

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERİN
BULANIKLAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Mustafa Erkan TURAN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Hidrolik

MANİSA 2013

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERİN
BULANIKLAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Mustafa Erkan TURAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.04.2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 10.05.2013

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Bekir SOLMAZ

Prof. Dr. Özhan KAYACAN

Doç. Dr. Okan FİSTİKOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Ali KUMANLIOĞLU

MANİSA 2013

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I - GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Kapsam	2
BÖLÜM II - HİDROLOJİK MODELLEME	4
2.1 Hidrolojik Modelleme	4
2.1.1 Yağış-Akış Süreci	4
2.1.2 Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması	7
2.1.3 Modelleme Süreci	9
2.1.4 Modelin Kalibrasyonu	10
2.1.5 Modelin Doğrulanması	11
2.1.6 Belirsizlik	11
2.2 GR2M Aylık İki Parametrelili Yağış-Akış Modeli	12
2.3 Thornthwaite Aylık Su Bütçesi Modeli	14
2.4 Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemleri	18
2.4.1 Oudin Potansiyel Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemi	18
2.4.2 Hamon Potansiyel Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemi	19
BÖLÜM III - YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ	20
3.1 Bulanık Sistemler	20
3.1.1 Wang-Mendel Yöntemi	24
3.1.2 Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi	25
3.2 Genetik Algoritmalar	28
3.2.1 Genetik Algoritmanın İşlem Adımları	29
3.2.2 Genetik Algoritmanın Parametreleri	31
3.3 Genetik Bulanık Sistemler (GBS)	32
3.3.1 Genetik Bulanık Sistemlerin Sınıflandırılması	33
3.3.2 Thrift Yöntemi	33
3.3.3 Genetik Bulanık Takagi-Sugeno Sistemi (GBS-TS) Yöntemi	34
BÖLÜM IV - KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERİN BULANIKLAŞTIRILMASI	37
4.1 Yapay Zekâ Entegre Kavramsal Modeller	37
4.2 GR2M Modelinin Bulanıklaştırılması	40
4.3 TWBM Modelinin Bulanıklaştırılması	42
4.4 Bulanıklaştırılmış Hidrolojik Modellerin Kalibrasyonu	44

BÖLÜM V - UYGULAMA ALANI ve KULLANILAN VERİLER	45
5.1 Çalışma Alanı	45
5.1.1 Gediz Havzası	46
5.1.2 Kullanılan Gözlem İstasyonları	47
5.2 Kullanılan Veriler	49
5.2.1 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası Verileri	49
5.2.2 Gediz Nehri-Acısü (#523) AGİ Havzası Verileri	50
5.2.3 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzası Verileri	52
5.2.4 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzası Verileri	54
BÖLÜM VI – UYGULAMA I: KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLER	56
6.1 Modelleme Genel Prensipleri	56
6.2 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	58
6.2.1 GR2M Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi	58
6.2.2 TWBM-1 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi	59
6.2.3 TWBM-2 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi	59
6.3 Gediz Nehri-Acısü (#523) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	64
6.3.1 GR2M Modeli ile Acısü (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	64
6.3.2 TWBM-1 Modeli ile Acısü (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	65
6.3.3 TWBM-2 Modeli ile Acısü (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	65
6.4 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	70
6.4.1 GR2M Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi	70
6.4.2 TWBM-1 Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi	71
6.4.3 TWBM-2 Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi	71
6.5 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	76
6.5.1 GR2M Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi	76
6.5.2 TWBM-1 Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi	77
6.5.3 TWBM-2 Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi	77
6.6 Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modelleme Sonuçları	82
BÖLÜM VII – UYGULAMA II: KARA KUTU MODELLER	84
7.1 Modelleme Genel Prensipleri	84
7.2 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi	86
7.2.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi	86

7.2.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi.....	89
7.2.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi.....	91
7.2.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi.....	94
7.3 Gediz Nehri-Acısı (#523) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi.....	96
7.3.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Acısı (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	96
7.3.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Acısı (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	99
7.3.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Acısı (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	101
7.3.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Acısı (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	104
7.4 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi.....	106
7.4.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi	106
7.4.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi	109
7.4.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi	111
7.4.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi	114
7.5 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi.....	117
7.5.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi	117
7.5.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi	119
7.5.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi	122
7.5.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi	124
7.6 Kara Kutu Modelleme Tekniği Sonuçları	127
BÖLÜM VIII – UYGULAMA III: BULANIKLAŞTIRILMIŞ KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLER.....	152
8.1 Modelleme Genel Prensipleri	152
8.2 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	153
8.2.1 B-GR2M Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi.....	153
8.2.2 B-TWBM-1 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi.....	154
8.2.3 B-TWBM-2 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi	155
8.3 Gediz Nehri-Acısı (#523) AGİ Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	160
8.3.1 B-GR2M Modeli ile Acısı (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi	160
8.3.2 B-TWBM-1 Modeli ile Acısı (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi.....	160
8.3.3 B-TWBM-2 Modeli ile Acısı (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi.....	161
8.4 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	166

