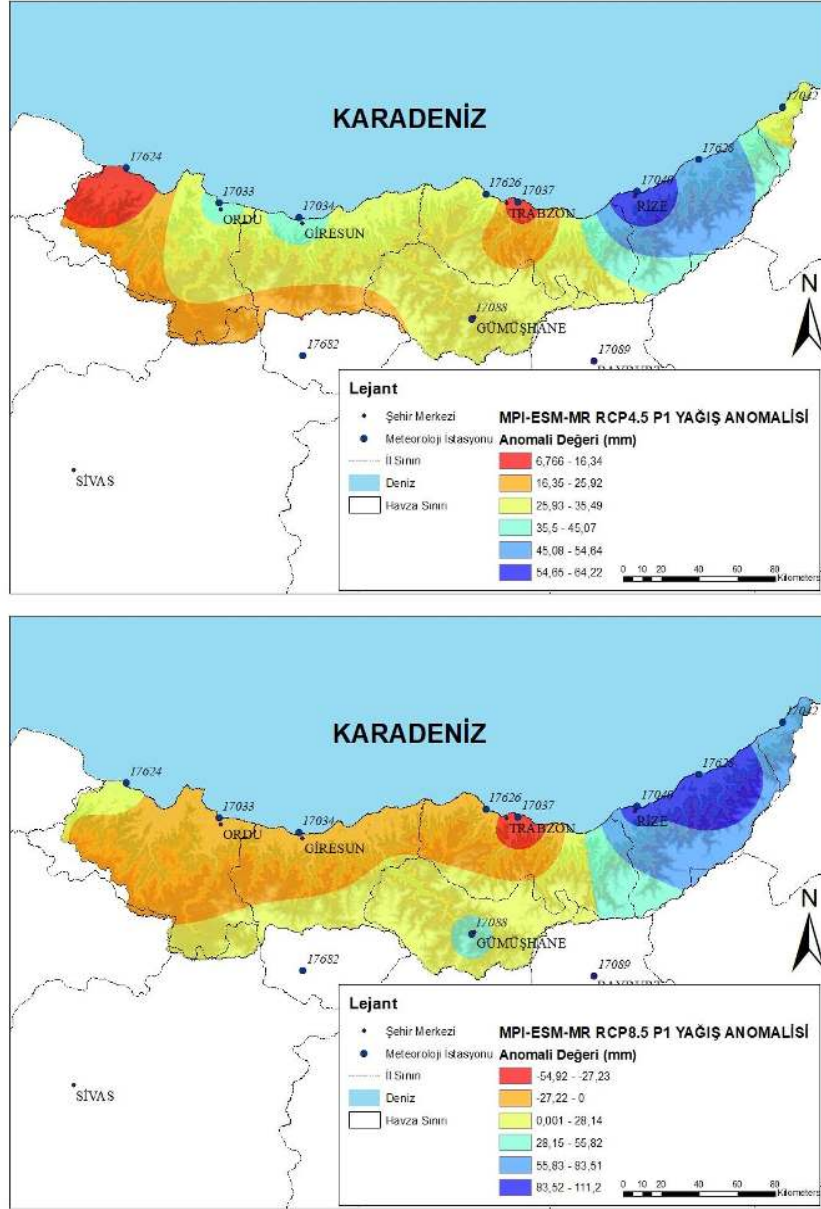
Şekil 3.78. HadGEM2-ES P1 dönemi yağış anomali haritaları

MPI-ESM-MR KDM RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında oluşturulmuş sıcaklık veri setlerinde havza genelinde pozitif anomaliler tespit edilmiştir. Sıcaklıkların P1 döneminde havza genelinde, RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında yaklaşık 1°C artacağı görülmektedir. Sıcaklıkların en fazla artış göstereceği bölgeler; RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında beklenen durumlara göre havzanın güney kesimleri, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında beklenen koşullara göre ise Trabzon ili orta kesimleri ve havzanın güney kesimleri olarak görülmüştür. Yağış veri setlerindeki anomaliler incelendiğinde havza genelinde her iki senaryo altında pozitif anomaliler tespit

edilmiş olup RCP4.5 senaryosu altında, Rize ili başta olmak üzere havzanın orta kesimlerinde, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında Trabzon iline göre havzanın doğu kesimlerinde yüksek pozitif yağış anomalileri gözlenmiştir. MPI-ESM-MR KDM için P1 dönemi anomali incelemeleri Şekil 3.79 ve Şekil 3.80’de görülmektedir.



Şekil 3.79. MPI-ESM-MR P1 dönemi sıcaklık anomali haritaları

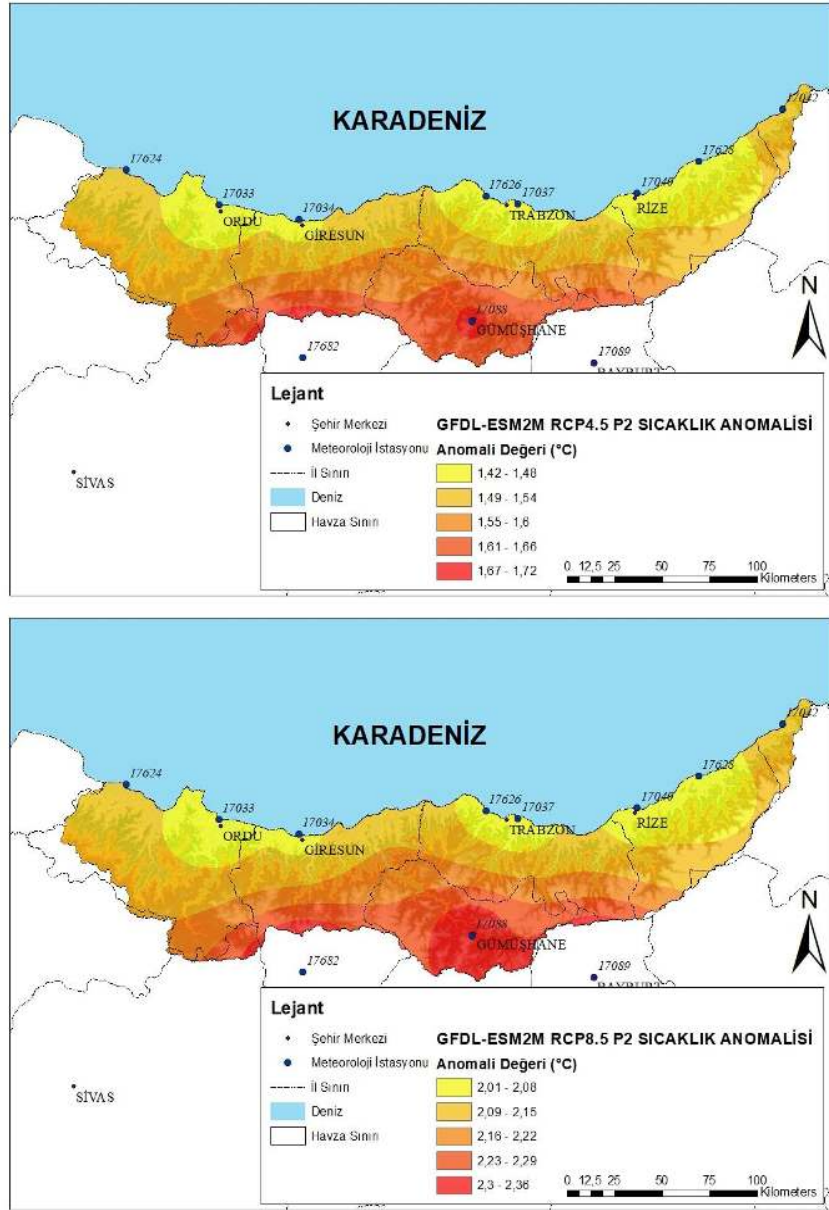


Şekil 3.80. MPI-ESM-MR P1 dönemi yağış anomali haritaları

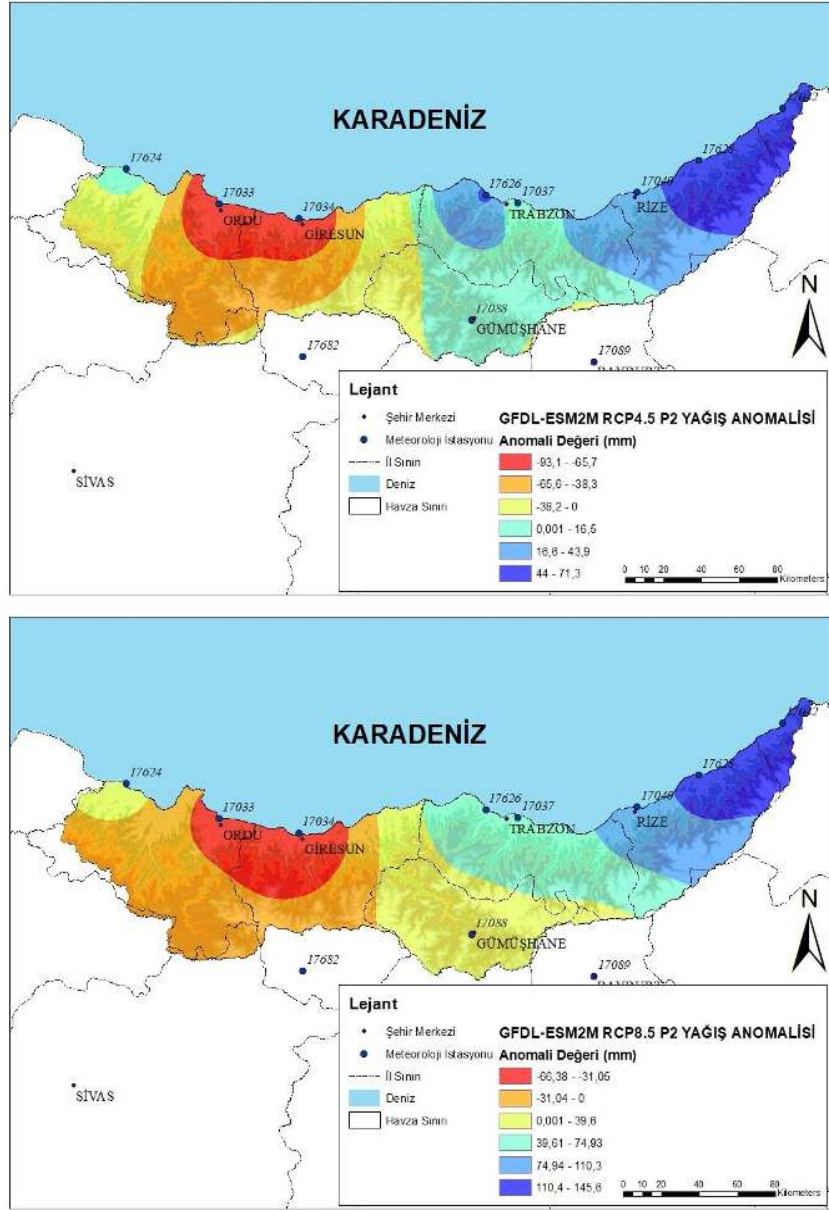
3.9.2. Orta Uzak Gelecek (P2) Dönemi Anomali Araştırması

2041-2070 yılları aralığını temsil eden P2 dönemi içerisinde referans periyot (1971-2000 yılları) için belirlenmiş referans değerlere göre, anlamlı anomaliler tespit edilmiştir. İncelenen periyotta P2 dönemindeki anomali değerleri, P1 dönemindeki anomali değerlerine göre daha yüksek pozitif sıcaklık anomalileri ve daha düşük pozitif veya daha yüksek negatif yağış anomalileri belirlenmiştir. P2 dönemi anomalilerine bakılarak P1 dönemine göre havza genelinde sıcaklıkların daha fazla artacağı, yağışların da azalacağı düşünülmektedir.

GFDL-ESM2M KDM sıcaklık verileri kullanılarak, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında havza genelinde yaklaşık 1,5°C ve RCP8.5 senaryosu altında havza genelinde yaklaşık 2,2°C pozitif anomali değeri elde edilmiştir. Anomali değerlerine göre en çok etkilenmesi beklenen bölge her iki konsantrasyon senaryosu altında da havzanın güney kesimleri olarak belirlenmiştir. Yağış anomalileri, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında daha düşük pozitif değerler alırken, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında daha yüksek pozitif değerler almıştır. Görülen bu değerler, aynı KDM verileri ile P1 döneminde elde edilen yağış anomalilerine göre daha yüksek pozitif anomali olduğunu göstermiştir. Yağışlardaki değişimlerin, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altındaki koşullara göre Giresun iline göre havzanın doğusunda pozitif yönde, batısında negatif yönde olacağı belirlenmiştir. GFDL-ESM2M KDM için, P2 Dönemi anomali incelemeleri Şekil 3.81 ve Şekil 3.82’de gösterilmiştir.



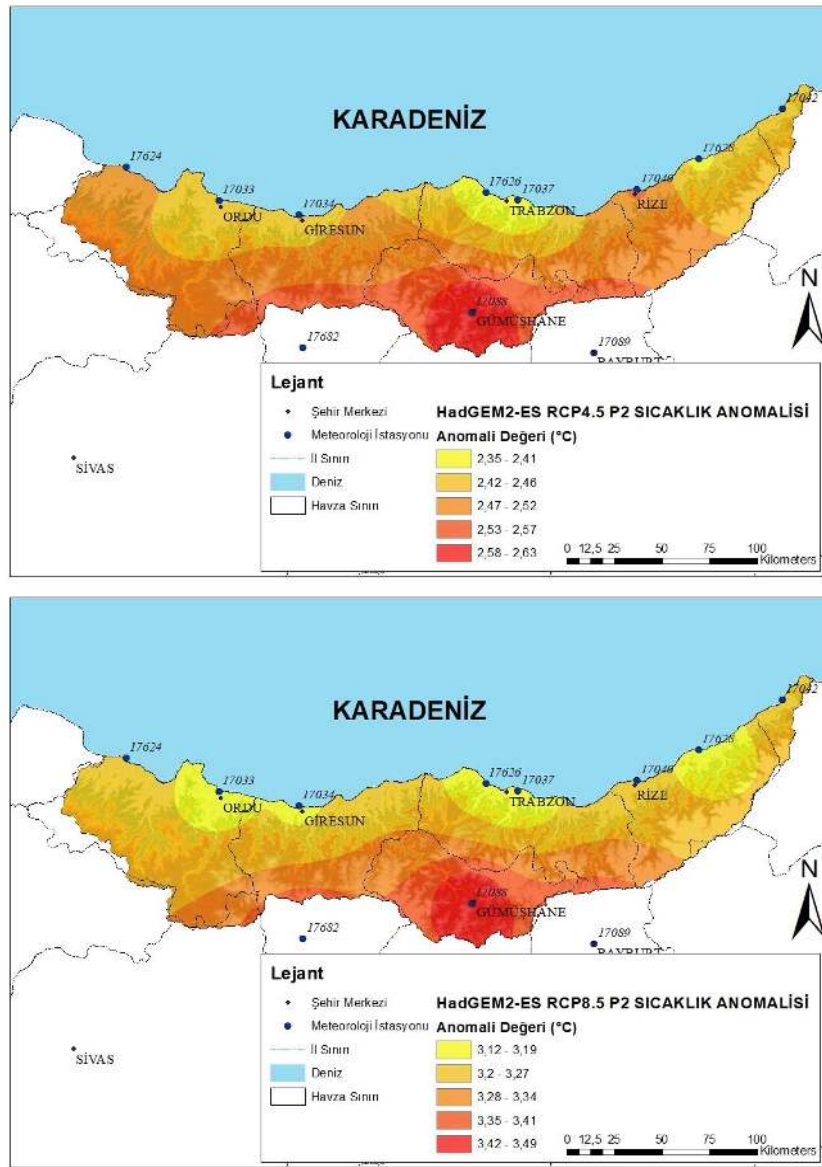
Şekil 3.81. GFDL-ESM2M P2 dönemi sıcaklık anomali haritaları



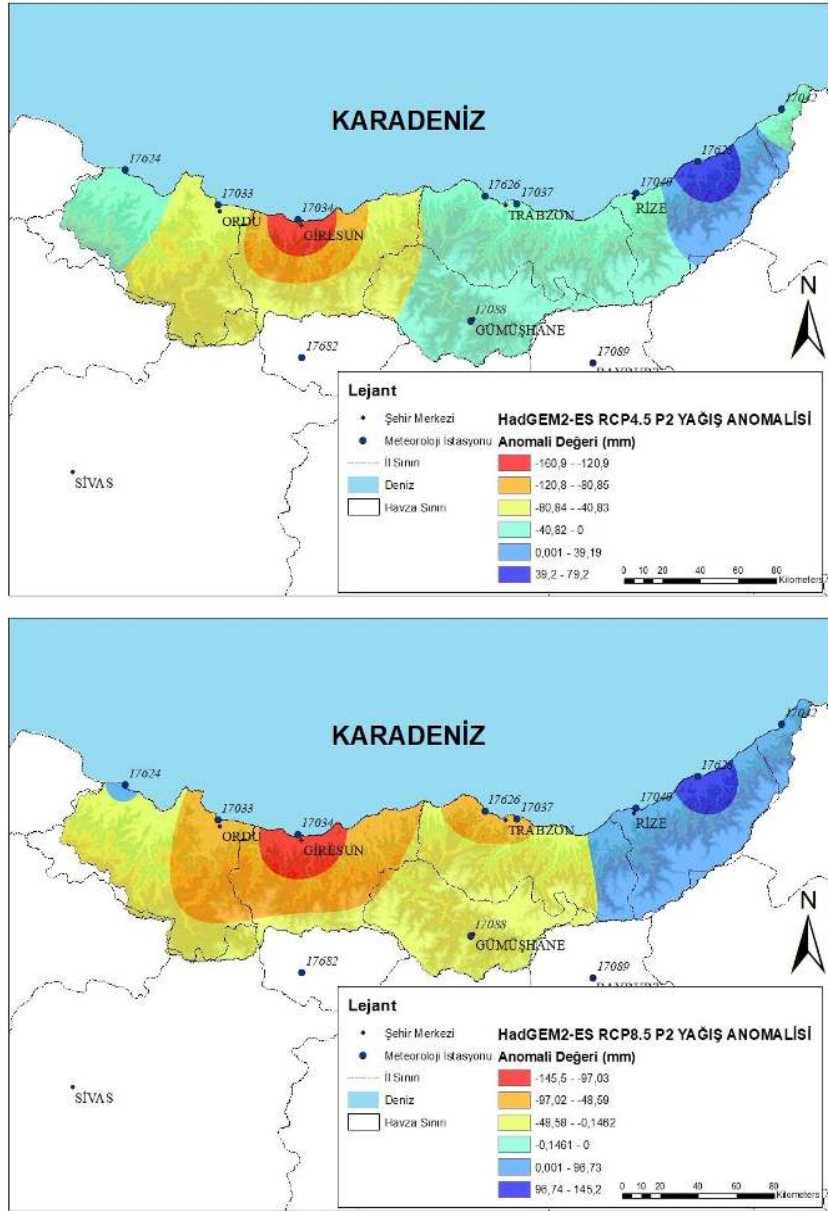
Şekil 3.82. GFDL-ESM2M P2 dönemi yağış anomali haritaları

HadGEM2-ES KDM, sıcaklık anomalileri her iki senaryo için de havza genelinde pozitif değerler almış olup, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında $2,48^{\circ}\text{C}$ ve RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında $3,26^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın pozitif anomali değerleri P1 dönemine göre %70 civarında artış göstermiştir. Ortalama sıcaklık anomalilerine bakılarak havzada sıcaklık artışlarının P1 dönemine göre daha yüksek olması beklenmektedir. Havzada sıcaklık artışından en fazla etkilenecek bölgelere bakıldığında, havzanın güney ve orta kesimleri olmuştur. Havzadaki dönemsel ortalama yağış

anomalileri her iki senaryo için de negatif değerler almış olup, P2 döneminde havzaya düşen yağış miktarlarında azalmalar beklenmektedir. P2 dönemi yağış anomalileri, P1 dönemine göre RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında kısmen artış gösterse de RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında düşüş göstermiştir. Yağışların azalış göstereceği bölgeler incelendiğinde, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında Rize ili ve doğu kısımları pozitif anomali değerleri alırken havzanın batı kısımları negatif anomali değerleri almıştır. RCP8.5 etkisi altında ise RCP4.5'e göre daha geniş bir bölgede pozitif anomali değerleri beklenmekte ve diğer senaryo verileri ile benzer şekilde havzanın batı kesimlerinde negatif anomaliler beklenmektedir (Şekil 3.83 ve Şekil 3.84).



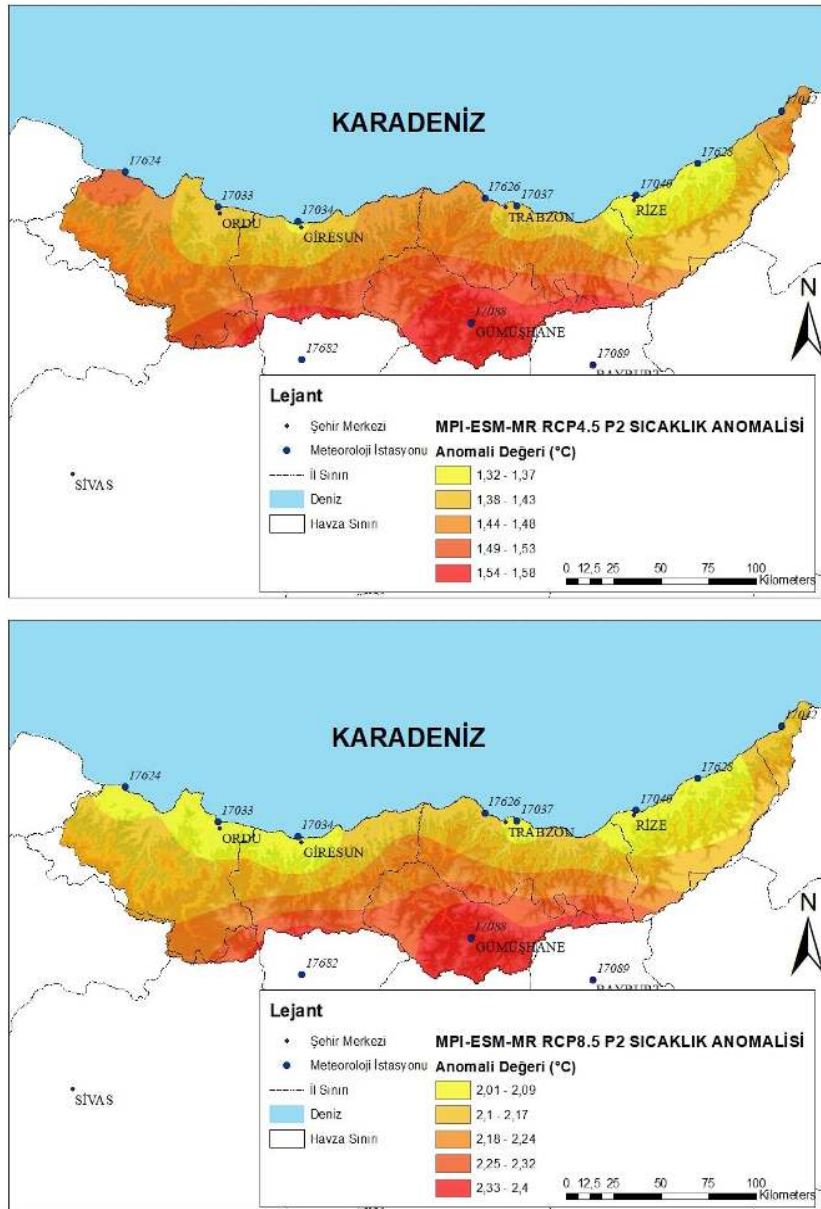
Şekil 3.83. HadGEM2-ES P2 dönemi sıcaklık anomali haritaları



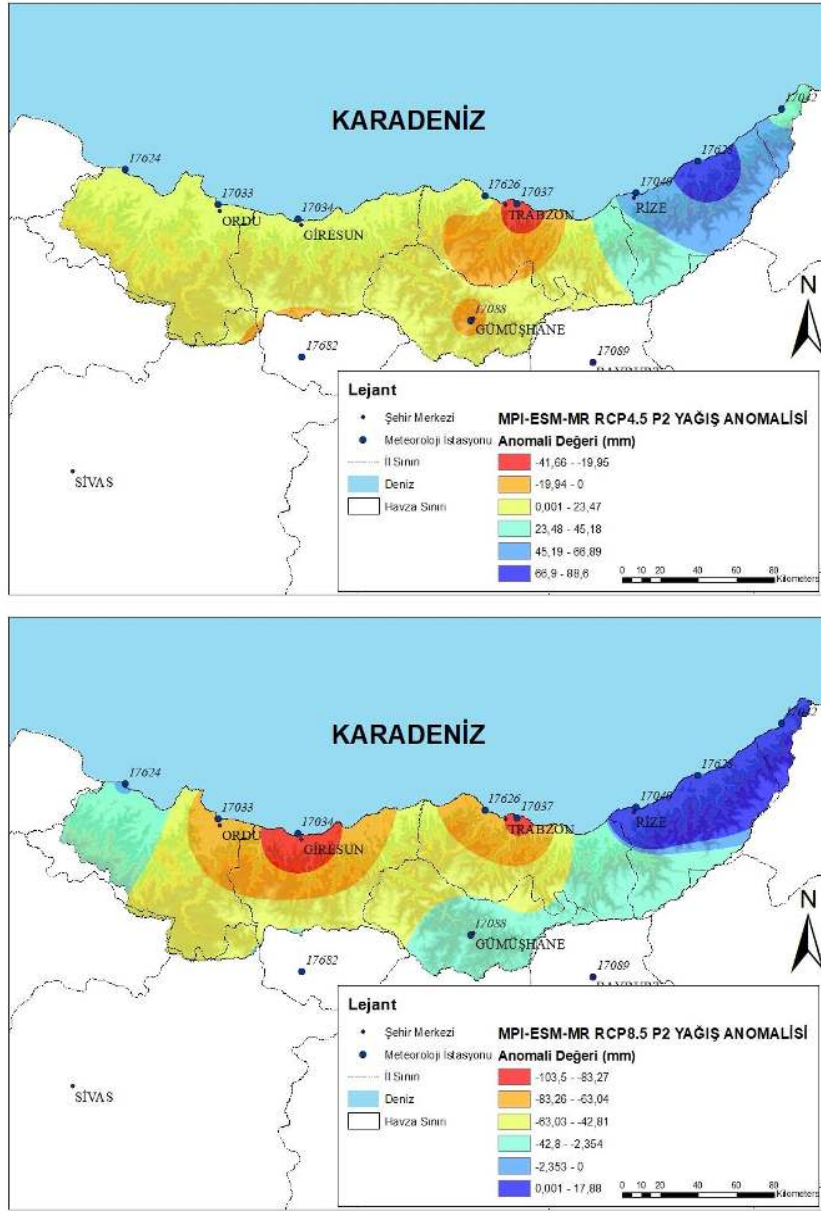
Şekil 3.84. HadGEM2-ES P2 dönemi yağış anomali haritaları

MPI-ESM-MR KDM verileri ile RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryolarının ikisinde de P1 dönemine göre daha yüksek sıcaklık anomalileri belirlenmiştir. Havza genelinde RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında $1,46^{\circ}\text{C}$, RCP8,5 konsantrasyon senaryosu altında $2,18^{\circ}\text{C}$ sıcaklık anomalisi beklenmektedir. Sıcaklıkta yaşanması beklenen bu değişimlerden en çok etkileneceği düşünülen bölgeler, havzanın güney kesimleri olmuştur. Belirlenen yağış anomalileri incelendiğinde, havza genelinde yağışların P1 dönemine kıyasla azalacağı görülmüştür. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu

altında havza genelinde yağışlarda pozitif, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında negatif anomali değerleri beklenmektedir. Yağışların negatif anomali gösterdiği bölgeler, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında Trabzon ili merkezi ve yakın civarı olmuştur. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında havzanın doğu kesimleri haricinde negatif anomali değerleri gözlenmiştir. MPI-ESM-MR KDM için P2 dönemi anomali incelemeleri Şekil 3.85 ve Şekil 3.86’da görülmektedir.



Şekil 3.85. MPI-ESM-MR P2 dönemi sıcaklık anomali haritaları



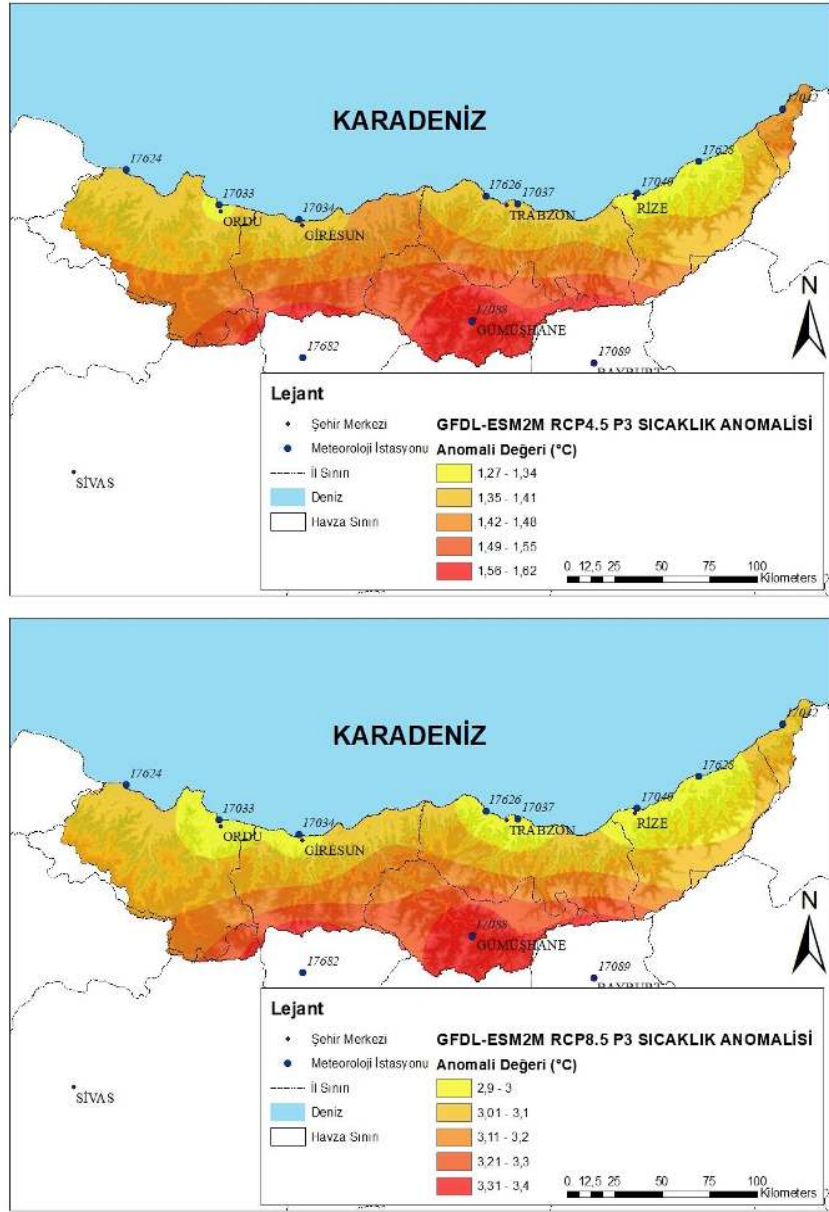
Şekil 3.86. MPI-ESM-MR P2 dönemi yağış anomali haritaları

3.9.3. Uzak Gelecek (P3) Dönemi Anomali Araştırması

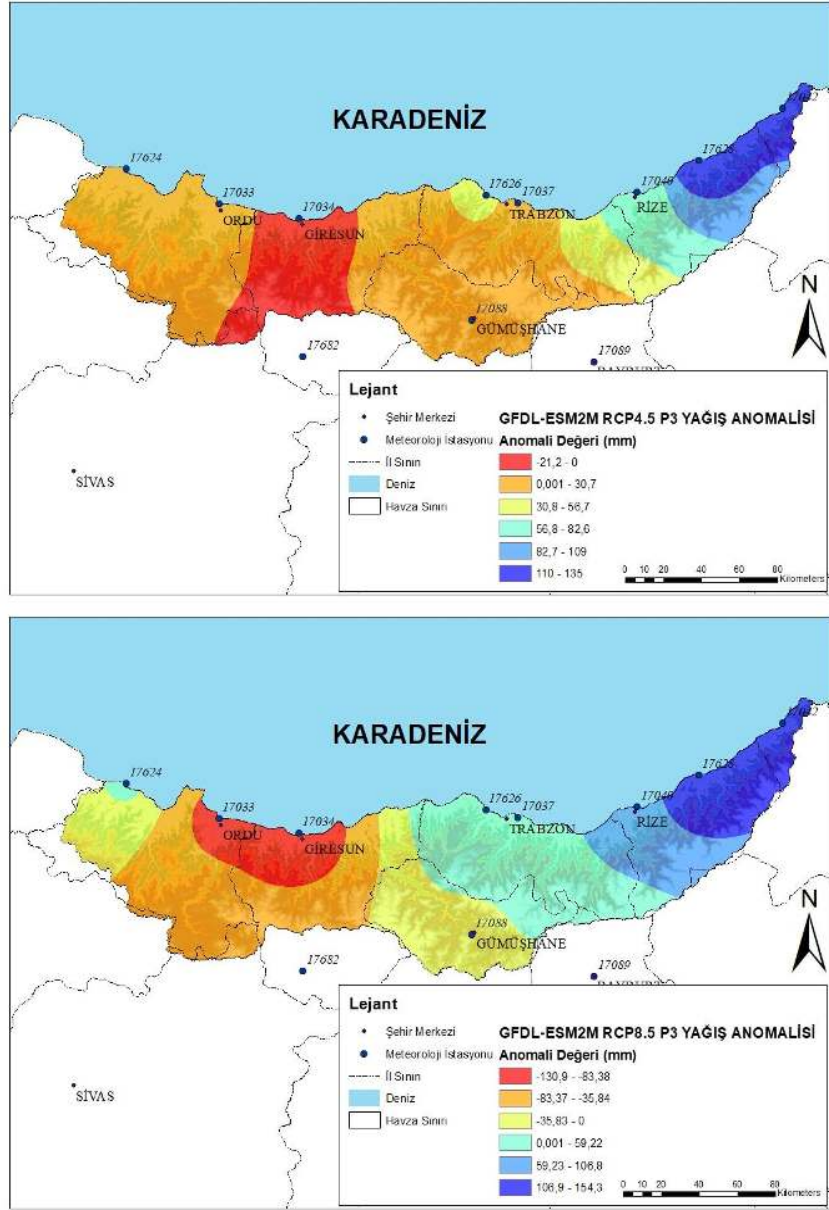
2071-2099 yılları aralığını temsil eden P3 dönemi içerisinde referans periyot (1971-2000 yılları) için belirlenmiş referans değerlere göre, anlamlı anomaliler tespit edilmiştir. İncelenen periyotta P1 ve P2 dönemindeki anomalilerine kıyasla, P3 döneminde; havza genelinde tüm KDM verilerinin tüm senaryolar altında, sıcaklık anomalilerinin pozitif yönde arttığı, yağış anomalilerinin ise konsantrasyon senaryoları ve KDM verilerine göre farklı değişimler gösterdiği görülmüştür. RCP4.5 konsantrasyon

senaryosu altında GFDL-ESM2M ve HadGEM2-ES KDM verilerinde yağış anomalilerinin pozitif yönde arttığı, MPI-ESM-MR KDM verilerinde yağış anomalilerinin negatif yönde arttığı, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında KDM verilerinin tamamında yağış anomalilerinin negatif yönde arttığı görülmüştür.

GFDL-ESM2M KDM verileri ile incelenen sıcaklık anomalileri havza genelinde, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında $1,45^{\circ}\text{C}$ ve RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında $3,12^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında hesaplanan sıcaklık anomali değerleri P3 döneminde P1 dönemine göre pozitif yönde daha yüksek, P2 dönemine göre ise yakın değer almıştır. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında diğer senaryoya göre pozitif yönde yüksek bir değer almış olup geçilen P1 ve P2 dönemlerine göre de pozitif yönde daha yüksek sıcaklık anomalisi tespit edilmiştir. Sıcaklık artışlarından en fazla etkileneceği düşünülen bölgeler; diğer dönemlerde olduğu gibi havzanın güney kesimleri olmuştur. KDM verileri ile hesaplanan yağış anomalilerinin, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında geçilen P1 ve P2 dönemlerine göre pozitif yönde artış gösterdiği, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında ise geçilen aynı dönemlere göre negatif yönde değiştiği görülmüştür. Havzada RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altındaki değişimlerin P1 döneminde negatif daha sonraki dönemlerde artan şekilde pozitif değer aldığı, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında ise P1 döneminden itibaren pozitif yağış anomalisi değerlerinin dönemlere göre düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Havzada yağış anomali değerlerine göre yağışın en fazla etkileneceği bölgeler, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında negatif anomali değeri ile yağışların azalacağı bölge olarak Giresun, pozitif anomali değeri alarak yağışların artış göstereceği bölge olarak ise havzanın doğu kesimleri, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında Trabzon ilinden itibaren havzanın batısında yağışların azalacağı, Trabzon ili dahil havzanın doğusunda yağışların artacağı beklenmektedir. GFDL-ESM2M KDM için P3 dönemi anomali incelemeleri Şekil 3.87 ve Şekil 3.88’de görülmektedir.



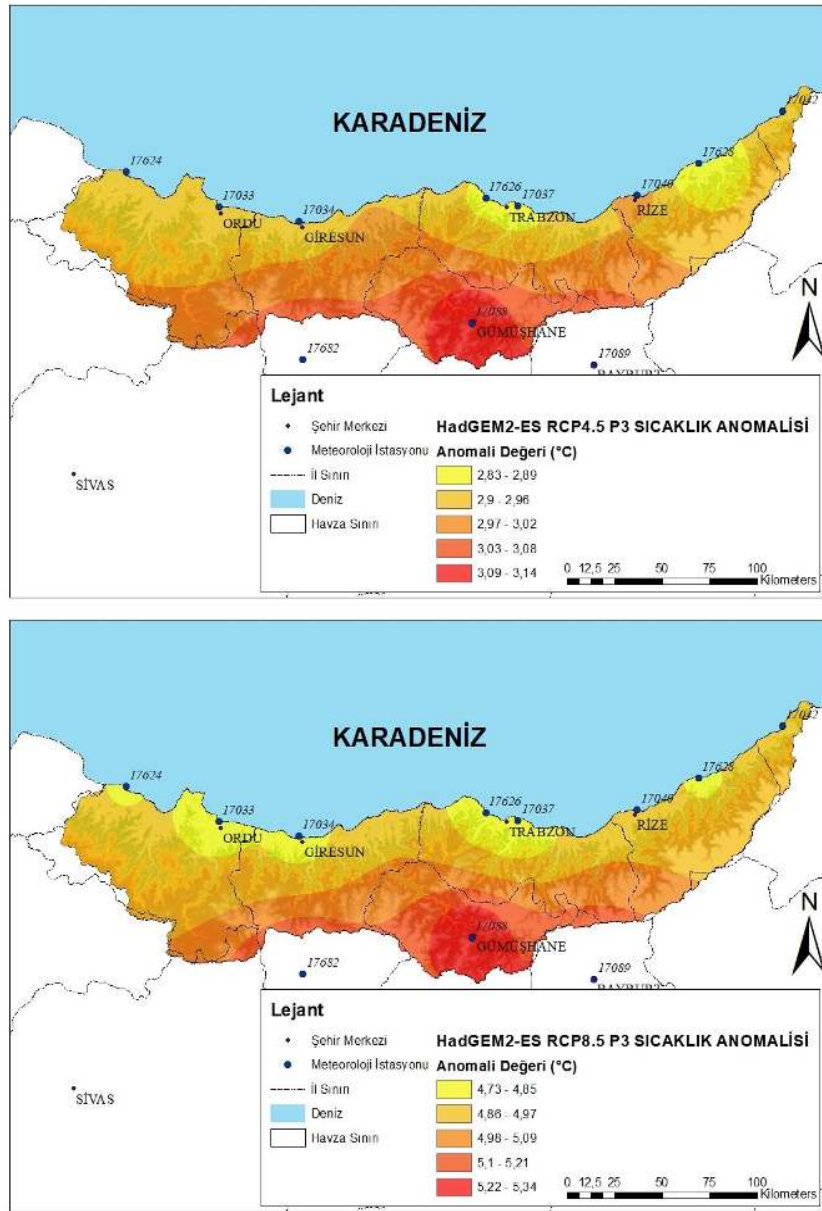
Şekil 3.87. GFDL-ESM2M P3 dönemi sıcaklık anomali haritaları



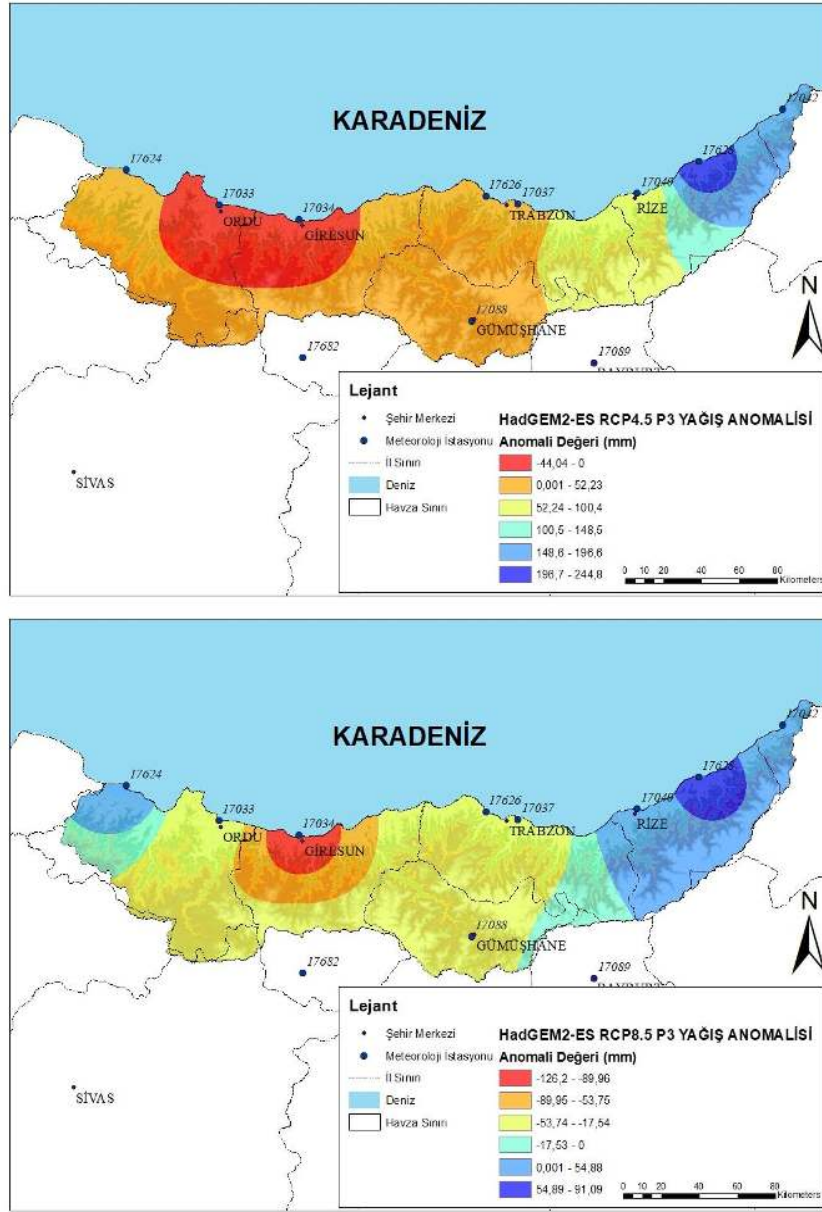
Şekil 3.88. GFDL-ESM2M P3 dönemi yağış anomali haritaları

HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak elde edilen anomali değerleri incelendiğinde, havza genelinde sıcaklık anomalilerinin RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında P1 ve P2 dönemlerine kıyasla pozitif yönde artış gösterdiği görülmüştür. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında sıcaklık anomalişi havza genelinde yaklaşık 3°C, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında yaklaşık 5°C olarak beklenmektedir. Sıcaklık anomalileri, tüm konsantrasyon senaryoları altında havzanın güney kesimlerinde pozitif yönde daha büyük değerler almıştır KDM verileri kullanılarak

elde edilen yağış anomalileri incelendiğinde, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında P3 dönemi geçilen P1 ve P2 dönemlerine göre pozitif yönde artış göstermiş olup, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P1 dönemine göre negatif yönde artış göstermiş, P2 dönemine göre ise benzer anomali değeri almıştır. Yağış anomalileri RCP4.5 etkisi altında, havzanın batıya yakın kısımlarında Ordu ve Giresun illerinde negatif değerler almış havzanın doğu kısımlarına gidildikçe yüksek pozitif değerler almıştır. RCP8.5 etkisi altında havzanın doğu kesimlerinde pozitif değerler almış ancak havzanın orta ve batı kesimlerinde negatif değerler belirlenmiştir (Şekil 3.89 ve Şekil 3.90).