8.4.1 B-GR2M Modeli ile Sazköy (#524) AĞI Havzasının Modellenmesi	166
8.4.2 B-TWBM-1 Modeli ile Sazköy (#524) AĞI Havzasının Modellenmesi.....	166
8.4.3 B-TWBM-2 Modeli ile Sazköy (#524) AĞI Havzasının Modellenmesi	167
8.5 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AĞI Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi	172
8.5.1 B-GR2M Modeli ile Yiğitler (#525) AĞI Havzasının Modellenmesi	172
8.5.2 B-TWBM-1 Modeli ile Yiğitler (#525) AĞI Havzasının Modellenmesi.....	172
8.5.3 B-TWBM-2 Modeli ile Yiğitler (#525) AĞI Havzasının Modellenmesi.....	173
8.6 Bulanıklaştırılmış Hidrolojik Modelleme Sonuçları	178
8.7. Sonuçların Genel Değerlendirilmesi	179
BÖLÜM IX - SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	182
KAYNAKLAR	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bir Havzadaki Hidrolojik Sürecin Şematik Gösterimi.....	5
Şekil 2.2 Bitki Örtüsü Üstünde ve Altında Yağış.....	6
Şekil 2.3 Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.4 Modelleme Süreci.....	10
Şekil 2.5 GR2M Modeli.....	13
Şekil 2.6 Thornthwaite Aylık Su Bütçesi Modeli.....	15
Şekil 3.1 Bir Sistemin Şematik Gösterimi.....	20
Şekil 3.2 Bulanık Çıkarım Sistemi.....	21
Şekil 3.3 Mamdani Çıkarım Motoruna Sahip Bulanık Sistem.....	22
Şekil 3.4 Takagi-Sugeno Çıkarım Motoruna Sahip Bulanık Sistem.....	23
Şekil 3.5 Birinci Dereceden İki Girdili ve İki Kurallı Takagi-Sugeno Bulanık Sistemi ve Eşdeğer ANFIS Yapısı.....	25
Şekil 3.6 Genetik Algoritma Akış Şeması.....	29
Şekil 3.7 Gen ve Kromozom Yapısı.....	29
Şekil 3.8 Thrift Yönteminin Şematik Gösterimi.....	34
Şekil 3.9 Üçgen Üyelik Fonksiyonu ve Parametre Sınırları.....	35
Şekil 4.1 YSA ile Kavramsal Model Entegrasyonu.....	37
Şekil 4.2 Alt Havza Modellerinin YSA ile Değiştirilmesi.....	38
Şekil 4.3 GR4J-YSA-GA Entegre Model.....	38
Şekil 4.4 HBV Model ve Bulanıklaştırılmış HBV Model.....	39
Şekil 4.5 GR2M Modeli.....	40
Şekil 4.6 S_1 Bulanık Sistemi.....	41
Şekil 4.7 S_2 Bulanık Sistemi.....	41
Şekil 4.8 S Bulanık Sistemi.....	41
Şekil 4.9 R_2 Bulanık Sistemi.....	41
Şekil 4.10 Bulanıklaştırılmış GR2M Modeli.....	42
Şekil 4.11 TWBM Modeli.....	43
Şekil 4.12 S Bulanık Sistemi.....	43
Şekil 4.13 Q_{Taban} Bulanık Sistemi.....	43
Şekil 4.14 Bulanıklaştırılmış TWBM Modeli.....	44
Şekil 5.1 Türkiye Havzaları.....	46
Şekil 5.2 Gediz Havzası ve Yüzey Suları.....	47
Şekil 5.3 Gediz Havzası Gözlem İstasyonları.....	48
Şekil 5.4 Kayalıoğlu (#509) İstasyonu Havzası.....	49
Şekil 5.5 Acısu (#523) İstasyonu Havzası.....	51
Şekil 5.6 Sazköy (#524) İstasyonu Havzası.....	52

Şekil 5.7 Yiğitler (#525) İstasyonu Havzası.....	54
Şekil 6.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	61
Şekil 6.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	61
Şekil 6.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	62
Şekil 6.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	62
Şekil 6.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	63
Şekil 6.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	63
Şekil 6.7 Acısu (#523) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	67
Şekil 6.8 Acısu (#523) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	67
Şekil 6.9 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	68
Şekil 6.10 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	68
Şekil 6.11 Acısu (#523) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	69
Şekil 6.12 Acısu (#523) AGİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	69
Şekil 6.13 Sazköy (#524) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	73
Şekil 6.14 Sazköy (#524) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	73
Şekil 6.15 Sazköy (#524) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	74
Şekil 6.16 Sazköy (#524) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	74
Şekil 6.17 Sazköy (#524) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	75
Şekil 6.18 Sazköy (#524) AGİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	75

Şekil 6.19 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	79
Şekil 6.20 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	79
Şekil 6.21 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	80
Şekil 6.22 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	80
Şekil 6.23 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	81
Şekil 6.24 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	81
Şekil 7.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	136
Şekil 7.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	136
Şekil 7.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	137
Şekil 7.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	137
Şekil 7.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	138
Şekil 7.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	138
Şekil 7.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	139
Şekil 7.8 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	139
Şekil 7.9 Acısu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	140
Şekil 7.10 Acısu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	140
Şekil 7.11 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	141
Şekil 7.12 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	141

Şekil 7.13 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	142
Şekil 7.14 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	142
Şekil 7.15 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	143
Şekil 7.16 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	143
Şekil 7.17 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	144
Şekil 7.18 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	144
Şekil 7.19 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	145
Şekil 7.20 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	145
Şekil 7.21 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	146
Şekil 7.22 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	146
Şekil 7.23 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	147
Şekil 7.24 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	147
Şekil 7.25 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	148
Şekil 7.26 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	148
Şekil 7.27 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	149
Şekil 7.28 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	149
Şekil 7.29 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	150
Şekil 7.30 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	150

Şekil 7.31 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	151
Şekil 7.32 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	151
Şekil 8.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	157
Şekil 8.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	157
Şekil 8.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	158
Şekil 8.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	158
Şekil 8.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	159
Şekil 8.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	159
Şekil 8.7 Acısu (#523) AGİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	163
Şekil 8.8 Acısu (#523) AGİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	163
Şekil 8.9 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	164
Şekil 8.10 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	164
Şekil 8.11 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	165
Şekil 8.12 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	165
Şekil 8.13 Sazköy (#524) AGİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	169
Şekil 8.14 Sazköy (#524) AGİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	169
Şekil 8.15 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	170
Şekil 8.16 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	170

Şekil 8.17 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	171
Şekil 8.18 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	171
Şekil 8.19 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	175
Şekil 8.20 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	175
Şekil 8.21 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	176
Şekil 8.22 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	176
Şekil 8.23 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	177
Şekil 8.24 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri.....	177

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 GR2M Modeli Parametrelerinin Dağılımı.....	14
Çizelge 2.2 TWBM Modeli Parametrelerinin Önerilen Değerleri.....	17
Çizelge 5.1 Gediz Havzasında Seçilen Akım Gözlem İstasyonları.....	48
Çizelge 5.2 Gediz Havzası İçin Belirlenen Meteoroloji Gözlem İstasyonları.....	48
Çizelge 5.3 Kayalıoğlu (#509) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler.....	50
Çizelge 5.4 Kayalıoğlu (#509) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler.....	50
Çizelge 5.5 Acısu (#523) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler.....	51
Çizelge 5.6 Acısu (#523) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler.....	52
Çizelge 5.7 Sazköy (#524) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler.....	53
Çizelge 5.8 Sazköy (#524) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler	53
Çizelge 5.9 Yiğitler (#525) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler.....	55
Çizelge 5.10 Yiğitler (#525) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler.....	55
Çizelge 6.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri.....	58
Çizelge 6.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	58
Çizelge 6.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	58
Çizelge 6.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri.....	59
Çizelge 6.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	59
Çizelge 6.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	59
Çizelge 6.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri.....	60
Çizelge 6.8 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	60
Çizelge 6.9 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	60

Çizelge 6.10 Acısu (#523) AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri.....	64
Çizelge 6.11 Acısu (#523) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	64
Çizelge 6.12 Acısu (#523) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	64
Çizelge 6.13 Acısu (#523) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri.....	65
Çizelge 6.14 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	65
Çizelge 6.15 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	65
Çizelge 6.16 Acısu (#523) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri.....	66
Çizelge 6.17 Acısu (#523) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	66
Çizelge 6.18 Acısu (#523) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	66
Çizelge 6.19 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri.....	70
Çizelge 6.20 Sazköy (#524) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	70
Çizelge 6.21 Sazköy (#524) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	70
Çizelge 6.22 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri.....	71
Çizelge 6.23 Sazköy (#524) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	71
Çizelge 6.24 Sazköy (#524) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	71
Çizelge 6.25 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri.....	72
Çizelge 6.26 Sazköy (#524) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	72
Çizelge 6.27 Sazköy (#524) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	72
Çizelge 6.28 Yiğitler (#525)AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri.....	76
Çizelge 6.29 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	76
Çizelge 6.30 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	76
Çizelge 6.31 Yiğitler (#525) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri.....	77

Çizelge 6.32 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	77
Çizelge 6.33 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	77
Çizelge 6.34 Yiğitler (#525) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri.....	78
Çizelge 6.35 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	78
Çizelge 6.36 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	78
Çizelge 6.37 Kayalıoğlu (#509) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	82
Çizelge 6.38 Acısu (#523) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri..	82
Çizelge 6.39 Sazköy (#524) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	82
Çizelge 6.40 Yiğitler (#525) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri	83
Çizelge 7.1 Girdi Yapılarına Göre Kara Kutu Modeller.....	84
Çizelge 7.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri.....	86
Çizelge 7.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	87
Çizelge 7.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri.....	87
Çizelge 7.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	87
Çizelge 7.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri.....	88
Çizelge 7.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	88
Çizelge 7.8 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri.....	88
Çizelge 7.9 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	88
Çizelge 7.10 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri.....	89
Çizelge 7.11 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	89

Çizelge 7.12 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	89
Çizelge 7.13 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	90
Çizelge 7.14 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	90
Çizelge 7.15 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına	
Ait Sonuçların İstatistikleri.....	90
Çizelge 7.16 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	91
Çizelge 7.17 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına	
Ait Sonuçların İstatistikleri.....	91
Çizelge 7.18 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	91
Çizelge 7.19 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	92
Çizelge 7.20 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	92
Çizelge 7.21 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	92
Çizelge 7.22 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	93
Çizelge 7.23 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına	
Ait Sonuçların İstatistikleri.....	93
Çizelge 7.24 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	93
Çizelge 7.25 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına	
Ait Sonuçların İstatistikleri.....	93
Çizelge 7.26 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	94
Çizelge 7.27 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	94
Çizelge 7.28 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	94
Çizelge 7.29 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	95

Çizelge 7.30 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	95
Çizelge 7.31 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına	
Ait Sonuçların İstatistikleri.....	95
Çizelge 7.32 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	96
Çizelge 7.33 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına	
Ait Sonuçların İstatistikleri.....	96
Çizelge 7.34 Acısu (#523) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	96
Çizelge 7.35 Acısu (#523) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	97
Çizelge 7.36 Acısu (#523) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerler.....	97
Çizelge 7.37 Acısu (#523) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	97
Çizelge 7.38 Acısu (#523) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	98
Çizelge 7.39 Acısu (#523) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	98
Çizelge 7.40 Acısu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	98
Çizelge 7.41 Acısu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	98
Çizelge 7.42 Acısu (#523) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	99
Çizelge 7.43 Acısu (#523) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	99
Çizelge 7.44 Acısu (#523) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	99
Çizelge 7.45 Acısu (#523) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	100
Çizelge 7.46 Acısu (#523) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	100
Çizelge 7.47 Acısu (#523) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	100

Çizelge 7.48 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	101
Çizelge 7.49 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	101
Çizelge 7.50 Acısu (#523) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	101
Çizelge 7.51 Acısu (#523) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	102
Çizelge 7.52 Acısu (#523) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	102
Çizelge 7.53 Acısu (#523) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	102
Çizelge 7.54 Acısu (#523) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	103
Çizelge 7.55 Acısu (#523) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	103
Çizelge 7.56 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	103
Çizelge 7.57 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	103
Çizelge 7.58 Acısu (#523) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	104
Çizelge 7.59 Acısu (#523) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	104
Çizelge 7.60 Acısu (#523) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	104
Çizelge 7.61 Acısu (#523) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	105
Çizelge 7.62 Acısu (#523) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	105
Çizelge 7.63 Acısu (#523) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	105
Çizelge 7.64 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	106
Çizelge 7.65 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	106

Çizelge 7.66 Sazköy (#524) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	106
Çizelge 7.67 Sazköy (#524) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	107
Çizelge 7.68 Sazköy (#524) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	107
Çizelge 7.69 Sazköy (#524) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	107
Çizelge 7.70 Sazköy (#524) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	108
Çizelge 7.71 Sazköy (#524) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	108
Çizelge 7.72 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	108
Çizelge 7.73 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	109
Çizelge 7.74 Sazköy (#524) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	109
Çizelge 7.75 Sazköy (#524) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	109
Çizelge 7.76 Sazköy (#524) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	110
Çizelge 7.77 Sazköy (#524) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	110
Çizelge 7.78 Sazköy (#524) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	110
Çizelge 7.79 Sazköy (#524) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	111
Çizelge 7.80 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	111
Çizelge 7.81 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	111
Çizelge 7.82 Sazköy (#524) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	112
Çizelge 7.83 Sazköy (#524) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	112

Çizelge 7.84 Sazköy (#524) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	112
Çizelge 7.85 Sazköy (#524) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	113
Çizelge 7.86 Sazköy (#524) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	113
Çizelge 7.87 Sazköy (#524) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	113
Çizelge 7.88 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	114
Çizelge 7.89 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	114
Çizelge 7.90 Sazköy (#524) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	114
Çizelge 7.91 Sazköy (#524) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	115
Çizelge 7.92 Sazköy (#524) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	115
Çizelge 7.93 Sazköy (#524) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	115
Çizelge 7.94 Sazköy (#524) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	116
Çizelge 7.95 Sazköy (#524) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	116
Çizelge 7.96 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	116
Çizelge 7.97 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	116
Çizelge 7.98 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	117
Çizelge 7.99 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	117
Çizelge 7.100 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	118
Çizelge 7.101 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	118

Çizelge 7.102 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	118
Çizelge 7.103 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	118
Çizelge 7.104 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	119
Çizelge 7.105 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	119
Çizelge 7.106 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	119
Çizelge 7.107 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	120
Çizelge 7.108 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	120
Çizelge 7.109 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	120
Çizelge 7.110 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	121
Çizelge 7.111 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	121
Çizelge 7.112 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	121
Çizelge 7.113 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	121
Çizelge 7.114 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	122
Çizelge 7.115 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	122
Çizelge 7.116 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	122
Çizelge 7.117 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	123
Çizelge 7.118 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	123
Çizelge 7.119 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	123