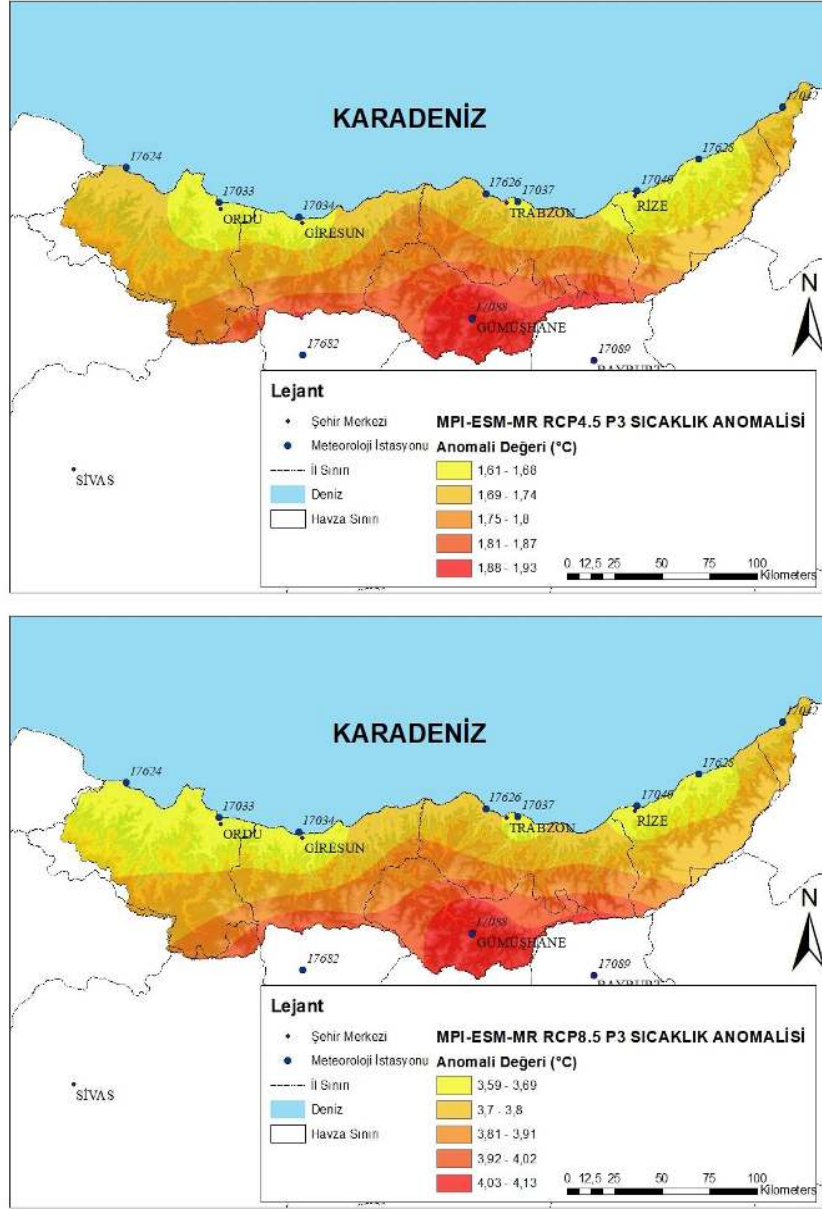
Şekil 3.89. HadGEM2-ES P3 dönemi sıcaklık anomali haritaları



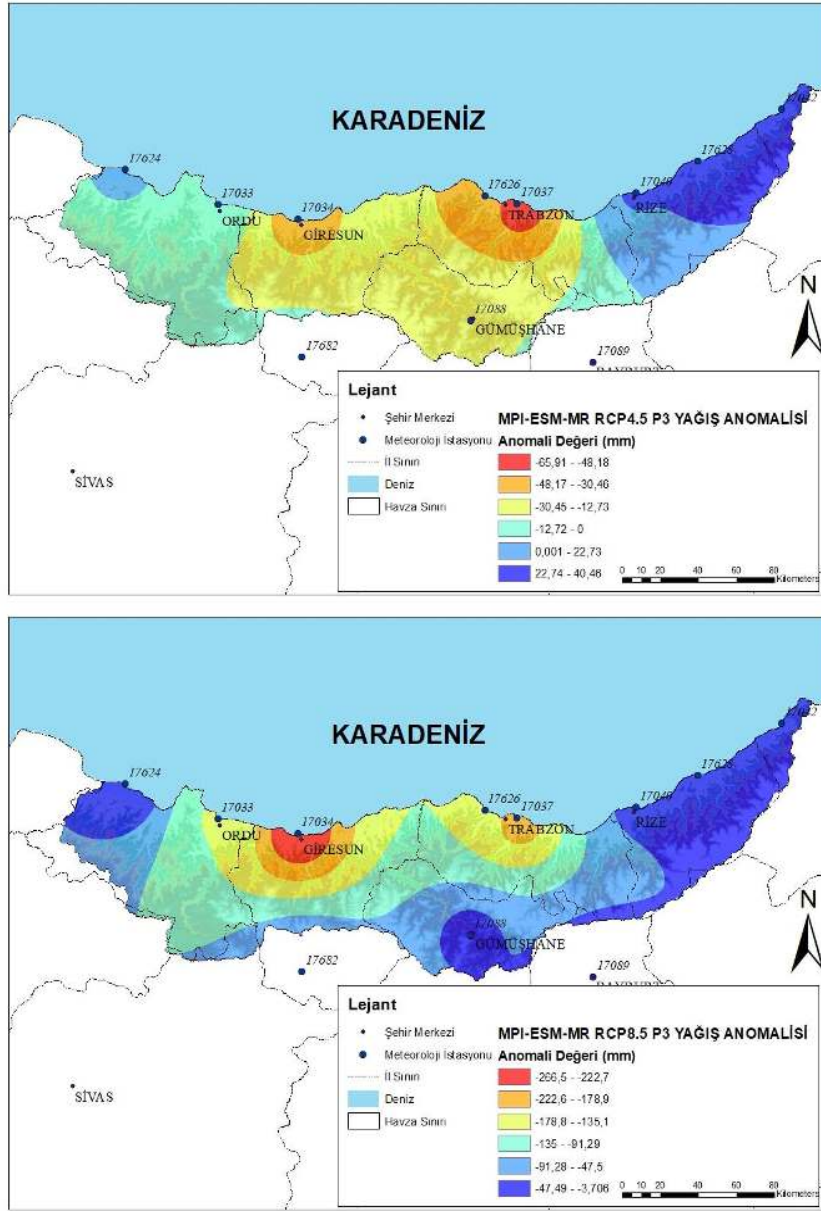
Şekil 3.90. HadGEM2-ES P3 dönemi yağış anomali haritaları

MPI-ESM-MR KDM verilerinden elde edilen sıcaklık anomali değeri çalışmada incelenen tüm konsantrasyon senaryoları altında önceki P1 ve P2 dönemlerine göre pozitif yönde artış göstermiştir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında havza genelinde 1,8°C, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında havza genelinde 3,8°C sıcaklık anomali tespit edilmiştir. Sıcaklıktaki anomaliler P1 döneminden başlayarak P3 dönemine kadar pozitif yönde artış göstermiştir. Havzanın güney kesimlerinde sıcaklıkta pozitif anomaliler artmıştır. Havzadaki yağış anomalileri çalışmada incelenen tüm konsantrasyon senaryoları

altında P1 ve P2 dönemlerine göre düşüş göstermiş ve negatif yönde artmış olsa da yağış anomalileri havzanın doğu kesimlerinde pozitif anomaly değerleri almıştır. MPI-ESM-MR KDM için P3 dönemi anomaly incelemeleri Şekil 3.91 ve Şekil 3.92’de görülmektedir.



Şekil 3.91. MPI-ESM-MR P3 dönemi sıcaklık anomaly haritaları



Şekil 3.92. MPI-ESM-MR P3 dönemi yağış anomali haritaları

3.10. Tahmin Edilen Akarsu Akışlarının İstatistiksel Olarak Değerlendirmesi

Çalışmada gelecek akarsu akışını tahmin etmek üzere dört farklı sayısal model ile oluşturulmuş SPM incelenmiştir. Farklı performans kriterlerine göre yapılan değerlendirmeler sonrasında, akarsu akışı tahmin performansı en yüksek olan SPM belirlenmiştir. Akarsu akışının ölçüldüğü alanda, belirlenen en iyi SPM ile gelecek akış tahmini yapılmıştır. Gelecek akış modellemesinde girdi setlerinde; çalışma kapsamında değerlendirilen GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR KDM'lerinin, IPCC

AR5 raporunda belirtilen konsantrasyon senaryolarından olan RCP4.5 ve RCP8.5 altında üretilmiş günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. SPM çıktısı olarak, günlük ortalama akarsu akışı değeri elde edilmiştir.

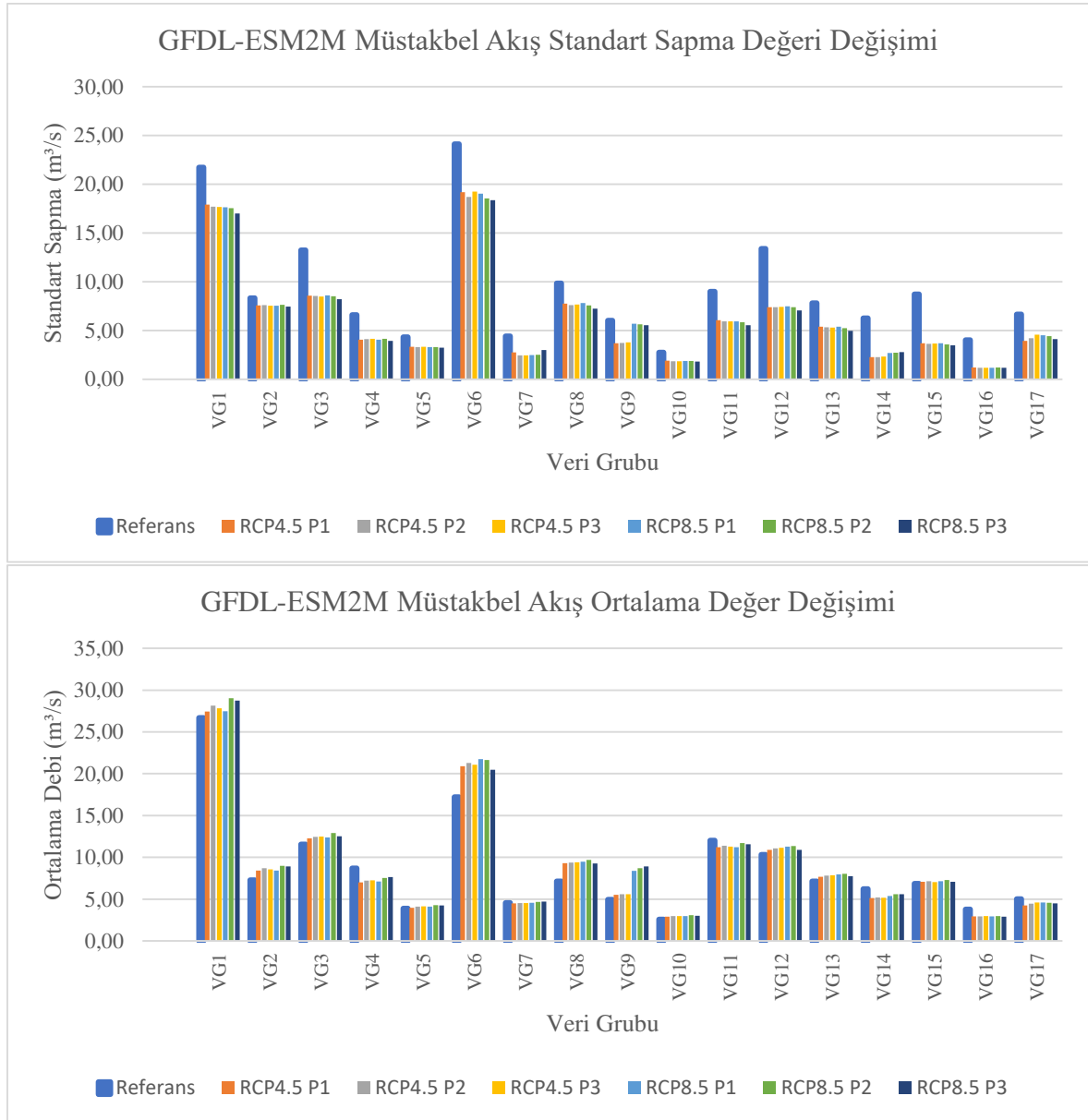
17 farklı AGİ konumunda çalıştırılan performansı en yüksek SPM ile elde edilen veriler sıralı ve sürekli bir zaman serisi oluşturmuştur. Günlük ortalama akarsu akışı değerlerinin 21. yüzyılın sonuna kadar incelenmesi, zaman serisindeki eleman sayısını önemli ölçüde arttırmıştır. Günlük ortalama akış serilerindeki değişimi ifade etmek için yaygın olarak kullanılan en etkili göstergeler ortalama değer ve standart sapma değeridir (Riggs, 1973). Bu nedenle çalışmada elde edilmiş müstakbel günlük ortalama akarsu akışı zaman serilerindeki incelemeler, gözlenmiş akarsu akışı verilerinden oluşan referans dönem ortalama ve standart sapma değerleri ile kıyaslanarak yapılmıştır.

Günlük ortalama akarsu akışı zaman serileri için ortalama ve standart sapma değerleri, incelenen yıl aralıklarının fazla olması ve dönemseller çıkarımların yapılarak, farklı zaman aralıklarının değerlendirilmesi amacıyla, 2021-2040 yılları aralığı P1, 2041-2070 yılları aralığı P2 ve 2071-2099 yılları aralığı P3 periyotlarındaki ortalama zaman serileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, SPM eğitiminde kullanılan, bölgedeki en uzun süre kaydedilmiş sürekli veri setlerinden elde edilmiş değerler ile kıyaslanmıştır. Referans periyot ve müstakbel ortalama ve standart sapma değerleri farklı KDM ve konsantrasyon senaryosuna göre sırasıyla Tablo 3.90, Tablo 3.91 ve Tablo 3.92’de görülmektedir.

Tablolardaki çıktılar incelendiğinde; havzadaki tarihsel akış karakteristiğini ifade eden referans periyotta, akarsu akışının ortalama akıştan sapma eğiliminin genel olarak ortalama mertebesinde yüksek değerler aldığı görülmektedir. Bu durum havzadaki akışın, hidrolojik etkenler, beklenmeyen doğal etkenler ve insan aktivitesi sonucu oluşan etkenler gibi çok sayıda etkenden direkt olarak etkilendiği ve akarsu akışlarının sabit değerler etrafında değişmediğini uç değerler alabileceğini göstermektedir. Referans periyotta yapılan günlük ortalama akış değerlendirmesinde periyodiklik tespit edilmiş olsa da kısa frekansta yaşanan büyük akış değişiklikleri gözlenmiştir. Bu durumun ortalama akışta yaşanan değişimlerin esas kaynağı olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.93’te RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosu müstakbel akış verilerinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerine ait grafik görülmektedir.

Tablo 3.90’da GFDL-ESM2M KDM RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında üretilmiş veriler kullanılarak elde edilmiş müstakbel akarsu akışı verilerinin incelemesi

görülmektedir. Tabloya göre analiz bölgelerinin tamamında standart sapma değerinin, referans dönem standart sapma değerine göre azalış gösterdiği görülmektedir. RCP4.5 senaryosu altındaki verilerden elde edilen müstakbel akışların standart sapma değeri, RCP8.5 senaryosu altındaki verilerden elde edilen müstakbel akışların standart sapma değerlerine yakın olsa da RCP4.5 senaryosu müstakbel akış veri seti daha yüksek standart sapma değerine sahiptir.



Şekil 3.93. GFDL-ESM2M KDM RCP4.5 ve RCP8.5 ortalama ve standart sapma değeri değişimi

Tablo 3.90. GFDL-ESM2M KDM müstakbel akış değerlendirmesi

Konsantrasyon Senaryosu			RCP4.5			RCP8.5		
Veri Grubu	İndis (m ³ /s)	Referans	P1	P2	P3	P1	P2	P3
VG 1	Ortalama	26,70	27,46	28,14	27,83	27,47	29,02	28,75
	S.Sapma	21,73	17,92	17,70	17,67	17,64	17,56	17,00
VG 2	Ortalama	7,27	8,40	8,68	8,57	8,42	8,97	8,91
	S.Sapma	8,33	7,57	7,60	7,54	7,55	7,64	7,45
VG 3	Ortalama	11,57	12,28	12,44	12,47	12,39	12,92	12,52
	S.Sapma	13,26	8,58	8,56	8,48	8,62	8,52	8,23
VG 4	Ortalama	8,69	6,99	7,23	7,25	7,10	7,52	7,65
	S.Sapma	6,61	4,06	4,11	4,16	4,06	4,14	3,96
VG 5	Ortalama	3,88	3,97	4,11	4,14	4,10	4,27	4,24
	S.Sapma	4,35	3,34	3,32	3,35	3,32	3,32	3,24
VG 6	Ortalama	17,23	20,92	21,30	21,09	21,75	21,65	20,47
	S.Sapma	24,13	19,18	18,71	19,26	19,03	18,55	18,37
VG 7	Ortalama	4,55	4,50	4,54	4,52	4,56	4,67	4,69
	S.Sapma	4,44	2,77	2,45	2,44	2,50	2,52	2,99
VG 8	Ortalama	7,14	9,31	9,38	9,40	9,47	9,69	9,26
	S.Sapma	9,86	7,76	7,60	7,68	7,83	7,57	7,24
VG 9	Ortalama	4,95	5,52	5,58	5,59	8,37	8,71	8,90
	S.Sapma	6,02	3,70	3,74	3,79	5,69	5,65	5,56
VG 10	Ortalama	2,58	2,91	2,96	2,96	2,98	3,07	3,01
	S.Sapma	2,77	1,92	1,86	1,86	1,89	1,88	1,82
VG 11	Ortalama	12,01	11,21	11,40	11,29	11,20	11,70	11,56
	S.Sapma	9,01	6,06	5,93	5,95	5,94	5,86	5,55

Tablo 3.90'in devamı.

Konsantrasyon Senaryosu			RCP4.5			RCP8.5		
Veri Grubu	İndis (m ³ /s)	Referans	P1	P2	P3	P1	P2	P3
VG 12	Ortalama	10,33	10,88	11,05	11,14	11,27	11,34	10,88
	S.Sapma	13,41	7,41	7,41	7,43	7,50	7,40	7,07
VG 13	Ortalama	7,15	7,67	7,81	7,84	7,95	8,05	7,76
	S.Sapma	7,82	5,40	5,33	5,31	5,39	5,24	4,98
VG 14	Ortalama	6,23	5,12	5,19	5,18	5,38	5,60	5,58
	S.Sapma	6,28	2,28	2,29	2,33	2,70	2,73	2,79
VG 15	Ortalama	6,85	7,07	7,16	7,05	7,16	7,28	7,07
	S.Sapma	8,72	3,69	3,64	3,68	3,70	3,59	3,47
VG 16	Ortalama	3,79	2,95	2,94	2,97	2,94	2,97	2,92
	S.Sapma	4,04	1,20	1,19	1,19	1,18	1,21	1,19
VG 17	Ortalama	5,04	4,26	4,47	4,58	4,60	4,58	4,48
	S.Sapma	6,68	3,94	4,21	4,58	4,52	4,44	4,11

Tablo 3.90'da görülen ortalama akarsu akışı değerlerinin çoğu analiz bölgesinde referans döneme göre artış gösterdiği belirlenmiştir. VG7 (Trabzon) ve VG11 (Rize) analiz bölgelerinde elde edilen müstakbel akış değerleri ortalamalarının referans periyot ortalamasına çok yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür. Bu iki analiz bölgesinden biri Rize ili sınırları içerisinde, diğeri de Trabzon ili sınırlarının doğusunda bulunmaktadır. Önceki bölümlerde yıllık sıcaklık ve yağış anomali bulguları incelendiğinde bölgede yağışın ve sıcaklığın pozitif anomaliler gösterdiği göz önünde bulundurulursa bölgede referans periyoda göre yakın ortalama akış değerlerinin elde edilmesini alt havzanın yüksek kesimlerinde yaşanan kar erimeleri ve yağışlar ile havzaya giren suyun, havzada artan sıcaklık neticesinde akarsu akışından kaybolan su miktarını dengelemesi ile ilişkili olduğu düşünülebilmektedir. Referans döneme göre tüm periyot ve senaryolar için ortalama değerlerin azalışta olduğu VG4 (Rize), VG14 (Rize), VG16 (Rize) ve VG17 (Ordu) analiz

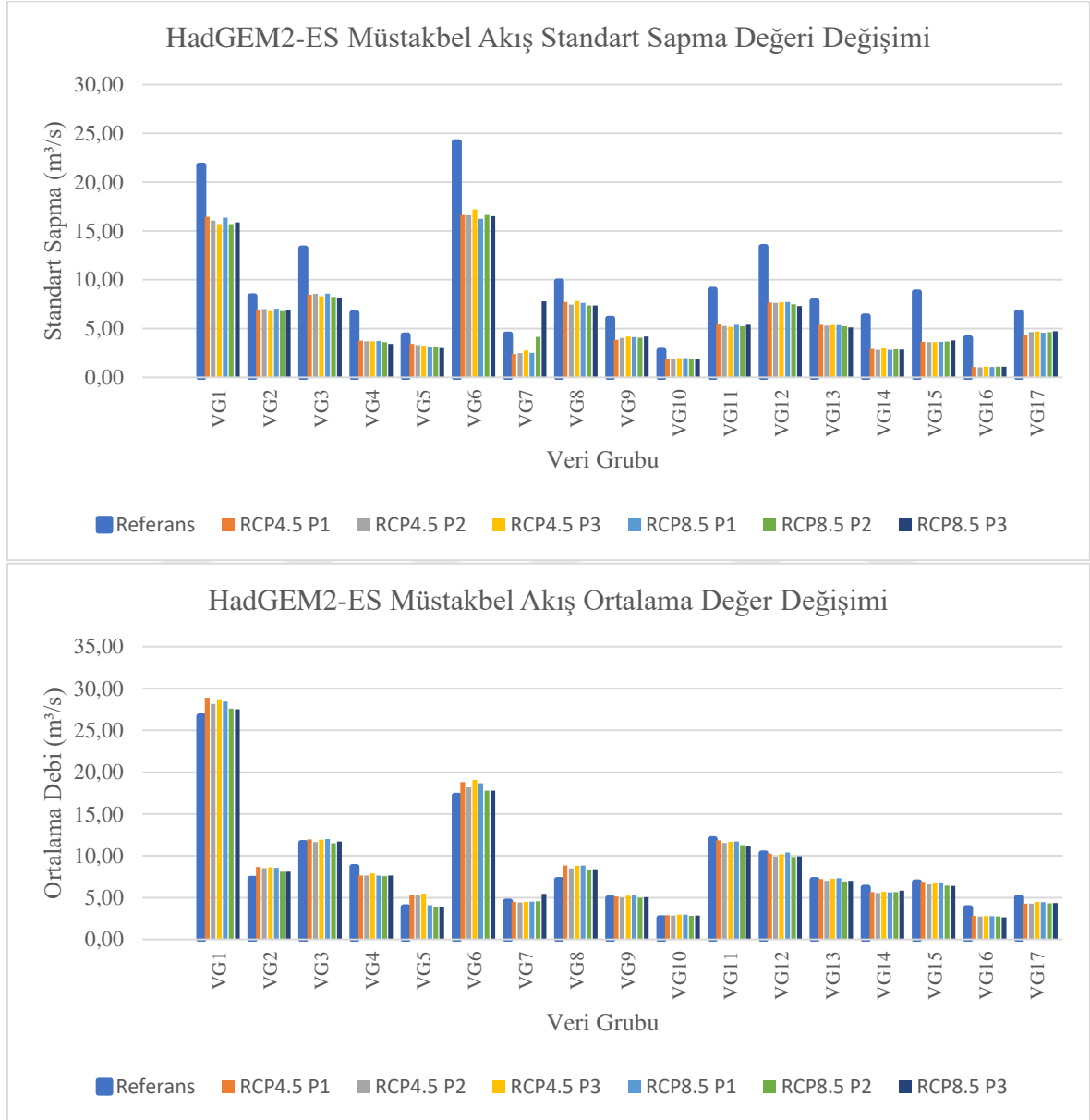
bölgelerinde, yağış ortalamaları Ordu ili için negatif, sıcaklık ortalamaları ise pozitif anomali değerleri göstermiştir. Akarsu akışında referans döneme göre beklenen azalmaların, sıcaklığın artışıyla birlikte havzadan buharlaşarak ayrılan suyun, referans döneme göre azalan yağışlar neticesinde tekrar kazanılamaması kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Rize ilindeki analiz bölgelerinde anomali hesaplamalarının gösterdiği oranda yağışta beklenen artışların ve akarsu akışını arttırması beklenen diğer bir etken olan kar erimelerinin beklenen düzeyde bir katkı sağlayamadığı ve bölgede akarsu akışlarının referans döneme göre azaldığı görülmüştür. Referans döneme göre akarsu akışı ortalama değerinin artış gösterdiği analiz bölgelerindeki artışların, RCP8.5 senaryosu etkisi altında, RCP4.5 senaryosuna göre daha yüksek olacağı görülmüştür. Yakın dönem olan P1 döneminde yaşanacak değişimlerin, uzak dönem olan P2 ve P3 dönemlerine göre daha az olacağı ve her iki senaryo altında da akış değerlerinin etkileneceği görülmüştür.

HadGEM2-ES KDM'nin IPCC'nin AR5 raporuna göre sera gazı salınımında artışlar öngörülmesi nedeniyle olumsuz olarak adlandırılabilir iki senaryo olan RCP4.5 ve RCP8.5 altında üretilmiş verileri kullanılarak elde edilen müstakbel akışların incelemesi Tablo 3.91'de görülmektedir. Tablodaki verilere göre; referans döneme göre, VG7 (Trabzon) analiz bölgesinin RCP8.5 P3 periyodu haricinde standart sapma değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Genel itibari ile RCP4.5 senaryosu altındaki veriler kullanılarak tahmin edilmiş müstakbel akışların, RCP8.5 senaryosu verileri kullanılarak tahmin edilmiş müstakbel akışlara göre ortalama değere daha fazla yakınsadığı ve sapmaların az yaşandığı görülmüştür. Bu durum neticesinde GFDL-ESM2M KDM verilerinde olduğu gibi, iklim değişikliği etkileri altında, akarsu akışının uzun yıllarda ortalama bir değere yakınsayacağı ve akarsu akışındaki uzun dönem ortalamalarındaki sapmaların azalacağını söylemek mümkündür.

Tablo 3.91'de görülen veriler incelendiğinde ortalama akışların analiz bölgesine göre dönemsel olarak değişkenlik gösterdiğini ve referans döneme göre kıyaslandığında dört ana grup altında toplanabileceği görülmüş olup bu gruplar; referans döneme göre tüm dönemlerde ve senaryolarda yüksek ortalamaların elde edildiği yüksek grup, bazı periyotlar ve bazı senaryo verilerinde yüksek değer elde edilmiş kısmen yüksek grup, referans döneme göre yükselmiş ve sonradan düşüş göstermiş değişken grup ve son olarak da ortalamaların referans dönem ortalamasından küçük olduğu düşük grup olarak ifade edilebilmektedir. Yüksek grupta yer alan analiz bölgeleri VG1 (Rize), VG2 (Rize), VG3 (Trabzon), VG5 (Trabzon), VG6 (Gümüşhane), VG8 (Trabzon), VG9 (Giresun), ve VG10

(Trabzon) olmuştur. Bu analiz bölgelerinin bulunduğu illerdeki yıllık yağış ve sıcaklık anomalileri incelendiğinde, yağış anomalilerinin Trabzon, Rize ve Gümüşhane illerinde dönemsel ortalamalara göre pozitif anomali değerleri aldığı ve bu bölgelerde yağışların artış göstereceği, Giresun ilinde ise yağış verilerinde negatif anomaliler hesaplanmış olup bu bölgede yağışların azalacağı öngörülmüştür. Sıcaklık anomalileri incelendiğinde ise havzanın güney kesimlerinde tüm periyotlarda pozitif anomaliler öngörülmüştür. Yıllık anomali değerlendirmelerine paralel olarak düşünüldüğünde yüksek grupta yer alan istasyonlardan Trabzon ve Rize illerinde olanlarda sıcaklık nedeniyle buharlaşma ve sızma kayıplarının fazla olacağı düşünülse de yağışların ve yüksek kesimlerde sıcaklık nedeniyle eriyerek akışa geçen kar sularının ortalamalarda tespit edilen bu artışın kaynağı olabileceği düşünülmektedir. Kısmen yüksek grupta yer alan VG7 (Trabzon) analiz bölgesi Trabzon ilinin doğu kısmında Rize iline yakın konumda bulunmakta olup bu analiz bölgesinde akış ortalamalarının referans değerlere göre tüm dönemlerde yakınsadığı RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P3 döneminde artış gösterdiği belirlenmiştir. RCP4.5 senaryosu verilerinin P1 ortalama akış verisi referans değere göre daha düşük iken, RCP8.5 senaryosu verilerinin P2 ve P3 periyotlarında referans değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Değişken grup olarak değerlendirilen analiz bölgelerinde VG13 (Giresun) ve VG15 (Giresun) bulunmaktadır. Giresun ilindeki anomali değerlerine bakıldığında genel olarak negatif yağış ve pozitif sıcaklık anomalileri elde edildiği görülmektedir. Negatif yağış anomalilerinin ve pozitif sıcaklık anomalilerinin yaklaşık olarak her iki konsantrasyon senaryosunda benzer şekilde değerler aldığı görülmektedir. Giresun ilinde senaryo verilerinden P1 periyotlarında yüksek akarsu akış ortalamaları elde edilmiş, P2 periyodunda elde edilen akış ortalamalarında düşüş gözlenmiş ve P3 periyodunda artış görülmüştür. Referans döneme göre daha düşük ortalama debi değerinin elde edildiği analiz bölgeleri VG4 (Rize), VG11 (Rize), VG12 (Giresun), VG14 (Rize), VG16 (Rize) ve VG17 (Ordu) olmuştur. Bu bölgelerden Rize ve Giresun ilinde akarsu akışı ortalamalarının referans döneme göre yakın değerler aldığı görülmüştür. Ordu ilinde anomali incelemesi sonucunda beklenen sıcaklık artışları ve yağış ortalamalarında yaşanacak dönemsel düşüşler neticesinde tahmin edilen akarsu akışı ortalamalarında düşüşlerin daha yüksek mertebede olduğu görülmüştür. Yağış anomalilerinin dönemsel olarak pozitif belirlendiği illerde referans döneme göre kısmen düşük debi tahmini yapılmasının esas kaynağı olarak bölgedeki yüksek pozitif sıcaklık anomalileri neticesinde artan sıcaklıklar olduğu söylenilebilir. Artan sıcaklıkların bir sonucu olarak, havzadan buharlaşan su, ve kurumuş

toprağın infiltrasyon kapasitesinin artmasıyla birlikte yüzey akışının yeraltı suyuna karışması ve böylece akarsu akışını besleyememesi havza su varlığında azalma yaratacak faktörler olarak düşünülmektedir. Şekil 3.94'te RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosu müstakbel akış verilerinden elde edilen istatistiksel parametrelerin kıyaslaması görülmektedir.



Şekil 3.94. HadGEM2-ES KDM RCP4.5 ve RCP8.5 ortalama ve standart sapma değeri değişimi

Tablo 3.91. HadGEM2-ES KDM müstakbel akış değerlendirmesi

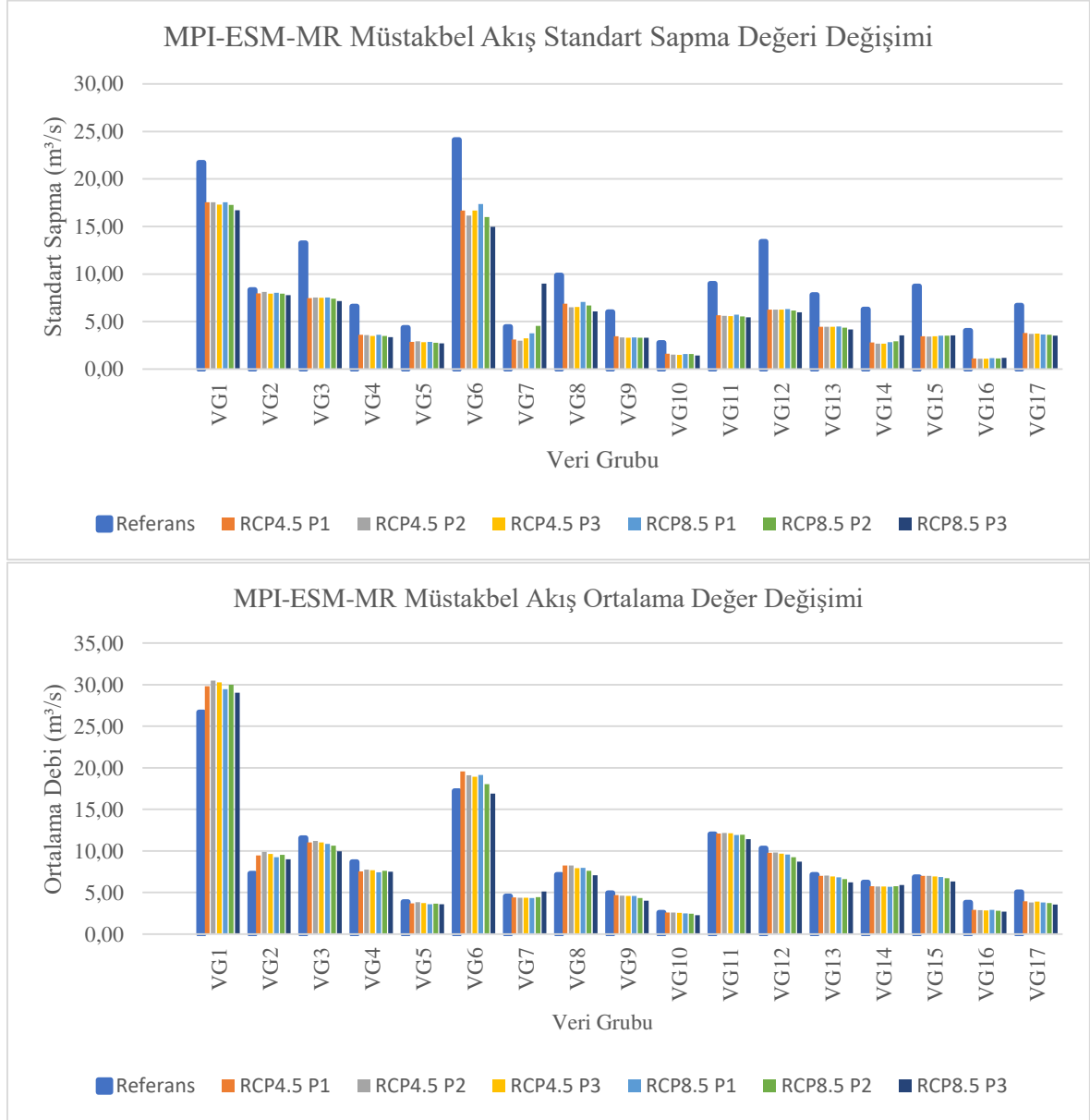
Konsantrasyon Senaryosu			RCP4.5			RCP8.5		
Veri Grubu	İndis (m ³ /s)	Referans	P1	P2	P3	P1	P2	P3
VG 1	Ortalama	26,70	28,89	28,16	28,70	28,44	27,60	27,52
	S.Sapma	21,73	16,45	16,07	15,71	16,36	15,70	15,88
VG 2	Ortalama	7,27	8,66	8,51	8,62	8,54	8,12	8,08
	S.Sapma	8,33	6,90	7,00	6,79	7,03	6,79	6,96
VG 3	Ortalama	11,57	11,97	11,63	11,92	12,00	11,49	11,72
	S.Sapma	13,26	8,47	8,56	8,32	8,57	8,26	8,19
VG 4	Ortalama	8,69	7,64	7,65	7,88	7,64	7,57	7,65
	S.Sapma	6,61	3,76	3,70	3,69	3,73	3,60	3,44
VG 5	Ortalama	3,88	5,30	5,33	5,48	4,10	3,90	3,92
	S.Sapma	4,35	3,42	3,32	3,24	3,16	3,09	3,01
VG 6	Ortalama	17,23	18,81	18,18	19,06	18,69	17,79	17,79
	S.Sapma	24,13	16,65	16,62	17,22	16,25	16,64	16,54
VG 7	Ortalama	4,55	4,48	4,41	4,50	4,52	4,56	5,44
	S.Sapma	4,44	2,41	2,49	2,76	2,52	4,15	7,78
VG 8	Ortalama	7,14	8,86	8,49	8,82	8,83	8,28	8,39
	S.Sapma	9,86	7,72	7,45	7,82	7,63	7,36	7,37
VG 9	Ortalama	4,95	5,13	5,02	5,23	5,28	5,00	5,07
	S.Sapma	6,02	3,87	4,03	4,20	4,14	4,06	4,18
VG 10	Ortalama	2,58	2,92	2,88	2,97	2,98	2,84	2,87
	S.Sapma	2,77	1,91	1,91	1,97	1,96	1,89	1,86

Tablo 3.91'in devamı.

Konsantrasyon Senaryosu			RCP4.5			RCP8.5		
Veri Grubu	İndis (m ³ /s)	Referans	P1	P2	P3	P1	P2	P3
VG 11	Ortalama	12,01	11,85	11,52	11,68	11,71	11,30	11,10
	S.Sapma	9,01	5,44	5,29	5,18	5,39	5,26	5,40
VG 12	Ortalama	10,33	10,26	9,91	10,18	10,41	9,86	9,96
	S.Sapma	13,41	7,67	7,64	7,71	7,75	7,49	7,31
VG 13	Ortalama	7,15	7,21	7,02	7,25	7,31	6,93	7,00
	S.Sapma	7,82	5,39	5,31	5,36	5,38	5,24	5,13
VG 14	Ortalama	6,23	5,66	5,56	5,71	5,62	5,65	5,84
	S.Sapma	6,28	2,90	2,81	2,96	2,84	2,89	2,87
VG 15	Ortalama	6,85	6,89	6,59	6,69	6,84	6,46	6,39
	S.Sapma	8,72	3,63	3,60	3,62	3,63	3,68	3,80
VG 16	Ortalama	3,79	2,82	2,77	2,80	2,80	2,76	2,67
	S.Sapma	4,04	1,06	1,04	1,09	1,06	1,09	1,09
VG 17	Ortalama	5,04	4,27	4,29	4,48	4,46	4,34	4,35
	S.Sapma	6,68	4,29	4,63	4,69	4,56	4,64	4,74

Tablo 3.92'de MPI-ESM-MR KDM RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verileri kullanılarak tahmin edilmiş müstakbel akarsu akışı verilerine ait istatistiksel değerlendirmeler ve Şekil 3.95'te RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosu etkisi altında tahmin edilen müstakbel akış verilerinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerine ait grafikler görülmektedir. İlgili veri setinden elde edilmiş istatistiksel indislerden olan standart sapma değerleri incelendiğinde istasyonların genelinde verilerin referans döneme göre standart sapma değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Tablodaki standart sapma verilerine dayanarak, veri setinde sıçramaların az olacağı zamana göre, uzun yılları kapsayan periyotlarda dönemsel olarak aşırı uçlarda değişim olmayacağı düşünülebilmektedir. Genel

olarak RCP4.5 senaryo verilerinde P1 ve P3 periyotlarında yüksek sapmalar görülürken, RCP8.5 senaryo verilerinde P2 ve P3 periyotlarında yüksek sapmalar görülmektedir. RCP4.5 senaryo verilerinde tüm periyotlarda ortalama akış değerlerinde yaklaşık sapma değerleri görülmüş buna karşın RCP8.5 senaryo verilerine ait standart sapma değerleri P1 periyodundan P3 periyoduna doğru artış göstermiştir.