Çizelge 7.120 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	124
Çizelge 7.121 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	124
Çizelge 7.122 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	124
Çizelge 7.123 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	125
Çizelge 7.124 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	125
Çizelge 7.125 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	125
Çizelge 7.126 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	126
Çizelge 7.127 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	126
Çizelge 7.128 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması	
Performans Değerleri.....	126
Çizelge 7.129 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait	
Sonuçların İstatistikleri.....	126
Çizelge 7.130 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	127
Çizelge 7.131 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	128
Çizelge 7.132 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	128
Çizelge 7.133 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans	
Değerleri.....	129
Çizelge 7.134 Acısu (#523) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri....	129
Çizelge 7.135 Acısu (#523) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri....	130
Çizelge 7.136 Acısu (#523) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri....	130
Çizelge 7.137 Acısu (#523) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri....	131
Çizelge 7.138 Sazköy (#524) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri..	131
Çizelge 7.139 Sazköy (#524) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri..	132
Çizelge 7.140 Sazköy (#524) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri..	132
Çizelge 7.141 Sazköy (#524) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri..	133
Çizelge 7.142 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri...	134

Çizelge 7.143 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri...	134
Çizelge 7.144 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri...	135
Çizelge 7.145 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri...	135
Çizelge 8.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	154
Çizelge 8.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	154
Çizelge 8.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	154
Çizelge 8.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	155
Çizelge 8.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri.....	155
Çizelge 8.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	155
Çizelge 8.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	156
Çizelge 8.8 Acısu (#523) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	160
Çizelge 8.9 Acısu (#523) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	160
Çizelge 8.10 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	161
Çizelge 8.11 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	161
Çizelge 8.12 Acısu (#523) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri.....	161
Çizelge 8.13 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	161
Çizelge 8.14 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	162
Çizelge 8.15 Sazköy (#524) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	166
Çizelge 8.16 Sazköy (#524) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	166
Çizelge 8.17 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	167
Çizelge 8.18 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	167

Çizelge 8.19 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri.....	167
Çizelge 8.20 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	167
Çizelge 8.21 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	168
Çizelge 8.22 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	172
Çizelge 8.23 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	172
Çizelge 8.24 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	173
Çizelge 8.25 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	173
Çizelge 8.26 Yiğitler (#525) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri.....	173
Çizelge 8.27 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	173
Çizelge 8.28 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri.....	174
Çizelge 8.29 Kayalıoğlu (#509) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	178
Çizelge 8.30 Acısu (#523) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri..	178
Çizelge 8.31 Sazköy (#524) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	179
Çizelge 8.32 Yiğitler (#525) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	179
Çizelge 8.33 Kayalıoğlu (#509) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	180
Çizelge 8.34 Acısu (#523) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	180
Çizelge 8.35 Sazköy (#524) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	181
Çizelge 8.36 Yiğitler (#525) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri.....	181

KISALTMALAR LİSTESİ

- AET:** Gerçekleşen evapotranspirasyon
AGİ: Akım gözlem istasyonu
ANFIS: Adaptive neuro fuzzy inference system
ÇOB: Çevre ve Orman Bakanlığı
DSİ: Devlet Su İşleri
EİE: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
GBS: Genetik bulanık sistemler
GBS-TS: Genetik bulanık Takagi-Sugeno sistemi
GR2M: Stands modèle du Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel
GR4J: Modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier
HBV: Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning model
IHMS: Integrated Hydrological Modeling System
KE: Kar erimesi
KEO: Kar erimesi oranı
MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PET: Potansiyel evapotranspirasyon
TWBM: Thornthwaite su bütçesi modeli
TWBM-1: Thornthwaite su bütçesi modeli 1. durum
TWBM-2: Thornthwaite su bütçesi modeli 2. durum
WM: Wang-Mendel yöntemi
YSA: Yapay sinir ağı

TEŞEKKÜR

Tez çalışma sırasında her anlamda yardımını, bilimsel katkı ve tecrübelerini esirgemeyen bana yol gösteren danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV' e teşekkür ederim.

Çalışma konusundaki bilgilerini benimle paylasan ve yol gösteren Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Ali KUMANLIOĞLUNA' a teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasında yapmış olduğu katkılardan dolayı arkadaşım Meteoroloji Müh. Mert Sıtkı ŞEN' e teşekkür ederim.

Bu süreçte her zaman yanımda olan desteğini hiç esirgemeyen ve hayatından oldukça fazla ödün veren canım eşim Göksen BACAK TURAN' a ve eğitimimin her aşamasında beni destekleyen ve yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Mustafa Erkan TURAN

Mayıs - 2013

KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERİN BULANIKLAŞTIRILMASI

ÖZET

Akarsu sistemlerinin geliştirilmesi ve işletilmesi büyük oranda o akarsuyun taşıyacağı su miktarının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır. Bu tahminler özellikle depolama tesislerinin sağlayabileceği potansiyel su miktarının ve taşkın kontrol yapılarının tasarımında dikkate alınacak proje debilerinin belirlenmesinde önemli olmaktadır. Akım tahmini olgusu geleneksel olarak hidrolojik modeller ve kara kutu modeller ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada hidrolojik modelleme olgusu kavramsal hidrolojik modeller bağlamında yeniden ele alınmış ve bu modellerin modelleme başarısının modellerin içsel süreçlerinin bulanık sistemler ile ifade edilmesi yoluyla artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla bulanıklaştırılmış kavramsal modeller elde edilmiştir. Bulanıklaştırma işleminde kullanılmak üzere GR2M (Stands modèle du Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel) ve TWBM (Thorntwaite Water Balance Model) aylık yağış akış modelleri dikkate alınmıştır.

Seçilen modellerin özellikle depolama elemanları bulanık süreçler olarak tanımlanmıştır. Modellere entegre edilen bu bulanık sistemler uzman bilgisi gerektirmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Bulanıklaştırılan hidrolojik modellerde bulunan parametreler kalibrasyon sürecinde genetik algoritma kullanılarak otomatik olarak elde edilmiştir.

Modellerin uygulaması Gediz Havzası üzerinde seçilen dört adet akım gözlem istasyonunun aylık akımlarının tahmini özelinde gerçekleştirilmiştir. Model girdi değerlerini oluşturan yağış ve sıcaklık verileri bu istasyonların yağış havzalarını temsil eden meteoroloji istasyonlarından elde edilmiştir. Uygulama üç aşamalı bir süreçle tamamlanmıştır. İlk aşamada belirtilen hidrolojik modeller yalın olarak söz konusu istasyonlara uygulanmıştır. İkinci aşamada uygun bulanık sistem araştırmasına temel olması amacıyla bazı bulanık sistemler seçilen havzada kara kutu model olarak uygulanmıştır. Kara kutu modelleme çalışması sonucunda uygun bulunan Genetik Bulanık Takagi-Sugeno Sistemi ile GR2M ve TWBM modelleri bulanıklaştırılmış ve son aşamada Gediz Havzasına uygulanmıştır.

Uygulama sonuçları, kavramsal hidrolojik modellerin bulanıklaştırma işlemi ile tahmin başarısını artırdığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak yapılan bu çalışmanın gelecekte yapılacak benzer çalışmalar için cesaret verici bir zemin oluşturacağı düşünülmektedir.

FUZZIFICATION OF CONCEPTUAL HYDROLOGICAL MODELS

ABSTRACT

Development and management of river regulation systems are largely dependent upon the reliable estimates of the water quantity a river carries. These estimates are particularly important in assessing the potential water quantity storage schemes would yield and the design discharges of flood control schemes. Flow forecasting has conventionally been carried out by hydrological models and black-box models. In this study, hydrological modeling has been revisited in the context of conceptual hydrological modeling. It is aimed to increase the modeling performances of conceptual models through fuzzification of internal processes of such models. For this purpose, two fuzzified hydrological model has been developed based on GR2M and TWBM monthly rainfall-runoff models.

The storage elements of the models selected are defined as fuzzy processes. The fuzzy systems integrated into the models have been designed in a way where no expert knowledge is required. The parameters within the fuzzified hydrological models are adjusted using genetic algorithms during calibration process.

A case study is, then, conducted on Gediz River Basin, Turkey. The monthly flows of 4 flow gauge stations have been estimated. The input values formed by rainfall and temperature values have been derived from the meteorological observation stations assumed to be the representative of the drainage basins of the flow gauge stations.

The case study has been completed through a three-stage process. In the first stage, the original hydrological models mentioned have been applied to the case study area. In the second stage, some fuzzy systems are applied as black-box models to the case study area in an attempt to find an appropriate fuzzy system for fuzzifying hydrological models. Takagi-Sugeno fuzzy system has been selected through this exercise. In the last stage, GR2M and TWBM models have been fuzzified and resultant models applied to Gediz Basin.

The findings of the case study have shown that the forecasting performance of the conceptual models has considerably been increased through the fuzzification procedure. It is, therefore, envisaged that this research could form an encouraging basis for similar studies that could be undertaken in future.

BÖLÜM I

GİRİŞ

Bu bölümde tezin amacı, su mühendisliğinde önemli bir bilimsel çalışma alanı olan hidrolojik modellemedeki yeri ve kapsamı ele alınmaktadır. Böylece çalışmayı meydana getiren unsurlar ana hatları ile tanıtılmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Su hayatın sürmesi için gerekli temel maddelerden biridir. Hayatın devamını sağlayan bu maddeye canlıların ihtiyaçları olduğu zaman ve ihtiyaç duydukları miktarda erişebilmeleri gerekmektedir. Ancak yeryüzünde su kaynaklarına olan ihtiyacın artması ve su kaynaklarının kirlenmesi sonucunda kullanılabilir su miktarı gittikçe daha kısıtlı hale gelmektedir. Suya ulaşabilmenin yanında suyun kirliliğinden ve fazlalığından gelebilecek zararlardan da korunmak bir ihtiyaçtır. Bu amaçla yapılan çalışmalar bir zorunluluk oluşturmaktadır ve bu çalışmalar genel olarak su kaynaklarının geliştirilmesi olarak adlandırılmaktadır.

Su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında, suya duyulan ihtiyacın miktarı, kullanılabilecek mevcut ve potansiyel su miktarı ve zarar verebilecek su miktarı ve niteliği anahtar rol oynamaktadır. Bu miktarlar uzun yıllar hizmet verecek şekilde projelendirilen su kaynakları projelerinin büyüklüğünü ve hizmet kalitesini belirlemektedir. Bu sebeple su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında kullanılacak su miktarının zaman içinde alacağı değerlerin önceden bilinmesi ve çalışmaların bu değerlere göre yapılması gerekmektedir. Akım tahmini olarak adlandırılan bu konu üzerine yapılan çalışmalar literatürde önemli bir yer tutmaktadır.

Bu araştırmada, su kaynaklarının geliştirilmesinin önemli bir parçası olan akım tahmini konusu literatürde oldukça fazla ele alınmış olmasına rağmen akım tahminlerinin iyileştirilmesi bağlamında yeniden ele alınmıştır. Konu, havzada yağışın akışa dönüşümünü kavramsal olarak ele alan, bu dönüşüm işlemini yüzeysel akış, sızma, yeraltı akışı, depolama gibi bileşenler olarak ifade ederek akım miktarını belirleyen kavramsal hidrolojik modeller ve bu modellerin başarısının artırılması çerçevesinde incelenmiştir.

Çalışmanın başlıca amacı, kavramsal hidrolojik modellerin modelleme başarısını, var olan kavramsal hidrolojik modellerin içsel süreçlerini bulanık sistemler ile artırıp, yeni modelin kalibrasyon aşamasını uzman bilgisi olmadan otomatik olarak yapmaktır.

1.2 Kapsam

Kavramsal hidrolojik modeller, gerçek hidrolojik sürecin basitleştirilmiş bir kopyası olduğundan öncelikle hidrolojik çevrimin iyi bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Böylece bir model elde etmek için temel bilgiler sağlanmış olur. Hidrolojik çevrim ve hidrolojik modelleme hakkında yapılan daha önceki çalışmalar ışığında yeni modeller geliştirilebilir. Bu amaçla, Bölüm II kapsamında yağış-akış sürecinden detaylı olarak bahsedilmiştir. Bölümün devamında, hidrolojik modellere neden ihtiyaç duyulduğu, hidrolojik modellerin nasıl elde edildiği, hidrolojik modellerin nasıl sınıflandırıldığı ve model parametrelerinin nasıl elde edildiği gibi konular hakkında bilgiler verilmektedir. Son olarak çalışmada kullanılan aylık toplu kavramsal modeller olan GR2M (Stands modèle du Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel) ve TWBM (Thorntwaite Water Balance Model) modellerinin yağış akış sürecini nasıl betimlediği açıklanmaktadır.