Şekil 3.95. MPI-ESM-MR KDM RCP4.5 ve RCP8.5 ortalama ve standart sapma değeri değişimi

Tablo 3.92. MPI-ESM-MR KDM müstakbel akış değerlendirmesi

Konsantrasyon Senaryosu			RCP4.5			RCP8.5		
Veri Grubu	İndis (m ³ /s)	Referans	P1	P2	P3	P1	P2	P3
VG 1	Ortalama	26,70	29,82	30,50	30,26	29,46	30,00	29,03
	S.Sapma	21,73	17,56	17,55	17,32	17,57	17,27	16,71
VG 2	Ortalama	7,27	9,45	9,88	9,64	9,24	9,53	8,99
	S.Sapma	8,33	7,98	8,12	7,95	8,02	7,93	7,78
VG 3	Ortalama	11,57	11,04	11,20	11,02	10,83	10,64	9,96
	S.Sapma	13,26	7,48	7,53	7,49	7,54	7,41	7,17
VG 4	Ortalama	8,69	7,55	7,75	7,68	7,45	7,62	7,51
	S.Sapma	6,61	3,61	3,59	3,49	3,63	3,49	3,36
VG 5	Ortalama	3,88	3,71	3,84	3,74	3,61	3,66	3,61
	S.Sapma	4,35	2,87	2,92	2,84	2,86	2,79	2,70
VG 6	Ortalama	17,23	19,58	19,12	18,92	19,14	18,02	16,88
	S.Sapma	24,13	16,68	16,16	16,68	17,35	16,01	14,98
VG 7	Ortalama	4,55	4,40	4,39	4,37	4,34	4,45	5,13
	S.Sapma	4,44	3,10	2,99	3,26	3,77	4,56	9,00
VG 8	Ortalama	7,14	8,24	8,23	7,92	7,95	7,59	7,08
	S.Sapma	9,86	6,87	6,52	6,55	7,07	6,69	6,07
VG 9	Ortalama	4,95	4,71	4,62	4,57	4,60	4,35	4,03
	S.Sapma	6,02	3,46	3,35	3,29	3,33	3,32	3,29
VG 10	Ortalama	2,58	2,58	2,58	2,55	2,50	2,45	2,28
	S.Sapma	2,77	1,62	1,52	1,51	1,58	1,58	1,44
VG 11	Ortalama	12,01	12,09	12,17	12,14	11,91	11,94	11,42
	S.Sapma	9,01	5,68	5,60	5,57	5,73	5,55	5,44

Tablo 3.92'nin devamı.

Konsantrasyon Senaryosu			RCP4.5			RCP8.5		
Veri Grubu	İndis (m ³ /s)	Referans	P1	P2	P3	P1	P2	P3
VG 12	Ortalama	10,33	9,78	9,81	9,68	9,57	9,24	8,70
	S.Sapma	13,41	6,25	6,26	6,27	6,31	6,18	5,97
VG 13	Ortalama	7,15	7,02	7,05	6,92	6,83	6,60	6,21
	S.Sapma	7,82	4,45	4,46	4,47	4,50	4,37	4,18
VG 14	Ortalama	6,23	5,75	5,73	5,73	5,70	5,74	5,89
	S.Sapma	6,28	2,80	2,68	2,69	2,83	2,93	3,55
VG 15	Ortalama	6,85	7,00	7,01	6,95	6,87	6,73	6,31
	S.Sapma	8,72	3,47	3,42	3,45	3,53	3,51	3,55
VG 16	Ortalama	3,79	2,91	2,87	2,85	2,91	2,81	2,70
	S.Sapma	4,04	1,11	1,10	1,11	1,16	1,14	1,19
VG 17	Ortalama	5,04	3,96	3,81	3,89	3,80	3,73	3,57
	S.Sapma	6,68	3,81	3,72	3,74	3,64	3,62	3,51

MPI-ESM-MR KDM RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo verileri kullanılarak tahmin edilen müstakbel akış verilerinin dönemsel ortalama değerleri incelendiğinde, analiz bölgelerinin büyük bir kısmında referans dönem ortalamasına göre daha düşük değerlerin elde edildiği görülmektedir. Referans dönem ortalamasına göre ortalama akış değerinin yüksek çıktığı analiz bölgeleri VG1 (Rize), VG2 (Rize), VG6 (Gümüşhane) ve VG8 (Trabzon) olmuştur. Referans döneme göre daha yüksek ortalama akışa sahip olan bölgelerde en yüksek ortalama akış değerlerinin RCP4.5 senaryo verilerinde sağlandığı görülmüştür. İncelenen periyotlarda, genel olarak RCP4.5 senaryosu etkisi altındaki verilerden tahmin edilmiş müstakbel akarsu akışı değerlerinin P1 periyodundan P3 periyoduna doğru zamanla azalış gösterdiği belirlenmiş olup, RCP8.5 senaryosu etkisi altındaki verilerden tahmin edilmiş müstakbel akarsu akışı verilerinin RCP4.5 senaryosu etkisi altındaki veriler kullanılarak tahmin edilmiş müstakbel akış verilerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Yüksek ortalama değerlerin elde edildiği analiz bölgelerinde hesaplanan dönemsel anomali

değerleri incelendiğinde; Trabzon ve Rize illeri için yağış verilerinde referans yağış değerlerine yakın olacak şekilde pozitif anomaliler görülmüş olup, yağışların dönemsel referans değerlere göre daha artarak gerçekleşmesi beklenmektedir. Sıcaklık verilerine göre illerin güney kesimlerine gidildikçe sıcaklık anomalisinin yükseldiği ve bu durumda dönemsel ortalama sıcaklıkların artışı beklenmektedir. Anomalilerle birlikte değerlendirildiğinde; Rize ilindeki analiz bölgelerinde yaşanan akış artışlarının havzanın yüksek kesimlerinde sıcaklığın artışı ile erimesi beklenen kar kütlelerinin ve pozitif yağış anomalileri neticesinde artan yağışların bölgesel akarsu suyu varlığını arttırması ile olabileceği düşünülmektedir. Trabzon ve Gümüşhane illerinde buharlaşma ile kaybın Rize iline oranla daha fazla olacağı ve havza akarsu akışına katılan yağış kaynaklı su kütlesinin bölgesel olarak daha az olacağı görülmektedir. Bu illerde kısmen pozitif anomali değeri gösteren yağışlarla birlikte, yüksek kesimlerde sıcaklık artışının etkisiyle beklenen kar kütlesinin eriyerek akarsu akışını beslemesinin akarsu akışındaki artışlarda etkili olduğu düşünülmektedir. Referans döneme göre düşük akış ortalaması elde edilen analiz bölgelerinde referans dönem ortalamasına yakın değerler elde edilmiş olsa da VG3 (Trabzon), VG16 (Rize) ve VG17 (Ordu) analiz bölgelerinde ortalama akışların referans periyot ortalamalarına göre havza su varlığı açısından anlamlı şekilde düşük olduğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki anomaliler incelendiğinde; Ordu'da negatif yağış ve pozitif sıcaklık anomalileri olması düşüşün kaynağı olarak gösterilebilmektedir. Rize ve Trabzon illerinde gözlenen pozitif yağış anomalileri neticesinde beklenen yağış artışlarının dönemsel olarak referans dönemin çok üzerinde olmaması ancak sıcaklıkların referans döneme göre yükselişinin P3 periyoduna doğru gidildikçe artması havzadaki akarsu akışının azalmasında etkili olacağı düşünülmektedir.

Pozitif yağış anomalilerinin KDM verilerine göre P1 periyodundan P3 periyoduna doğru zamanla azaldığı ve sıcaklıklarda yaşanan pozitif anomali değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Ortalama akışlarda P1 periyodundan P3 periyoduna doğru azalmanın nedeninin, sıcaklık artışı sebebiyle akarsu akışı ve akarsu akışını besleyen yüzeysel akışların buharlaşmayla su kaybetmesi, kuruyan toprak yüzeyinin artan infiltrasyon kapasitesi neticesinde gelen yağışların önemli ölçüde infiltrasyona uğrayarak yeraltı suyuna karışması ve düşük akış ortalaması elde edilen analiz bölgesinin konumları itibarıyla kar erimelerinden yeteri kadar beslenememiş olabileceği düşünülmektedir.

3.11. Doğu Karadeniz Havzası'nda İklim Değişikliği Etkisi Altında Akarsu Su Varlığı İncelemesi

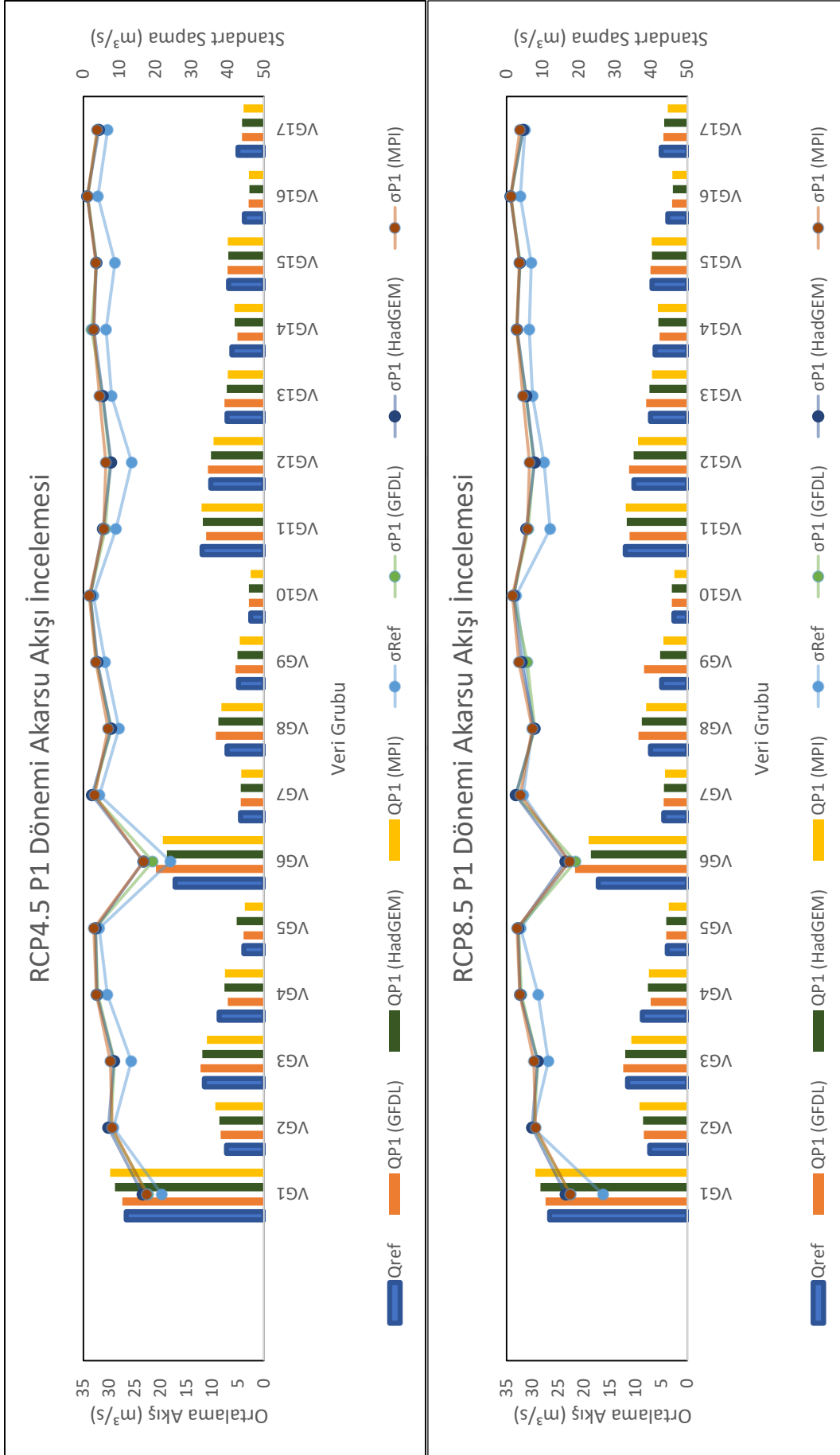
İklim değişikliği etkileri altında yaşamın temel kaynağı olan suyun varlığı, içme ve kullanma suyu ihtiyacı, tarımsal faaliyetler için sulama suyu ihtiyacı, ekosistem varlığının sürdürülebilirliği gibi önemli başlıklar altında geçmişten günümüze en önemli araştırma konularından olmuştur (Gleick, 1987, Twine vd., 2004, Galleguillos, 2021). Çalışma kapsamında elde edilen müstakbel akarsu akışı serilerinin kısa ve uzun dönemlerde değişiminin incelenmesi ve gerekli durumlarda alınabilecek önlemlerin dönemsel olarak araştırılabilmesi için çalışmada gelecek dönem akarsu akışları ardışık üç farklı zaman periyodunda incelenmiştir. Farklı konsantrasyon senaryoları altında farklı KDM verileri değerlendirilmiş ve bu verilerden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak, akarsu akışına iklim değişikliğinin etkileri ortaya koyulmuştur.

Tahmin edilen akarsu akışında yaşanacak değişimlerin detaylı olarak değerlendirilmesi, havzada farklı senaryolar için farklı KDM tiplerinin akarsu akışı üzerinde etkisini görmek için önemlidir. Bu sebeple zaman periyotlarına göre tahmin edilmiş akarsu akışı için hesaplanan istatistiksel indisler referans dönem esas alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirme P1, P2 ve P3 periyotlarında, analiz bölgelerindeki ortalama akışlardan elde edilen uzun yıllar ortalama akarsu akışının, referans dönem uzun yıllar ortalama akarsu akışı değeri ile kıyaslanmasıyla, analiz bölgesi su hacminde yaşanması öngörülen değişimi göstermektedir.

Yaşanacak iklimsel ve hidrolojik değişimlerin en erken hissedileceği dönem olan P1 döneminde farklı senaryolar için farklı KDM verileri kullanılarak yapılan akarsu akışı tahminlerinden elde edilmiş uzun yıllar ortalama akış ve standart sapma değerlerinin görüldüğü grafikler Şekil 3.96'da yer almaktadır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları etkisi altında farklı KDM verileri kullanılarak yapılan akış tahminlerinde, analiz bölgelerinin 12'sinde referans dönem ortalamasına göre daha yüksek akış değeri elde edilmiş olup, 5'inde ise tahmin edilen akış verilerinin dönemsel ortalaması referans dönem ortalamasından küçük bulunmuştur. Referans dönem ortalamasına göre daha küçük akış ortalama değerlerinin tahmin edildiği bölgeler için yakın gelecek periyodunda akarsu akışında yaşanacak azalmalar neticesinde su hacminin üst havzadan itibaren azalacağı ve bölgede bulunan akarsu suyu varlığının bir kısmının yeraltı suyuna karışacağı öngörülmektedir.

RCP4.5 senaryosu etkisi altındaki KDM'lere göre yapılan değerlendirmede, analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek uzun dönem akış ortalamaları %53 oranında GFDL-ESM2M, %23,5 oranında ise HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. Benzer şekilde en düşük uzun dönem ortalamaları; %53 oranında MPI-ESM-MR, %29 oranında GFDL-ESM-MR ve %18 oranında ise HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. RCP8.5 senaryosu etkisi altındaki KDM'lere göre yapılan değerlendirmede, analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek uzun dönem akış ortalamaları %59 oranında GFDL-ESM2M, %24 oranında MPI-ESM-MR ve %17 oranında HadGEM2-ES KDM verileri ile belirlenmiştir. En düşük uzun dönem ortalamaları, %53 oranında MPI-ESM-MR, %29,5 oranında GFDL-ESM-MR ve %17,5 oranında ise HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. Bu oranlara göre; RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında, GFDL-ESM2M KDM verilerinin daha iyimser sonuçlar ürettiği, MPI-ESM-MR KDM verilerinin daha kötümser sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. P1 dönemi için KDM verileri benzer analiz bölgelerinde yakın akış değerleri üretmiş olsa da RCP8.5 senaryosu etkisi altında tahmin edilen akış verileri RCP4.5 senaryosu etkisi altındaki akış verilerine göre daha uç noktalarda değer almıştır.

RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P1 dönemi için uzun yıllar müstakbel akarsu akışı ortalaması kullanılarak, dönemsel olarak akarsu akış hacminde yaşanması beklenen değişimler incelenmiş olup, incelemeye ait çıktılar Tablo 3.93 ve Tablo 3.94'te gösterilmiştir. Tablolarda her analiz bölgesi için referans dönem maksimum ve minimum ortalama akış değerleri, bu değerlerin referans dönem akış değerine göre fark değerleri, elde edilen fark değerleri kullanılarak 2021-2040 yılları aralığını kapsayan P1 periyodu için su hacminde yaşanması beklenen toplam değişim görülmektedir. RCP4.5 senaryosu altında, P1 periyodu için tüm analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek akışların gerçekleşmesi durumunda havza akarsu suyu varlığının $7801,25 \cdot 10^6$ m³ artışı, tahmin edilmiş en düşük akışların gerçekleşmesi durumunda ise havzada akarsu suyu varlığının $1777,88 \cdot 10^6$ m³ düşüşü öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosu altında, P1 periyodu için tüm analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek akışların gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu varlığında $9792,84 \cdot 10^6$ m³ artış, tahmin edilen en düşük akışların gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu varlığında $2547,23 \cdot 10^6$ m³ azalış öngörülmektedir.



Şekil 3.96. Yakın gelecek dönem tahmin edilmiş akarsu akışı istatistiksel değerlendirmesi

Tablo 3.93. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında P1 dönemi havza su varlığı incelemesi

Veri Grubu	Q _{ref} (m ³ /s)	P1 Periyodu (RCP4.5)				
		maksQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (maksQ _{pre} -Q _{ref})	ΔV (*10 ⁶ m ³)	minQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (minQ _{pre} -Q _{ref})
						ΔV (*10 ⁶ m ³)
VG 1	26,70	29,82	3,12	1970,03	27,46	0,76
VG 2	7,27	9,45	2,18	1372,22	8,40	1,13
VG 3	11,57	12,28	0,71	450,64	11,04	-0,52
VG 4	8,69	7,64	-1,05	-665,04	6,99	-1,70
VG 5	3,88	5,30	1,42	894,86	3,71	-0,17
VG 6	17,23	20,92	3,69	2324,47	18,81	1,58
VG 7	4,55	4,50	-0,05	-30,76	4,40	-0,15
VG 8	7,14	9,31	2,18	1371,87	8,24	1,11
VG 9	4,95	5,52	0,57	358,31	4,71	-0,25
VG 10	2,58	2,92	0,34	213,01	2,58	0,00
VG 11	12,01	12,09	0,08	48,71	11,21	-0,80
VG 12	10,33	10,88	0,55	348,44	9,78	-0,55
VG 13	7,15	7,67	0,52	325,53	7,02	-0,13
VG 14	6,23	5,75	-0,48	-302,93	5,12	-1,11
VG 15	6,85	7,07	0,22	136,65	6,89	0,04
VG 16	3,79	2,95	-0,84	-529,30	2,82	-0,96
VG 17	5,04	4,27	-0,77	-485,46	3,96	-1,08
		TOPLAM		7801,25	TOPLAM	
					-1777,88	

Q_{ref} : Referans dönem ortalama akış değerimaksQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen maksimum ortalama akışminQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen minimum akış ΔV : Su hacminde dönemde beklenen değişim miktarı

Tablo 3.94. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P1 dönemi havza su varlığı incelemesi

Veri Grubu	Q _{ref} (m ³ /s)	P1 Periyodu (RCP8.5)				
		maksQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (maksQ _{pre} -Q _{ref})	ΔV (*10 ⁶ m ³)	minQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (minQ _{pre} -Q _{ref})
VG 1	26,70	29,46	2,77	1744,15	27,47	0,77
VG 2	7,27	9,24	1,97	1242,27	8,42	1,15
VG 3	11,57	12,39	0,83	520,73	10,83	-0,73
VG 4	8,69	7,64	-1,06	-665,97	7,10	-1,59
VG 5	3,88	4,10	0,21	134,93	3,61	-0,28
VG 6	17,23	21,75	4,52	2852,04	18,69	1,45
VG 7	4,55	4,56	0,01	4,12	4,34	-0,21
VG 8	7,14	9,47	2,33	1471,18	7,95	0,81
VG 9	4,95	8,37	3,42	2154,52	4,60	-0,35
VG 10	2,58	2,98	0,40	252,65	2,50	-0,08
VG 11	12,01	11,91	-0,10	-60,26	11,20	-0,81
VG 12	10,33	11,27	0,94	592,48	9,57	-0,75
VG 13	7,15	7,95	0,80	505,57	6,83	-0,32
VG 14	6,23	5,70	-0,53	-334,86	5,38	-0,85
VG 15	6,85	7,16	0,31	194,95	6,84	-0,01
VG 16	3,79	2,94	-0,85	-537,66	2,80	-0,99
VG 17	5,04	4,60	-0,44	-278,02	3,80	-1,24
		TOPLAM		9792,84	TOPLAM	
					-2547,23	

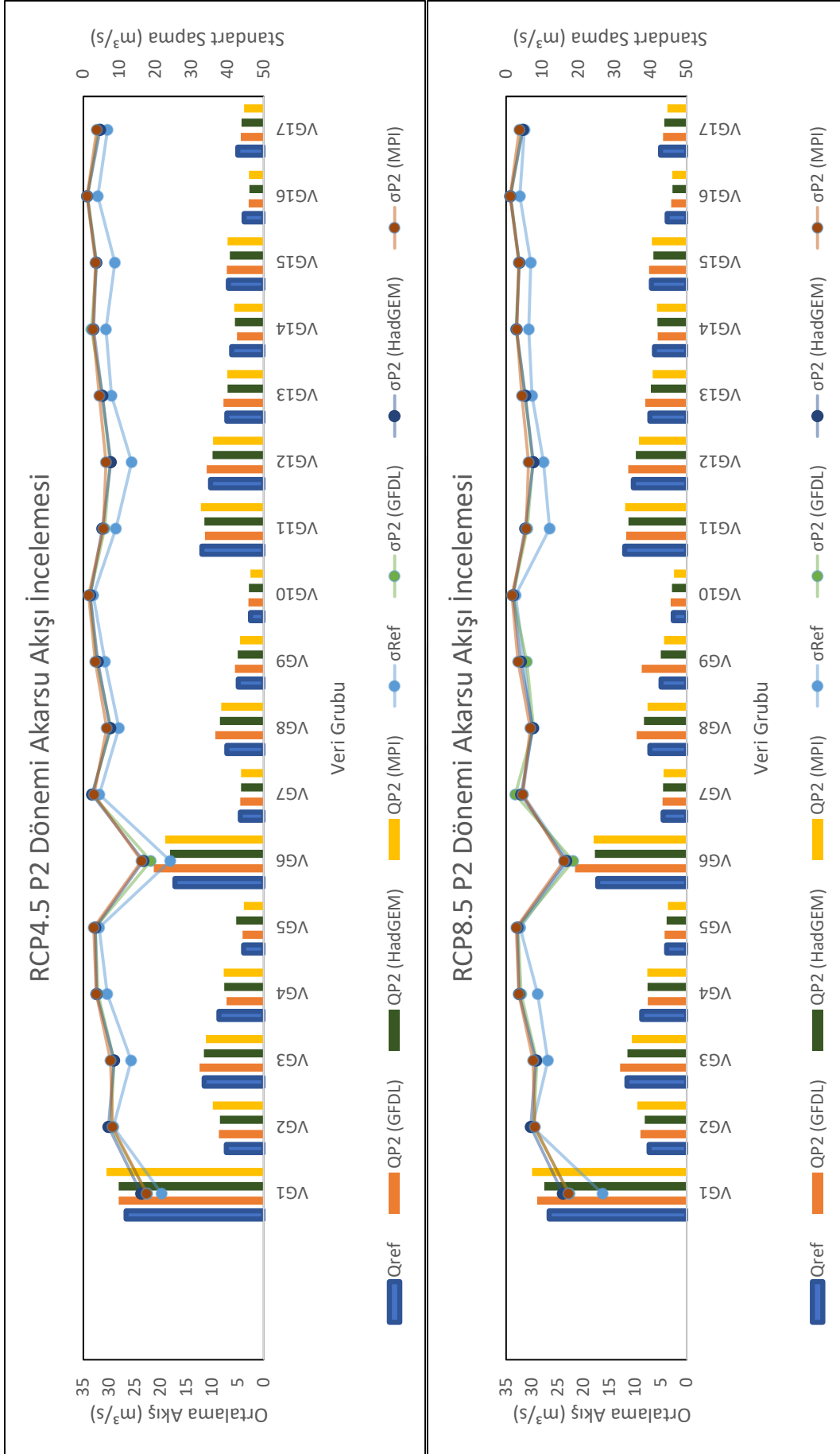
Q_{ref} : Referans dönem ortalama akış değerimaksQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen maksimum ortalama akışminQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen minimum akış ΔV : Su hacminde dönemde beklenen değişim miktarı

İklimsel ve hidrolojik değişimlerin orta vadede hissedileceği dönem olan P2 döneminde farklı senaryolar için farklı KDM verileri kullanılarak yapılan akarsu akışı tahminlerinden elde edilmiş uzun yıllar ortalama akış ve standart sapma değerlerinin sunulduğu grafikler Şekil 3.97’de görülmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının etkisi altında farklı KDM verileri kullanılarak yapılan akış tahminlerinde analiz bölgelerinin 12’sinde referans dönem ortalamasına göre daha yüksek akış değeri elde edilmiş olup, 5’inde ise tahmin edilen akış verilerinin dönemsel ortalaması, referans dönem ortalamasından küçük bulunmuştur. Referans dönem değerleri ile yapılan kıyaslamalara göre, P2 döneminde, P1 döneminde bulunan sonuçlara aynı sayıda analiz bölgesinde benzer sonuçlar bulunmuştur. P2 döneminde P1 dönemine göre benzer sayıda benzer sonuçlar bulunmuş olsa da analiz bölgelerinin farklı olduğu görülmüştür. P2 döneminde akış değerinin referans döneme göre daha yüksek bulunduğu istasyonlar, konsantrasyon senaryolarına göre farklılık göstermiştir. VG7 (Trabzon) analiz bölgesinde, müstakbel akış ortalaması, RCP4.5 senaryosu altında referans dönem akış ortalamasına göre daha küçük bulunmuş ve tahmin edilen en yüksek ortalama akışın gerçekleşmesi durumunda analiz bölgesinde P2 döneminde $15,4 \cdot 10^6$ m³ akarsu suyu kaybı öngörülmüştür. Aynı analiz bölgesinde RCP8.5 senaryosu altında referans döneme göre daha yüksek akış ortalaması tahmin edilmiş ve bu durumda bölgede P2 döneminde $116,5 \cdot 10^6$ m³ fazla akarsu suyu olacağı belirlenmiştir. Senaryolara göre farklı maksimum akış tahmini yapılan diğer bir analiz bölgesi VG11 (Rize) olmuştur. Analiz bölgesinde RCP4.5 senaryosunda tahmin edilen maksimum akış ortalamasının gerçekleşmesi durumunda P2 döneminde akarsu suyunda $157,79 \cdot 10^6$ m³ artış, RCP8.5 senaryosunda tahmin edilen en yüksek akış ortalamasının gerçekleşmesi durumunda akarsu suyunda $69,13 \cdot 10^6$ m³ azalış öngörülmektedir. Referans dönem ortalamasına göre daha küçük akış ortalama değerlerinin tahmin edildiği bölgelerde akarsu akışında yaşanacak azalmaların, havzanın alt kesimlerine doğru akış halinde sızma ile yeraltı suyuna karışma ve buharlaşma kayıpları neticesinde akarsu ve yüzey akış sularının yüzeyden atmosfere geçiş yapması sebebiyle yaşanacağı düşünülmektedir.

RCP4.5 senaryosu etkisi altındaki KDM’lere göre yapılan değerlendirmede, analiz bölgelerinde tahmin edilmiş uzun dönem maksimum akış ortalamaları %64,7 oranında GFDL-ESM2M, %29,4 oranında MPI-ESM-MR ve yalnızca %5,9 oranında HadGEM2-ES KDM verileri ile tahmin edilmiştir. HadGEM2-ES verileri kullanılarak P1 döneminde, P2 dönemine göre daha yüksek oranda maksimum dönemsel ortalama akış

elde edilmiş olsa da bu KDM verileri ile genellikle ara akış ortalaması değerlerin elde edildiği gözlenmiştir. Uzun dönem minimum akış ortalamaları; %47,1 oranında MPI-ESM-MR, %29,4 oranında HadGEM2-ES, %23,5 oranında GFDL-ESM-MR KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. P1 döneminde, HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak genellikle ara değerler elde edilmiş ve P2 döneminde de dönemsel akış ortalamaları konusunda uç değerlerin en az elde edildiği KDM olmuştur. RCP8.5 senaryosu etkisi altındaki KDM'ye göre yapılan değerlendirmede, analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek uzun dönem akış ortalamaları; %70,6 oranında GFDL-ESM2M ve %29,4 oranında MPI-ESM-MR KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak RCP8.5 senaryosu etkisi altında maksimum akış ortalaması elde edilmemiştir. En düşük uzun dönem ortalamaları; %52,9 oranında MPI-ESM-MR, %35,3 oranında HadGEM2-ES ve %11,8 oranında ise GFDL-ESM-MR KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. Bu oranlara göre P2 döneminde tüm konsantrasyon senaryoları altında, GFDL-ESM2M KDM verilerinin daha iyimser sonuçlar ürettiği, MPI-ESM-MR KDM verilerinin daha kötümser sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Konsantrasyon senaryoları etkisi altında, P2 dönemi için uzun yıllar müstakbel akarsu akışı ortalaması kullanılarak tespit edilmiş dönemsel akarsu akış hacminde yaşanması beklenen değişimlere ait çıktılar Tablo 3.95 ve Tablo 3.96'da gösterilmiştir. Tablolarda her analiz bölgesi için referans dönem maksimum ve minimum ortalama akış değerleri, bu değerlerin referans dönem akış değerine göre fark değerleri, elde edilen fark değerleri kullanılarak 2041-2070 yılları aralığını kapsayan P2 dönemi için su hacminde yaşanması beklenen toplam değişim görülmektedir. RCP4.5 senaryosu altında, P2 dönemi için tüm analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek akışların gerçekleşmesi durumunda havza akarsu suyu varlığının referans döneme göre $14694,54 \times 10^6 \text{ m}^3$ artışı, tahmin edilmiş en düşük akışların gerçekleşmesi durumunda ise havzada akarsu suyu varlığının referans döneme göre $2396,88 \times 10^6 \text{ m}^3$ azalışı öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosu altında, P2 periyodu için tüm analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek akışların gerçekleşmesi durumunda referans döneme göre, akarsu suyu varlığında $17652,06 \times 10^6 \text{ m}^3$ artış, tahmin edilen en düşük akışların gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu varlığında $5988,83 \times 10^6 \text{ m}^3$ azalış öngörülmektedir.



Şekil 3.97. Orta uzak gelecek dönem tahmin edilmiş akarsu akışı istatistiksel değerlendirilmesi

Tablo 3.95. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında P2 dönemi havza su varlığı incelemesi

Veri Grubu	Q _{ref} (m ³ /s)	P2 Periyodu (RCP4.5)				
		maksQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (maksQ _{pre} -Q _{ref})	ΔV (*10 ⁶ m ³)	minQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (minQ _{pre} -Q _{ref})
						ΔV (*10 ⁶ m ³)
VG 1	26,70	30,50	3,81	3720,01	28,14	1,45
VG 2	7,27	9,88	2,61	2554,40	8,51	1,24
VG 3	11,57	12,44	0,87	854,18	11,20	-0,37
VG 4	8,69	7,75	-0,94	-923,74	7,23	-1,46
VG 5	3,88	5,33	1,45	1415,29	3,84	-0,04
VG 6	17,23	21,30	4,07	3980,23	18,18	0,95
VG 7	4,55	4,54	-0,02	-15,40	4,39	-0,17
VG 8	7,14	9,38	2,24	2193,65	8,23	1,10
VG 9	4,95	5,58	0,63	616,36	4,62	-0,34
VG 10	2,58	2,96	0,38	368,19	2,58	0,00
VG 11	12,01	12,17	0,16	157,79	11,40	-0,61
VG 12	10,33	11,05	0,73	711,61	9,81	-0,52
VG 13	7,15	7,81	0,66	642,10	7,02	-0,13
VG 14	6,23	5,73	-0,50	-487,66	5,19	-1,04
VG 15	6,85	7,16	0,31	301,13	6,59	-0,26
VG 16	3,79	2,94	-0,85	-831,29	2,77	-1,02
VG 17	5,04	4,47	-0,58	-562,31	3,81	-1,23
		TOPLAM		14694,54	TOPLAM	
					-2396,88	

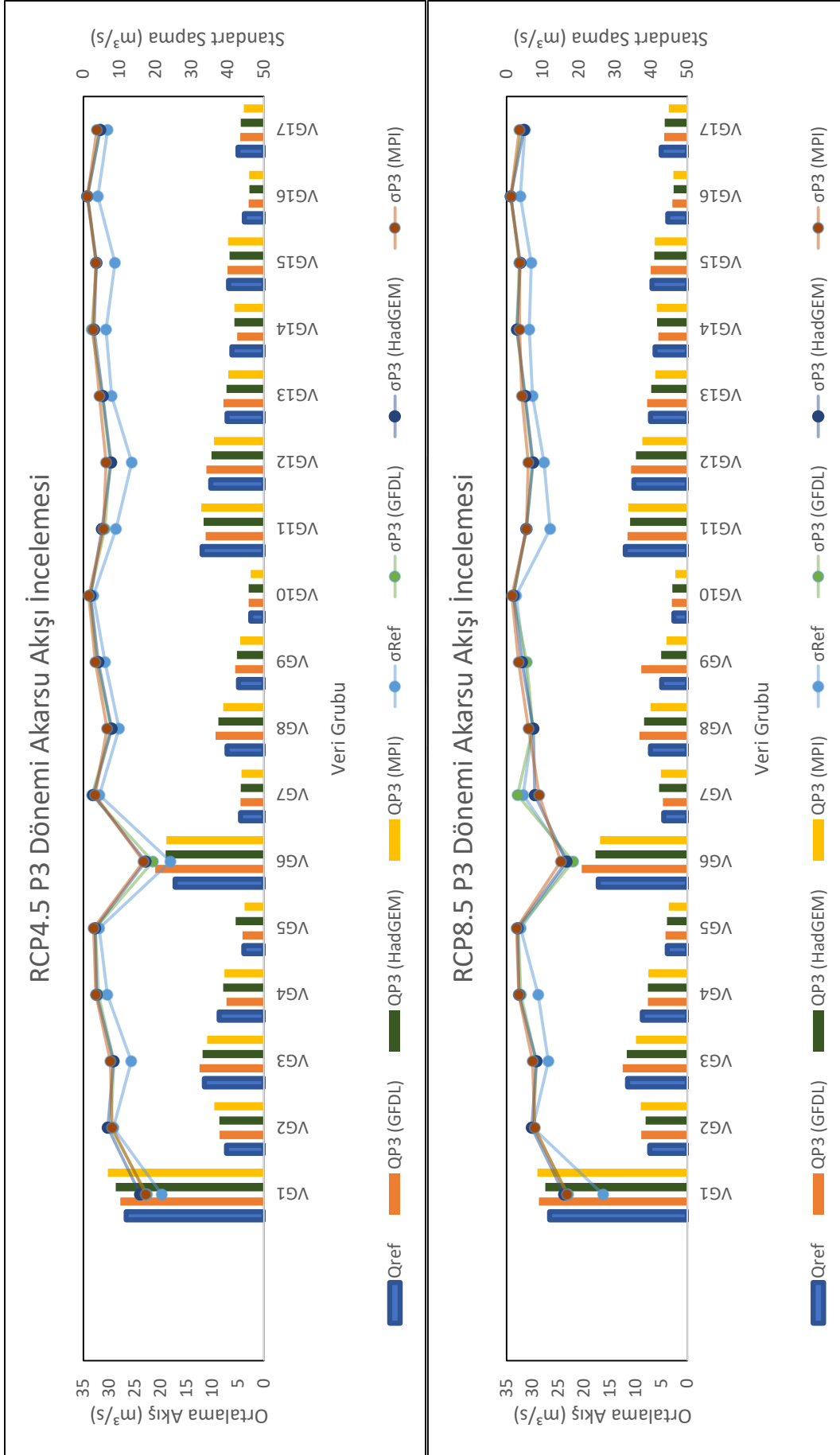
Q_{ref} : Referans dönem ortalama akış değerimaksQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen maksimum ortalama akışminQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen minimum akış ΔV : Su hacminde dönemde beklenen değişim miktarı

İklimsel değişimlerin uzun vadede hissedileceği dönem olan P3 döneminde farklı senaryolar için farklı KDM verileri kullanılarak yapılan akarsu akışı tahminlerinden elde edilmiş uzun yıllar ortalama akış ve standart sapma değerlerinin sunulduğu grafikler Şekil 3.98’de görülmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının etkisi altında farklı KDM verileri kullanılarak yapılan akış tahminlerinde analiz bölgelerinin 12’sinde referans dönem ortalamasına göre daha yüksek akış değeri elde edilmiş olup, 5’inde ise tahmin edilen akış verilerinin dönemsel ortalaması, referans dönem ortalamasından küçük bulunmuştur. Referans döneme göre daha yüksek dönemsel ortalama akış değeri elde edilen analiz bölgesi sayısı P1, P2 ve P3 periyotlarında aynı olmuştur. Referans dönem ortalamasından daha büyük dönemsel akış ortalaması elde edilen analiz bölgelerinde senaryolara bağlı olarak dönemlere göre farklılıklar bulunmaktadır. VG7 (Trabzon) analiz bölgesinde, RCP4.5 senaryosu altında referans dönem ortalamasına göre daha küçük bir akış ortalaması elde edilmiş ve tahmin edilen en yüksek akış ortalamasının gerçekleşmesi durumunda analiz bölgesinde P3 döneminde $26,51 \cdot 10^6$ m³ akarsu suyu kaybı öngörülmüştür. Aynı analiz bölgesinde RCP8.5 senaryosu altında referans döneme göre daha yüksek akış ortalaması tahmin edilmiş ve bu durumda bölgede P3 döneminde $814,7 \cdot 10^6$ m³ fazla akarsu suyu varlığı olacağı görülmüştür. Senaryolara göre farklı maksimum akış tahmini yapılan diğer bir analiz bölgesi VG11 (Rize) olmuştur. Analiz bölgesinde RCP4.5 senaryosunda tahmin edilen maksimum ortalama akışa ulaşılması durumunda P3 döneminde akarsu suyunda $116,33 \cdot 10^6$ m³ akarsu suyu artışı, RCP8.5 senaryosunda tahmin edilen en yüksek ortalama akışın gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu varlığının $410,63 \cdot 10^6$ m³ azalışı öngörülmektedir. Referans dönem ortalamasına göre daha küçük akış ortalaması değerlerinin tahmin edildiği bölgelerde yaşanacak değişimlerin, üst havzadan itibaren gerçekleşmekte olduğu bilinmektedir. Karmaşık ve çok sayıda dış etkene maruz bir proses olan akarsu akışında yaşanması beklenen bu azalmanın en önemli etkenleri arasında, üst havzalardan gelen yüzeysel akışın azalması ve bununla birlikte sıcaklığa duyarlılığının artarak buharlaşma kayıplarının artması ve havzaya yağışlar ile giren su miktarının havza genelinde azalması gösterilebilmektedir.

P3 dönemi, RCP4.5 senaryosu etkisi altındaki KDM’lere göre yapılan değerlendirmede, analiz bölgelerinde tahmin edilmiş uzun dönem maksimum akış ortalamaları %58,8 oranında GFDL-ESM2M, %23,5 oranında MPI-ESM-MR ve %17,7 oranında HadGEM2-ES KDM verileri ile elde edilmiştir. HadGEM2-ES verileri P2 dönemine benzer şekilde, genellikle ara değerlerin elde edildiği KDM olmuştur. Uzun

dönem minimum akış ortalamaları, %58,8 oranında MPI-ESM-MR, %29,4 oranında GFDL-ESM-MR, %11,8 oranında HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. RCP8.5 senaryosu etkisi altındaki KDM'ne göre yapılan değerlendirmede, analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek uzun dönem akış ortalamaları; %70,6 oranında GFDL-ESM2M, %17,6 oranında MPI-ESM-MR ve %11,8 oranında HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. En düşük uzun dönem akış ortalamaları; %64,7 oranında MPI-ESM-MR, %23,5 oranında HadGEM2-ES ve %11,8 oranında ise GFDL-ESM-MR KDM verileri kullanılarak elde edilmiştir. Bu oranlara göre P3 döneminde tüm konsantrasyon senaryoları altında, GFDL-ESM2M KDM verilerinin daha iyimser sonuçlar ürettiği, MPI-ESM-MR KDM verilerinin daha kötümser sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Konsantrasyon senaryoları etkisi altında, P3 dönemi için uzun yıllar müstakbel akarsu akışı ortalaması kullanılarak tespit edilmiş dönemsel akarsu akış hacminde yaşanması beklenen değişimlere ait çıktılar Tablo 3.97 ve Tablo 3.98'de gösterilmiştir. Tablolarda her analiz bölgesi için referans dönem maksimum ve minimum ortalama akış değerleri, bu değerlerin referans dönem akış değerine göre fark değerleri, elde edilen fark değerleri kullanılarak 2071-2099 yılları aralığını kapsayan P3 periyodu için su hacminde yaşanması beklenen toplam değişim görülmektedir. RCP4.5 senaryosu altında, P3 periyodu için tüm analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek akışların gerçekleşmesi durumunda havza akarsu suyu varlığının $13549,53 \times 10^6 \text{ m}^3$ artması, tahmin edilmiş en düşük akışların gerçekleşmesi durumunda ise havzada akarsu suyu varlığının $2544,26 \times 10^6 \text{ m}^3$ azalması öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosu altında, P3 periyodu için tüm analiz bölgelerinde tahmin edilmiş en yüksek akışların gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu varlığında $12906,49 \times 10^6 \text{ m}^3$ artış, tahmin edilen en düşük akışların gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu varlığında $9306,98 \times 10^6 \text{ m}^3$ azalış beklenmektedir.