Yapılan bu çalışmanın bir ayağını hidrolojik kavramsal modeller diğer ayağını ise yapay zekâ teknikleri oluşturmaktadır. Çalışmada, yapay zekâ tekniklerinden bulanık sistemler, genetik algoritmalar ve genetik bulanık sistemler kullanılmaktadır. Bölüm III' te bulanık sistemlerin nasıl işlediği, bu çalışmada kullanılan bulanık sistem tipleri, genetik algoritmaların nasıl işlediği konusunda bilgiler verilmektedir. Daha sonra çalışmada kullanılan bulanık sistemlerin genetik algoritmalar ile öğrenme ve ayarlama yeteneği kazanması sonucunda ortaya çıkan genetik bulanık sistemler açıklanmaktadır. Genetik bulanık sistemlerden seçilen yöntemler olan Mamdani tipi çıkarım motoruna sahip bulanık istemler için Thrift ve Takagi-Sugeno tipi bulanık sistemler için GBS-TS (Genetik Bulanık Takagi-Sugeno Sistemi) yöntemlerinin nasıl işlediği anlatılmaktadır. Son olarak seçilen genetik bulanık yöntemlerin performanslarının karşılaştırılacağı Mamdani tipi çıkarım motoruna sahip bulanık istemler için WM (Wang-Mendel) ve Takagi-Sugeno tipi bulanık sistemler için ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) yöntemleri Bölüm III içinde açıklanmaktadır.

Kavramsal hidrolojik modeller ile bulanık sistemlerin entegre edilip bulanıklaştırılmış hidrolojik modellerin nasıl elde edildiği Bölüm IV' te açıklanmaktadır. GR2M modeli ile bulanık sistemlerin entegrasyonu sonucunda çalışmada B-GR2M olarak adlandırılacak bulanıklaştırılmış GR2M modeli, TWBM modeli ile bulanık sistemlerin entegrasyonu sonucunda B-TWBM bulanıklaştırılmış TWBM modeli elde edilmektedir. B-GR2M ve B-TWBM modellerinin otomatik kalibrasyon ile parametrelerinin tahmininde genetik algoritma yöntemi kullanılmaktadır. GR2M modelinin bulanıklaştırılması sonucunda modele ait parametre içermeyen bir bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik model elde edilmektedir. TWBM modelinde ise model parametrelerinin de

sonuca etkisini incelemek amacıyla B-TWBM-1 ve B-TWBM-2 olmak üzere iki farklı TWBM modeli oluşturulmaktadır.

Üçüncü ve dördüncü bölümde bahsedilen bütün modellerin uygulamalarının yapılması amacıyla Gediz Havzasında bulunan, Kayalıoğlu (#509), Acısu (#523), Sazköy (#524) ve Yiğitler (#525) akım gözlem istasyonlarının havzaları modellenmiştir. Bölüm V' te öncelikle Gediz Havzasının sahip olduğu özellikler anlatılmaktadır. Daha sonra, bahsedilen dört akım gözlem istasyonunun ve bu havzaları meteorolojik anlamda temsil eden meteoroloji gözlem istasyonlarının konumlarından bahsedilmektedir. Yöntemlere ve modellere göre kullanılan verilerin süreleri ve istatistikleri açıklandıktan sonra bölümün son kısmında modellerin performanslarının nasıl karşılaştırıldığı ve hangi performans ölçütlerinin kullanıldığı anlatılmaktadır.

Çalışmanın bundan sonraki kısmını yapılan uygulamalar oluşturmaktadır. Bölüm VI' da kavramsal hidrolojik modeller, GR2M, TWBM-1 ve TWBM-2 modelleri ile Gediz Havzasındaki seçilen dört istasyonun havzaları modellenmektedir. Elde edilen sonuçlar çizelgeler halinde sunulduktan sonra bölümün sonunda toplu halde verilmekte ve en iyi performans değerlerinin elde edildiği modellerin sonuçları grafiksel olarak sunulmaktadır.

Bulanıklaştırılmış kavramsal modellerde kullanılacak genetik bulanık sistem yöntemini belirlemek amacıyla Bölüm III' te bahsedilen yöntemlerin uygulamaları Bölüm VII' de yapılmaktadır. Bu amaçla kara kutu modelleme tekniği ile Gediz Havzasında seçilen dört akım gözlem istasyonunun akımları modellenmektedir. Yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon verileri kullanarak dört farklı girdi yapısında modeller elde edilerek WM, ANFIS, Thrift ve GBS-TS yöntemlerinin uygulamaları yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar çizelgeler ve grafikler halinde gösterilmektedir.

Son uygulama bölümü olan Bölüm VIII' de çalışmanın amacı olan otomatik kalibrasyon özelliğine sahip bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modellerin uygulaması yapılmaktadır. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla, Bölüm VI' daki uygulamaya paralel olarak GR2M, TWBM-1, TWBM-2 modellerinin bulanıklaştırılmış halleri B-GR2M, B-TWBM-1 ve B-TWBM-2 modellerinin aynı veriler ile uygulamasının performans değerleri elde edilmektedir. Sonuçlar diğer uygulama bölümlerinde olduğu gibi çizelgeler ve grafikler halinde sunulmaktadır.

Bölüm IX Sonuçlar ve Öneriler olan son bölümde yapılan çalışmadaki sonuçlar değerlendirilip yorumlanmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM II

HİDROLOJİK MODELLEME

Bu bölümde, yapılan çalışma kapsamında dikkate alınan hidrolojik modelleme süreci ve hidrolojik modeller hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan GR2M (Standards modèle du Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel) ve TWBM (Thorntwaite Water Balance Model) modellerinin yapısı anlatılmaktadır.

2.1 Hidrolojik Modelleme

Hidrolojik modeller ile doğada var olan sistem basit olarak tasvir edilerek gerekli bilgilere ulaşılmak istenir. Hidrolojik modellere olan ihtiyaç, hidrolojik ölçüm tekniklerinin ve ölçümlerin mekânda ve zamanda sınırlı olmasından dolayı ortaya çıkmıştır (Beven, 2001).

Hidrolojik modeller;

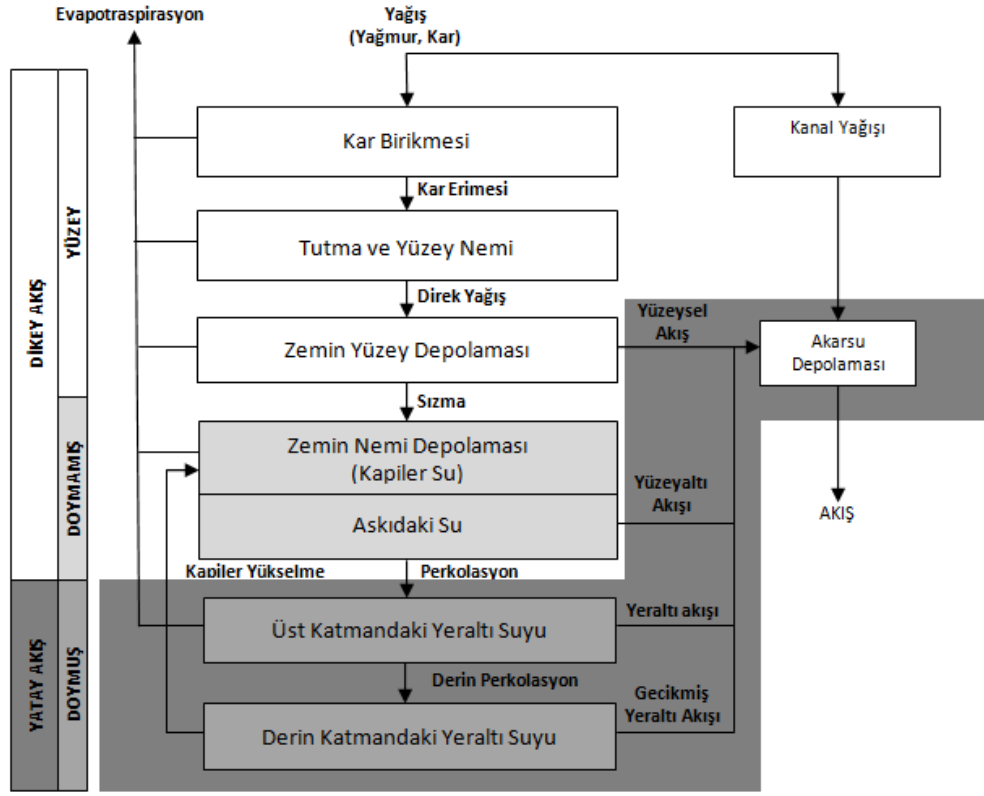
- Su kaynaklarının geliştirilmesi amacıyla yapılan tesislerin planlanması, işletilmesi, geliştirilmesi gibi konularda ihtiyaç duyulan verinin uzatılması,
- Ölçüm yapılamamış havzalarda hidrolojik verinin tahmin edilmesi,
- Havzadaki alan kullanımı değişikliği, iklim değişikliği gibi değişimlerin havzaya etkisinin tahmin edilmesi,
- Hidroloji ve meteoroloji biliminin ortak çalışmasıyla Global İklim Modellerinin elde edilmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar (Wheater, 2008).

2.1.1 Yağış-Akış Süreci

Yağış-akış süreci, havza üzerine düşen yağışın akarsu ve evapotranspirasyon yoluyla havzayı terk etmesi şeklinde tanımlanır (Linsle et al., 1958). Bu süreç havza yüzeyinin üstünde ve altında meydana gelen birbiriyle ilişkili olaylar topluluğudur. Bir havzadaki hidrolojik süreç şematik olarak Şekil 2.1' de gösterilmektedir.

Yağış akış sürecinde, süreç başlangıcı yağışın başlaması olarak kabul edildiğinde yağışın akış haline geçmesi aşağıdaki yolları izleyerek olmaktadır. Yağış akışa doğrudan geçebileceği gibi farklı yolları izleyerek de akış haline geçebilir.

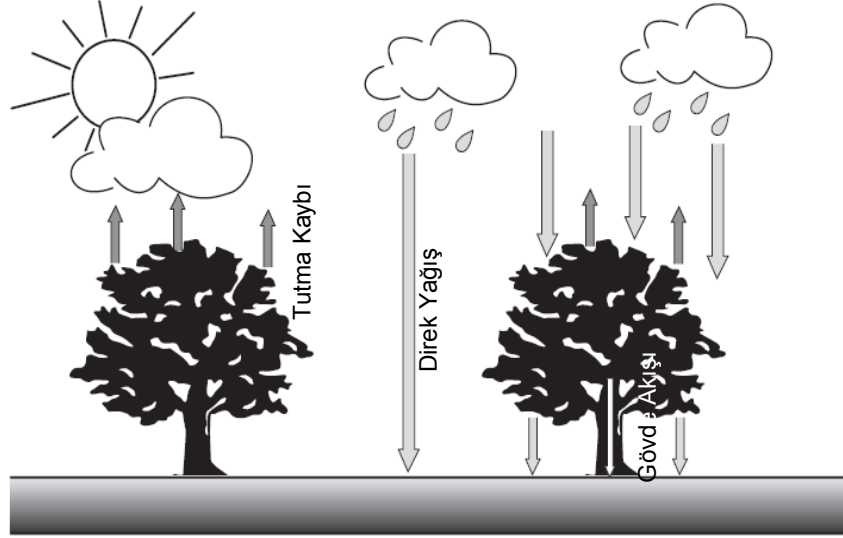
Yağış havzada akarsu üzerine, bitki örtüsü üzerine veya doğrudan toprak üzerine düşebilir. Akarsu üzerine düşen yağış hemen akışa katılır. Buna kanal yağışı (channel precipitation) adı verilmektedir (Wagener et al., 2004).



Şekil 2.1 Bir Havzadaki Hidrolojik Sürecin Şematik Gösterimi (Becker, 1992)

Bitki örtüsü üzerine düşen yağış ya toprağa ulaşmadan atmosfere döner ya da zemine ulaşır. Yağışın bitki tarafından alıkonmasına *tutma* (*interception*), tutulan suyun *buharlaşıma* (*evaporation*) ile atmosfere geri dönmesine *tutma kaybı* (*interception loss*) denir. Bitki tarafından alıkonamayan su, *direk yağış* (*throughfall*), *damlama* (*dripping, indirect throughfall*) ve *gövde akışı* (*stemflow*) ile toprağa ulaşır. Direk yağış, yağışın bitki örtüsü arasındaki boşluklardan geçerek doğrudan toprağa ulaşmasıdır. Bitkinin su tutan yüzeylerinin daha fazla su tutamayacak duruma gelmesi yani *tutma kapasitesine* (*interception storage capacity*) ulaşması ile su damlayarak toprağa ulaşır. Suyun bitki üzerinden toprağa ulaşmasının diğer yolu da gövde akışı olarak adlandırılan yapraklardaki ve dallardaki suyun gövde üzerinden akararak toprağa ulaşmasıdır (Davie, 2008). Bitki örtüsü üzerine düşen suyun izlediği yollar Şekil 2.2' de gösterilmektedir.

Zemine ulaşabilen, akarsuda akışı oluşturan yağış *net yağış* (*net precipitation*) olarak adlandırılır. Bu yağış zeminin üzerinden ve zeminin içinden hareket ederek akarsuya ulaşır. Zeminin üzerinde hareket eden akış *yüzeysel akış*, zemin altındaki akış bulunduğu bölgeye ve yönüne göre *yüzey altı akış*, *perkolasyon* veya *yeraltı suyu akışı* olarak adlandırılır.



Şekil 2.2 Bitki Örtüsü Üstünde ve Altında Yağış (Davie, 2008).