Şekil 3.98. Uzak gelecek dönemi tahmin edilmiş akarsu akışı istatistiksel değerlendirmesi

Tablo 3.97. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında P3 dönemi havza su varlığı incelemesi

Veri Grubu	Q _{ref} (m ³ /s)	P3 Periyodu (RCP4.5)				
		maksQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (maksQ _{pre} -Q _{ref})	ΔV (*10 ⁶ m ³)	minQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (minQ _{pre} -Q _{ref})
						ΔV (*10 ⁶ m ³)
VG 1	26,70	30,26	3,57	3262,41	27,83	1,13
VG 2	7,27	9,64	2,37	2167,87	8,57	1,30
VG 3	11,57	12,47	0,90	826,18	11,02	-0,54
VG 4	8,69	7,88	-0,81	-742,76	7,25	-1,45
VG 5	3,88	5,48	1,60	1462,02	3,74	-0,15
VG 6	17,23	21,09	3,86	3528,10	18,92	1,69
VG 7	4,55	4,52	-0,03	-26,51	4,37	-0,18
VG 8	7,14	9,40	2,27	2073,99	7,92	0,78
VG 9	4,95	5,59	0,64	585,96	4,57	-0,38
VG 10	2,58	2,97	0,39	358,27	2,55	-0,03
VG 11	12,01	12,14	0,13	116,33	11,29	-0,72
VG 12	10,33	11,14	0,82	746,39	9,68	-0,65
VG 13	7,15	7,84	0,69	631,81	6,92	-0,23
VG 14	6,23	5,73	-0,50	-459,43	5,18	-1,05
VG 15	6,85	7,05	0,20	186,44	6,69	-0,16
VG 16	3,79	2,97	-0,82	-749,84	2,80	-0,98
VG 17	5,04	4,58	-0,46	-417,71	3,89	-1,15
		TOPLAM		13549,53	TOPLAM	
					-2544,26	

Q_{ref} : Referans dönem ortalama akış değerimaksQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen maksimum ortalama akışminQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen minimum akış ΔV : Su hacminde dönemde beklenen değişim miktarı

Tablo 3.98. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında P3 dönemi havza su varlığı incelemesi

Veri Grubu	Q _{ref} (m ³ /s)	P3 Periyodu (RCP8.5)					
		maksQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (maksQ _{pre} -Q _{ref})	ΔV (*10 ⁶ m ³)	minQ _{pre} (m ³ /s)	Fark (minQ _{pre} -Q _{ref})	ΔV (*10 ⁶ m ³)
VG 1	26,70	29,03	2,33	2133,83	27,52	0,82	749,90
VG 2	7,27	8,99	1,72	1571,64	8,08	0,81	743,59
VG 3	11,57	12,52	0,96	876,86	9,96	-1,61	-1470,12
VG 4	8,69	7,65	-1,05	-957,02	7,51	-1,18	-1083,28
VG 5	3,88	4,24	0,35	321,43	3,61	-0,28	-254,66
VG 6	17,23	20,47	3,24	2963,77	16,88	-0,35	-318,44
VG 7	4,55	5,44	0,89	814,70	4,69	0,14	129,37
VG 8	7,14	9,26	2,12	1939,95	7,08	-0,06	-50,59
VG 9	4,95	8,90	3,95	3610,47	4,03	-0,92	-843,39
VG 10	2,58	3,01	0,43	392,41	2,28	-0,30	-271,80
VG 11	12,01	11,56	-0,45	-410,63	11,10	-0,91	-827,82
VG 12	10,33	10,88	0,55	505,86	8,70	-1,63	-1490,88
VG 13	7,15	7,76	0,61	559,93	6,21	-0,94	-861,79
VG 14	6,23	5,89	-0,34	-311,86	5,58	-0,65	-592,90
VG 15	6,85	7,07	0,22	203,87	6,31	-0,54	-490,74
VG 16	3,79	2,92	-0,87	-797,42	2,67	-1,12	-1023,60
VG 17	5,04	4,48	-0,56	-511,30	3,57	-1,48	-1349,84
		TOPLAM		12906,49	TOPLAM		-9306,98

Q_{ref} : Referans dönem ortalama akış değerimaksQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen maksimum ortalama akışminQ_{pre} : Dönemde tahmin edilen minimum akış ΔV : Su hacminde dönemde beklenen değişim miktarı

GFDL-ESM-MR KDM verilerinin trend analizi sonuçlarına bakıldığında sıcaklıklarda güçlü artan seviyede, yağışlarda ise zayıf azalan veya güçlü artan seviyelerde trend varlığı olduğu görülmektedir. Bu durumda GFDL-ESM-MR KDM verilerinin yağış ve sıcaklık eğilimlerine bakılarak, yağışların kuvvetli bir şekilde düşmeyeceği ve sıcaklıklardaki artışın üst havzalardan itibaren akarsu akışını besleyecek etkiler oluşturacağı düşünüldüğünden, bu KDM verileri kullanılarak tahmin edilen müstakbel akarsu akışlarının diğerlerine göre daha yüksek olması beklenmektedir. En düşük uzun yıllar ortalama akış değerlerinin elde edildiği MPI-ESM-MR KDM verilerinin trend bulguları incelendiğinde, sıcaklıkların güçlü artan, yağışların ise zayıf azalan ve güçlü azalan mertebesinde eğilime sahip olduğu görüldüğünden, azalan yağışların ve artan sıcaklıkların müstakbel akış tahminlerini etkileyeceği ve bu etki altında düşük tahminler yapılacağı beklenmektedir. Yapılan analizlerin sonucunda elde edilen bulgular, müstakbel akış tahminlerinin trend analizi bulgularına uyumlu olduğunu göstermiştir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında, GFDL-ESM2M KDM verileri kullanılarak elde edilen en yüksek akış ortalaması değerlerinin Trabzon, Rize ve Gümüşhane illerinde bulunan analiz bölgelerinde elde edildiği görülmüştür. Dönemsel sıcaklık ve yağış anomalileri incelendiğinde, yağış anomalilerinin Trabzon ve Rize illerinde referans değere yakın veya pozitif olduğu, Gümüşhane ilinde ise referans dönem ortalamasına göre büyük dönemsel farklılıklar oluşturmayacak şekilde negatif olduğu görülmüştür. Sıcaklık anomalileri havza genelinde pozitif değerler almıştır, bu değerlerin havzanın güney kesimlerine doğru artış gösterdiği görülmüştür. Anomali değerlerine bakılarak beklenen yüksek akış tahminleri, Trabzon ve Rize illerinde gerçekleşmiş olup, Gümüşhane ilinde tahmin edilen yüksek akışların, bölgenin topografik yapısı nedeniyle kar örtülü alanların fazla olması ve artan sıcaklıklar ile yüksek eğimli araziden sızmaya çok fazla uğramadan akarsu akışını beslemesi kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Dönemsel minimum ortalama akışların diğer KDM'lere göre daha yüksek oranda elde edildiği MPI-ESM-MR olmuştur. MPI-ESM-MR KDM verileri kullanılarak minimum ortalama akışların en çok istasyonda görüldüğü iller, Giresun ve Ordu illeri olmuştur. Tüm periyotlarda Ordu ve Giresun illerinde yağış anomalileri negatif veya negatif değere yakın değerler almış ve sıcaklık anomalileri pozitif değerler almıştır. Anomali değerlerinin gösterdiği ölçüde bölgelerde dönemsel olarak düşük yağışlar ve yüksek sıcaklıklar beklenmekte olup bu durumda akarsu akışında azalma olacağı düşünülmektedir. KDM verileri ile yapılan akış tahminlerinin anomali değerlerine göre tutarlı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Konsantrasyon senaryoları ve KDM'lere göre akarsu suyunda yaşanması beklenen değişimler maksimum ve minimum akış ortalamalarına göre Tablo 3.99'da gösterilmiştir. Analiz değerlendirmelerine göre, akarsu suyunda iklim değişikliğinden kaynaklı değişimlerin etkisinin en çok hissedileceği dönemin 2041-2070 yılları aralığında olan P2 dönemi olması beklenmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında iklimsel değişikliklerin akarsu suyuna etkisinin en az hissedileceği dönem 2021-2040 yılları arası P1 dönemi olarak beklenmektedir. Minimum akış ortalamalarının gerçekleşmesi durumunda iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin akarsu akışı üzerinde en çok gözleneceği dönemin 2071-2099 yılları aralığındaki P3 periyodu olması beklenmektedir.

Tablo 3.99. Doğu Karadeniz Havzası analiz bölgelerine göre akarsu suyu varlığının dönemlik ve yıllık değişimi

Konsantrasyon Senaryosu	Periyot	$\Delta V_{\max Q_{pre}}$ (*10 ⁶ m ³)	$\Delta V_{\min Q_{pre}}$ (*10 ⁶ m ³)	$\Delta V_{\max Q_{pre}}$ (*10 ⁶ m ³ /yıl)	$\Delta V_{\min Q_{pre}}$ (*10 ⁶ m ³ /yıl)
RCP4.5	P1	7801,25	-1777,88	390,06	-88,89
	P2	14694,54	-2396,88	474,02	-77,32
	P3	13549,53	-2544,26	467,23	-87,73
RCP8.5	P1	9792,84	-2547,23	489,64	-127,36
	P2	17652,06	-5988,83	569,42	-193,19
	P3	12906,49	-9306,98	445,05	-320,93

$\Delta V_{\max Q_{pre}}$: Maksimum akışın gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu değişimi

$\Delta V_{\min Q_{pre}}$: Minimum akışın gerçekleşmesi durumunda akarsu suyu değişimi

3.12. İklim Değişikliğinin Akarsularda Mevsimsel Akışa Etkisinin İncelenmesi

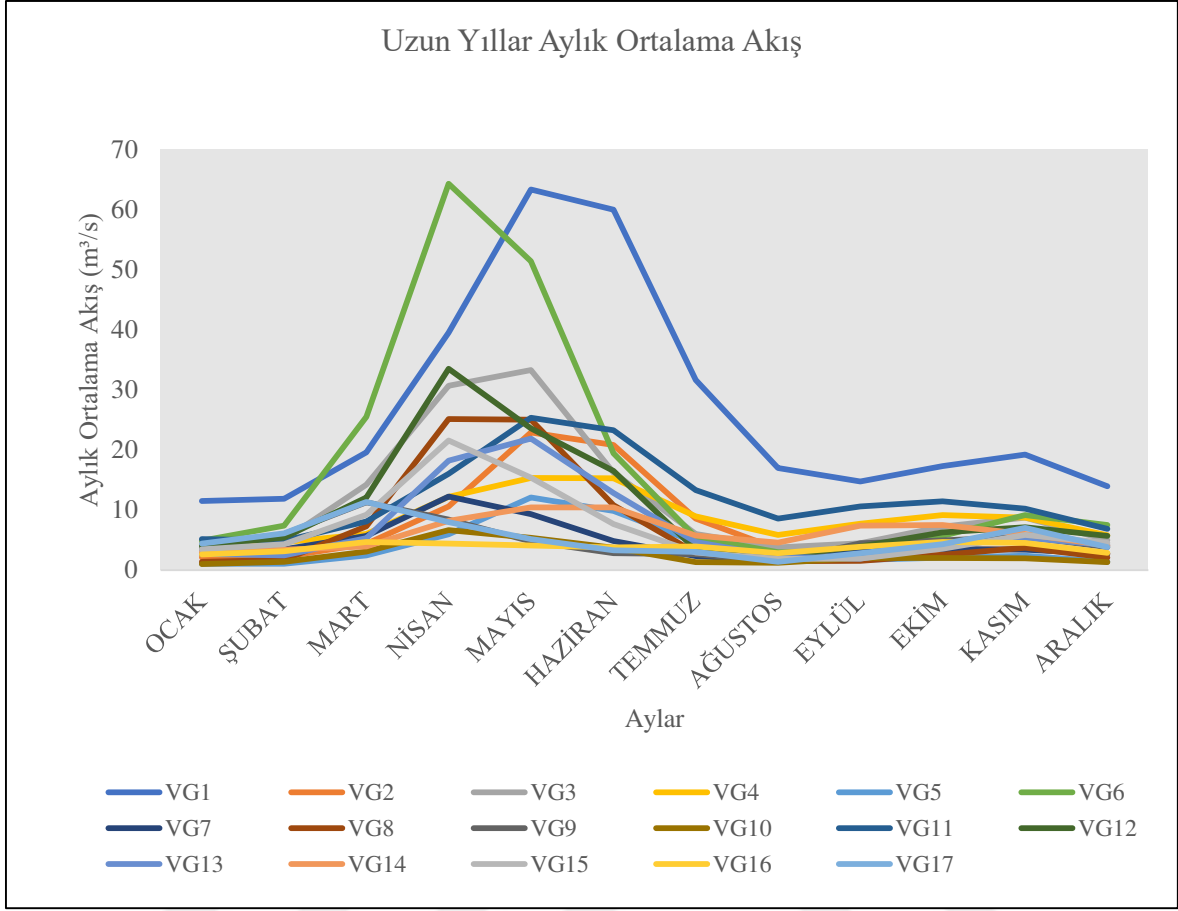
Akarsu akışını etkileyen çok sayıda meteorolojik ve hidrolojik parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden olan sıcaklık ve yağış, yıldan yıla atmosferik etkiler ve insan faaliyetleri nedeniyle değişim göstermektedir. İklimsel parametrelerin etkilendiği sera gazı salınımı gibi etkenlerin sürekli olarak değişim gösterdiği ve bu değişime karşılık olarak da sıcaklıkların ve yağışların etkilendiği daha önce yapılan çalışmalarda ortaya koyulmuştur (Jasrotia vd., 2021). Artan nüfusa paralel olarak artan içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanması, ekosistem varlığının sürdürülebilirliği ve tarımsal sulama

ihtiyacının karşılanması gibi konularda, iklimde yaşanması beklenen olumsuz değişimlere karşı başarılı planlamalar yapmak için akarsu akışının güvenilir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Su kaynaklarının korunması, rezervuar su seviyelerinin kontrol altında tutulması, su ihtiyacının mevsimlere göre belirlenerek gerektiğinde ek biriktirme göletlerinin yapılması ve yer altı su seviyesinin planlanması açısından, aylık ortalama akış verilerinin değişimini inceleyerek mevsimsel akış değerlendirmesi yapmak havza su yönetimi açısından oldukça önemlidir.

Akarsu akışının sıcaklık ve yağışın bir fonksiyonu olarak araştırıldığı bu çalışmada farklı senaryolar altında, farklı KDM'ler kullanılarak üretilmiş sıcaklık ve yağış verileri girdi olarak kullanılmış, günlük ortalama akarsu akışı verileri tahmin edilmiştir. Akış tahminleri, içinde bulunduğumuz 21. yüzyılın sonuna kadar yapıldığından uzun yıllar iklim değişikliği etkisi altında akarsu akışı modellemesinin yapılması sağlanmıştır.

Çalışmada tahmin edilen günlük ortalama akış verileri kullanılarak 21. yüzyılın sonuna kadar, her yıl için aylık ortalama akarsu akışı hesaplanmıştır. Hesaplanan müstakbel aylık ortalama akış verilerinden, kurak ve sulak mevsim ortalamaları belirlenmiştir. Mevsimsel müstakbel ortalama akış değerleri, tarihsel akış değerlerinden elde edilen mevsimsel ortalama akış değerleri ile kıyaslanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde incelenen mevsimlerin belirlenmesi değerlendirmelerin tutarlılığı ve ilgili kurumların gelecek çalışmalarda yararlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Kurak ve sulak mevsimler, gözlenmiş akış ortalamasının birbirini takip eden üç aylık dönemdeki durumuna bakılarak belirlenmiştir. Birbirini takip eden üç aylık dönemdeki aylık ortalamalardan, diğer aylara göre, en küçük değerlerin gözlemlendiği üç aylık dönem kurak mevsim, en büyük değerlerin gözlemlendiği üç aylık dönem ise sulak mevsim olarak adlandırılmıştır (Kuo vd., 2010). Şekil 3.99'da uzun yıllar aylık ortalama akış değerleri görülmektedir. Ardışık üç aylık dönemler için yapılan incelemeye göre, analiz bölgelerinde akarsu akışının en yüksek ve düşük gözlemlendiği üç aylık dönemler her analiz bölgesi için farklılık göstermiştir. Analiz bölgelerinde kurak ve sulak mevsimi temsil eden aylar Tablo 3.100'de, sulak ve kurak mevsim için belirlenen referans akış ortalamaları Tablo 3.101'de görülmektedir.



Şekil 3.99. Referans dönem uzun yıllar aylık akış ortalamaları

Tablo 3.100. Analiz bölgelerine göre kurak ve sulak mevsim ayları

Analiz Bölgesi	Kurak Mevsim	Sulak Mevsim	Analiz Bölgesi	Kurak Mevsim	Sulak Mevsim
VG 1	O-Ş-M	N-M-H	VG 10	T-A-E	N-M-H
VG 2	O-Ş-M	N-M-H	VG 11	O-Ş-M	N-M-H
VG 3	T-A-E	N-M-H	VG 12	T-A-E	N-M-H
VG 4	O-Ş-M	N-M-H	VG 13	A-E-E	N-M-H
VG 5	O-Ş-M	N-M-H	VG 14	O-Ş-M	N-M-H
VG 6	T-A-E	N-M-H	VG 15	T-A-E	N-M-H
VG 7	T-A-E	N-M-H	VG 16	O-Ş-M	N-M-H
VG 8	A-E-E	N-M-H	VG 17	T-A-E	Ş-M-N
VG 9	H-T-A	Ş-M-N			

O-Ş-M: Ocak Şubat Mart, T-A-E: Temmuz Ağustos Eylül, A-E-E: Ağustos Eylül Ekim, H-T-A: Haziran Temmuz Ağustos, N-M-H: Nisan Mayıs Haziran, Ş-M-N: Şubat Mart Nisan.

Analiz bölgelerinde kaydedilmiş akarsu akışı verileri kullanılarak yapılan incelemelerde, akışların havza genelinde her bölgede aynı zaman aralığında farklı değişimlere uğradığı görülmüştür. Kurak mevsim için yapılan incelemelerde analiz bölgelerinden 7 tanesinde Ocak Şubat Mart ayları, 7 tanesinde Temmuz Ağustos Eylül ayları 2 tanesinde Ağustos Eylül Ekim ayları ve 1 tanesinde de Haziran Temmuz Ağustos ayları ortalamaları en kurak zaman dilimi olmuştur. Sulak mevsim değerlendirmesinde havza genelinde 15 analiz bölgesi için Nisan Mayıs Haziran, 2 analiz bölgesi için ise Şubat Mart Nisan ayları en sulak aylar olarak belirlenmiştir. Sulak mevsimde havza genelinde çoğunlukla tutarlılık görülmüş olup, diğerlerine göre sulak mevsimi farklı bulunan istasyonlarda taşkınların veya çevresel faktörlerin etkisi ile akış değerlerinin Nisan Mayıs Haziran aylarından farklı bir zamanda yüksek çıktığı düşünülmüştür.

Tablo 3.101. Mevsimlik referans akış (m^3/s) değerleri

Analiz Bölgesi	Sulak Mevsim Ortalaması (m^3/s)	Kurak Mevsim Ortalaması (m^3/s)	Analiz Bölgesi	Sulak Mevsim Ortalaması (m^3/s)	Kurak Mevsim Ortalaması (m^3/s)
VG 1	54,32	14,32	VG 10	5,25	1,49
VG 2	18,11	2,89	VG 11	21,57	6,04
VG 3	26,76	4,75	VG 12	24,54	3,24
VG 4	14,28	5,07	VG 13	17,65	2,69
VG 5	9,31	1,50	VG 14	9,68	3,45
VG 6	45,10	3,76	VG 15	14,89	2,23
VG 7	8,80	2,30	VG 16	4,10	3,47
VG 8	20,32	1,86	VG 17	8,48	2,40
VG 9	8,58	2,27			

Tablo 3.101'deki referans akış verileri incelendiğinde, akarsu akışında sulak ve kurak mevsimler arasında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Aylık akış hacmi büyük olan analiz bölgelerinde kurak mevsim ortalama akış değerlerinin, sulak mevsim ortalama akış değerlerine göre yaklaşık %75 oranında daha az olacağı belirlenmiştir. Sulak ve kurak mevsim arasındaki akarsu suyu varlığının dönemsel olarak büyük oranda değişmesi, su varlığının sürdürülebilirliği konusunda, dönemsel planlama yapılmasının, gelecekteki içme suyu ihtiyacının karşılanması, tarımsal sulama suyu ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanması ve sürdürülebilir çevre sağlığı bakımından büyük öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Gözlenmiş veriler kullanılarak elde edilen referans akıslara göre RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında farklı KDM verileri kullanılarak tahmin edilen dönemsel akısların değişimi Eşitlik 3.1'deki gibi değerlendirilmiş ve farklı KDM'lere göre sırasıyla Tablo 3.102, Tablo 3.103 ve Tablo 3.104'te gösterilmiştir.

$$RD(\%) = \frac{x_p - x_r}{x_r} * 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte RD rölatif değişimi, x_p tahmin edilmiş akış değerini ve x_r referans akış değerini ifade etmektedir.

Tablo 3.102, Tablo 3.103 ve Tablo 3.104'teki rölatif değişim çıktıları incelendiğinde, RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında, farklı KDM verileri kullanılarak tahmin edilmiş akarsu akıslarının referans döneme göre istatistiksel açıdan anlamlı değişimleri görülmektedir. Havza genelinde, projeksiyon verileri kullanılarak tahmin edilmiş akarsu akıslarından elde edilen mevsimsel ortalama değerinin, mevsimsel referans değerlere göre rölatif değişimleri gösteriyor ki; havzada sulak dönem akarsu akıslarında düşüşler yaşanacak ve kurak dönem akarsu akıslarında ise artışlar yaşanacak. Bu durum ile havzada kurak-sulak geçişlerin daha yumuşak olması ve havza akarsularının uzun dönemde ortalama bir değere doğru yakınsaması beklenmektedir.

GFDL-ESM2M KDM akış tahminlerine göre analiz bölgelerinde, sulak ve kurak mevsimler arası akarsu akışı farkının az olduğu bölgeler haricinde sulak mevsimde akısların P1 periyodunda daha fazla etkilenmesi beklenmektedir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında, sulak mevsim akarsu akıslarının havzada ortalama olarak P1 periyodunda %27, P2 ve P3 periyodunda ise %25 oranında azalacağı, kurak mevsim akarsu akıslarının ortalama olarak tüm periyotlarda yaklaşık 1,2 kat artacağı öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosu altında ise sulak mevsim ortalama akarsu akıslarının P1 periyodunda %25, P2 periyodunda %22 ve P3 periyodunda %23 azalması, kurak mevsim akarsu akıslarının havzada ortalama olarak P1 periyodunda 1,4, P2 periyodunda yaklaşık 1,3 kat, P3 periyodunda 1,1 kat artması beklenmektedir. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu koşulları altında havzada kurak mevsim ortalamalarının daha fazla artış göstermesi beklenmektedir. GFDL-ESM2M KDM verilerine göre havzada iklim değişikliğinin en fazla hissedileceği periyot P1 olarak görülmektedir.

Tablo 3.102. Analiz bölgeleri için GFDL-ESM2M KDM mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%)

Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)			P1			P2			P3		
		Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min
VG 1	Sulak	4.5	-33	-22	-43	-30	-18	-38	-31	-20	-49	-16	15
	Kurak	8.5	-31	-18	-42	-28	-18	-39	-29	-17	-45	-18	15
VG 2	Sulak	4.5	-18	8	-31	-15	5	-32	-17	17	-30	506	694
	Kurak	8.5	-18	-7	-30	-10	25	-31	4	52	-26	349	511
VG 3	Sulak	4.5	-37	-26	-49	-34	-20	-44	-34	-17	-59	-32	-24
	Kurak	8.5	-33	-17	-44	-31	-12	-46	-29	-11	-49	-30	-11
VG 4	Sulak	4.5	-25	15	-52	-22	14	-51	-24	25	-49	143	188
	Kurak	8.5	-28	-7	-48	-17	37	-53	4	69	-38	124	198
VG 5	Sulak	4.5	-35	-24	-48	-32	-19	-45	-33	-22	-48	-24	-6
	Kurak	8.5	-33	-23	-45	-30	-20	-43	-32	-23	-43	-23	-6
VG 6	Sulak	4.5	283	329	219	268	338	224	263	323	199	565	736
	Kurak	8.5	268	325	176	262	322	195	219	273	110	502	719
VG 7	Sulak	4.5	-38	-28	-46	-36	-28	-44	-36	-25	-50	-32	-12
	Kurak	8.5	-36	-26	-45	-34	-22	-43	-33	-22	-44	-25	-8
VG 8	Sulak	4.5	-33	-19	-47	-31	-17	-45	-31	-11	-48	122	191
	Kurak	8.5	-33	-23	-40	-26	-7	-46	-17	11	-33	495	525
VG 9	Sulak	4.5	-34	-19	-45	-32	-22	-40	-31	-17	-48	-17	-3
	Kurak	8.5	-32	-20	-43	-29	-20	-38	-28	-17	-38	-17	-5
VG 10	Sulak	4.5	-21	20	-38	-14	13	-44	-10	22	-45	156	211
	Kurak	8.5	-9	23	-39	-2	42	-37	10	47	-28	133	179

M: Mevsim

KS: Konsantrasyon Senaryosu

Ort: Ortalama Değer

Mak: Maksimum Değer

Min: Minimum Değer

Tablo 3.103. Analiz bölgeleri için HadGEM2-ES KDM mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%)

Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)			P1			KS (RCP)			P1			P2			P2			P3		
		Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min
VG 1	Sulak	4.5	-29	-38	-32	-21	-45	-32	-21	-43	-22	-38	-32	-21	-45	-32	-21	-43	-22	-38	-32	-21
	Kurak	8.5	-30	-42	-37	-27	-47	-42	-27	-51	-20	-42	-37	-27	-47	-42	-27	-51	-20	-42	-37	-27
VG 2	Sulak	4.5	179	211	148	157	194	122	153	112	211	238	131	143	181	104	101	152	56	173	238	131
	Kurak	8.5	173	238	131	143	181	104	101	152	173	238	131	143	181	104	101	152	56	173	238	131
VG 3	Sulak	4.5	-30	-17	-48	-32	-18	-49	-31	-9	-17	-48	-32	-18	-49	-31	-9	-42	-30	-17	-48	-32
	Kurak	8.5	-30	-9	-48	-39	-22	-55	-44	-26	-30	-9	-48	-39	-22	-55	-44	-26	-30	-9	-48	-39
VG 4	Sulak	4.5	374	455	291	332	421	240	316	436	455	516	250	298	368	212	211	317	128	374	455	291
	Kurak	8.5	354	516	250	298	368	212	211	317	354	516	250	298	368	212	211	317	128	354	516	250
VG 5	Sulak	4.5	-46	-36	-54	-49	-38	-61	-50	-39	-46	-36	-54	-49	-38	-61	-50	-39	-64	-46	-36	-54
	Kurak	8.5	-46	-35	-54	-46	-73	-58	-46	-67	-46	-35	-54	-46	-73	-58	-46	-67	-46	-35	-54	-46
VG 6	Sulak	4.5	39	98	6	50	121	-24	65	239	39	98	6	50	121	-24	65	239	-34	39	98	6
	Kurak	8.5	45	95	-49	59	115	-7	93	170	45	95	-49	59	115	-7	93	170	17	45	95	-49
VG 7	Sulak	4.5	-31	-21	-41	-30	-21	-40	-30	-18	-31	-21	-41	-30	-21	-40	-30	-18	-40	-31	-21	-41
	Kurak	8.5	-29	-20	-40	-34	-27	-45	-37	-28	-29	-20	-40	-34	-27	-45	-37	-28	-48	-29	-20	-40
VG 8	Sulak	4.5	109	140	76	98	131	71	98	130	109	140	76	98	131	71	98	130	65	109	140	76
	Kurak	8.5	102	143	78	88	112	64	64	98	102	143	78	88	112	64	64	98	33	102	143	78
VG 9	Sulak	4.5	-25	-13	-38	-23	-15	-36	-22	-10	-25	-13	-38	-23	-15	-36	-22	-10	-33	-25	-13	-38
	Kurak	8.5	-44	-33	-54	-51	-32	-66	-55	-40	-44	-33	-54	-51	-32	-66	-55	-40	-66	-44	-33	-54
VG 10	Sulak	4.5	468	533	412	435	481	371	437	487	468	533	412	435	481	371	437	487	376	468	533	412
	Kurak	8.5	342	435	272	300	378	225	236	338	342	435	272	300	378	225	236	338	147	342	435	272

M: Mevsim

KS: Konsantrasyon Senaryosu

Ort: Ortalama Değer

Mak: Maksimum Değer

Min: Minimum Değer

Tablo 3.103'ün devamı.

Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)			P1			P2			P3			Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)			P1			P2			P3		
		Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min			Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min
VG 11	Sulak	4,5	-30	-24	-37	-34	-25	-44	-35	-27	-47			VG 15	Sulak	4,5	-50	-43	-58	-54	-48	-65	-56	-48	-67		
	Kurak	8,5	-32	-24	-39	-29	-48	-46	-32	-56			Kurak		8,5	-51	-42	-59	-59	-47	-70	-65	-54	-72			
		4,5	148	174	126	128	170	89	123	154	87					4,5	123	193	76	132	212	45	145	304	51		
VG 12	Sulak	8,5	142	189	117	112	148	69	71	116	18			VG 16	Sulak	8,5	128	185	34	136	195	69	160	233	89		
		4,5	-57	-46	-63	-60	-51	-70	-62	-51	-72				Sulak	4,5	-36	-28	-43	-38	-31	-46	-39	-32	-48		
		8,5	-56	-48	-65	-62	-54	-75	-68	-57	-79					8,5	-36	-31	-40	-41	-30	-48	-45	-36	-51		
VG 13	Kurak	4,5	84	158	36	93	171	7	111	231	0			VG 17	Kurak	4,5	-20	-8	-26	-24	-12	-35	-22	-14	-34		
		8,5	87	157	-22	106	172	47	141	228	43					8,5	-21	-11	-26	-27	-15	-34	-35	-20	-44		
		4,5	-55	-46	-63	-57	-50	-66	-59	-48	-72				Sulak	4,5	-83	-76	-88	-81	-57	-89	-78	-41	-91		
VG 14	Sulak	8,5	-54	-47	-62	-61	-47	-76	-67	-54	-78				Sulak	8,5	-80	-66	-89	-81	-55	-89	-85	-69	-91		
	Kurak	4,5	-26	16	-73	-22	11	-69	-10	62	-53					4,5	53	89	6	55	168	-3	59	113	4		
		8,5	-29	35	-77	-19	32	-57	5	70	-36				Kurak	8,5	57	98	-48	58	118	-2	71	150	3		
	Sulak	4,5	-30	-20	-36	-34	-23	-45	-34	-20	-44				Sulak	4,5	-30	-20	-36	-34	-23	-45	-34	-20	-44		
		8,5	-31	-21	-42	-34	-24	-48	-37	-26	-46					8,5	-31	-21	-42	-34	-24	-48	-37	-26	-46		
		4,5	104	146	75	95	143	63	96	139	67					4,5	104	146	75	95	143	63	96	139	67		
	Kurak	8,5	103	132	81	89	130	67	83	115	58				Kurak	8,5	103	132	81	89	130	67	83	115	58		

M: Mevsim

KS: Konsantrasyon Senaryosu

Ort: Ortalama Değer

Mak: Maksimum Değer

Min: Minimum Değer

Tablo 3.104. Analiz bölgeleri için MPI-ESM-MR KDM mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%)

Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)	P1			P2			P3			Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)	P1			P2			P3		
			Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min				Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min
VG 1	Sulak	4.5	-26	-15	-36	-26	-16	-39	-25	-17	-35	VG 6	Sulak	4.5	-33	1	-52	-33	-5	-54	-32	0	-63
	Kurak	8.5	-26	-17	-34	-26	-19	-34	-29	-19	-41		Kurak	8.5	-34	4	-51	-38	-4	-59	-46	-22	-72
VG 2	Sulak	4.5	-7	25	-26	-5	35	-26	-2	61	-29	VG 7	Sulak	4.5	420	783	215	380	702	154	329	655	154
	Kurak	8.5	-11	38	-31	8	53	-25	15	83	-20		Kurak	8.5	421	770	94	274	651	90	153	362	33
VG 3	Sulak	4.5	-26	-11	-40	-24	-9	-44	-24	-8	-37	VG 8	Sulak	4.5	-39	-30	-47	-40	-26	-50	-42	-28	-57
	Kurak	8.5	-26	-17	-37	-23	-13	-36	-24	-11	-48		Kurak	8.5	-41	-31	-49	-41	-3	-56	-38	22	-57
VG 4	Sulak	4.5	-10	39	-33	-8	55	-45	-4	82	-42	VG 9	Sulak	4.5	113	175	65	109	226	53	100	235	-1
	Kurak	8.5	-18	50	-57	8	62	-32	20	121	-27		Kurak	8.5	119	313	50	108	272	32	185	570	-25
VG 5	Sulak	4.5	-42	-36	-51	-42	-33	-50	-42	-29	-56	VG 10	Sulak	4.5	-38	-27	-54	-38	-22	-54	-39	-20	-59
	Kurak	8.5	-42	-27	-53	-45	-37	-55	-52	-38	-67		Kurak	8.5	-38	-18	-49	-43	-31	-59	-49	-32	-68
VG 6	Sulak	4.5	177	238	111	177	241	93	150	247	31	VG 11	Sulak	4.5	454	612	261	439	585	279	407	557	266
	Kurak	8.5	165	236	32	125	211	44	63	126	-1		Kurak	8.5	429	689	219	381	570	135	282	506	87
VG 7	Sulak	4.5	-35	-26	-43	-33	-24	-41	-33	-24	-43	VG 12	Sulak	4.5	-35	-19	-46	-35	-19	-47	-34	-14	-55
	Kurak	8.5	-35	-27	-42	-33	-28	-42	-35	-24	-47		Kurak	8.5	-37	-25	-50	-36	-19	-55	-35	-21	-52
VG 8	Sulak	4.5	-20	-6	-29	-19	-1	-38	-16	15	-37	VG 13	Sulak	4.5	44	96	-6	37	79	0	22	67	-19
	Kurak	8.5	-23	-3	-48	-12	6	-32	-6	32	-25		Kurak	8.5	33	86	-30	4	58	-44	-28	21	-60
VG 9	Sulak	4.5	-41	-33	-49	-38	-24	-49	-40	-24	-52	VG 14	Sulak	4.5	-33	-26	-45	-33	-18	-45	-34	-17	-52
	Kurak	8.5	-42	-35	-47	-42	-33	-53	-42	-27	-57		Kurak	8.5	-33	-16	-43	-38	-25	-52	-47	-30	-64
VG 10	Sulak	4.5	-2	32	-33	4	36	-23	8	51	-25	VG 15	Sulak	4.5	82	147	28	82	128	25	65	125	-9
	Kurak	8.5	1	34	-28	15	59	-22	36	98	-11		Kurak	8.5	75	126	-15	51	128	-14	8	59	-46

M: Mevsim

KS: Konsantrasyon Senaryosu

Ort: Ortalama Değer

Mak: Maksimum Değer

Min: Minimum Değer

Tablo 3.104'ün devamı.

Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)	P1			P2			P3		
			Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min
VG 11	Sulak	4.5	-28	-22	-37	-29	-20	-40	-28	-20	-36
		8.5	-28	-17	-36	-30	-22	-36	-34	-26	-47
	Kurak	4.5	12	44	-9	12	48	-19	16	65	-18
		8.5	5	51	-34	25	68	-10	34	89	-9
VG 12	Sulak	4.5	-43	-36	-52	-43	-33	-54	-44	-30	-56
		8.5	-43	-28	-53	-49	-38	-65	-56	-44	-71
	Kurak	4.5	196	314	100	188	269	63	158	246	35
		8.5	185	277	40	133	231	41	66	135	13
VG 13	Sulak	4.5	-41	-33	-55	-40	-26	-52	-41	-29	-55
		8.5	-41	-24	-50	-46	-34	-65	-53	-37	-67
	Kurak	4.5	205	268	111	196	274	121	183	269	116
		8.5	189	287	89	171	263	50	116	194	17
VG 14	Sulak	4.5	-28	-20	-38	-29	-19	-41	-27	-19	-35
		8.5	-27	-15	-35	-28	-14	-36	-28	-19	-37
	Kurak	4.5	8	29	-3	10	33	-13	12	45	-11
		8.5	4	31	-27	19	50	-5	25	74	-3
M: Mevsim											
KS: Konsantrasyon Senaryosu											
Ort: Ortalama Değer											
Mak: Maksimum Değer											
Min: Minimum Değer											

Analiz Bölgesi	M	KS (RCP)	P1			P2			P3		
			Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min
VG 15	Sulak	4.5	-38	-32	-45	-40	-34	-47	-40	-28	-51
		8.5	-39	-29	-47	-44	-36	-54	-51	-39	-63
	Kurak	4.5	216	290	151	212	272	126	184	264	75
		8.5	202	281	70	162	242	75	92	161	33
VG 16	Sulak	4.5	-25	-16	-32	-26	-20	-34	-26	-12	-37
		8.5	-24	-16	-35	-28	-18	-36	-32	-18	-43
	Kurak	4.5	-15	-9	-21	-15	-6	-20	-15	-6	-21
		8.5	-15	-3	-22	-15	-9	-21	-14	-3	-20
VG 17	Sulak	4.5	-35	-22	-50	-37	-12	-50	-37	-16	-59
		8.5	-42	-27	-59	-37	-14	-63	-35	-18	-53
	Kurak	4.5	-13	142	-47	-29	13	-55	-34	32	-52
		8.5	-17	34	-56	-31	37	-52	-43	-10	-62

HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak tahmin edilmiş akarsu akışlarının farklı periyotlar için mevsimsel ortalamalarının, referans dönem mevsimsel ortalamalarına göre, istatistiksel açıdan anlamlı değişimleri görülmektedir. Mevsimsel ortalama akarsu akışlarında, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında sulak mevsimde P1 periyodunda %43, P2 periyodunda %44 ve P3 periyodunda %45 azalması, kurak mevsimde P1 periyodunda 0,80 kat artışı, P2 periyodunda yaklaşık 0,75 kat artışı, P3 periyodunda yaklaşık 0,81 kat artışı beklenmektedir. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında mevsimsel ortalama akarsu akışları için sulak mevsimde, P1 periyodunda %43, P2 periyodunda %50 ve P3 periyodunda %55 azalış, kurak mevsimde P1 periyodunda 0,71 kat artış, P2 periyodunda 0,67 kat artış ve P3 periyodunda 0,69 kat artış beklenmektedir. HadGEM2-ES KDM verileri kullanılarak tahmin edilen akarsu akışlarının mevsimsel ortalamaları RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında benzer değişimler göstermiştir. HadGEM2-ES KDM verilerine göre havzada akarsu akışlarında sulak mevsimde azalış, kurak mevsimde ise artış beklenmektedir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu koşulları altında P1 periyodundan başlayarak P3 periyoduna doğru sulak mevsimlerde yaşanacak akarsu akışındaki azalışların artış göstereceği öngörülmektedir.

MPI-ESM-MR KDM verileri kullanılarak tahmin edilmiş akarsu akışlarının mevsimsel ortalamaları, referans döneme göre incelendiğinde, sulak ve kurak mevsimlerde akarsu akışlarında istatistiksel açıdan anlamlı değişimler olması beklenmektedir. Sulak mevsimde akarsu akışlarında azalmalar, kurak mevsimde ise akarsu akışlarında artışlar beklenmektedir. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında, sulak mevsim akarsu akış ortalamalarının tüm periyotlarda yaklaşık %30 azalacağı, kurak mevsim akarsu akışlarının P1 periyodunda yaklaşık 0,85 kat artacağı, P2 periyodunda 0,80 kat artacağı ve P3 periyodunda 0,69 kat artacağı öngörülmektedir. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında sulak mevsimde akarsu akışlarında P1, P2 ve P3 periyotlarında sırasıyla %31, %33 ve %36 azalış, kurak mevsim akarsu akışlarında sırasıyla 0,79, 0,61 ve 0,36 kat artış beklenmektedir. MPI-ESM-MR KDM verileri ile tahmin edilen mevsimsel akış ortalamaları RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında uzun yıllarda benzer sonuçlar üretmiş ancak RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında ise uzun yıllarda farklı değişimler göstermiştir. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında sulak mevsimde P1 periyodundan P3 periyoduna doğru mevsimsel akarsu akışı ortalamalarında azalışın artacağı beklenmektedir. Kurak mevsim akış ortalamalarında RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon

senaryoları altında P1 periyodundan P3 periyoduna doğru akarsu akışı artış miktarında azalış öngörülmektedir.

RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında farklı KDM verileri kullanılarak tahmin edilmiş ortalama akarsu akışlarında havza genelinde benzer değişimler beklenmektedir. Sulak mevsimde referans dönem akarsu akışı değerlerine göre tüm periyotlarda akarsu akışının azalacağı, kurak mevsimde ise artacağı öngörülmektedir. KDM'lere göre analiz bölgelerindeki verilerin ortalamasının rölatif değişim değerleri Tablo 3.105'te gösterilmiştir.

Havza genelinde pozitif değerler alan sıcaklık anomalileri ve Trabzon ilinin bazı bölgeleri ve ilin doğusunda kalan kesimler haricinde olan bölgelerdeki negatif yağış anomalileri değerlendirildiğinde, mevsimsel ortalama akış değerlerinde sulak mevsimde akarsularda akış halindeki suyun bir kısmının, artan buharlaşma neticesinde atmosfere geçişinin hızlanması nedeniyle akış halindeki su kütlesinin azalması ve bir kısmının da azalan yağışlar ve artan buharlaşma nedeniyle artan sızma kapasitesinin bir sonucu olarak yeraltı suyuna karışacağı düşünülmektedir. Bu durumun tarımsal faaliyetler ile toprak kullanım durumunu etkilemesi beklenmektedir. Kurak mevsimde akarsu akışında beklenen artışların temel kaynağı olarak KDM sıcaklık verilerindeki artış trendi gösterilebilmektedir. Ortalama sıcaklıklardaki pozitif anomaliler, havzanın yüksek kesimlerindeki kar kütlelerinin erimesine ve sıcaklığın düşük geçmesi beklenen aylarda akarsu akışını arttırmasına neden olacaktır. Sıcak geçmesi beklenen aylarda üst havzalardan itibaren akış halindeki suyun yer altı suyuna karışması, yer altı suyu seviyesini arttıracığından alt havzalarda bu seviyenin yer üstüne çıkacağı ve yüzeyde akarsu akışı haline geçeceği beklenmektedir. Kurak mevsim akarsu akışı artışlarının temel etkeni olarak bu etkiler düşünülmüştür. Kurak mevsimde havzadaki su varlığının, referans sulak mevsim ortalamalarına yakınsaması ve mevsimsel akış geçişlerinin yumuşaması beklenmektedir.

Sulak-kurak mevsim akarsu akışlarının birbirine yakınsaması, kurak mevsimlerdeki akarsu akışlarının artması havzadaki insan faaliyetlerini etkileyecektir. Havzanın yüksek hidroelektrik potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla halihazırda kurulu HES'lerin enerji üretim takvimlerinde değişiklikler olması beklenmekte ve enerji üretim ihtiyacının sürekli olarak karşılanabilmesi için yeniden planlamalar yapmak gerekmektedir. Tarımsal sulama suyunun karşılanması için sulak mevsime göre tasarlanmış göletlerin su yüksekliğinin istenilen zamanda planlanan değere erişememesi riski neticesinde tarımsal faaliyetlerde aksaklıklar meydana gelebilecektir. Mevsimsel olarak yaşanması beklenen değişimlere

karşı, içme ve kullanma suyu temini konusunda sürdürülebilirliği sağlamak için sürdürülebilir planlamalar yaparak beklenen riski kontrol altında tutmak gerekmektedir.

Tablo 3.105. KDM'lere göre ortalama mevsimlik akışlarının rölatif değişimi (%)

KDM	Periyot	Sulak Mevsim		Kurak Mevsim	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
GFDL-ESM2M	P1	-27	-25	127	139
	P2	-25	-22	121	131
	P3	-25	-23	118	110
HadGEM2-ES	P1	-43	-43	77	71
	P2	-44	-50	74	67
	P3	-45	-55	81	69
MPI-ESM-MR	P1	-30	-31	85	79
	P2	-30	-33	80	61
	P3	-30	-36	69	37

3.13. Düşük ve Yüksek Akarsu Akışlarına İklim Değişikliğinin Etkilerinin Araştırılması

Akarsu akışında yaşanacak değişimler akarsu sistemlerinde pek çok değişikliğe neden olmaktadır. Düşük akarsu akışları, geleneksel kirleticilerden (askıda katı madde miktarı, fosfor gibi), dışkı koliformlarından ve zehirli maddelerden flora ve faunanın korunması, içme suyu kaynaklarının korunması ve planlanması ayrıca sucul organizmaların ve karasal yaban hayatının korunması gibi amaçlar ile kullanıldığından havza için dikkatle incelenmesi gereklidir (Dallaire vd., 2021). Günlük ortalama akış değerleri pik akışlar ile yakından ilişkilidir bu sebeple akarsu üzerindeki yüksek akışlar taşkın oluşumu ve su yapılarının tasarlanması ve kontrol edilmesi açısından incelenmesi gereken önemli parametrelerdendir (Taguas vd., 2008). Akarsu akış değeri yükseldikçe suyun erozyon etkisi ve taşıdığı sediment yükü artmaktadır (Lefrançois vd., 2007) bu sebeple yüksek akışların havzadaki verimli toprağı aşındırdığı ve su yapılarının ekonomik ömürlerini etkileyen en önemli faktörlerden olan sediment birikimini arttırdığı

düşünüldüğünden, yüksek akışların sıklığının ve miktarının gelecek dönemler için incelenmesi gerekmektedir.

Doğu Karadeniz Havzası akarsu akışları üzerindeki, iklimde yaşanması beklenen değişimlerin etkileri dönemsel ve mevsimsel olarak daha önceki bölümlerde incelenmiş olup bu bölümde tarihsel veriler ile kalibre edilmiş ve akarsu akışı tahmini konusunda performansı en yüksek olan SPM kullanılarak 22. yüzyıla kadar tahmin edilen, günlük ortalama akarsu akışı değerleri ile oluşturulmuş yıllık veri setleri için Debi Süreklilik Eğrileri (DSE) elde edilmiştir. Elde edilen DSE'lerden belli aşılma olasılıklarına göre yüksek ve düşük akışlar tespit edilmiştir. Çalışmada DSE'lere göre %5 aşılma olasılığına karşılık gelen debi değerleri "Yüksek Akış" (Q_5), %95 aşılma olasılığına karşılık gelen debi değerleri "Düşük Akış" (Q_{95}) olarak adlandırılmıştır (Tsarouchi, 2014).

Analiz bölgelerinde düşük ve yüksek akışların gelecek dönemde değerlendirilmesi için referans değerler kullanılmıştır. Referans değerler, her analiz bölgesinde en iyi SPM araştırmasında kalibrasyon verisi olarak kullanılan veri setlerinden elde edilmiştir. Analiz bölgesinde gözlenmiş tarihsel veriler yıllara göre ayrılmış ve her yıl için DSE elde edilmiştir. Elde edilen DSE'lerden %5 ve %95 aşılma olasılığına karşılık gelen değerlerin ortalama değeri bulunarak yüksek ve düşük akış referans değerleri (sırasıyla Q_{5ref} ve Q_{95ref}) belirlenmiştir (Tsarouchi, 2014). Analiz bölgelerine göre referans akış değerleri ve akış değerlerini belirlerken kullanılan gözlem yılı sayısı Tablo 3.106'da gösterilmiştir.

Yüksek ve düşük akışların değerlendirilmesi için tahmin edilmiş akış verilerinden elde edilen DSE'ler kullanılarak bulunan Q_{95} ve Q_5 değerleri, incelenen yıl aralığının uzun olması nedeniyle çalışmada belirlenen zaman periyotlarında (Yakın gelecek, orta uzak gelecek ve uzak gelecek) ortalama değerler alınarak incelenmiştir. İklim projeksiyon verilerinden tahmin edilen akarsu akışı verilerinin, analiz bölgesinde tarihsel veriler kullanılarak elde edilen referans değerlere göre rölatif değişimi değerlendirilmiştir. Referans değerlere göre hesaplanan rölatif değişim katsayıları, KDM ve farklı konsantrasyon senaryolarına göre dönemsel olarak Q_{95} ve Q_5 için sırasıyla Tablo 3.107 ve Tablo 3.108'de verilmiştir.

Tablo 3.106. Düşük ve yüksek akış referans değerleri ve gözlem süreleri

Analiz Bölgesi	Gözlem Süresi (yıl)	Q_{5ref} (m³/s)	Q_{95ref} (m³/s)	Analiz Bölgesi	Gözlem Süresi (yıl)	Q_{5ref} (m³/s)	Q_{95ref} (m³/s)
VG 1	10	72,98	9,48	VG 10	10	7,59	0,53
VG 2	10	26,55	1,81	VG 11	10	28,98	3,94
VG 3	10	39,47	2,56	VG 12	10	36,90	1,61
VG 4	10	20,78	2,46	VG 13	9	23,78	1,53
VG 5	9	13,53	0,78	VG 14	10	16,08	1,75
VG 6	9	69,61	2,03	VG 15	10	23,07	1,55
VG 7	7	12,99	0,87	VG 16	10	9,51	1,00
VG 8	7	29,63	0,93	VG 17	10	17,79	0,52
VG 9	5	17,08	0,79				

Tablo 3.107. KDM ve konsantrasyon senaryolarına göre Q₉₅ rölatif değişimi (%)

Analiz Bölgesi	GFDL-ESM2M					
	P1 (RCP4.5)	P1 (RCP8.5)	P2 (RCP4.5)	P2 (RCP8.5)	P3 (RCP4.5)	P3 (RCP8.5)
VG 1	-9	-9	-9	-7	-9	-6
VG 2	-44	-48	-41	-38	-47	-22
VG 3	-64	-65	-64	-63	-62	-60
VG 4	-24	-23	-20	-17	-22	-11
VG 5	-72	-59	-68	-62	-64	-57
VG 6	50	71	73	85	61	80
VG 7	-36	-30	-30	-21	-31	-10
VG 8	-51	-46	-47	-39	-49	-36
VG 9	-15	-23	-3	-15	-12	4
VG 10	-55	-43	-48	-39	-42	-32
VG 11	-9	-9	-7	-6	-9	-1
VG 12	-43	-40	-44	-34	-39	-34
VG 13	-61	-54	-59	-45	-52	-36
VG 14	53	37	54	40	53	48
VG 15	-31	-28	-23	-12	-31	-10
VG 16	-8	-8	-10	-9	-4	-2
VG 17	-38	-40	-41	-37	-40	-33

Tablo 3.107'nin devamı.

Analiz Bölgesi	HadGEM2-ES					
	P1 (RCP4.5)	P1 (RCP8.5)	P2 (RCP4.5)	P2 (RCP8.5)	P3 (RCP4.5)	P3 (RCP8.5)
VG 1	-2	-3	-3	-2	1	-6
VG 2	-10	-8	-5	-4	0	1
VG 3	-68	-63	-64	-65	-59	-60
VG 4	9	13	13	16	19	29
VG 5	15	-51	28	-57	63	-45
VG 6	69	73	62	45	66	28
VG 7	1	1	1	-25	4	-24
VG 8	-51	-52	-52	-55	-51	-56
VG 9	-41	-34	-47	-60	-44	-62
VG 10	-28	-16	-27	-30	-11	-30
VG 11	13	12	12	8	15	-2
VG 12	-51	-49	-55	-57	-54	-49
VG 13	-60	-53	-59	-69	-58	-70
VG 14	58	59	60	62	67	74
VG 15	-24	-19	-25	-50	-32	-60
VG 16	26	17	30	23	24	20
VG 17	-55	-52	-58	-59	-56	-65

Tablo 3.107'nin devamı.

Analiz Bölgesi	MPI-ESM-MR					
	P1 (RCP4.5)	P1 (RCP8.5)	P2 (RCP4.5)	P2 (RCP8.5)	P3 (RCP4.5)	P3 (RCP8.5)
VG 1	-4	-5	-3	-3	-3	-6
VG 2	-16	-25	-15	-13	-12	-14
VG 3	-68	-67	-67	-69	-65	-72
VG 4	5	2	7	10	9	10
VG 5	-59	-59	-57	-55	-57	-52
VG 6	76	59	78	41	64	-1
VG 7	1	-9	6	3	2	-34
VG 8	-51	-49	-45	-54	-50	-59
VG 9	-29	-35	-26	-45	-31	-63
VG 10	-38	-38	-33	-36	-29	-47
VG 11	5	3	6	8	8	1
VG 12	-42	-51	-41	-46	-39	-56
VG 13	-46	-51	-45	-52	-45	-60
VG 14	54	52	55	60	58	65
VG 15	-13	-18	-10	-23	-6	-48
VG 16	15	14	12	6	13	-8
VG 17	-52	-58	-56	-58	-54	-61

Tablo 3.108. KDM ve konsantrasyon senaryolarına göre Q₅ rölatif değişimi (%)

Analiz Bölgesi	GFDL-ESM2M					
	P1 (RCP4.5)	P1 (RCP8.5)	P2 (RCP4.5)	P2 (RCP8.5)	P3 (RCP4.5)	P3 (RCP8.5)
VG 1	-20	-21	-20	-20	-21	-21
VG 2	-12	-12	-11	-10	-13	-12
VG 3	-32	-31	-31	-31	-32	-32
VG 4	-34	-34	-33	-32	-33	-32
VG 5	-24	-22	-23	-21	-22	-23
VG 6	-14	-11	-13	-14	-12	-18
VG 7	-34	-34	-34	-33	-35	-33
VG 8	-21	-20	-22	-22	-22	-24
VG 9	-27	4	-27	5	-26	3
VG 10	-21	-20	-21	-19	-21	-21
VG 11	-27	-27	-27	-27	-28	-28
VG 12	-34	-33	-33	-33	-33	-35
VG 13	-27	-26	-27	-26	-27	-29
VG 14	-42	-36	-43	-34	-42	-35
VG 15	-43	-43	-43	-43	-44	-44
VG 16	-46	-47	-47	-47	-47	-47
VG 17	-32	-29	-31	-27	-26	-31

Tablo 3.108'in devamı.

Analiz Bölgesi	HadGEM2-ES					
	P1 (RCP4.5)	P1 (RCP8.5)	P2 (RCP4.5)	P2 (RCP8.5)	P3 (RCP4.5)	P3 (RCP8.5)
VG 1	-22	-22	-23	-23	-23	-22
VG 2	-18	-17	-16	-18	-18	-16
VG 3	-31	-30	-30	-32	-31	-32
VG 4	-34	-33	-34	-34	-33	-34
VG 5	-15	-24	-16	-25	-15	-26
VG 6	-25	-24	-25	-24	-22	-25
VG 7	-33	-33	-33	-32	-33	10
VG 8	-21	-20	-23	-24	-22	-26
VG 9	-28	-26	-26	-27	-25	-27
VG 10	-18	-15	-18	-19	-17	-20
VG 11	-28	-28	-29	-29	-29	-29
VG 12	-33	-32	-33	-34	-32	-36
VG 13	-26	-25	-28	-29	-27	-31
VG 14	-32	-32	-32	-31	-29	-30
VG 15	-44	-44	-45	-45	-44	-45
VG 16	-50	-50	-51	-50	-49	-51
VG 17	-29	-25	-25	-26	-25	-28

Tablo 3.108'in devamı.

Analiz Bölgesi	MPI-ESM-MR					
	P1 (RCP4.5)	P1 (RCP8.5)	P2 (RCP4.5)	P2 (RCP8.5)	P3 (RCP4.5)	P3 (RCP8.5)
VG 1	-19	-18	-18	-19	-18	-19
VG 2	-5	-4	-2	-4	-4	-6
VG 3	-39	-39	-39	-40	-39	-42
VG 4	-36	-36	-36	-36	-36	-37
VG 5	-30	-30	-29	-31	-31	-32
VG 6	-25	-23	-26	-27	-25	-32
VG 7	-40	-41	-41	-40	-40	-14
VG 8	-34	-34	-34	-37	-35	-39
VG 9	-37	-39	-38	-40	-38	-42
VG 10	-33	-33	-33	-34	-33	-38
VG 11	-27	-27	-27	-26	-27	-27
VG 12	-44	-43	-44	-45	-43	-47
VG 13	-38	-38	-37	-39	-37	-42
VG 14	-33	-33	-35	-33	-34	-29
VG 15	-45	-45	-45	-45	-45	-46
VG 16	-48	-48	-49	-49	-49	-48
VG 17	-38	-40	-40	-40	-38	-41

- Düşük akarsu akışı değerlendirilmesi

Düşük akarsu akışları akarsu su varlığının sürdürülebilirliğinin incelenmesi açısından önemli bir parametredir. Çalışmada düşük akarsu akışları, en iyi SPM kullanılarak tahmin edilmiş akarsu akışı verilerinin, gözlenmiş verilerden elde edilen referans değerlere göre rölatif değişimi incelenerek değerlendirilmiştir. Yapılan akarsu akışı tahminlerinden elde edilen düşük akış verileri, 22. yüzyıla kadar uzun bir zaman aralığını kapsadığından değerlendirmeler çalışmada belirlenen zaman periyotlarındaki ortalama değerler kullanılarak analiz bölgeleri özelinde ve analiz bölgelerinden elde edilen bulgular kullanılarak bölgesel nitelikte yapılmıştır.

Havzadaki analiz bölgeleri değerlendirildiğinde, lokal olarak düşük akışların havza genelinde referans değere göre azalışta olduğu görülmektedir. Genel havza durumundan farklı olarak, KDM verileri ve konsantrasyon senaryolarına göre artış gösteren analiz bölgeleri de bulunmaktadır. GFDL-ESM2M KDM verilerine göre düşük akışların, VG6 ve VG14 analiz bölgelerinde, HadGEM2-ES KDM verilerine göre VG4, VG5, VG6, VG11, VG14 ve VG16 analiz bölgelerinde, MPI-ESM-MR KDM verilerine göre VG4, VG6, VG11, VG14, VG16 analiz bölgelerinde düşük akışlarda artış beklenmektedir. Havza genelinde RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında tahmin edilen akarsu akışlarının, RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında tahmin edilen akarsu akışlarına göre daha uç değerlerde değişim göstereceği tespit edilmiştir.

Tüm analiz bölgelerinde yapılan ortak değerlendirmeden elde edilen toplam değişimler Tablo 3.109'da gösterilmiştir. Tablo 3.109'a göre RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında GFDL-ESM2M KDM yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak tahmin edilen akışlar, tüm dönemlerde diğer KDM verileri kullanılarak tahmin edilen akışlara göre negatif yönde daha büyük değişimlerin gözlemlendiği sonuçlar göstermiştir. RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında ise MPI-ESM-MR KDM verileri kullanılarak tahmin edilmiş akış değerleri referans değere göre daha düşük sonuçlar göstermiştir.

Analiz bölgelerindeki lokal değerlendirmeler kullanılarak havzada yapılan bölgesel değerlendirmede, ortalama dönemsel düşük akış değerlerinin yıllara göre değişimleri P1, P2 ve P3 periyotlarında sırasıyla Şekil 3.100, Şekil 3.101 ve Şekil 3.102'de verilmiştir. Havza ortalama düşük akış değerlerinin referans değerlerden daha düşük olduğu yıllar, akarsularda kuraklık riskinin artacağı ve akarsu akışının düşüklüğü sebebiyle çevresel zararlara yol açacağı düşünülen yıllar olduğundan, çalışmada belirlenen zaman

periyotlarını temsil eden yıllarda tahmin edilen bölgesel düşük akış değerlerinin referans değerden küçük olduğu yıllar “riskli yıllar” olarak adlandırılmıştır. KDM ve konsantrasyon senaryosuna göre havzadaki riskli yıl sayıları Tablo 3.110’da verilmiştir.

Tablo 3.109. Düşük akarsu akışlarının havzadaki dönemsel ortalama rölatif değişimleri (%)

Konsantrasyon Senaryosu	Dönem	GFDL-ESM2M	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR
RCP4.5	P1	-27	-12	-15
	P2	-23	-11	-14
	P3	-24	-6	-14
RCP8.5	P1	-24	-13	-20
	P2	-19	-22	-19
	P3	-13	-22	-30

Havzada gelecek dönemde yaşanacak iklimsel değişimlerin eğilimlerine bakılarak yapılacak gelecek kestirimleri için kullanılabilecek farklı konsantrasyon senaryoları altındaki farklı KDM tahminlerinde düşük akarsu akışı verilerinin, referans değerlere göre düşük olduğu yıllar, havzadaki akarsularda suscul ve vahşi yaşamın devamlılığı, akarsulardaki kirlilik oranının artması, su kalitesinin düşmesi ve içme, kullanma ve sulama suyu varlığının tehlikeye girmesi gibi konularda kritik olarak değerlendirilmiştir.

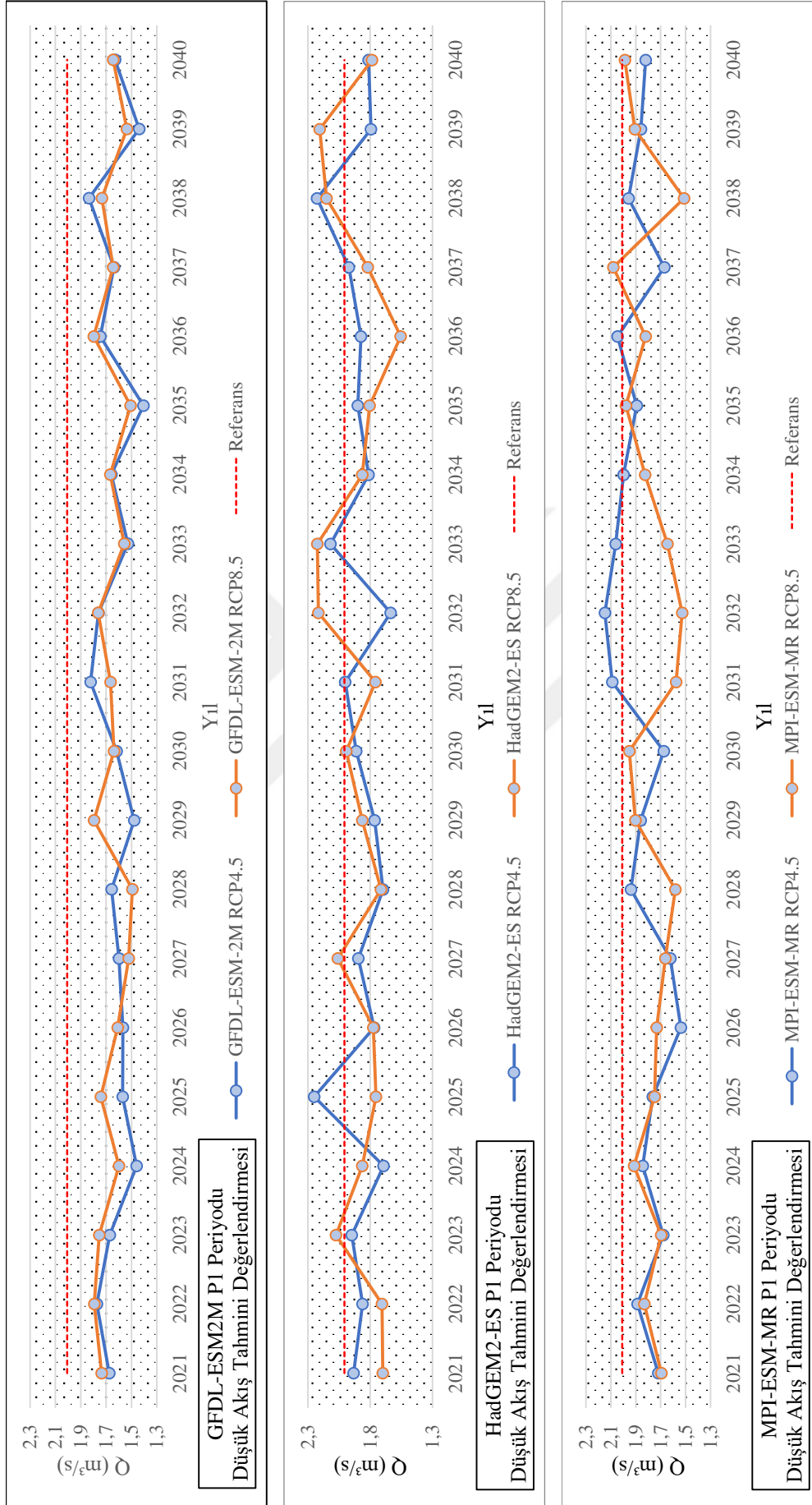
Tablo 3.109’da elde edilen veriler incelendiğinde; RCP4.5 konsantrasyon senaryosu koşulları altında GFDL-ESM2M KDM, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu koşulları altında MPI-ESM-MR KDM verilerinin kritik sonuçlar elde ettiği belirlenmiştir. İklimde yaşanması beklenen değişimlere karşı havzada akarsu akışlarının istatistiksel açıdan anlamlı şekilde etkileneceği görülmektedir. Düşük akışlarda yaşanacak azalmaların tüm KDM ve konsantrasyon senaryoları altında havza genelinde yakın gelecekte başlamak üzere yüzyılın sonlarına kadar süreceği öngörülmektedir.

İklimsel projeksiyon verilerinin eğiliminin araştırıldığı analizlerde genel olarak günlük ortalama sıcaklık değerlerinin artış eğiliminde olduğu ve günlük toplam yağış değerlerinin ise kısmen düşüş eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Havza genelinde yapılan anomali incelemelerinde, trend analizlerine benzer şekilde, referans alınan döneme göre

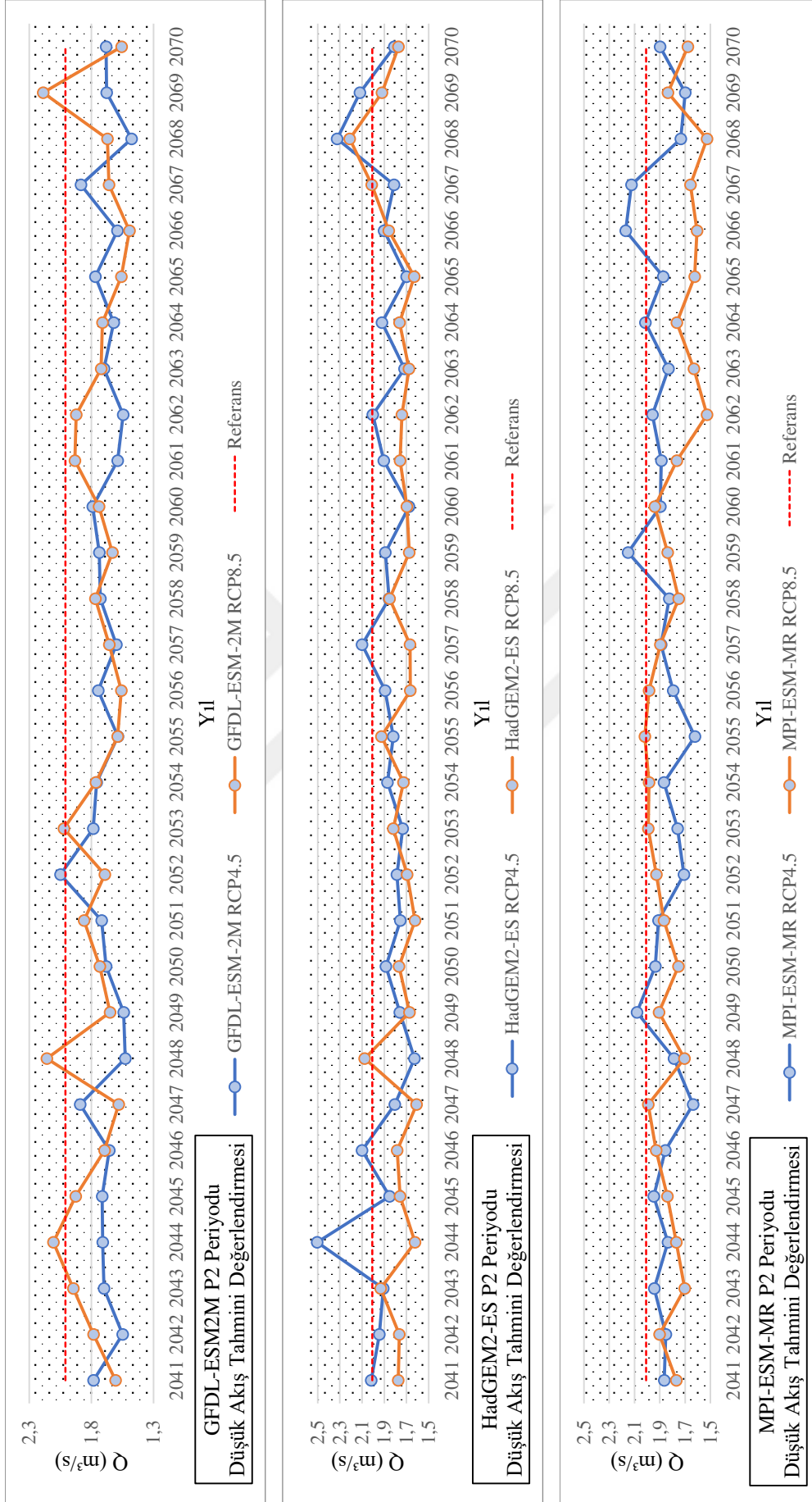
sıcaklıkların dönemsel olarak artış göstereceği, havzanın batı ve orta kısımlarında yağışların düşüş göstereceği bulunmuştur. Havzada artan sıcaklıkların buharlaşmayı arttıracak ve havzadan buharlaşma ile uzaklaşan su miktarını da arttıracak, artan sıcaklık etkisi altında zemin içerisindeki nemi koruyamayarak kaybedeceği ve havzada sızma kapasitesinin de artacağı öngörülmektedir. Sayılan sebeplere bağlı olarak akarsularda akış halindeki su miktarının düşük akış koşullarında bir miktarının buharlaşma ile atmosfere karışması bir miktarının da yer altı suyuna karışması beklenmektedir. Havzanın orta ve batı kısımlarında azalan yağışlar sebebiyle havzaya giren su miktarının da azalması neticesinde düşük akışların iklim değişikliğinden etkilenme düzeyinin kuvvetli olduğu ve çalışmada incelenen zaman periyotlarını kapsayan yılların %50'sinden fazla bir zamanında düşük akışların azalacağı düşünülmektedir.

Tablo 3.110. Doğu Karadeniz Havzası'nda düşük akışlara göre periyotlardaki riskli yıl sayıları

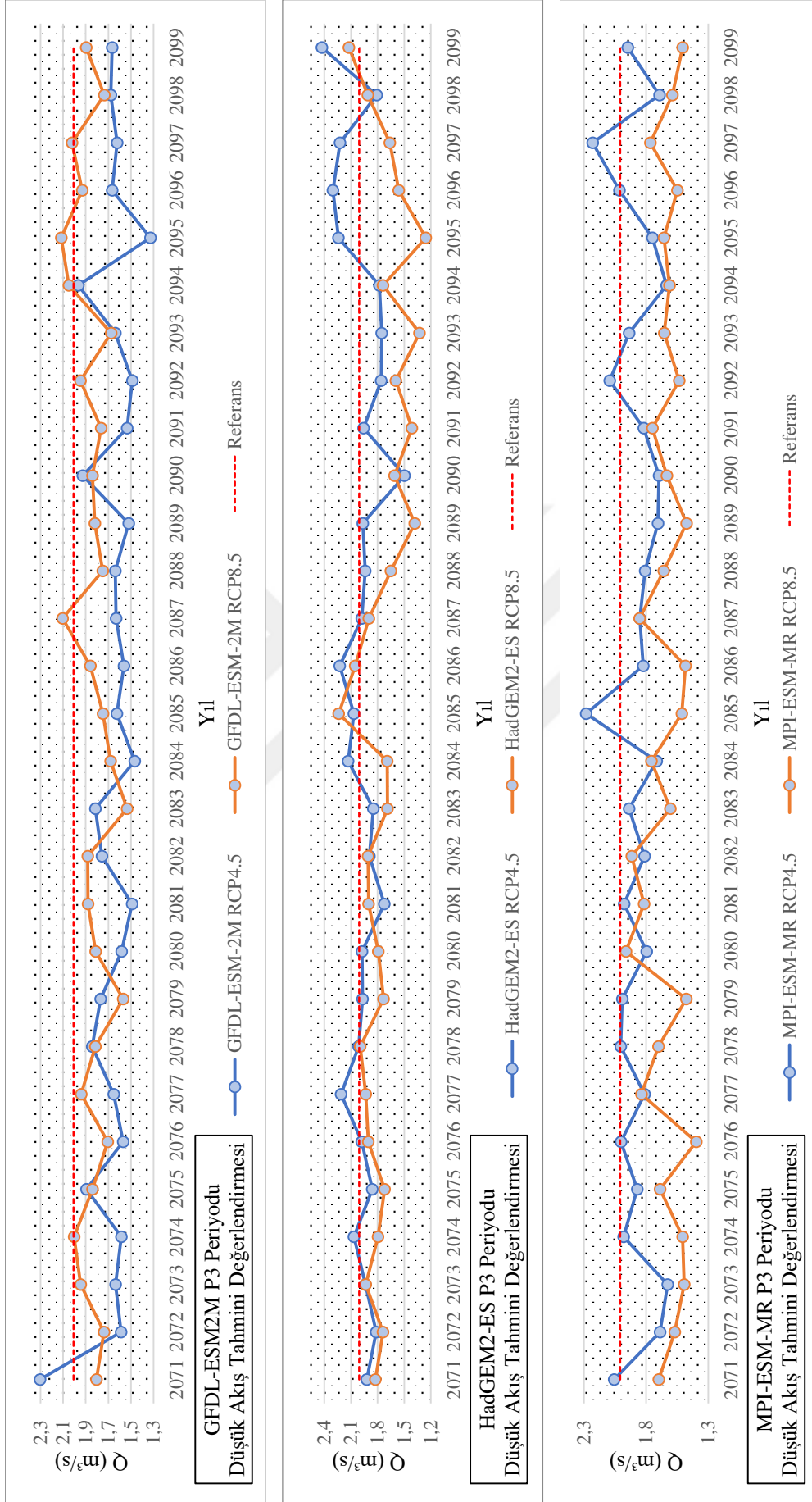
Konsantrasyon Senaryosu	Periyot (ΣYıl)	GFDL-ESM2M (Yıl)	HadGEM2-ES (Yıl)	MPI-ESM-MR (Yıl)
RCP4.5	P1 (20)	20	17	16
	P2 (30)	29	24	25
	P3 (29)	28	19	24
RCP8.5	P1 (20)	20	14	19
	P2 (30)	26	3	29
	P3 (29)	25	26	29



Şekil 3.100. Doğu Karadeniz Havzası P1 periyodu düşük akarsu akışı değerlendirilmesi



Şekil 3.101. Doğu Karadeniz Havzası P2 periyodu düşük akarsu akışı değerlendirilmesi



Şekil 3.102. Doğu Karadeniz Havzası P3 periyodu düşük akarsu akışı değerlendirilmesi

- Yüksek akarsu akışı değerlendirmesi

DSE’lerde %5 aşılma olasılığına karşılık gelen yüksek akarsu akışı, düşük akarsu akışında olduğu gibi önemle incelenmesi gereken süreçlerdendir. Akarsu akışının aşındırıcı etkisinin yüksek akışlar sırasında artması, taşıdığı sediment yükünün artması ile su tesislerini olumsuz etkilemesi ve günlük yüksek ortalamaların taşkın oluşturacak günlük maksimum debi ile yakından ilişkili olması sebebiyle çalışma kapsamında havza genelinde yüksek akarsu akışlarının iklim değişikliği altındaki değişimi araştırılmıştır. Havzadaki analiz bölgelerinde 22. yüzyıla kadar tahmin edilen akarsu akışı verilerinden elde edilen yüksek akış değerleri, tarihsel veri setleri için hazırlanan DSE’lerden elde edilen ortalama yüksek akış değerleri referans değer kabul edilerek kıyaslanmıştır.

Analiz bölgelerindeki yüksek akış değerlerinin yıllık ortalamaları bulunarak havza genelinde bölgesel olarak inceleme yapılmıştır. Tablo 3.108’de görülen değerler incelendiğinde tüm KDM verilerinden tahmin edilen yüksek akışların, çalışmada kullanılan RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında, referans dönem ortalama yüksek akışlarına göre yaklaşık %35 oranında azaldığı görülmektedir. Elde edilen bu azalış bulgusu analiz bölgelerindeki ortalama dönemsel değişimleri temsil etmekte olup, analiz bölgelerinde günlük ölçekte yüksek debilerin, referans değer üzerine çıkan değerler aldığı gözlenmiştir.

KDM verilerinin eğilim araştırması sıcaklık verilerinde artan trend varlığı, yağış verilerinde ise azalan trend varlığı olacağını göstermiştir. Bu bulgularla birlikte sıcaklık ve yağış anomalisi hesaplamaları değerlendirildiğinde bölgede yüksek akışların gerçekleşeceği dönemlerde artan sıcaklıklar ve buna bağlı artan buharlaşma ve sızma neticesinde yüzeyde akarsu akışından su kütlesinin kaybedilmesinin yüksek akarsu akışlarının, referans değerinin altında kalmasının temel sebebi olarak düşünülebilir.

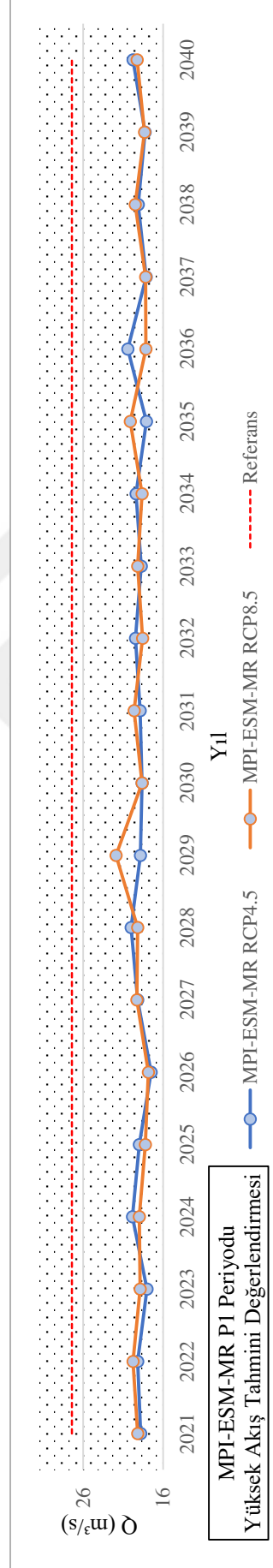
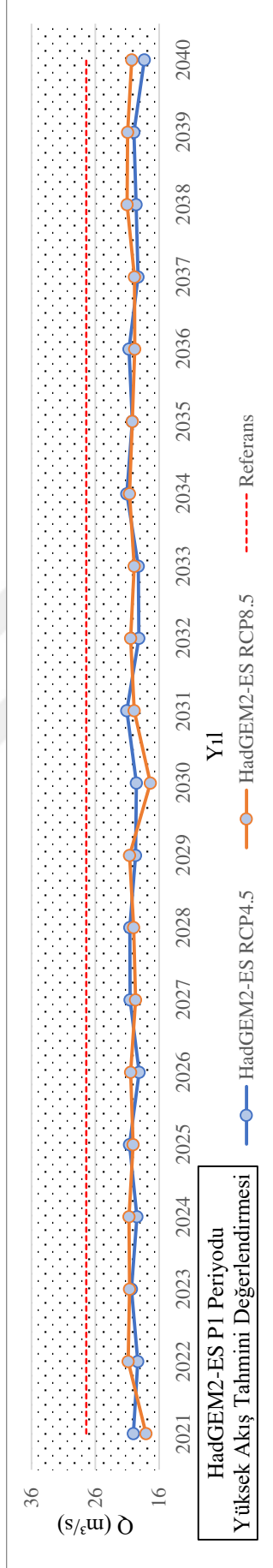
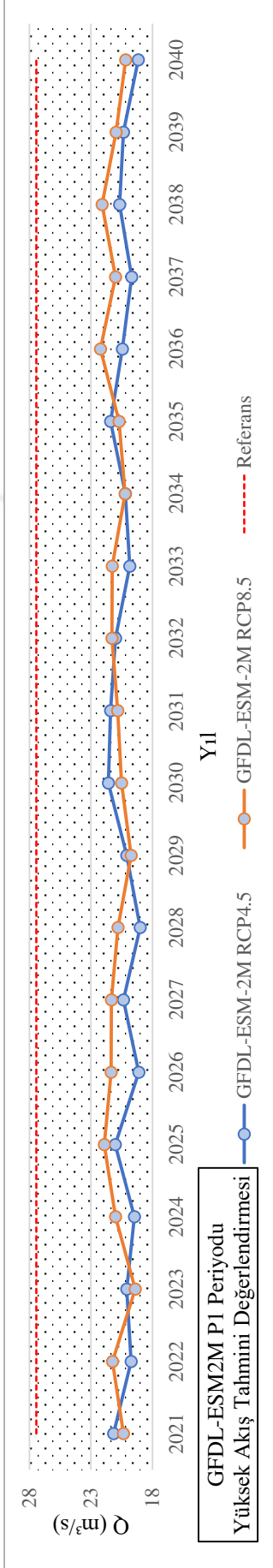
Tablo 3.111’de bölgesel olarak gelecek yüksek akarsu akışlarının, referans dönem ortalamalarına göre ortalama rölatif değişimi görülmektedir. Tablo 3.111’deki bölgesel rölatif değişimler incelendiğinde tüm KDM verileri ve tüm senaryolar altında yüksek akarsu akışlarının bölgesel olarak %20’nin üzerinde azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek akışlardaki azalmaların en çok izlendiği KDM MPI-ESM-MR olmuştur. Bu KDM verilerine göre havzada yüksek akışların her dönemde %34 oranında azalması beklenmektedir.

Tablo 3.111. Yüksek akarsu akışlarının Doğu Karadeniz Havzası'ndaki dönemsel ortalama rölatif değişimleri

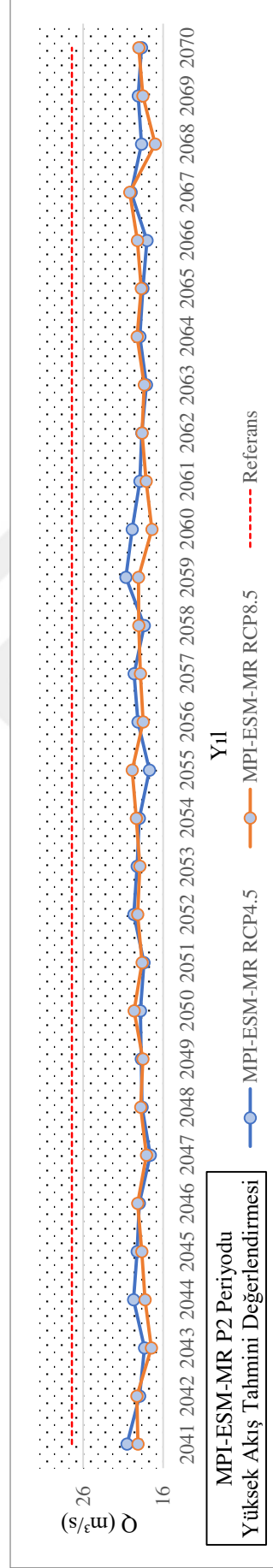
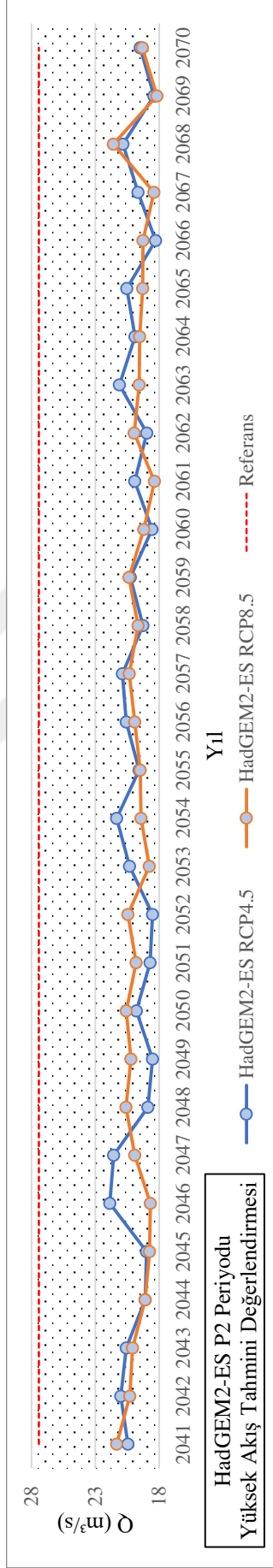
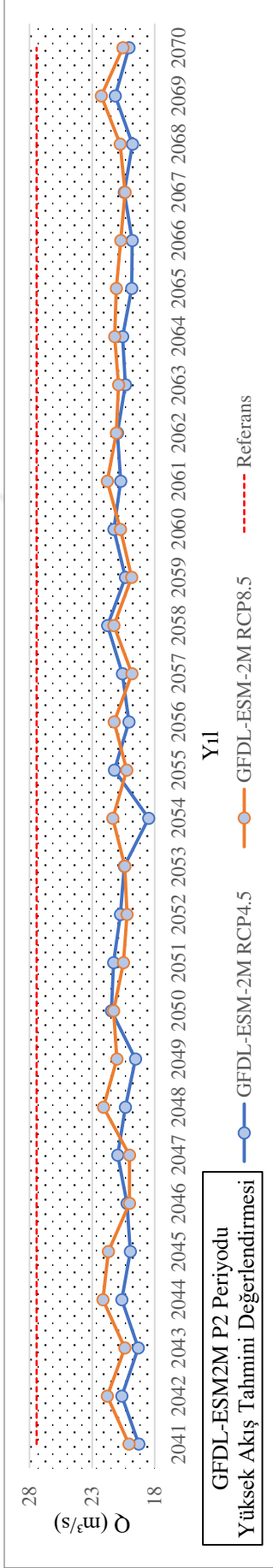
Konsantrasyon Senaryosu	Dönem	GFDL-ESM2M (%)	HadGEM2-ES (%)	MPI-ESM-MR (%)
RCP4.5	P1	-29	-29	-34
	P2	-29	-29	-34
	P3	-28	-28	-34
RCP8.5	P1	-26	-28	-34
	P2	-26	-30	-34
	P3	-27	-28	-34

Analiz bölgelerinde elde edilen yüksek akış değeri bulguları kullanılarak bölgesel yüksek akış değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bölgesel yüksek akış değerleri tarihsel verilerden elde edilen referans değerler ile kıyaslanarak yüksek akışlar için bölgesel olarak gidiş eğrileri elde edilmiştir. KDM'leri ve farklı konsantrasyon senaryolarına göre yıllar için yüksek akış değişimlerinin görüldüğü gidiş diyagramları Şekil 3.103, Şekil 3.104 ve Şekil 3.105'te gösterilmiştir.

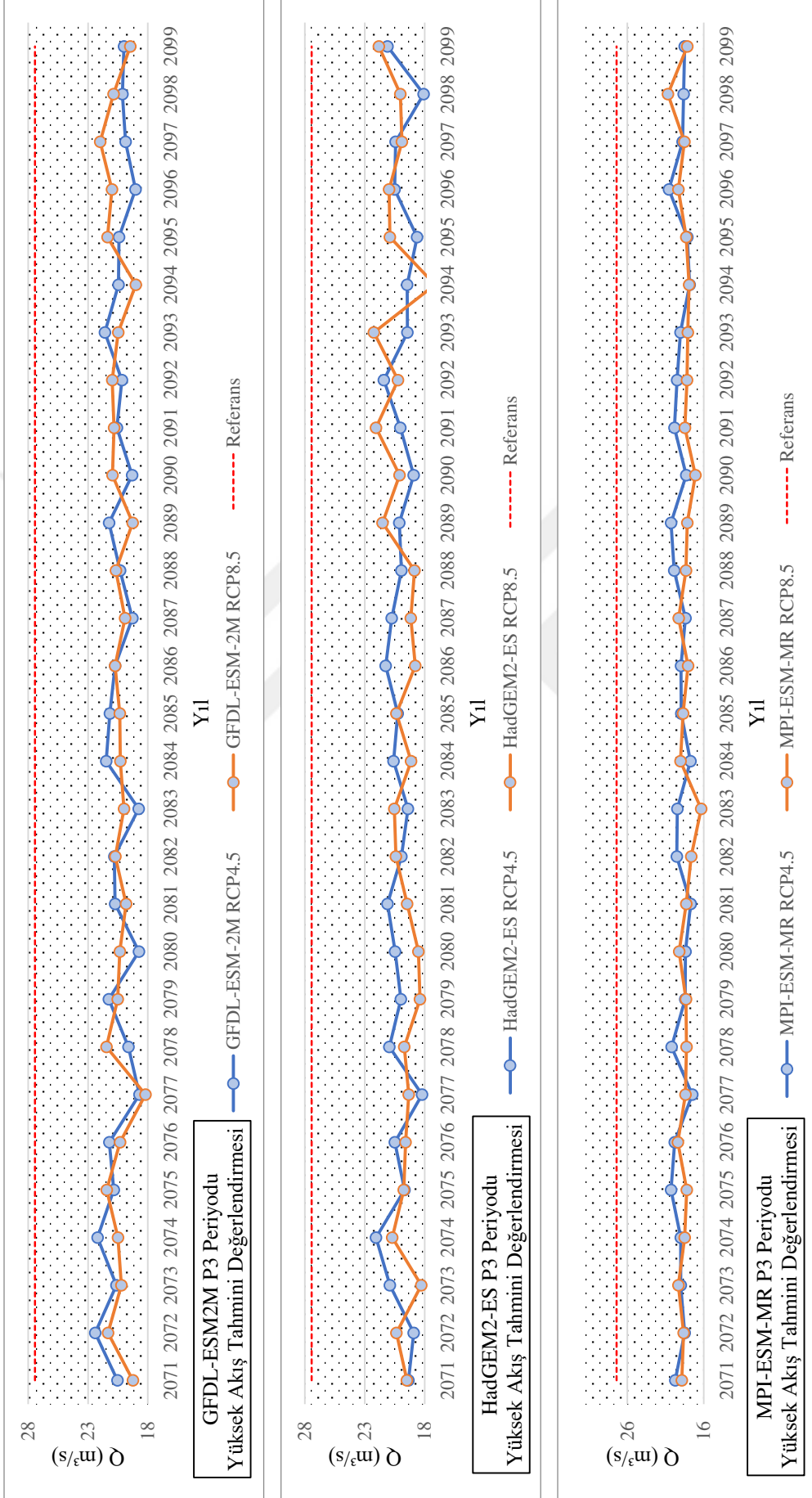
Şekil 3.103, Şekil 3.104 ve Şekil 3.105'teki diyagramlar incelendiğinde havza genelinde KDM verilerinden elde edilen akarsu akışı verilerine göre yüksek akışların, havzadaki tarihsel verilerden elde edilen referans yüksek akış değerlerinden daha düşük olacağı beklenmektedir. Bu durumda havzada günlük ortalama akışların azalış göstereceği ve havzadaki düşük akış ve yüksek akış değerlerinin birbirine yakınsayacağı söylenebilmektedir. Yüksek akışlardaki azalış havzadaki sediment taşınımını doğrudan ilgilendirdiğinden su yapılarının pratik ekonomik ömürlerinin planlanan düzeye yakınsayacağı ve tesislerin işletme için gerekli debiyi sağlaması durumunda, işletme veriminin uzun yıllarda artacağı düşünülmektedir. Suyun aşındırıcı etkisinin azalması neticesinde su ile etkileşim halinde olan köprü ayakları gibi yapıların daha az aşınacağı ve bakım onarım maliyetlerinin düşüş göstereceği söylenebilir.



Şekil 3.103. Doğu Karadeniz Havzası P1 periyodu yüksek akarsu akışı değerlendirilmesi



Şekil 3.104. Doğu Karadeniz Havzası P2 periyodu yüksek akarsu akışı değerlendirilmesi



Şekil 3.105. Doğu Karadeniz Havzası P3 periyodu yüksek akarsu akışı değerlendirilmesi

3.14. Çalışma Hakkında Genel Değerlendirme

Doğu Karadeniz Havzası yıllık yağış yüksekliği en fazla olan havzalar arasında ilk sıradadır ayrıca havzadaki su potansiyelinin tek başına Türkiye'nin su ihtiyacının %6,6'sını karşılayabileceği yapılan çalışmalarda görülmektedir. Havza bu yönüyle Türkiye için en önemli havzalar arasındadır. Çalışmada iklim değişikliği etkilerinin ölçüldüğü en önemli parametrelerden olan sıcaklık ve yağışın iklim değişikliği etkisi altında Doğu Karadeniz Havzası'nda akarsu akışlarına etkisi incelenmiştir. İklimsel incelemeler farklı KDM'lerin IPCC AR5 raporunda sera gazı salınımına göre önerdiği konsantrasyon senaryolarından, sera gazı salınımı artışının öngörüldüğü RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları etkisi altında modellenmesi sonucu oluşturulmuş veri setlerinin kullanılmasıyla iklim değişikliğinin akarsu akışlarına etkisi geniş perspektifle değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler içinde bulunduğumuz 21. yüzyılın sonuna kadar olan uzun bir zamanı kapsadığından, çalışmada literatüre uygun olarak üç farklı dönem belirlenmiştir. Belirlenen bu dönemler 2021-2040 yılları aralığı yakın gelecek, 2041-2070 yılları aralığı orta uzak gelecek ve 2071-2099 yılları aralığını kapsayan uzak gelecek olarak adlandırılmıştır.

Çalışmada incelenen Doğu Karadeniz Havzası engebeli bir topografik yapıya sahiptir. Meteorolojik parametrelerin ölçümünün yapıldığı Mİ'ler ile akarsu akışının ölçümünün yapıldığı AGİ konumları arasındaki yükselti farklılıkları iklimsel parametreleri etkilemektedir. Kısa mesafede değişkenlik gösteren yağmur geçişleri ve olası sıcaklık farkları veri setlerinde tutarsızlıklara sebep olmaktadır. Veri setlerindeki tutarsızlıklar akarsu akışı tahmin modellerinin performansını düşürmektedir. Bu sorunun aşılması amacıyla havzadaki AGİ ve Mİ konumları detaylı şekilde incelenmiş ve bu farklılıkların olumsuz etkilerinin en az yaşanacağı, aynı zamanda havza genelini en iyi temsil edecek istasyonlar seçilmiştir. Seçilen istasyonlarda günlük olarak oluşturulmuş veri setleri kontrol edilmiş ve serilerin birbirine uygunlukları değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılacak veri setlerinin genel karakteristiğini anlamak üzere temel istatistik parametreler hesaplanmıştır. Hesaplanan bu parametreler kullanılarak veri setlerinin birbirlerine uygunlukları değerlendirilmiştir. Çalışmanın başlangıcında, oluşturulacak akış tahmin modellerinin başarısını etkileyecek diğer bir husus olarak verilerin homojenliği incelenmiştir. Homojenlik incelemeleri her analiz bölgesinde, verilerin bölgeselleştirilmesi ile oluşturulan ve tarihsel girdi verisi olarak kullanılacak veri

setleri için yapılmıştır. Günlük veri setlerinin eleman sayısının fazla olması nedeniyle homojenlik analizlerinde ana kütleli temsil eden aylık alt seriler kullanılmıştır. Aylık ortalama, aylık medyan ve aylık maksimum alt serilerinin her biri dört farklı homojenlik test yöntemi ile test edilmiştir. Testler sonucunda her analiz bölgesinde ana kütleli homojenliğine karar vermek üzere toplam 12 adet parametre elde edilmiştir. Fazla sayıda parametrenin aynı anda değerlendirilmesini sağlamak amacıyla çalışmada skor değerlendirilmesi adı altında sonuç yorumlaması yapılmıştır. Yapılan homojenlik analizleri sonucunda verilerin homojen olduğu görülmüştür.

Akarsu akışı tahminlerinde geçmiş araştırmalar, tahminlerde kullanılacak bağımsız verilerin modellerin çıktı üretme performansını direkt olarak etkilediğini göstermiştir. Geçmiş çalışmalar incelendiğinde bu girdi setlerinin deneme yanılma yolu ile belirlendiği görülmüştür. Deneme yanılma yoluyla belirlenen girdi setleri modellerin optimum çözüme erişebilme imkanı, denemenin yapıldığı alan ile sınırlı kalmaktadır. Çalışmada akarsu akışının tahmin edilmesi için girdi setleri farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak oluşturulmuştur. Girdi setlerini oluşturmak üzere seçilen yöntemlerden ilki olan EAY girdi setinden üretilen çıktının hedef veri setine göre hata değerine, FS ise girdi setinden elde edilen çıktıların hedef veri seti ile korelasyonuna göre en uygun girdi setini belirlemek üzere kullanılmıştır. Böylece çözüm uzayındaki optimum çözüme erişme konusunda çok yönlü değerlendirme yapılarak girdi setleri oluşturulması sağlanmıştır.

Tarihsel veriler kullanılarak kalibre edilmiş SPM'lerin oluşturulması ve analiz bölgelerine göre performanslarının kıyaslanması çalışmanın ilk bölümünü oluşturmuştur. Akış tahmininde geçmiş çalışmalarda sık kullanılan sayısal yöntemlerden YSA ve ANFIS, bu modellere göre daha az kullanılan sezgisel regresyon yöntemi MARS ve havzada benzer kullanımına rastlanmamış olan ÇR ile denenen akış tahmin fonksiyonları en iyi SPM yapısını oluşturmak için kullanılmıştır. Tarihsel veri setleri kullanılarak tasarlanmış SPM yapıları literatürde benzer çalışmalarda kullanılan performans değerlendirme kriterlerine göre kıyaslanarak en yüksek performans değerine ulaşan SPM belirlenmiştir. Performans kıyaslamaları sonucunda analiz bölgelerine göre en yüksek performans değerinin elde edildiği SPM'lerin MARS ve ANFIS yöntemleri ile oluşturulmuş modeller olduğu belirlenmiştir.

Tarihsel veriler ile kalibre edilmiş SPM'lerin çıktı setleri hedef setlere göre incelendiğinde, SPM yapılarının pik debilerin tahmin edilmesi konusunda çok etkin olmadığı görülmüştür. Ani akış sıçramalarında pik debiye göre daha düşük debi değerleri

tahmin edilmiş ancak SPM'ler akışın ani yükseliş ve azalışlarındaki trendlerini yakalamışlardır. Meteorolojik parametrelerin ölçümünün yapıldığı bölgeler ile analiz yapılan AGİ bölgesi arasında olan engebeli topografya nedeniyle ölçümsel farklılıklar ortaya çıkmış ve veri setinde uyumsuzluklar görülmüştür. Girdi setlerinde yaşanan uyumsuzluklar ve uzun yıllar akarsu akışı modellemesi yapılacağından girdi setinde tahmin edilecek seriye dair geçmiş bilgileri içeren akış verilerinin kullanılamamış olması SPM'lerin pik debi değerlerini düşük performans ile tahmin etmesinin esas kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

İklim değişikliği etkisi altında akarsu akışlarının incelenmesi için farklı konsantrasyon senaryoları etkisi altında KDM'lere ait yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Gelecek akarsu akışının modellenmesi için kullanılacak bu projeksiyon veri setlerinin kendi içerisindeki değişiminin incelenmesi, yapılacak tahminlerde beklenen değerlerin belirlenmesi hususunda önem arz etmektedir. Bu sebeple yağış ve sıcaklık projeksiyon verilerinin trend analizi yöntemleriyle eğilim araştırması yapılmıştır. Trend analizinden elde edilen bulgular, Mann-Kendall yöntemine göre GFDL-ESM2M ve MPI-ESM-MR KDM'lerinin sıcaklık projeksiyon verilerinde RCP8.5 konsantrasyon senaryosu altında artan trend tespit edilmiş olup RCP4.5 konsantrasyon senaryosu altında kuvvetli bir trend bulgusu olmamış, HadGEM2-ES KDM sıcaklık projeksiyon verilerinde tüm konsantrasyon senaryoları etkisi altında artan trend tespit edilmiştir. Yağışlarda, HadGEM2-ES KDM projeksiyon verilerinde tüm konsantrasyon senaryoları etkisi altında azalan trend varlığı belirlenmiştir. Şen'in Yenilikçi Eğilim Yöntemine göre ise tüm KDM'lerde sıcaklık projeksiyon verilerinde artan yönde, yağış projeksiyon verilerinde RCP4.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında artan, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında ise azalan trend tespit edilmiştir. Trend analizlerinden elde edilen bulgular özet olarak; sıcaklık değerlerinde zamana bağlı bir artış, yağış verilerinde ise bölgesel olarak değişen artış ve azalışlar olduğunu göstermiştir.

Çalışmada iklim değişikliğinin akarsu akışı üzerindeki etkilerinin daha net bir şekilde anlaşılması ve KDM'lerin konsantrasyon senaryoları etkisi altında havza genelinde etkilerinin ortaya koyulması amacıyla, havza genelinde projeksiyon verilerinin dönemsel olarak anomali incelemesi yapılmıştır. Anomalilerin belirlenmesi için KDM'lerin geriye doğru çalıştırılması ile elde edilen 1971-2000 yılları aralığındaki veriler referans dönem olarak kabul edilmiştir. Havza genelinde sıcaklık anomalilerinin 21. yüzyıl sonuna kadar pozitif değerler alacağı, yağış anomalilerinin ise havzanın belirli bölgelerinde pozitif, geri

kalan bölgelerde ise negatif veya sifıra yakın değerler alacağı belirlenmiştir. Anomali değerleri incelendiğinde RCP4.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında beklenen sıcaklık artışlarının, RCP8.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında beklenen artışlardan daha düşük olacağı belirlenmiştir. Sıcaklık artışlarının 2040 yılına kadar olan dönemde daha az hissedileceği ve ilerleyen dönemlere göre artış miktarının fazla olacağı görülmüştür. Sıcaklıklar havzanın güney kesimlerinde daha yüksek pozitif anomali değerleri almıştır. Bu durumda havzanın güney kesimlerinin iklim değişikliği kaynaklı sıcaklık artışlarından daha fazla etkilenmesi beklenmektedir. Yağış anomalileri Trabzon ili dahil olmak üzere havzanın doğusunda pozitif veya sifıra yakın anomali değerleri alırken, havzanın batısına doğru gidildikçe yağış anomalilerinin negatif değerler aldığı görülmüştür. RCP4.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında yağış anomalilerinin daha geniş bölgelerde negatif değerler aldığı ancak RCP8.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında daha dar alanlarda negatif değerler aldığı görülmüştür. Bu durumdan havzada Trabzon ili ve doğusunda bulunan illerde sıcaklıkların ve yağışların artacağı, Giresun ili ve batısında bulunan illerde ise sıcaklıkların artacağı ve yağışların azalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Dönemsel incelemelerde uzun aralıkta veri kullanıldığından, günlük ekstrem etkiler ortaya koyulamamaktadır. Bu nedenle günlük yaşanacak ekstrem değişiklikler daha küçük ölçekte incelenmelidir.

Doğu Karadeniz Havzası'nda sıcaklık anomalilerinin havzanın güney kesimlerinde daha yüksek değerlere ulaştığı, denize yakın olan kuzey kesimlerde daha düşük olacağı görülmüştür. Yağışların havzanın doğu kesimlerinde daha yüksek artış göstereceği belirlenmiştir. Havzanın doğusunda sıcaklıkların artması yüksek kesimlerdeki kar erimelerine neden olabileceği ve yağışta yaşanacak artışların havzadaki yüksek eğim ve artan yapılaşma neticesinde yüzeye düşen suyun akışa geçme süresinin kısılması nedeniyle akarsu akışının hızlı bir şekilde artması olası bir durum olarak beklenmektedir.

Tarihsel veriler kullanılarak kalibre edilen ve yapılan performans değerlendirmesi sonucunda analiz bölgelerinde en yüksek performans değeri ile akış tahmini yapan SPM'ler belirlenmiştir. İklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için, farklı konsantrasyon senaryolarının etkisi altında KDM'lerin çalıştırılarak ürettiği yağış ve sıcaklık projeksiyon verileri girdi setinde kullanılarak, 21. yüzyılın sonuna kadar müstakbel akış tahmini yapılmıştır. SPM'lerden elde edilen müstakbel akış setlerinin çalışma kapsamında yapılan trend ve anomali araştırmalarına uygun şekilde değişim gösterdiği belirlenmiştir. Gelecek araştırmalarda

iklim değişikliğinin akarsu akışına etkisi hakkında, projeksiyon verileri incelenerek genel çıkarımlar yapmak mümkündür. Bazı istisna durumlarda yağışın pozitif anomali değeri aldığı yerlerde akarsu akışında azalmalar görölmüştür. Bu gibi bölgeler için artan sıcaklık neticesinde yaşanacak dönemsel akarsu akışı kayıplarının artan yağışlar ile geri kazanılamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Müstakbel akış veri setlerindeki değişimlerin konsantrasyon senaryolarının etkisi altında KDM verilerine göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. GFDL-ESM2M KDM verilerinden elde edilen müstakbel akışların dönemsel ortalamalarının P1'den P3 dönemine doğru artış gösterdiği ve RCP8.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında daha yüksek akış ortalamaları elde ettiği, HadGEM2-ES KDM verilerinden elde edilen müstakbel akışların dönemsel ortalamalarının dönemlere ve konsantrasyon senaryolarına göre belirli sabit bir değişim göstermediği ve MPI-ESM-MR verilerinden elde edilen müstakbel akışların dönemsel ortalamalarının P1'den P3'e doğru azalış gösterdiği ve RCP4.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir. Müstakbel akış veri setlerinin tamamında dönemsel standart sapma değerlerinin referans değere göre daha düşük olduğu görölmüştür.

Havza genelinde akarsu suyunun varlığı, RCP4.5 ve RCP8.5 konsantrasyon senaryoları altında farklı KDM verileri kullanılarak modellenen akarsu akışları kullanılarak dönemsel olarak incelenmiştir. Farklı konsantrasyon senaryolarının ve farklı KDM'lerin kullanımı havzada çok yönlü değerlendirme yapmaya olanak sağlamış olup, gelecekte gözlenecek iklimsel değişimlere göre çalışma bulgularının uyum sağlaması kolaylaştırılmıştır. Analiz bölgesinde tahmin edilen minimum ve maksimum akışlar değerlendirilerek havzadaki olumlu ve olumsuz durumlar hakkında değerlendirme yapılmıştır.

Nüfusun hızla artması beraberinde çok fazla ihtiyacı da getirmektedir. Artan temiz içme suyu ve kullanma suyu ihtiyacı, bölgedeki sanayileşmenin artması ile hammadde üretimi ve işlenmesi için kullanılacak su ihtiyacı ve tarımsal sulama suyu ihtiyacı gibi konularda ayrıca biriktirmeli HES yapılarındaki optimum su derinliğinin sağlanması konularında etkili planlamalar yapılması için akarsu akışlarının mevsimsel olarak incelenmesi önem arz etmektedir. Çalışmada havza için büyük önem arz eden bu konu, her analiz bölgesindeki tarihsel veriler incelenerek belirlenen kurak ve sulak mevsim dönemleri altında incelenmiştir. Analiz bölgelerindeki tarihsel veri kayıtlarına göre sulak mevsimlerin analiz bölgelerinin çoğunda benzer aralıklara denk geldiği ancak kurak

mevsimlerin analiz bölgelerine göre farklı dönemlere denk geldiği belirlenmiştir. Tespit edilen bu farklılıkların analiz bölgelerinde ölçüm yapılan istasyonların coğrafi farklılıkları, referans alınan tarihsel veri setlerinin zamansal aralıklarında yaşanan ve ölçüme etki eden farklı faktörler olabileceği düşünülmüştür. İklim değişikliği etkisi altında akarsu akışlarında kurak ve sulak mevsim için yapılan değerlendirmelerde referans alınan değerlere göre, sulak mevsimde akarsu akışı ortalamalarının azalacağı, kurak mevsimde ise akarsu akışı ortalamalarının artacağı belirlenmiştir. Havza genelinde kurak-sulak mevsim geçişlerinin iklim değişikliği etkisi altında yumuşayacağı ve sert geçişlerin azalacağı, havzadaki akarsu akışlarının ortalama bir değere yakınsayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Sulak mevsimde havza genelinde yaşanacak azalışlarda önemli düzeydeki etkiler arasında artan buharlaşma ve sızma kayıpları, kurak mevsimde yaşanacak artışların ise en önemli etkenleri arasında sıcaklığın artması ile birlikte eriyen kar kütlelerinin akışa geçmesi ve yeraltı suyu seviyesinin artması ile akarsu akışını beslemesi gösterilebilir.

İncelenen zaman aralıklarının uzun olması ve akış verilerinin bu dönem ortalamaları alınacak şekilde incelenmiş olması sebebiyle akarsu akışı verilerinin ekstrem değer değişimlerinin yıl içerisindeki etkileri geniş bir zaman aralığına yayılmıştır. Havzadaki akarsu akışı değişimlerinin günlük ölçeğe incelenerek iklim değişikliği etkisi altında bu sınır değerlerdeki değişimin ortaya koyulması, havzadaki akarsu akışına bağlı flora ve faunanın korunması, havzadaki su kalitesinin sınır değerler için tahmin edilmesi, havzada yaşanması muhtemel taşkınlar hakkında yaklaşık çıkarımlar yapılması gibi konularda sürdürülebilir planlamalar yapmak açısından oldukça önemlidir. Çalışmada günlük akış ortalaması mertebesinde akış incelemeleri yapılarak bu konulara çözüm aranmıştır. İklim değişikliği etkisi altında akarsu akışında düşük ve yüksek akışların değişimi, tarihsel veri setlerinden elde edilen bulgular referans alınarak incelenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Doğu Karadeniz Havzası akarsu akışlarına iklim değişikliğinin etkileri araştırılmıştır. Çalışma özet olarak dört ana kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk kısmı havzadaki gözlenmiş meteorolojik veriler kullanılarak akarsu akışını tahmin eden modellerin geliştirilmesi ve modeller arasından performansı en yüksek modelin belirlenmesidir. İkinci kısım iklim değişikliğinin yağış ve sıcaklıklar üzerindeki etkilerinin havza düzeyinde incelenmesi ve projeksiyon verilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesidir. Çalışmanın üçüncü kısmında en yüksek performans değerine ulaşılan SPM'lerde farklı konsantrasyon senaryoları ve KDM'lerden elde edilmiş sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak gelecek akarsu akışı tahmini yapılmıştır. Çalışmanın dördüncü kısmında elde edilen gelecek akarsu akışı bulguları kullanılarak havzada P1, P2 ve P3 dönemleri için akarsu suyu varlığı, kurak ve sulak mevsim akarsu akışları, Q_{95} ve Q_5 akarsu akışları incelenmiştir. Çalışma kapsamındaki bulgulardan elde edilen çıkarımlar maddeler halinde sunulmuştur.

Verilerin istatistiksel incelemesi ve optimum SPM yapısının belirlenmesi

- Günlük kaydedilmiş hidrolojik gözlem serilerinin homojenliğinin değerlendirilmesi konusunda aylık ortalama, aylık medyan ve aylık maksimum alt serilerinin kullanımının uygun olduğu görülmüştür.
- Homojenlik testlerinden elde edilen parametre sayısının fazla olması durumunda, ortak değerlendirme yapmak üzere skor değerlendirmesi yönteminin uygunluğu belirlenmiştir.
- Makine öğrenmesi gerçekleştiren yöntemler ile tasarlanan SPM yapılarında girdi setlerinin FS ve EAY yöntemleri ile seçilmesinin tasarım süresini kısalttığı ve belirlenen aralıkta tüm girdi kombinasyonların denenmesini sağladığı görülmüştür.
- SPM'lerde performansı en yüksek girdi setlerinin %65 oranında EAY ile oluşturulduğu tespit edilmiştir.

- SPM tasarımı MARS ve ANFIS yöntemlerinin, çalışmada kullanılan diğer yöntemlere göre daha yüksek performans değerlerine eriştiği görülmüş ve tasarlanan SPM'lerin %90'ında girdi setindeki parametre sayısındaki artışın performansı olumlu etkilediği belirlenmiştir.
- SPM kalibrasyonunda kullanılan akış verilerinin ölçümünün yapıldığı alanlar ile meteorolojik parametrelerin ölçümünün yapıldığı alanlar arasında yer alan yoğun engebeli topografya, klimatolojik ve çevresel farklılıklar oluşturduğundan, veri setlerinde sıcaklık ve yağış verilerinin değişimi her zaman akış verilerinin değişimine paralel olmamıştır. Bu nedenle, tasarlanan SPM'lerden elde edilen bulgular, SPM'lerin günlük pik debileri ve zaman serisinde yaşanan ani değişimleri tahmin performansının düşük olduğunu göstermiştir.

Senaryo ve KDM bazlı istatistiksel inceleme ve iklimsel anomalilerin havza ölçeğinde değerlendirilmesi

- Sıcaklık projeksiyon verilerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında tüm KDM'ler için artış trendi gösterdiği ve sıcaklıktaki artış trendlerinin değişim miktarının RCP8.5 konsantrasyon senaryosu etkisi altında daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Yağış verilerinde senaryo ve KDM bazlı farklı trend bulguları yapılmış olup, seçilen senaryo ve KDM tipine göre trend bulguları değişkenlik göstermektedir.
- Havzada sıcaklık anomali değerlerinin ortalama olarak, RCP4.5 senaryosu etkisi altında P1 döneminde 1,2°C, P2 döneminde 1,8°C ve P3 döneminde 2,1°C düzeyinde olduğu RCP8.5 senaryosu etkisi altında dönemlere göre sırasıyla 1,4°C, 2,5°C, 4°C düzeyinde olması beklenmektedir.
- Sıcaklık artışlarının çalışma kapsamında değerlendirilen tüm KDM'ler için havzanın kıyıdan uzak olan güney kesimlerinde daha hissedilir olması beklenmektedir.
- Havzada yağış anomalilerinin ortalama olarak, RCP4.5 senaryosu etkisi altında P1 döneminden P3 dönemine doğru pozitif yönde artış göstereceği, RCP8.5 senaryosu etkisi altında ise negatif yönde artış göstereceği görülmüştür.

- Havzada yağışlardaki pozitif anomali değerlerinin yoğun olarak gözlemlendiği şehirler havzanın doğu kısımlarında yer alan Trabzon'un doğusu, Rize ve Artvin olmuştur.

Akarsu akışı tahmin bulgularının istatistiksel olarak değerlendirilmesi

- Tahminlerde konsantrasyon senaryosu ve KDM tipi seçiminin sonuçlara direkt olarak etki ettiği görülmüştür.
- RCP4.5 etkisi altında yapılan tahminlerdeki değişim aralığının, RCP8.5 etkisi altında yapılanlara göre daha dar olduğu görülmüştür.
- Tüm akarsu akışı bulgularından elde edilen standart sapma değerlerinin, referans döneme göre daha düşük olmuştur.
- Havzada GFDL-ESM2M KDM verileri kullanılarak yapılan tahminlerin diğer KDM'lere göre daha iyimser tahminler ürettiği belirlenmiştir.

İklim değişikliği etkisi altında havza akarsu suyu varlığı değerlendirmesi

- RCP8.5 etkisi altındaki bulgulara göre, akarsu akışlarının uç değer alma eğiliminin yüksek olduğu görülmüştür.
- Tüm bulgular değerlendirildiğinde, tahmin bulguları %71 oranında referans dönem değerinden yüksek, %29 oranında düşük olarak belirlenmiştir.
- Havza genelinde iklim değişikliği etkilerinden akarsu akışının en çok etkileneceği dönem 2041-2070 yılları aralığını kapsayan P2 dönemi, etkilerin en az hissedileceği dönem 2021-2040 yılları aralığını kapsayan P1 dönemidir.
- İklim değişikliği etkisi altında hesaplanan maksimum ve minimum akışlara göre dönemsel akarsu suyu varlığı arasındaki değişim RCP4.5 etkisi altında, P1, P2 ve P3 dönemlerinde sırasıyla %123, %116, %119 olarak, RCP8.5 etkisi altında sırasıyla %126, %134 ve %172 olarak bulunmuştur.

İklim değışikliğı etkisi altında kurak-sulak mevsim ortalama akış değeriendirme

- Havzadaki analiz bölgeleri için gözlenmiş veriler referans alınarak yapılan değeriendirmede, sulak mevsimlerin analiz bölgelerinin çoğunda Nisan-Mayıs-Haziran ayları olmasına karşın kurak mevsim aylarının analiz bölgelerine göre değışkenlik gösterdiği görülmüştür.
- Kurak ve sulak mevsim akışlarında, analiz bölgelerine göre %75'e ulaşan farklılıklar olacağı belirlenmiştir.
- Kurak mevsim için havza genelinde hesaplanan rölatif değışim ortalamalarının P1, P2 ve P3 dönemi için RCP4.5 etkisi altında sırasıyla %96,3, %91,7 ve %89,3, RCP8.5 etkisi altında sırasıyla %96,3, %86,3 ve %72 olacağı, sulak mevsim için ise RCP4.5 etkisi altında tüm dönemlerde %-33, RCP8.5 etkisi altında sırasıyla %-33, %-35 ve %-38 olacağı tespit edilmiştir.
- Havzada akış ortalamalarının sulak mevsimde düşüş göstereceğı ve kurak mevsimde artış göstereceğı görülmüştür.

İklim değışikliğı etkisi altında Q₉₅ ve Q₅ akarsu akışları değeriendirme

- Düşük ve yüksek akarsu akışlarından elde edilen bulgular konsantrasyon senaryosu ve KDM tipine göre farklılıklar göstermiştir.
- Yüksek akarsu akışlarının bölgesel olarak ve KDM tiplerine göre artışları tespit edilmiştir. Analiz bölgelerinde KDM tipine göre elde edilen bulguların ortalama rölatif değışimi, P1, P2 ve P3 dönemlerinde tüm konsantrasyon senaryoları için yaklaşık %30 oranında azalacağı belirlenmiştir.
- Düşük akarsu akışlarının KDM tiplerine göre bölgesel olarak artışları tespit edilmiştir. Tüm KDM tiplerinden elde edilen bulguların ortalamasına göre, artış yönünde en yüksek rölatif değışim, Rize'de %55, Gümüşhane'de %60 oranında belirlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Gelecek çalışmalarda meteorolojik ve hidrolojik gözlem setlerinin homojenliğinin sınanması konusunda, günlük serilerin aylık medyan, aylık ortalama ve aylık maksimum alt serilerine ayrılarak bu serilerin homojenliğinin sınanmasının ana kütle homojenliğini temsil edebileceği görülmüştür. Analizlerden elde edilecek bulguların performans değerlendirmesi konusunda bu tez çalışmasında kullanılan skor değerlendirmesi yönteminin kullanımı gelecek çalışmalara fayda sağlayacaktır.

Gelecek çalışmalarda yapay zeka yöntemleri kullanılarak oluşturulacak SPM yapılarının girdi setlerinin EAY yöntemiyle tasarlanması, analiz sürelerini kısaltması ve girdi setlerinde optimum çözüme erişilmesi konusunda, belirlenen parametrelere göre bütün olasılıkların denenmesini sağlayacaktır.

Çalışmada tasarlanan SPM yapılarından elde edilen bulgular pik debilerin veya ani değişimlerin tahmin edilmesi konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu sorunun genel olarak meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin ölçüldüğü alanların arasındaki klimatolojik ve çevresel farklılıklar ve konumların birbirine olan uzaklığının sonucu olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda benzer durumların aynı noktadan yapılacak ölçümler ile kıyaslanması literatüre ve ilgili kuruluşlara katkı sağlayacaktır.

Akarsu akışlarının incelenmesi konusunda yapılacak çalışmalarda, kullanılacak veri setlerinin tanınması hidrolojik modelleme açısından büyük önem arz etmektedir. İklimsel parametreler için yapılacak trend analizleri veri setlerinin gelecek zamanlarda nasıl değişeceği konusunda fikir verdiğinden, hidrolojik modelleme sonucunda elde edilecek bulgulara dair yorum yapabilme fırsatı sunmaktadır. Bu sayede veri setlerinde uyumluluk değerlendirilerek elde edilecek bulgulara dair beklentiler belirlenebilmektedir.

Anomali araştırmalarına göre Doğu Karadeniz Havzası'nın doğusunda kalan bölgelerin gelecek çalışmalarda iklim değişikliği etkisi altında taşkın riskinin değerlendirilmesi havzadaki can ve mal güvenliği için geçmiş taşkın kayıtlarına göre taşkın yaşanma sıklığının yüksek olduğu bu bölgeler için büyük önem arz etmektedir. Yağışın azalacağı ve sıcaklığın artacağı Giresun ili ve batısında bulunan illerde yüzeyde bulunan suyun bir kısmının, zeminin artan sızma kapasitesi nedeniyle yer altı suyuna karışacağı ve bir kısmının da buharlaşarak akarsu akışından ayrılacağı düşünülmektedir. Bu bölgelerde

üst havzalarda kalıcı kar örtülerinin incelenmesi ve artan sıcaklıkların etkisiyle akışa geçerek akarsu akışına yapacakları katkıların ortaya koyulması önem taşımaktadır. Akarsu akışında yaşanacak azalmaların, havzanın batısında bulunan bu illerin belli kesimlerinde içme, kullanma ve tarımsal sulama suyu ihtiyacının karşılanması konusunda risk oluşturabileceği düşünülmektedir.

Tahmin edilen akarsu akışlarına göre yapılan değerlendirmelerde havzada dönemsel ortalama akışların referans yıllara göre daha yüksek olması beklenmektedir. Dönemsel çıkarımların mikro ölçekte günlük değişiminin incelenmesi özellikle kuraklık araştırmalarında havzada kendi içerisinde su dengesi oluşturabilmek açısından önem arz etmektedir.

Havza genelinde elde edilen dönemlik mevsimsel akış bulgularının gösterdiği ölçüde kurak-sulak mevsimlerde referans döneme göre ciddi değişiklikler öngörülmektedir. Bu değişikliklere göre içme, kullanma ve sulama suyu temini için kullanılan göletlerin seviyelerinin kontrol altında tutulması amacıyla yeni değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. Ayrıca bölgedeki hidroelektrik enerji üretimi için, enerji üretim takvimlerinin olası iklim değişikliği etkilerine karşı düzenlenerek havza genelinde sürdürülebilir planlamalar yapılması gelecek olumsuz iklimsel etkilerin zararının en aza indirilmesi konusunda fayda sağlayacaktır.

Havzada düşük akarsu akışlarının incelenen dönemlerde azalış göstereceği çalışma kapsamında ortaya koyulmuştur. Düşük akarsu akışlarında yaşanacak azalma başta flora ve fauna olmak üzere suyun az olacağı zamanlarda akarsudaki ve nehre bağlı canlılığın korunması amacıyla önemle incelenmeli ve sürdürülebilir politikalar belirlenmelidir. Yüksek akarsu akışlarının havzada düşüş göstereceği belirlenmiştir. Yüksek akışların yakından ilgilendirdiği bir husus olan, suyun aşındırıcı etkisinin referans dönem ortalamasına göre azalacağı söylenebilmektedir. Günlük ekstrem akış değerlerinde yaşanacak değişimlerin etkileri hakkında yaklaşık bir fikir veren günlük ortalama akış verileri kullanıldığından taşkın oluşumu hakkında elde edilen yüksek akarsu akışı bulgularının net fikir vermesi beklenemez. İklim değişikliği etkisi altında günlük maksimum değerlerin incelenmesi gelecek yıllardaki taşkın oluşumlarının yorumlanması konusunda faydalı olacaktır.

Havza genelinde sıcaklıkların her dönemde pozitif anomali değerleri alacağı yapılan bu tez çalışması kapsamında belirlenmiştir. Akarsu akışı incelemelerinde elde edilen bulgular ile değerlendirildiğinde havza genelinde sıcaklığa bağlı olarak artan buharlaşma

havzanın özellikle doğu kesimlerinde yağışların artışına neden olmaktadır. Yağışların havzanın doğu kesimlerinde olan başta Artvin, Rize ve Trabzon illerinde kısa sürede şiddetinin yüksek olması, yüksek arazi eğimi, artan şehirleşme neticesinde azalan konsantrasyon süresi gibi nedenler göz önünde bulundurulduğunda bu bölgelerde taşkın riski bulunmaktadır. Gelecek çalışmalar için bu konunun araştırma konusu olması havza yönetimi konularına fayda sağlayacaktır.



6. KAYNAKLAR

- Abdollahi, S., Raeisi, J., Khalilianpour, M., Ahmadi, F. ve Kisi, O., 2017. Daily Mean Streamflow Prediction in Perennial and Non-Perennial Rivers Using Four Data Driven Techniques. Water Resources Management, 31, 15, 4855-4874.
- Abrahart, R. J. ve See, L. M., 2007. Neural Network Modelling of Non-Linear Hydrological Relationships. Hydrology and Earth System Science, 11, 1563-1579.
- Akçay, F.. 2018. Doğu Karadeniz Havzası Aylık ve Yıllık Ortalama Akımlarının Eğilim (Trend) Analizi. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akinwumi, A. M., Adewumi, J. R. ve Obiora-Okeke, O. A., 2021. Impact of Climate Change on the Stream-Flow of Ala River, Akure, Nigeria. Sustainable Water Resources Management, 7, 1, 1-11.
- Akyılmaz, O., 2005. Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alexandersson, H.. 1986. A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data. Journal of Climatology, 6, 6, 661-675.
- Ardalani-Farsa, M. ve Zolfaghari, S., 2011. Residual Analysis and Combination of Embedding Theorem and Artificial Intelligence in Chaotic Time Series Forecasting. Applied Artificial Intelligence, 25, 1, 45-73.
- Arnell, N. W. ve Gosling, S. N., 2013. The Impacts of Climate Change on River Flow Regimes at the Global Scale. Journal of Hydrology, 486, 351-364.
- Atluri, V., Hung, C. C. ve Coleman, T. L., 1999. An Artificial Neural Network for Classifying and Predicting Soil Moisture and Temperature Using Levenberg-Marquardt Algorithm. In Proceedings IEEE Southeastcon'99. Technology on the Brink of 2000 (Cat. No. 99CH36300), 10-13.
- Avşaroğlu, Y. , Gümüş, V. , Şimşek, O. , Dinsever, L. D. ve Kuş, M., 2021. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Aylık Toplam Tava Buharlaşma Verilerinin Mann-Kendall Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi ile Trend Analizi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11, 4, 1059-1070.
- Babacan, H. T., 2015. Giresun İli Aksu Deresi için Farklı Parametreler Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Akış Modellemesi ve İleriye Dönük Akım Tahminleri Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.

- Babel, M. S., Sirisena, T. A. J. G. ve Singhrattana, N., 2016. Incorporating Large-Scale Atmospheric Variables in Long-Term Seasonal Rainfall Forecasting Using Artificial Neural Networks: An Application to the Ping Basin in Thailand. Hydrology Research, 48, 3, 867-882.
- Bala, R. ve Kumar, D., 2017. Classification using ANN: A review. International Journal of Computational Intelligence Research, 13, 7, 1811-1820.
- Baykal, N. ve Beyan, T., 2004. Bulanık Mantık, Uzman Sistem Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Berryman, D., Bobee, B., Cluis, D. ve Haemmerli, J., 1988. Nonparametric Tests for Trend Detection in Water Quality Time Series 1., JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 24, 3, 545-556.
- Beşel, C. ve Kayıkçı, E. T., 2019. Serisel Korelasyonun Toplam Zenit Gecikmesi Zaman Serilerinde Parametrik Olmayan Trend Belirleme Üzerindeki Etkisi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9, 1, 180-188.
- Buishand, T. A., 1982. Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records. Journal of Hydrology, 58, 1-2, 11-27.
- Che Ros, F., Tosaka, H., Sidek, L. M. ve Basri, H., 2016. Homogeneity and Trends in Long-Term Rainfall Data, Kelantan River Basin, Malaysia. International Journal of River Basin Management, 14, 2, 151-163.
- Cong, Z., Yang, D., Gao, B., Yang, H. ve Hu, H. 2009. Hydrological Trend Analysis in the Yellow River Basin Using a Distributed Hydrological Model. Water Resources Research, 45, 7, 1-13.
- Coulibaly, P., Anctil, F. ve Bobée, B., 2000. Daily Reservoir Inflow Forecasting Using Artificial Neural Networks with Stopped Training Approach. Journal of Hydrology, 230, 3-4, 244-257.
- Cui, T., Yang, T., Xu, C. Y., Shao, Q., Wang, X. ve Li, Z., 2018. Assessment of the Impact of Climate Change on Flow Regime at Multiple Temporal Scales and Potential Ecological Implications in an Alpine River. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 32, 6, 1849-1866.
- Çakır Zeytinoğlu, F., 2007. İşletmelerin Dönen Varlıkların Satışlar Üzerindeki Etkileri: En İyi Regresyon Denkleminin Seçimi ve Sektörel Karşılaştırma, Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 23, 2, 331-349.
- Dalavi, P., Bhakar, S. R., Bhange, H. N. ve Gavit, B. K., 2018. Assessment of Empirical Methods for Runoff Estimation in Chaskaman Catchment of Western Maharashtra, Indian International Journal of Current Microbiology Applied Sciences, 7, 5, 1511-1515.

- Daliakopoulos, I. N. ve Tsanis, I. K., 2016. Comparison of An Artificial Neural Network and A Conceptual Rainfall–Runoff Model in the Simulation of Ephemeral Streamflow. Hydrological Sciences Journal, 61, 15, 2763-2774.
- Dalkilic, H. Y. ve Hashimi, S. A., 2020. Prediction of Daily Streamflow by Using Artificial Neural Networks (ANNs), Wavelet Neural Networks (WNNs), and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) models. Water Supply, 20, 4, 1396-1408.
- Dallaire, G., Poulin, A., Arsenault, R. ve Brissette, F. 2021. Uncertainty of Potential Evapotranspiration Modelling in Climate Change Impact Studies on Low Flows in North America. Hydrological Sciences Journal, 66, 4, 689-702.
- Dawood, M., 2017. Spatio-Statistical Analysis of Temperature Fluctuation Using Mann–Kendall and Sen’s Slope Approach. Climate Dynamics, 48, 3-4, 783-797.
- Demircan, M., 2019. İklim Değişikliği: Sektörel İklim Ürünleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS). Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Nisan 2019, Bildiriler Kitabı 25-27.
- Demirel, M. C., Booij, M. J. ve Kahya, E., 2012. Validation of an ANN Flow Prediction Model Using a Multistation Cluster Analysis. Journal of Hydrologic Engineering, 17, 2, 262-271.
- Demirkoparan, F., Zontul, M. ve Kaynar, O., 2010. Ham Petrol Fiyatlarının ANFIS ile Tahmini. Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi, 17, 3-14.
- Dogan, O., 2012. Talep Tahmininde Sinirsel Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Yöntemi (ANFIS) Kullanımı ve Yalın Yapay Sinir Ağı Metodu ile Karşılaştırmalı Bir Uygulama, Doktora Tezi, D.E.Ü., Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Esterby, S. R., 1993. Trend Analysis Methods for Environmental data. Environmetrics, 4, 4, 459-481.
- Friedman, J. H., 1991. Multivariate Adaptive Regression Splines. The Annals of Statistics, 19, 1, 1-67.
- Galleguillos, M., Gimeno, F., Puelma, C., Zambrano-Bigiarini, M., Lara, A. ve Rojas, M., 2021. Disentangling the Effect of Future Land Use Strategies and Climate Change on Streamflow in A Mediterranean Catchment Dominated by Tree Plantations. Journal of Hydrology, 595, 1-17.
- Gençer, Ç., 2005. Fırçasız Doğru Akım Motor Hız ve Konumunun Bulanık Sinirsel Denetleyici ile Denetimi, Doktora Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gleick, P. H., 1987. The development and testing of a water balance model for climate impact assessment: modeling the Sacramento basin. Water Resources Research, 23, 6, 1049-1061.

- Güçlü, Y., 2013. Sea Surface Temperature Anomalies Along the Black Sea Region Coast of Turkey (1971-2010 period). Journal of Human Sciences, 10, 1, 863-896.
- Gürkan, H., Arabaci, H., Demircan, M., Eskioğlu, O., Şensoy, S. ve Yazici, B., 2016. GFDL-ESM2M Modeli Temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına Göre Türkiye İçin Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları. Coğrafi Bilimler Dergisi, 14, 2, 77-88.
- Hamed, K. H. ve Rao, A. R., 1998. A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data. Journal of Hydrology, 204, 1-4, 182-196.
- Hess, A., Iyer, H. ve Malm, W., 2001. Linear Trend Analysis: A Comparison of Methods. Atmospheric Environment, 35, 30, 5211-5222.
- Hines, J., Tsoukalas, L. H. ve Uhrig, R. E., 1997. MATLAB Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. John Wiley ve Sons Inc., New York.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T. ve Mizutani, E., 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Pearson College Div, New York.
- Jang, R., 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23, 3, 665-685.
- Jasrotia, A. S., Baru, D., Kour, R., Ahmad, S. ve Kour, K., 2021. Hydrological Modeling to Simulate Stream Flow Under Changing Climate Conditions in Jhelum Catchment, Western Himalaya. Journal of Hydrology, 593, 1-13.
- Jin, L., Whitehead, P. G., Addo, K. A., Amisigo, B., Macadam, I., Janes, T. ve Rodda, H. J., 2018. Modeling Future Flows of the Volta River System: Impacts of Climate Change and Socio-Economic Changes. Science of the Total Environment, 637, 1069-1080.
- Joseph, J., Ghosh, S., Pathak, A. ve Sahai, A. K., 2018. Hydrologic Impacts of Climate Change: Comparisons Between Hydrological Parameter Uncertainty and Climate Model Uncertainty. Journal of Hydrology, 566, 1-22.
- Kang, H. M. ve Yusof, F., 2012. Homogeneity Tests on Daily Rainfall Series. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, 7, 1, 9-22.
- Kay, A. L., Griffin, A., Rudd, A. C., Chapman, R. M., Bell, V. A. ve Arnell, N. W., 2021. Climate Change Effects on Indicators of High and Low River Flow Across Great Britain. Advances in Water Resources, 151, 1-12.
- Kaya, M., 2018. Eksik Akarsu Verilerinin ANFIS ile Tamamlanması, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kendall MG., 1975. Rank Correlation Methods, Oxford University Press, New York.

- Khan, N., Shahid, S., Ahmed, K., Ismail, T., Nawaz, N. ve Son, M., 2018. Performance Assessment of General Circulation Model in Simulating Daily Precipitation and Temperature Using Multiple Gridded Datasets. Water, 10, 12, 1-18.
- Khoi, D. N. ve Phi, H. L., 2018. Impact of Climate Change on Streamflow and Water Quality in the Upper Dong Nai River Basin, Vietnam. La Houille Blanche, 1, 70-79.
- Khosravi, K., Mirzai, H. ve Saleh, I., 2013. Assessment of Empirical Methods of Runoff Estimation by Statistical Test (Case study: Banadak Sadat Watershed, Yazd Province). International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1, 3, 285-301.
- Kobayashi, M. ve Sakata, S., 1990. Mallows' Cp criterion and unbiasedness of model selection. Journal of Econometrics, 45, 3, 385-395.
- Kohnova, S., Roncak, P., Hlavcova, K., Szolgay, J. ve Rutkowska, A., 2019. Future Impacts of Land Use and Climate Change on Extreme Runoff Values in Selected Catchments of Slovakia. Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications, 7, 1, 47-55.
- Kumar, M. ve Sihag, P., 2019. Assessment of Infiltration Rate of Soil Using Empirical and Machine Learning-Based Models. Irrigation and Drainage, 68, 588-601.
- Kuo, C. C., Gan, T. Y. ve Yu, P. S., 2010. Seasonal Streamflow Prediction by A Combined Climate-Hydrologic System for River Basins of Taiwan. Journal of Hydrology, 387, 3-4, 292-303.
- Lazoglou, G., Anagnostopoulou, C., Skoulikaris, C. ve Tolika, K., 2019. Bias Correction of Climate Model's Precipitation Using the Copula Method and Its Application in River Basin Simulation. Water, 11, 3, 1-19.
- Lefrançois, J., Grimaldi, C., Gascuel-Oudou, C. ve Gilliet, N., 2007. Suspended Sediment and Discharge Relationships to Identify Bank Degradation as A Main Sediment Source on Small Agricultural Catchments. Hydrological Processes: An International Journal, 21, 21, 2923-2933.
- Mallakpour, I. ve Villarini, G., 2016. A Simulation Study to Examine the Sensitivity of the Pettitt Test to Detect Abrupt Changes in Mean. Hydrological Sciences Journal, 61, 2, 245-254.
- Mamdani, E. H. ve Assilian, S., 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis With A Fuzzy Logic Controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7, 1, 1-13.
- Mann, H. B. 1945. Nonparametric Tests Against Trend. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 13, 3, 245-259.

- Maroufpoor, S., Maroufpoor, E., Bozorg-Haddad, O., Shiri, J. ve Yaseen, Z. M., 2019. Soil Moisture Simulation Using Hybrid Artificial Intelligent Model: Hybridization of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System With Grey Wolf Optimizer Algorithm. Journal of Hydrology, 575, 544-556.
- Marquardt, D. W., 1963. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11, 2, 431-441.
- Meissl, G., Formayer, H., Klebinder, K., Kerl, F., Schoberl, F., Geitner, C. ve Bronstert, A., 2017. Climate Change Effects on Hydrological System Conditions Influencing Generation of Storm Runoff in Small Alpine Catchments. Hydrological Processes, 31, 6, 1314-1330.
- Mete, T., 2008. Kesikli Bir Biyoreaktörde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), 2015. Yeni senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği, Yayın No:TR2015-CC, Ankara.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), 2019. 2018 Yılı İklim Değerlendirmesi, Yayın No:2019 Ankara.
- Mishra, Y., Babel, M. S., Nakamura, T. ve Mishra, B., 2021. Impacts of Climate Change on Irrigation Water Management in the Babai River Basin, Nepal. Hydrology, 8, 2, 1-20.
- Motiee, H., McBean, E., Motiee, A. R. ve Majdzadeh Tabatabaei, M. R., 2020. Assessment of Climate Change Under CMIP5-RCP Scenarios on Downstream Rivers Glaciers–Sardabrud River of Alam-Kuh Glacier, Iran. International Journal of River Basin Management, 18, 1, 39-47.
- Mueller, B., Seneviratne, S.I., 2014. Systematic Land Climate and Evapotranspiration Biases in CMIP5 Simulations. Geophysical Research Letters, 41, 1, 128–134.
- Okkan, U., 2013. İklim Değişikliğinin Akarsu Akışları Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Okkan, U. ve Fistikoglu, O., 2014. Evaluating Climate Change Effects on Runoff by Statistical Downscaling and Hydrological Model GR2M. Theoretical and Applied Climatology, 117, 1-2, 343-361.
- Okkan, U., 2015. Assessing the Effects of Climate Change on Monthly Precipitation: Proposing of a Downscaling Strategy Through a Case Study in Turkey. KSCE Journal of Civil Engineering, 19, 4, 1150-1156.
- Önder, H. ve Cebeci, Z., 2002. Lojistik Regresyonlarda Değişken Seçimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 17, 2, 105-114.

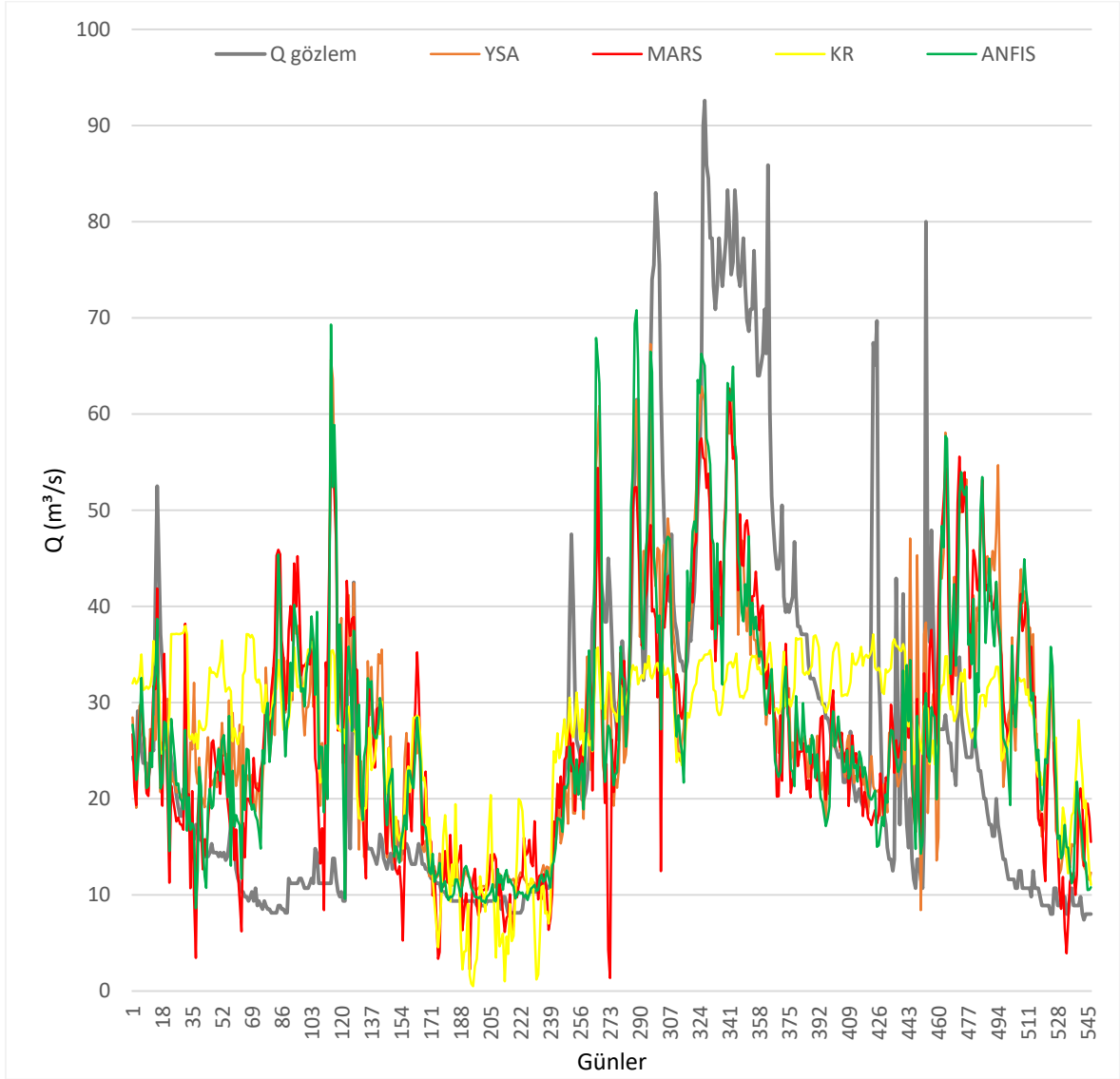
- Ösna, T., 2013. GIS Tabanlı Bir Mamdani Bulanık Çıkarsama Aracının Geliştirimi ve Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, H.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özfallı, Y., 2008. Çokdeğişkenli Uyarlanabilir Regresyon Kesitleri: MARS, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pettitt, A. N., 1972. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28, 2, 126-135.
- Put, R., Xu, Q. S., Massart, D. L. ve Vander Heyden, Y., 2004. Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) in Chromatographic Quantitative Structure–Retention Relationship Studies. Journal of Chromatography A, 1055, 1-2, 11-19.
- Quansah, J. E., Naliaka, A. B., Fall, S., Ankumah, R. ve Afandi, G. E., 2021. Assessing Future Impacts of Climate Change on Streamflow within the Alabama River Basin. Climate, 9, 4, 55.
- Reshmidevi, T. V., Kumar, D. N., Mehrotra, R. ve Sharma, A., 2018. Estimation of the Climate Change Impact on a Catchment Water Balance Using an Ensemble of GCMs. Journal of Hydrology, 556, 1192-1204.
- Riggs, H. C., 1973. Regional Analyses of Streamflow Characteristics. US Government Printing Office, Washington, DC.
- Roy, B. ve Singh, M. P., 2020. An Empirical-Based Rainfall-Runoff Modelling Using Optimization Technique. International Journal of River Basin Management, 18, 1, 49-67.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V.M., and Lane, W.L., 1980. Applied Modeling of Hydrologic Time Series: Littleton, Colorado, Water Resources Publications, Colorado.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau, Journal of American Statistical Association, 39, 1379–1389.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. ve Fixen, P. E., 2009. Review of Greenhouse Gas Emissions From Crop Production Systems and Fertilizer Management Effects. Agriculture, Ecosystems and Environment, 133, 3-4, 247-266.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J. ve Midgley, P. M., 2014. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge.
- Swain, J. B. ve Patra, K. C., 2019. Impact Assessment of Land Use/Land Cover and Climate Change on Streamflow Regionalization in An Ungauged Catchment. Journal of Water and Climate Change, 10, 3, 554-568.

- Sen, Z., 2012. Innovative Trend Analysis Methodology. Journal of Hydrologic Engineering, 17, 9, 1042-1046.
- Taguas, E. V., Ayuso, J. L., Pena, A., Yuan, Y., Sanchez, M. C., Giraldez, J. V. ve Perez, R., 2008. Testing the Relationship Between Instantaneous Peak Flow and Mean Daily Flow in a Mediterranean Area Southeast Spain. Catena, 75, 2, 129-137.
- Takagi, T. ve Sugeno, M., 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1, 116-132.
- Tayfur, G., 2012. Soft Computing in Water Resources Engineering: Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic and Genetic Algorithms (1st Edition). WIT Press, Southampton.
- Terzi, Ö., Erol Keskin, M. ve Dilek Taylan, E., 2006. Estimating Evaporation Using ANFIS. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132, 5, 503-507.
- Thiessen, A. H., 1912. Using Weather Data in Engineering Problems. Monthly Weather Review, 40, 10, 1565-1572.
- Toreti, A., Kuglitsch, F. G., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Aguilar, E., Prohom, M. ve Luterbacher, J., 2011. A Note on the Use of the Standard Normal Homogeneity Test to Detect Inhomogeneities in Climatic Time Series. International Journal of Climatology, 31, 4, 630-632.
- Toros, H., Mokari, M. ve Abbasnia, M., 2019. Regional Variability of Temperature Extremes in the Maritime Climate of Turkey: A Case Study to Develop Agricultural Adaptation Strategies Under Climate Change. Modeling Earth Systems and Environment, 5, 857-865.
- Tsarouchi, G. M., 2014. Modelling Land-Use and Climate Change Impacts on Hydrology: The Upper Ganges River Basin, PhD Thesis, Imperial Collage London, Department of Civil and Environmental Engineering, London.
- TÜBİTAK MAM., 2013. Havza Koruma Eylem Planları, Yayın No:5118601, Kocaeli.
- Türkeş, M., 2000. Küresel Isınma: Yeni Rekorlara Doğru. Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi, 673, 20-21.
- Türkeş, M., 2012. Türkiye’ de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4, 2, 1-32.
- Twine, T. E., Kucharik, C. J. ve Foley, J. A., 2004. Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin. Journal of Hydrometeorology, 5, 4, 640-655.
- URL-1, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344>. 17 Ekim 2021.

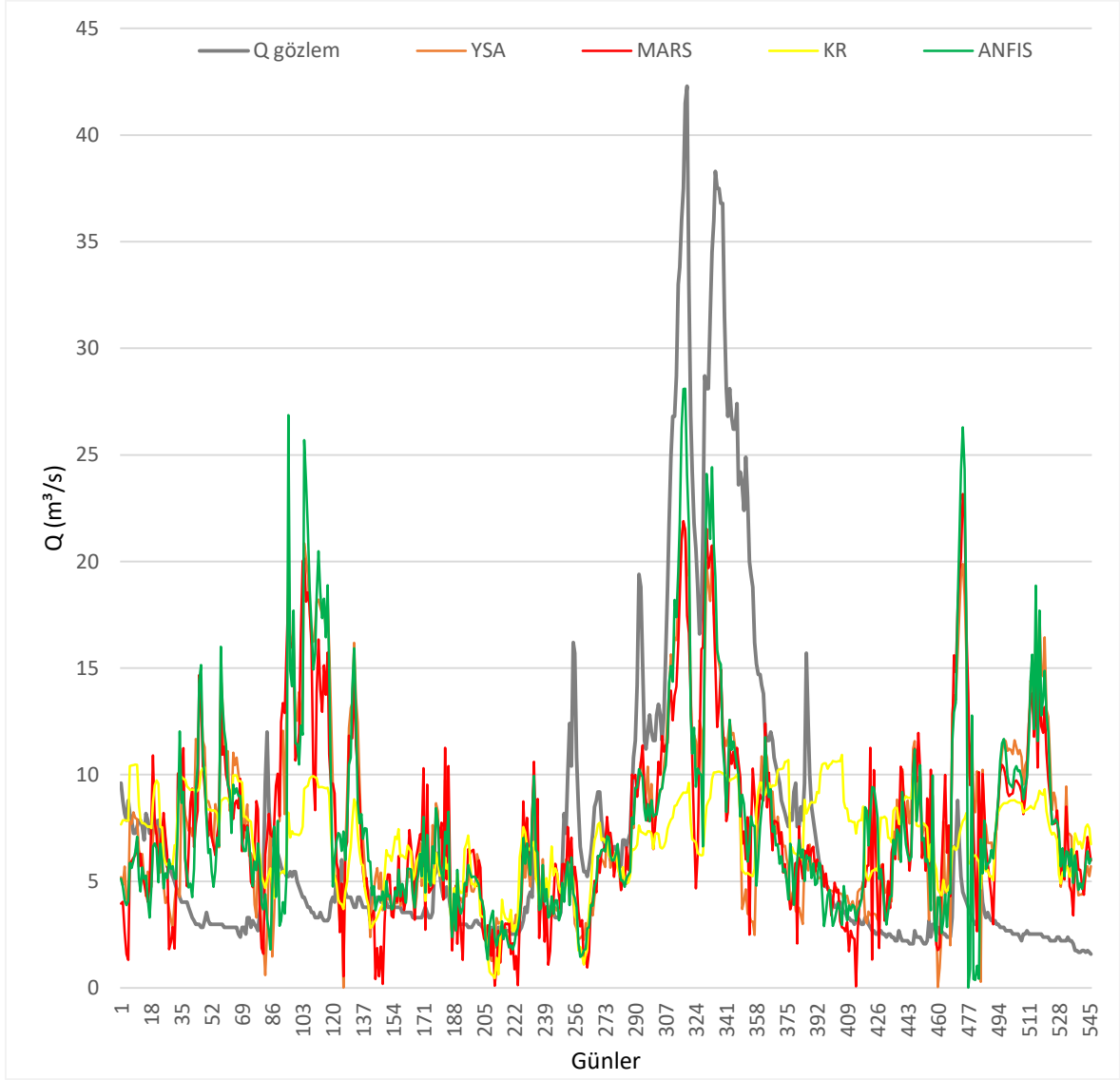
- Uzlu, E., Filiz, M. H., Kömürçü, M. İ., Akpınar, A. ve Yavuz, O., 2008. Doğu Karadeniz Havzası'ndaki Küçük Hidroelektrik Santrallerin Durumu, 7. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES, Aralık 2008, İstanbul, Bildiriler Kitabı 12-24.
- Vairappan, C., Tamura, H., Gao, S. ve Tang, Z., 2009. Batch Type Local Search-Based Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) With Self-Feedbacks for Time-Series Prediction. Neurocomputing, 72, 7-9, 1870-1877.
- Valeriy, O., Anastasiia, C., Nataliia, O., Svitlana, K. ve Volodymyr, O., 2021. Water Resources of the Desna River Basin Under Future Climate. Journal of Water and Climate Change, 12, 1-18.
- Vieira, J., Dias, F. M. ve Mota, A., 2004. Neuro-Fuzzy Systems: A Survey, 5th WSEAS NNA International Conference on Neural Networks and Applications, Mart 2004, Udine, Bildiriler Kitabı: 87-92.
- Von Neumann, J., 1941. Distribution of the Ratio of the Mean Square Successive Difference to the Variance. The Annals of Mathematical Statistics, 12, 4, 367-395.
- Wang, W., Van Gelder, P. H., Vrijling, J. K. ve Ma, J., 2006. Forecasting Daily Streamflow Using Hybrid ANN Models. Journal of Hydrology, 324, 1-4, 383-399.
- Woldemeskel, F.M., Sharma, A., Sivakumar, B., Mehrotra, R., 2016. Quantification of Precipitation and Temperature Uncertainties Simulated by CMIP3 and CMIP5 Models. Journal of Geophysical Research: Atmosphere. 121, 1, 3-17.
- World Meteorological Organization (WMO)., 2021. State of the Global Climate 2020, Yayın No:1264, Geneva.
- Wu, H., Soh, L. K., Samal, A. ve Chen, X. H., 2008. Trend Analysis of Streamflow Drought Events in Nebraska. Water Resources Management, 22, 2, 145-164.
- Yano, T., Aydin, M. ve Haraguchi, T., 2007. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. Sensors, 7, 10, 2297-2315.
- Yerdelen, C., 2013. Susurluk Havzası Yıllık Akımlarının Trend Analizi ve Değişim Noktasının Araştırılması. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 2, 77-87.
- Yu, H. ve Wilamowski, B. M., 2011. Levenberg-Marquardt Training. Industrial Electronics Handbook Intelligent Systems, CRC Press, Florida.
- Yu, Y. S., Zou, S. ve Whittemore, D., 1993. Non-Parametric Trend Analysis of Water Quality Data of Rivers in Kansas. Journal of Hydrology, 150, 1, 61-80.
- Yue, S. ve Wang, C. Y., 2002. Applicability of Prewhitening to Eliminate the Influence of Serial Correlation on the Mann-Kendall Test. Water Resources Research, 38, 6, 4, 1-6.

- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. ve Cavadias, G., 2002. The Influence of Autocorrelation on the Ability to Detect Trend in Hydrological Series. Hydrological Processes, 16, 9, 1807-1829.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. Information and Control, 8, 3, 338-353.
- Zhang, J. ve Morris, A. J., 1995. Fuzzy Neural Networks for Nonlinear Systems Modelling. IEE Proceedings-Control Theory and Applications, 142, 6, 551-561.
- Zhang, X., Wang, H., Peng, A., Wang, W., Li, B. ve Huang, X., 2020. Quantifying the Uncertainties in Data-Driven Models for Reservoir Inflow Prediction. Water Resources Management, 34, 1479-1493.
- Zhu, S., Bonacci, O., Oskorus, D., Hadzima-Nyarko, M. ve Wu, S., 2019. Long Term Variations of River Temperature and the Influence of Air Temperature and River Discharge: Case Study of Kupa River Watershed in Croatia. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 67, 4, 305-313.

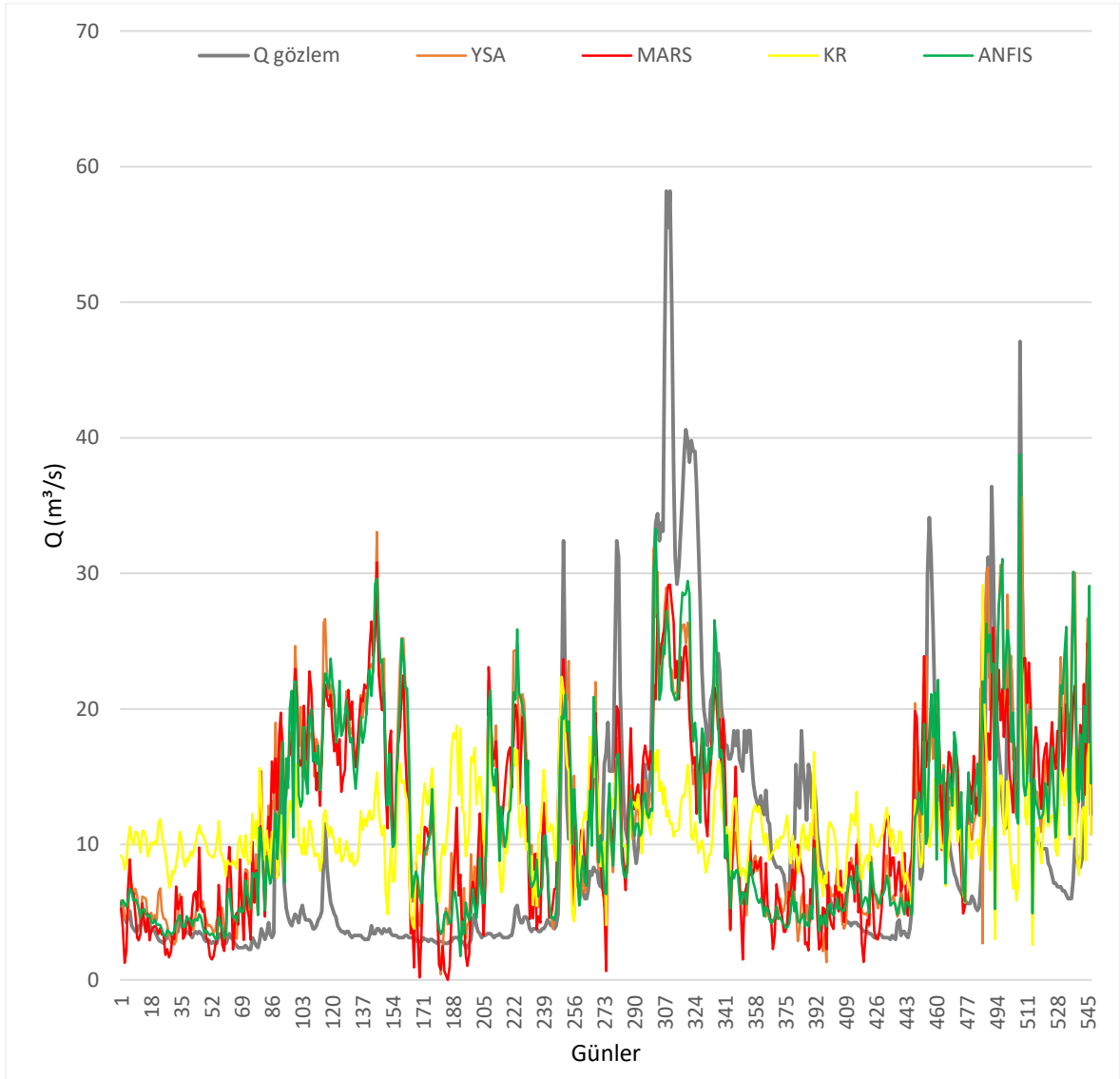
7. EKLER



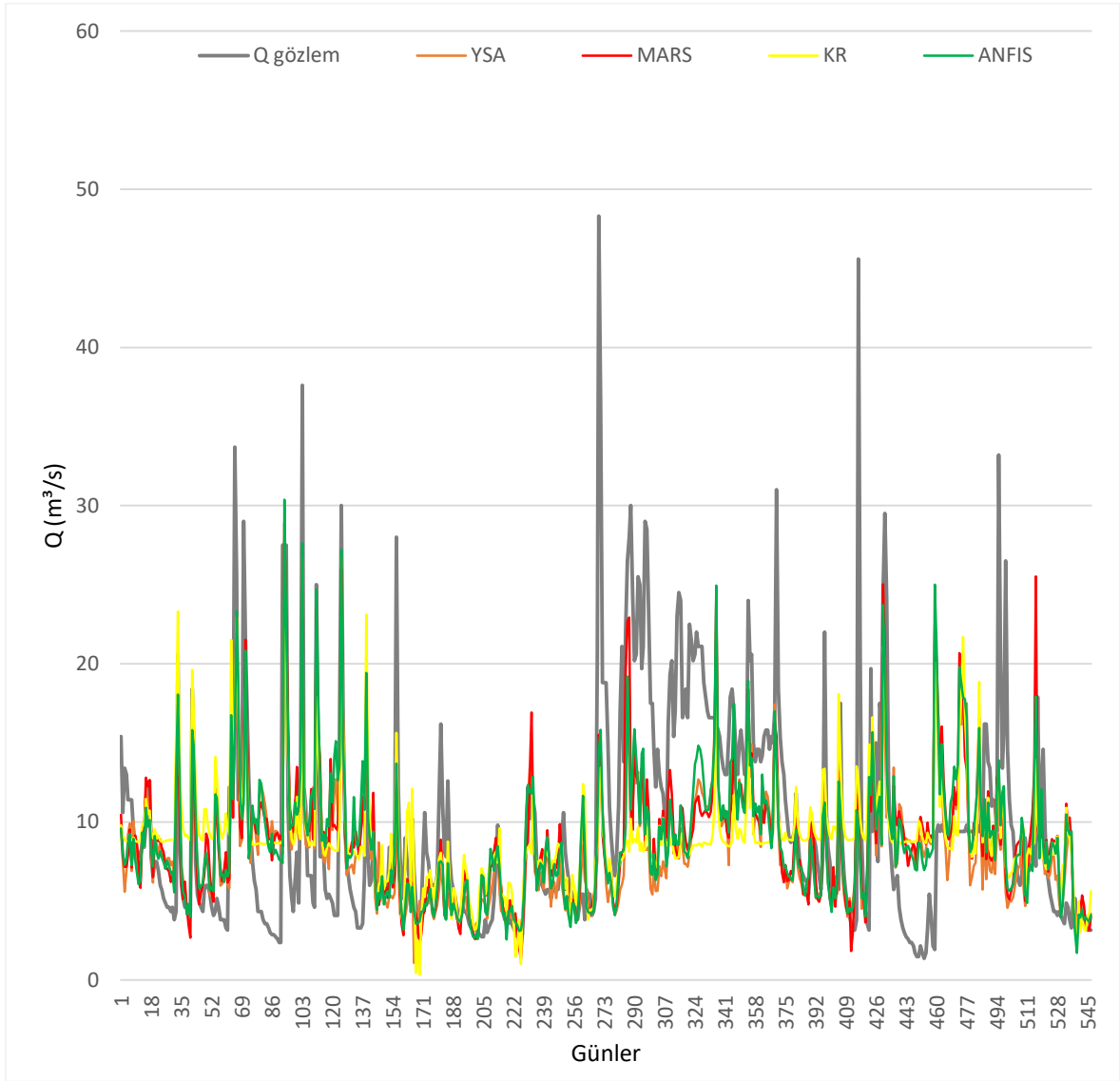
Ek Şekil 1. İyidere analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



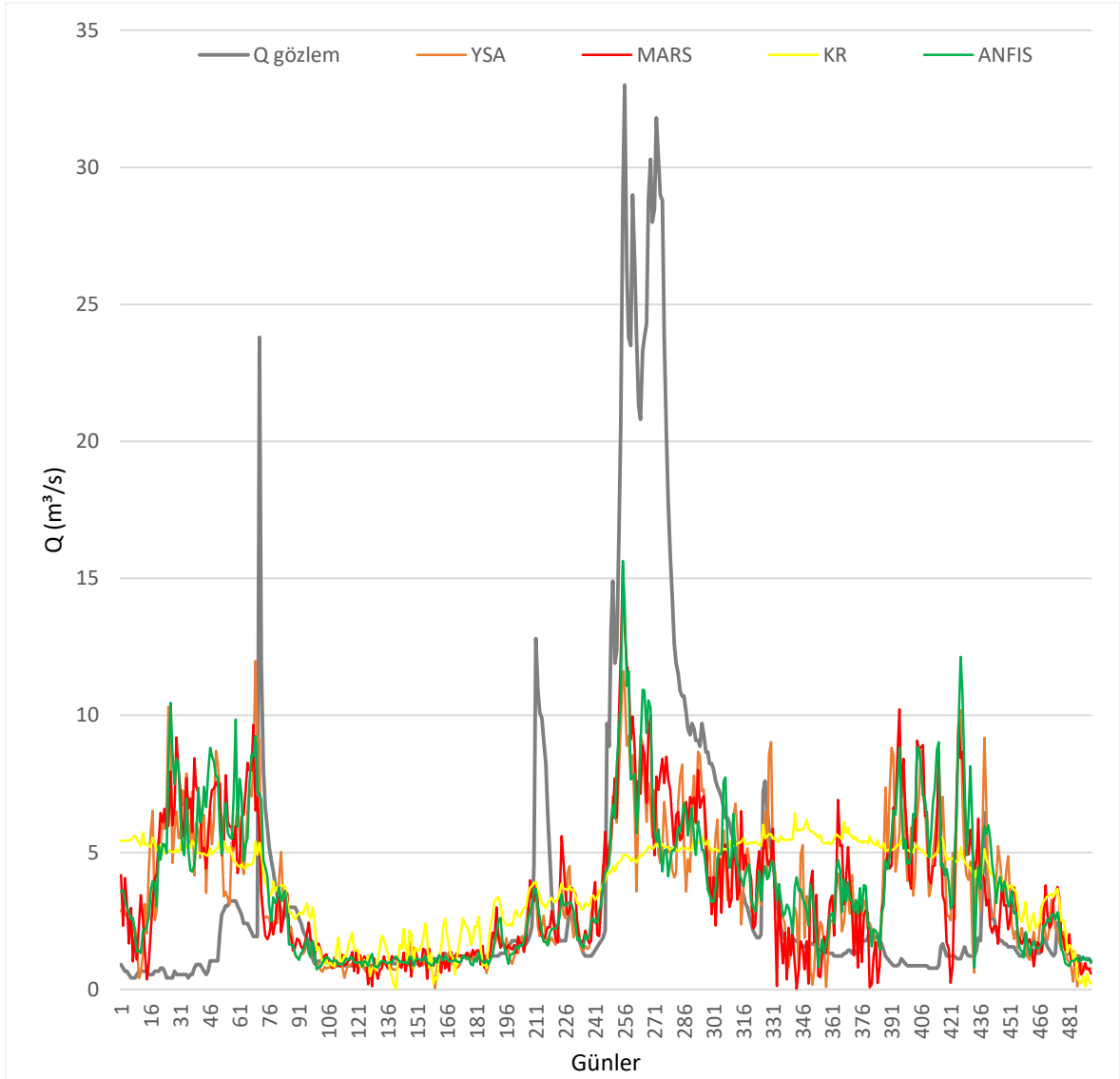
Ek Şekil 2. Tozköy Deresi analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



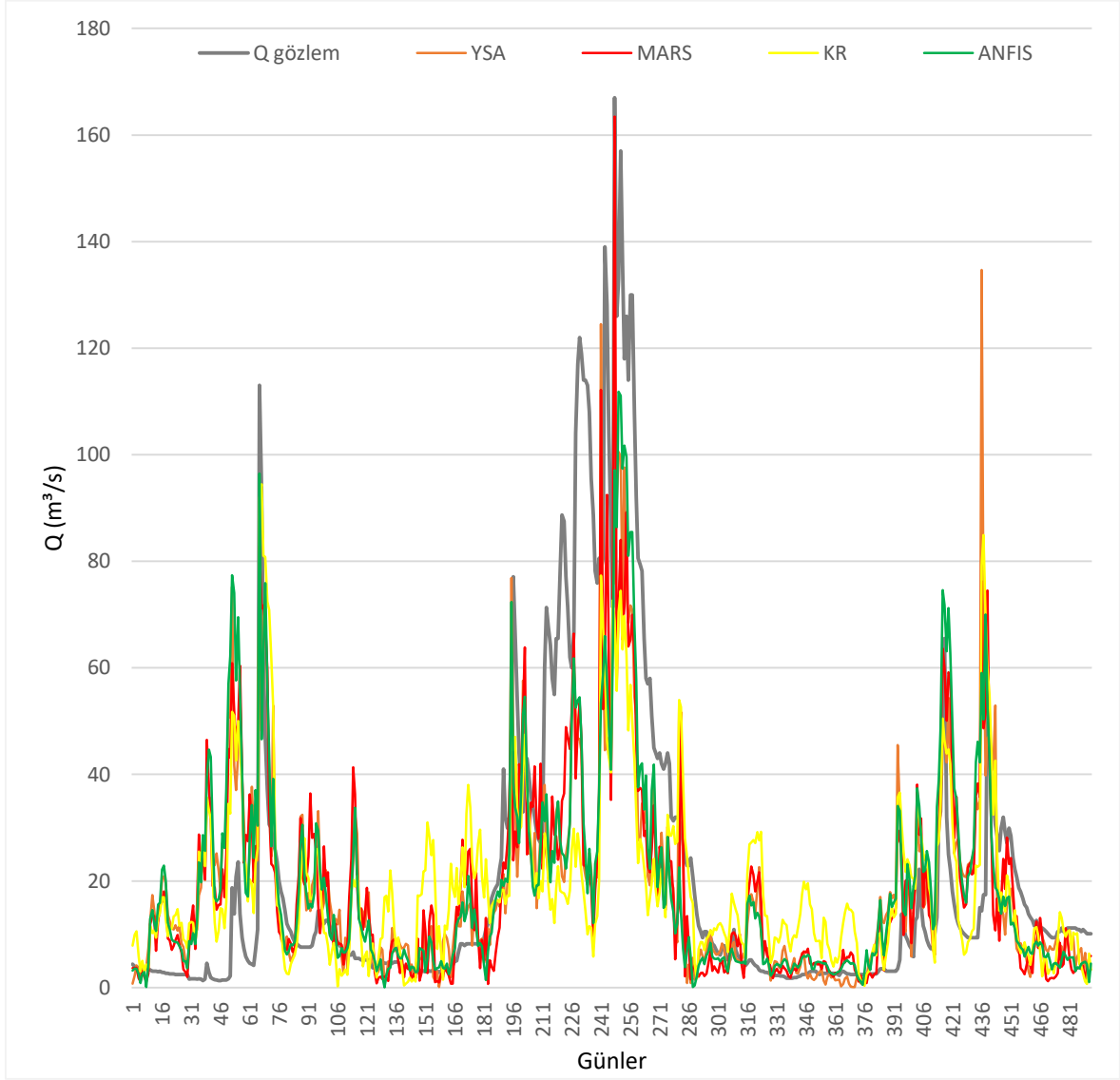
Ek Şekil 3. Değirmendere analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



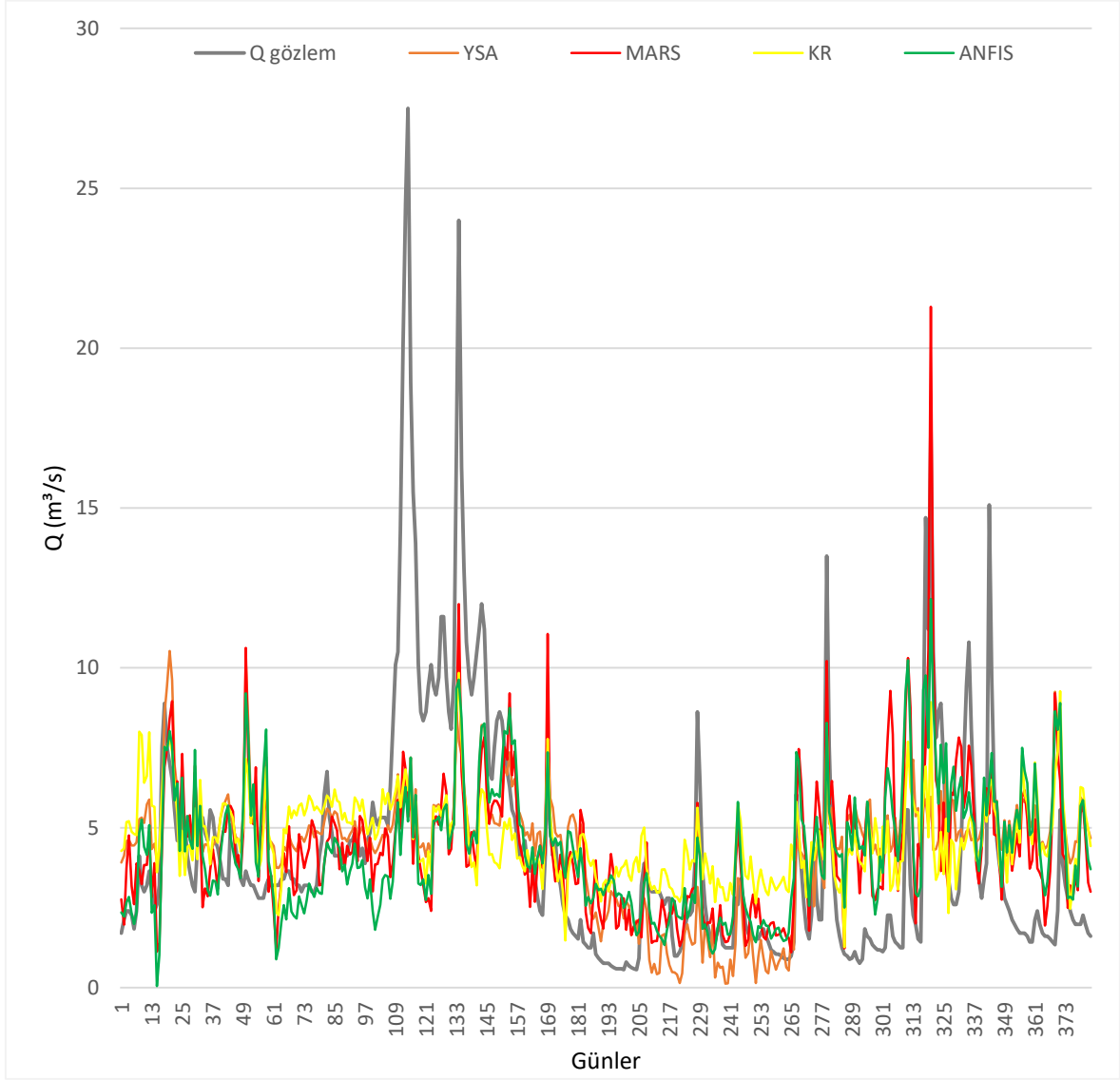
Ek Şekil 4. Köprübaşı analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



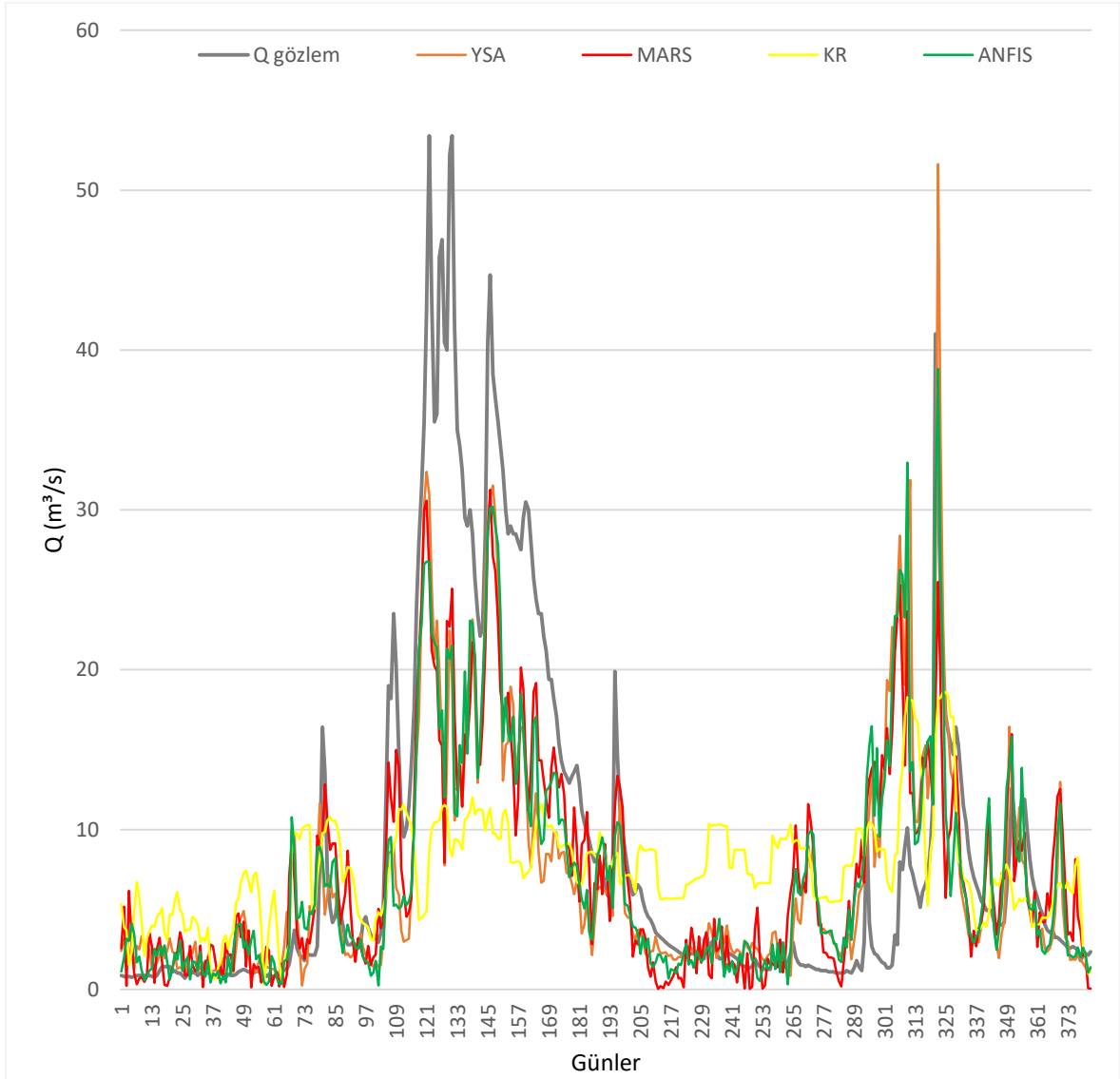
Ek Şekil 5. Şerah analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



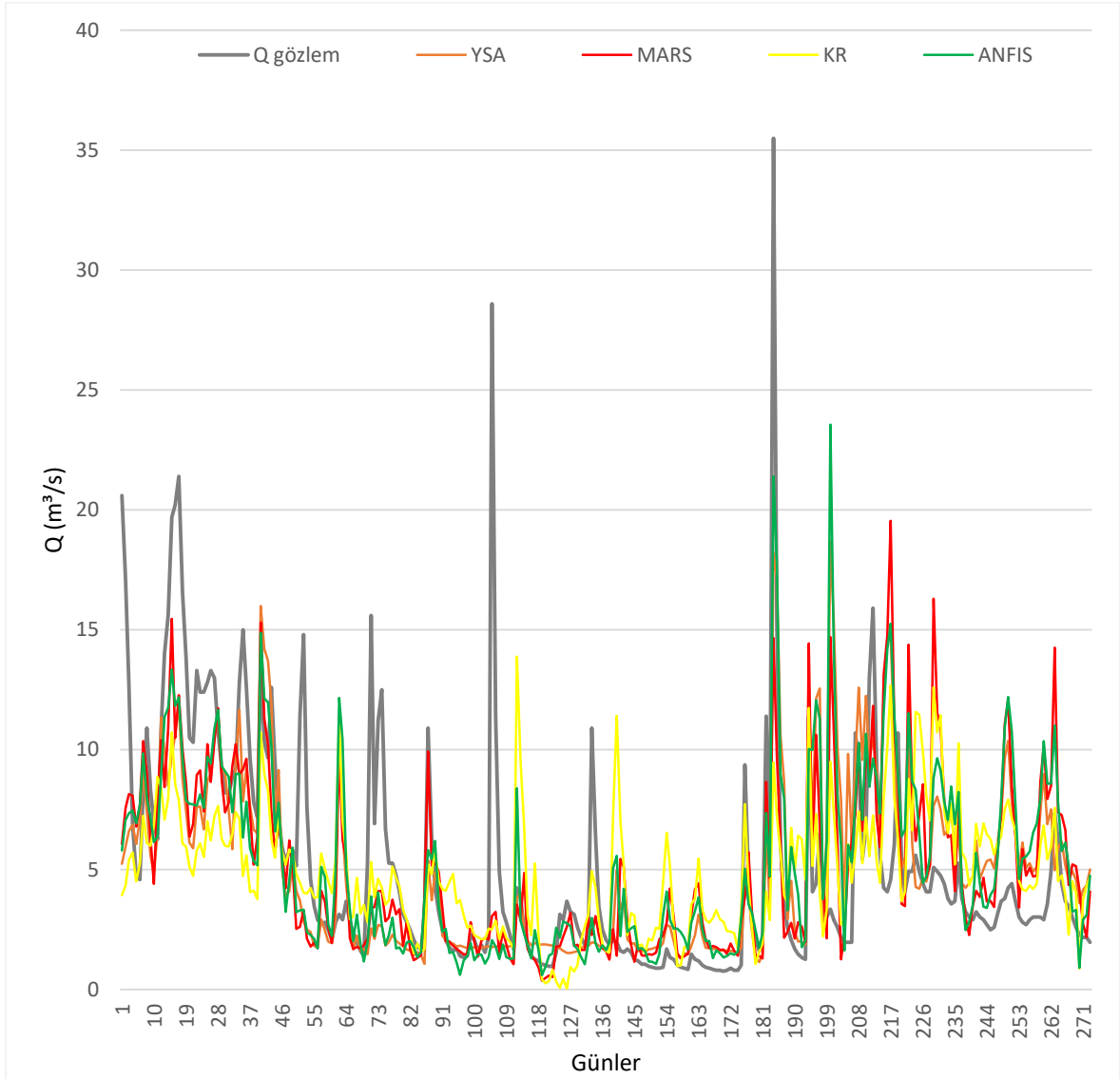
Ek Şekil 6. Torul analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



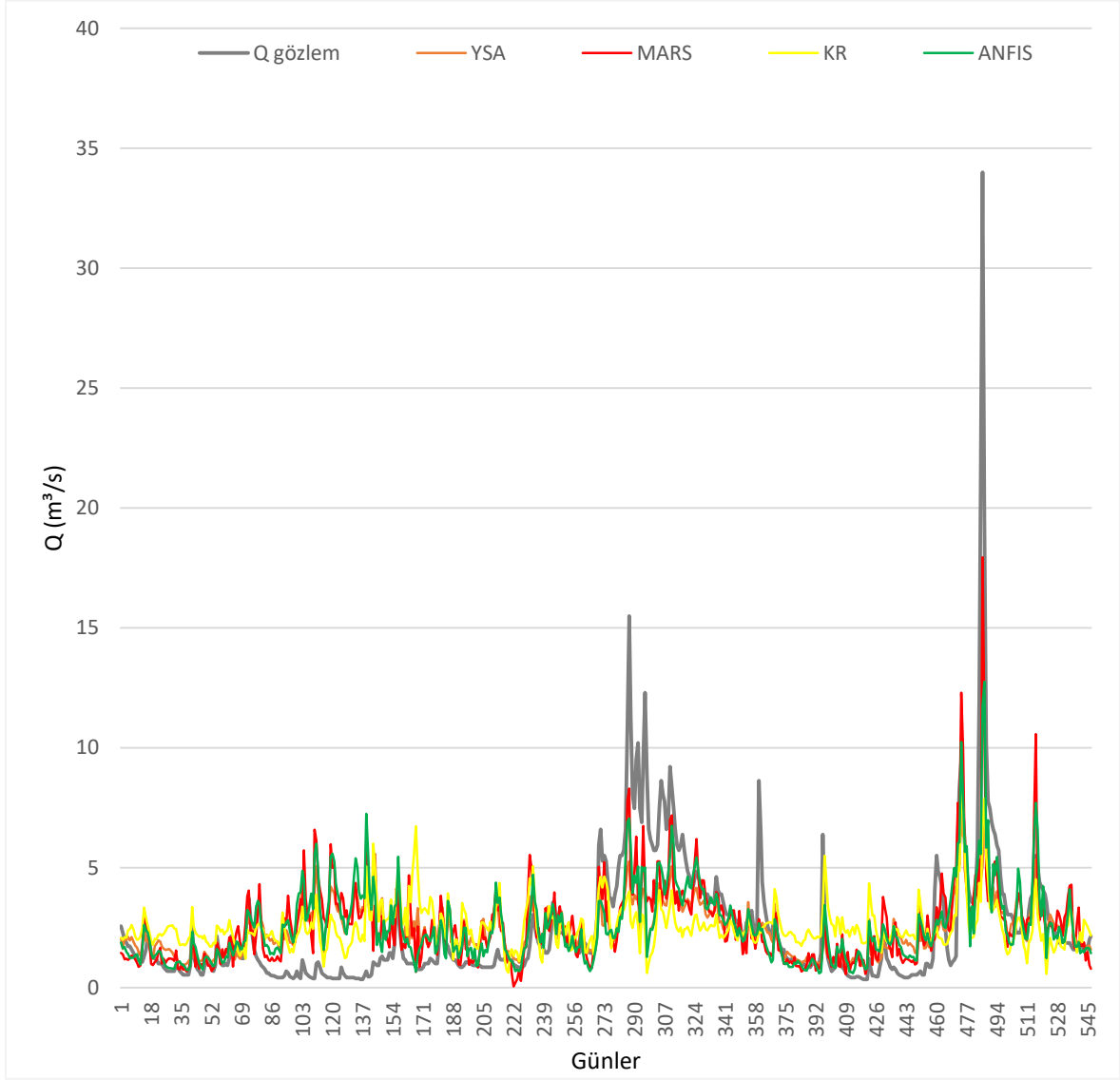
Ek Şekil 7. Fındıklı analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



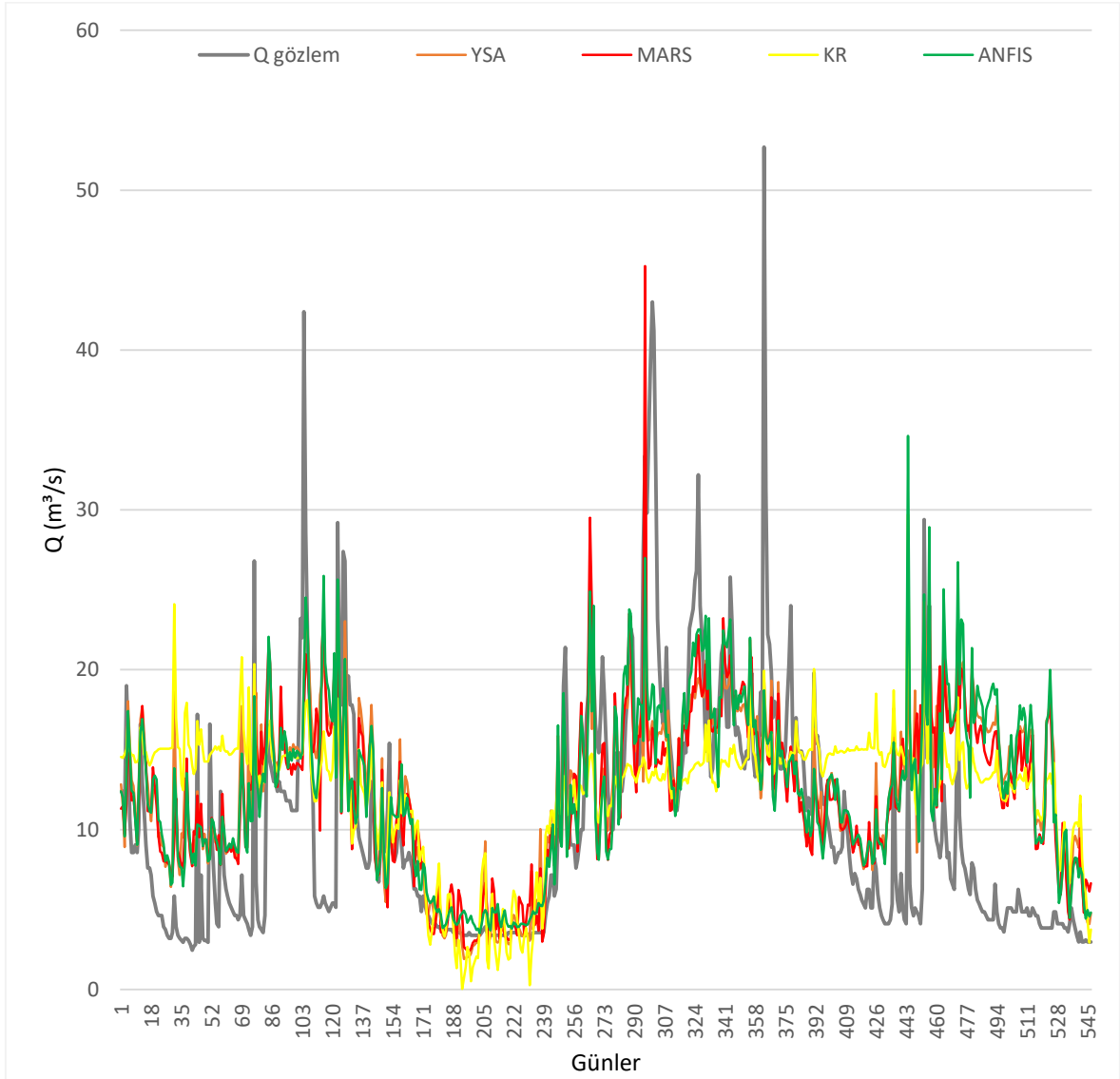
Ek Şekil 8. Aytaş analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



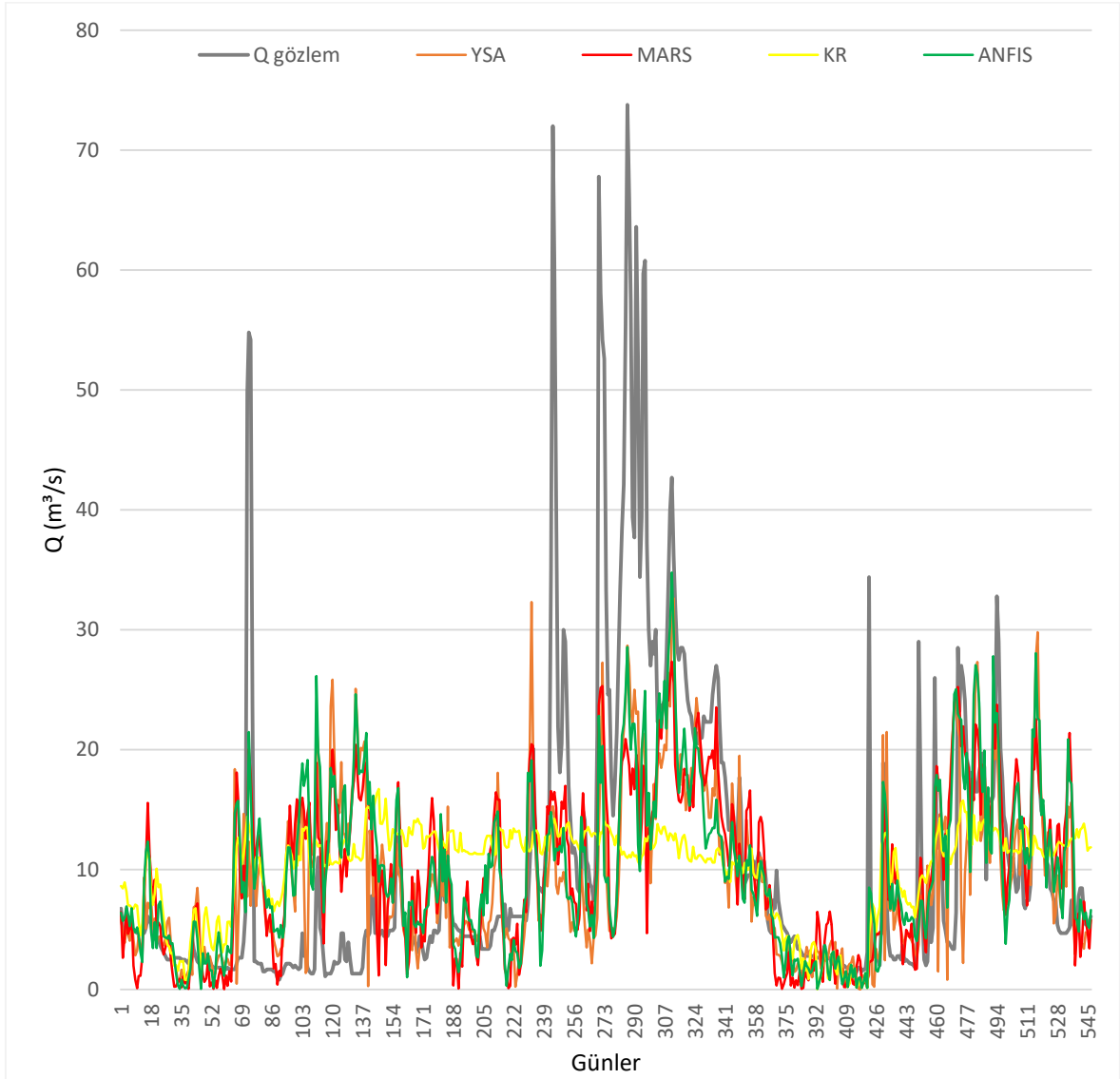
Ek Şekil 9. Cücenköprü analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



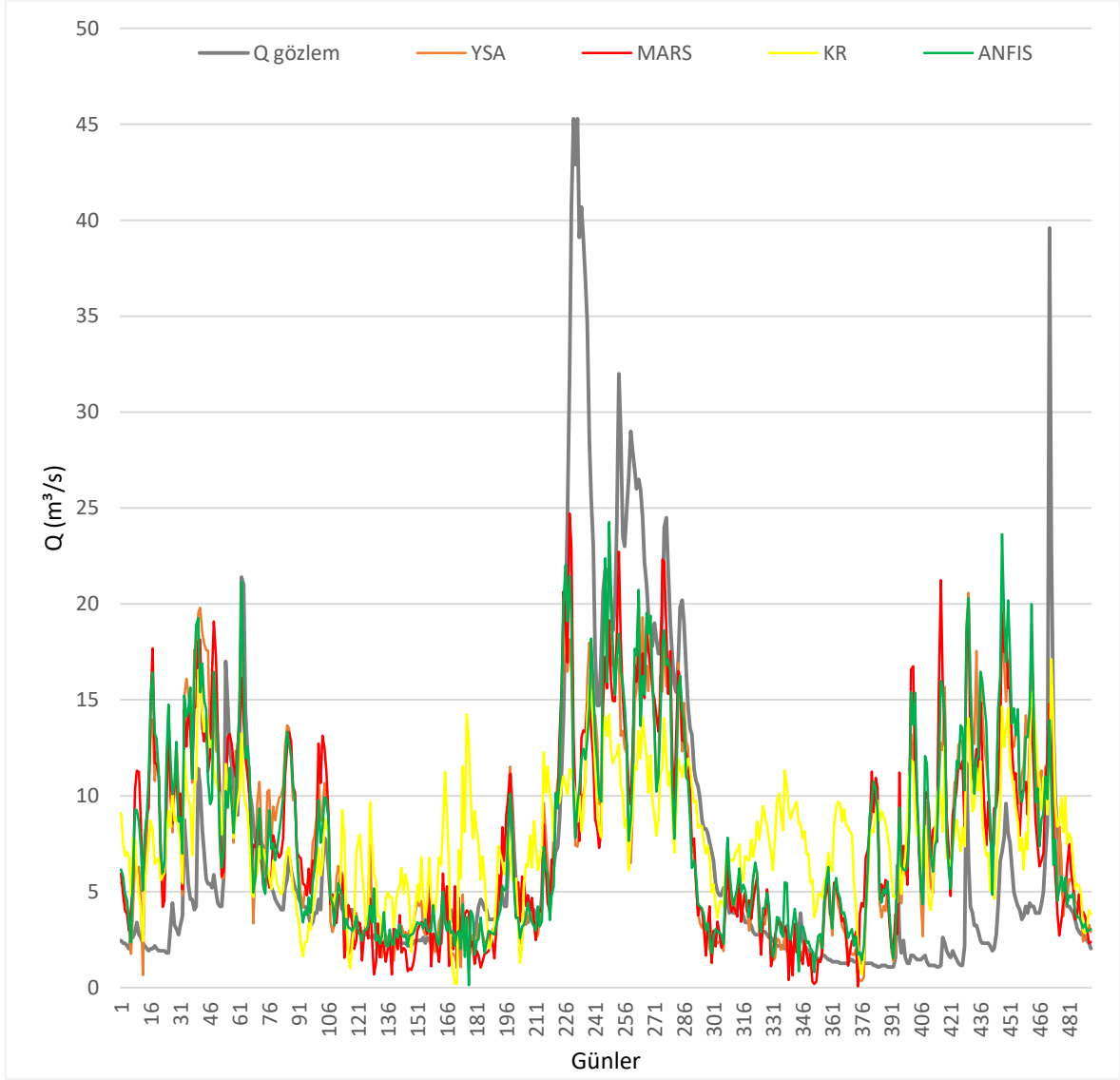
Ek Şekil 10. Çiftdere analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



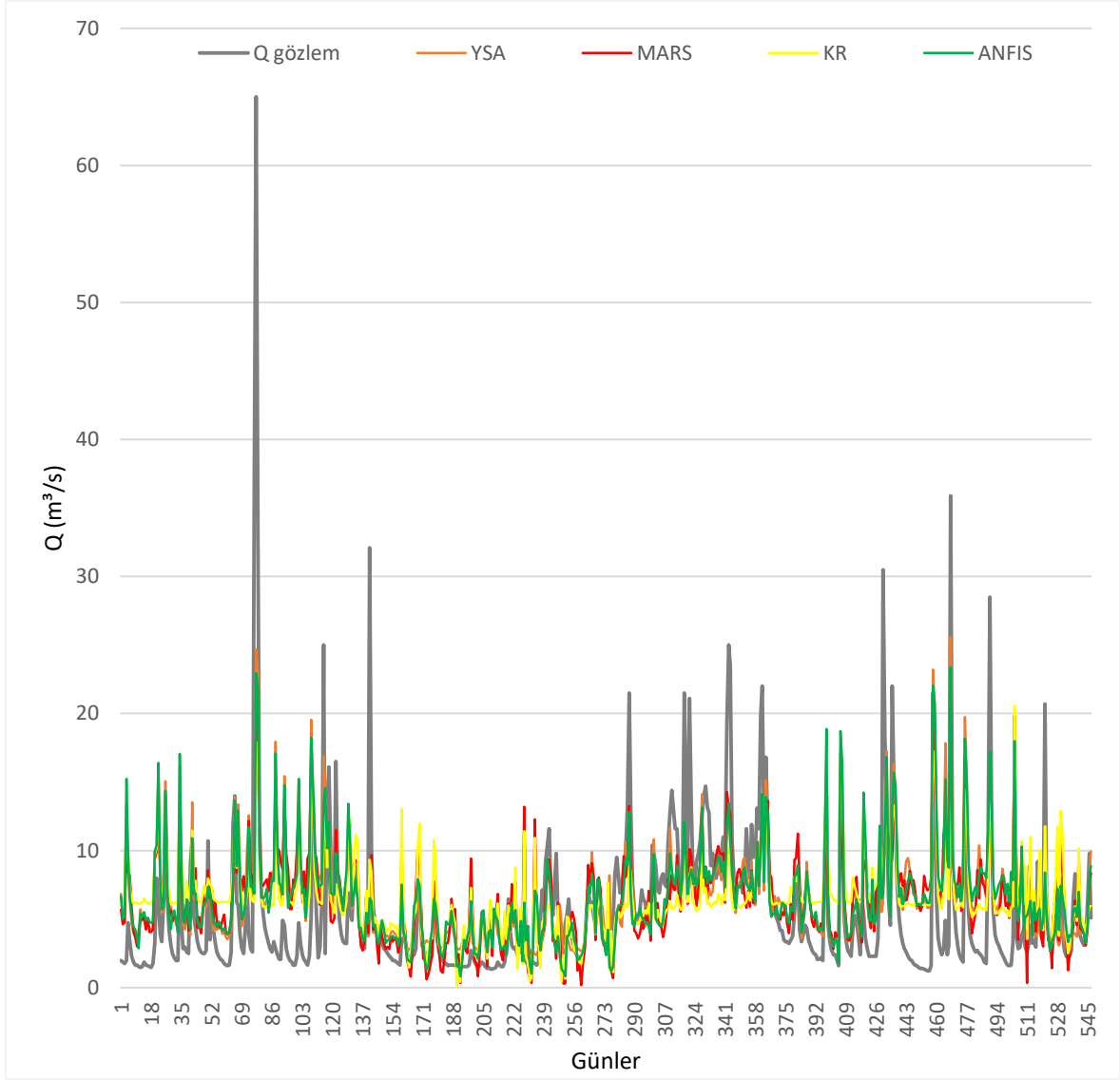
Ek Şekil 11. Mikronköprü analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



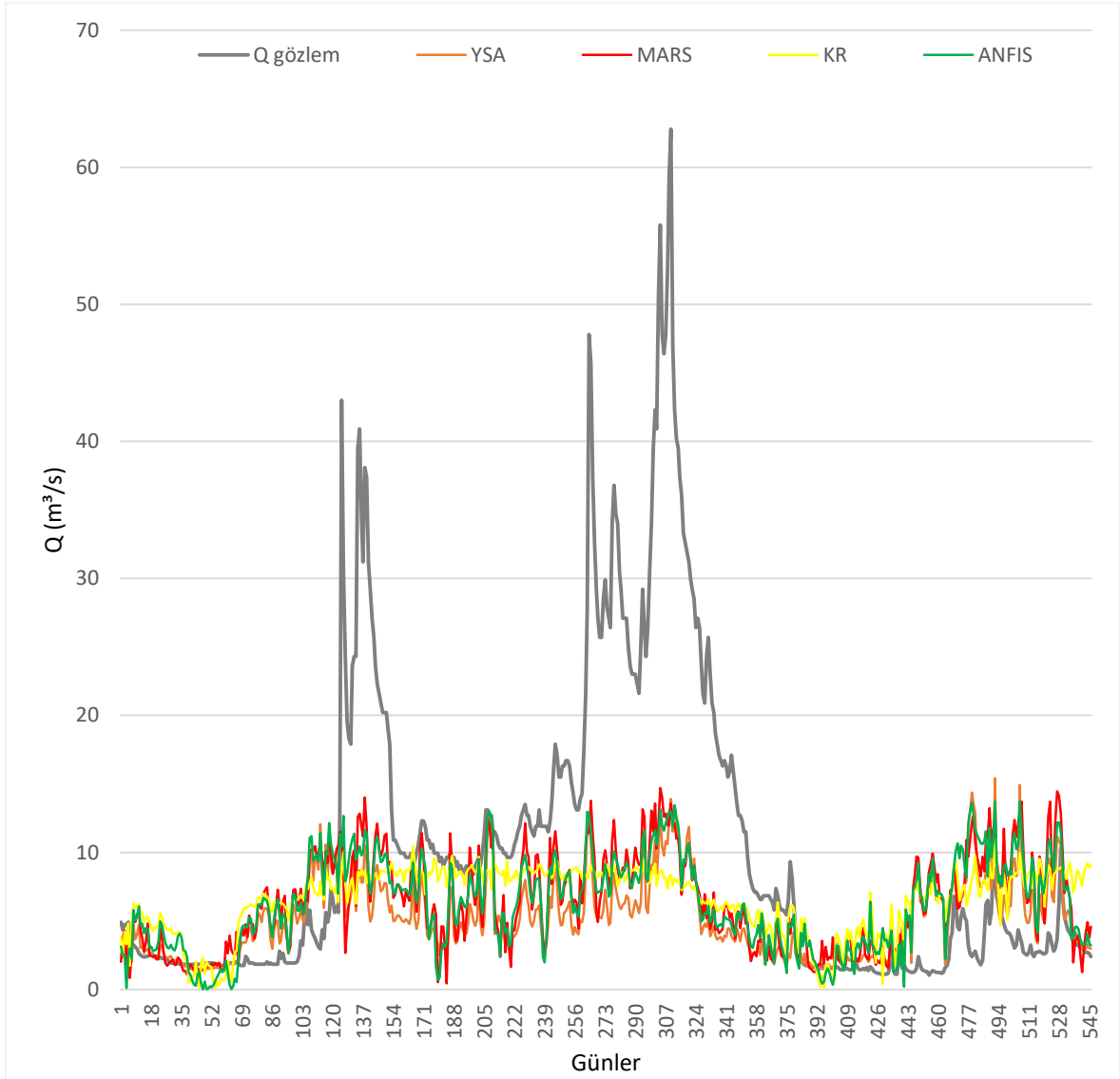
Ek Şekil 12. Kovanlık analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



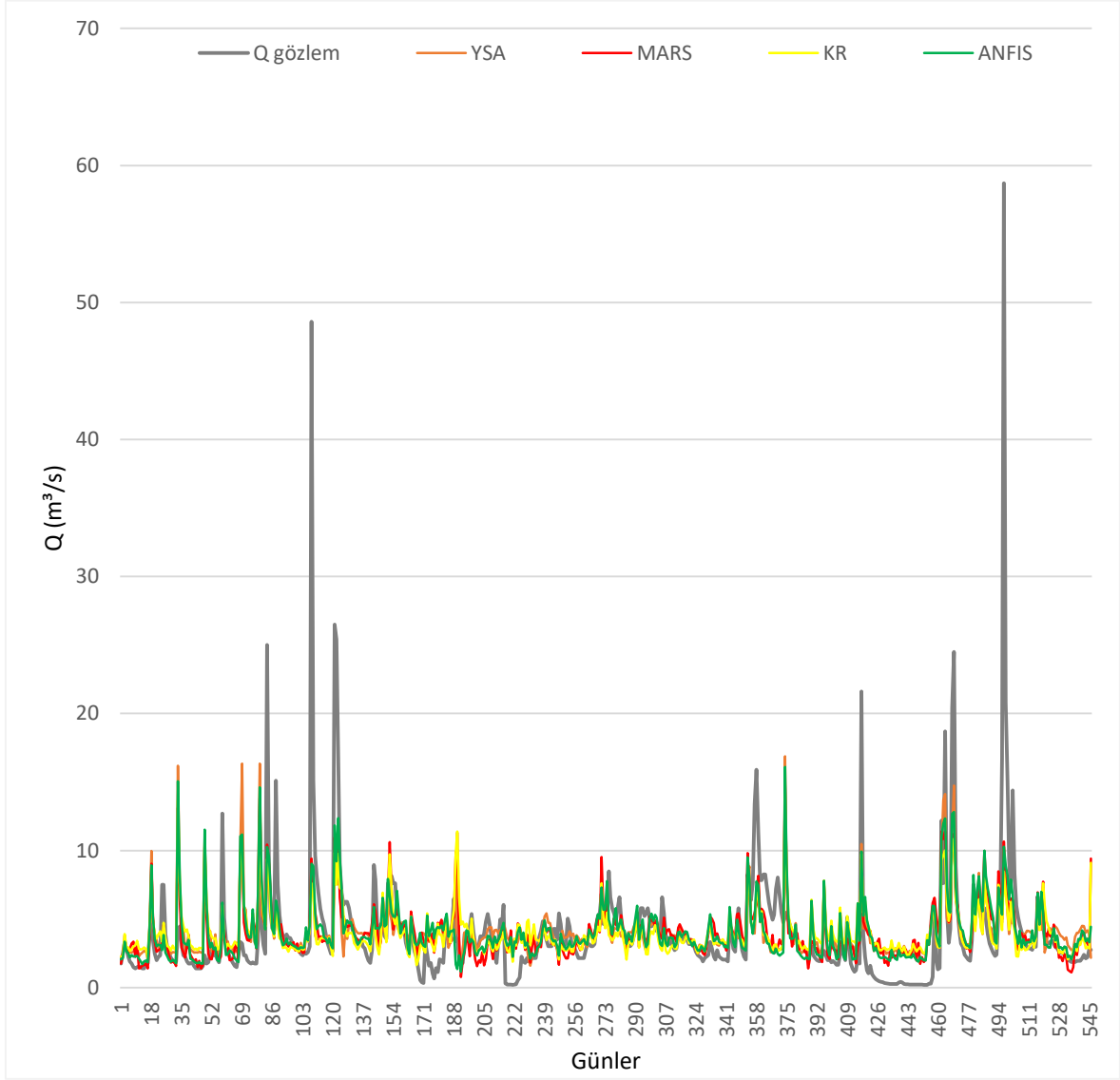
Ek Şekil 13. İkisu analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



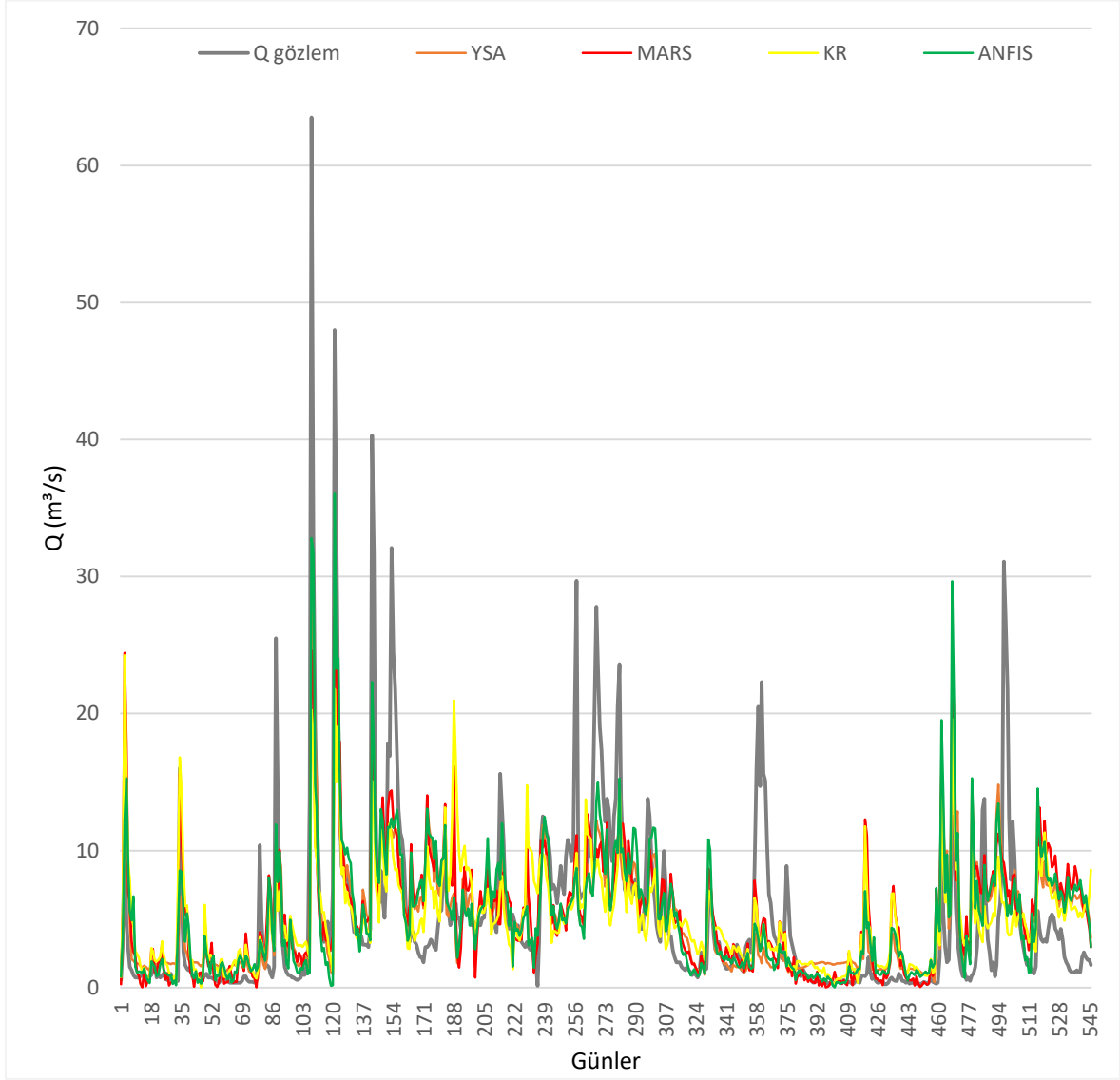
Ek Şekil 14. Arılı analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



Ek Şekil 15. Sınırköy analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



Ek Şekil 16. Kömürcüler analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması



Ek Şekil 17. Cumhuriyet Köyü Turnasuyu analiz konumunda kullanılan yöntemlere göre SPM debi tahmin performansı karşılaştırması

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Törehan BABACAN Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne 2009 yılında başladığı lisans eğitimini 2013 yılında tamamladı. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2013 yılında başladığı Yüksek Lisans eğitiminden "Giresun İli Aksu Deresi İçin Farklı Parametreler Kullanılarak Yapay Sinir Ağları İle Akış Modellemesi ve İleriye Yönelik Akım Tahminleri Yapılması" isimli tez çalışmasını tamamlayarak Enstitü Birinciliği derecesi ile 2016 yılında mezun oldu. 2015 yılından itibaren farklı projelerde mühendislik hizmeti verdi. 2019 yılında Amasya Üniversitesi Taşova Yüksel Akın Meslek Yüksekokulu bünyesinde öğretim görevlisi olarak göreve başladı ve halen Amasya Üniversitesi'nde görevine devam etmektedir.