Yüzeysel akış, zemin yüzeyinde tabaka halinde akan akış olarak adlandırılır. Yüzeysel akışın meydana gelmesinde farklı mekanizmalar rol oynamaktadır. Bu mekanizmalardan biri Horton (1933) tarafından önerilen *sızma aşımı mekanizmasıdır* (infiltration excess overland flow or Hortonian overland flow). Buna göre yağış şiddetinin *sızma kapasitesini* aşmasıyla zemin içine sızamayan yağış yüzeysel akışa geçer. Ancak bu olay çok nadiren olabilmektedir. Çünkü sızma kapasitesi zemin cinsine göre değişmekle beraber genelde yağış şiddetinden büyük olmaktadır. Yüzeysel akışın meydana gelmesini sağlayan diğer mekanizma *doyma mekanizmasıdır* (saturation mechanism). Bu durumda ise yağış doymuş olan zemin yüzeyine düşer. Doymuş durumdaki zemin bünyesine daha fazla su kabul edemediği için yağış yüzeysel akışa geçer (Davie, 2008).

Zeminde suyun hareketini belirleyebilmek için önce suyun zemin içinde dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Zemin bu anlamda iki ana bölüme ayrılır. Bunlar zemin yüzeyinden derine doğru; *doymamış bölge* ve *doymuş bölgedir*. Doymamış bölgede su zemindeki boşlukları doldurmamıştır. Bu bölgedeki boşluklarda su hava ile birlikte bulunur. Bu katmanda kendi içinde üç kısımda incelenir. Bu bölgeler yukarıdan aşağıya *zemin nemi bölgesi (aeration)*, *orta bölge* ve *kapiler saçak* olarak adlandırılır. Zemin nemi bölgesinde depolama, yüzey altı akış, *perkolasyon* ve *buharlaştırma kayıpları* olur. *Yüzey altı akış (Throughflow or Interflow)* suyun doymamış bölgede yatay olarak yaptığı harekettir. Bu akış yatay hidrolik iletkenliğin düşey hidrolik iletkenlikten büyük olduğu zaman gerçekleşir. *Perkolasyon* ise suyun düşey olarak hareket etmesidir. Suyun hareket edebilmesi için zemin içindeki miktarı rol oynamaktadır. Suyun perkolasyonla düşey olarak hareket edebilmesi için su miktarının doyma noktası ile arazi kapasitesi arasında olması gerekir. Su, bu bölgede en çok zemin *doyma noktasına* eriştiği anda

mevcut bulunmaktadır. En az ise *solma noktası* değerine kadar düşer. *Doyma noktasında*, zeminin bütün boşlukları su ile doludur. Bu noktanın altında arazi kapasitesi noktası bulunmaktadır. *Arazi kapasitesinin* altındaki nokta solma noktasıdır. *Solma noktası* bitkilerin zeminden su çekemediği noktadır.

Doygun bölgede zeminin boşlukları suyla doludur. Akifer denilen bu bölgede büyük miktarlarda su hareket edebilir. İki çeşit akifer bulunmaktadır. Sadece altında geçirimsiz tabaka olan üst yüzeyi açık olan basınçsız akifer, hem alt hem üst tarafında geçirimsiz tabaka olan akifer ise basınçlı akifer adını alır.

Yer altı suyunun akışa katkısı ise yer altı su seviyesinin durumuna bağlı olarak değişmektedir. Eğer yer altı su seviyesi akarsu su seviyesinden yukarıda ise akarsudaki akışı beslenmekte; yeraltı su seviyesi akarsu su seviyesinden aşağıdaysa akarsu tarafından beslenmektedir.

2.1.2 Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması

Hidrolojik modeller değişik kriter ve bakış açılarına göre farklı kategorilerde sınıflandırılabilir (Singh, 1995; Wheeler et al., 1993; Abbott ve Refsgaard, 1996). Modellerin belli şartlar altında sabit özellik veya karakteristiklerin nümerik ölçüsü olan parametreleri vardır. Modeller parametrelerinin mekânsal ölçekte değişimine göre sınıflandırıldığında;

Toplu Modeller (Lumped Models): Bu tip modellerde havza bir tek birimmiş gibi ele alınır. Modeldeki parametreler, girdiler ve çıktılar havza boyunca sabit ortalama bir değerdedir. Örneğin doymuş bölgede ortalama depolama değeri. Bu nedenle bu modeller havzadaki değişen özelliklerin konumlarına duyarlı değildir. Parametreler hidrolojik sürecin fiziksel özelliklerini temsil edemezler (Beven, 2001; Wagener et al, 2004).

Yayıllı Modeller (Distributed Models): Bu modeller toplam akışı tahmin ederken çeşitli havza şartlarının konumlarını dikkate alırlar. Havza çok sayıda elemana veya ızgaraya ayrılır ve her eleman için tanımlanmış mekânsal değişkenler için denklemler çözülür. Bu yüzden modeller çok fazla veri gerektirmektedir (Beven, 2001; Loucks et al., 2005; Wagener et al, 2004).

Yarı-Yayıllı Modeller (Semi-Distributed Models) : Bu modellerde havza daha küçük alt havzalara bölünür ve bu havzalar toplu modellerde olduğu gibi tek birimmiş gibi ele alınır (Loucks et al., 2005).

Modeller sonucu elde etmelerine göre sınıflandırıldığında;

Deterministik Modeller (Deterministic Models): Bu modeller iki eşit girdi kümesi için aynı başlangıç ve sınır şartları altında aynı sonucu veren modellerdir (Zhang, 2007).

Stokastik Modeller (Stochastic Models): Bu modeller muhtemel çıktı değerleri için, girdi değerlerindeki, başlangıç şartlarındaki veya model parametrelerindeki belirsizlik ile rastgeleliğe izin verirler. Verilen başlangıç ve sınır şartları için model olası çıktı aralığına sahiptir (Beven, 2001).

Modeller zaman ölçeğinde sınıflandırıldığında;

Kesikli Modeller (Event-Based Models): Belli bir zaman aralığında sonuç üreten modellerdir (Wagener et al, 2004). Saatler veya birkaç gün süren bir fırtınadaki tek bir akış gibi bir olayın simülasyonu yapılabilir (Loucks et al., 2005). Modelin çıktısının doğruluğu başlangıç değerlerine bağlıdır.

Sürekli Modeller (Continuous Models): Bu modeller sürekli çıktı üretirler (Wagener et al, 2004). Bütün zaman periyotları için havzanın durumu hesaplanır. Bu sayede başlangıçta alınan değerlerin sonuca etkisi gittikçe azalır.

Modeller sürecin mekanizmasını matematiksel olarak modellemelerine göre sınıflandırıldığında;

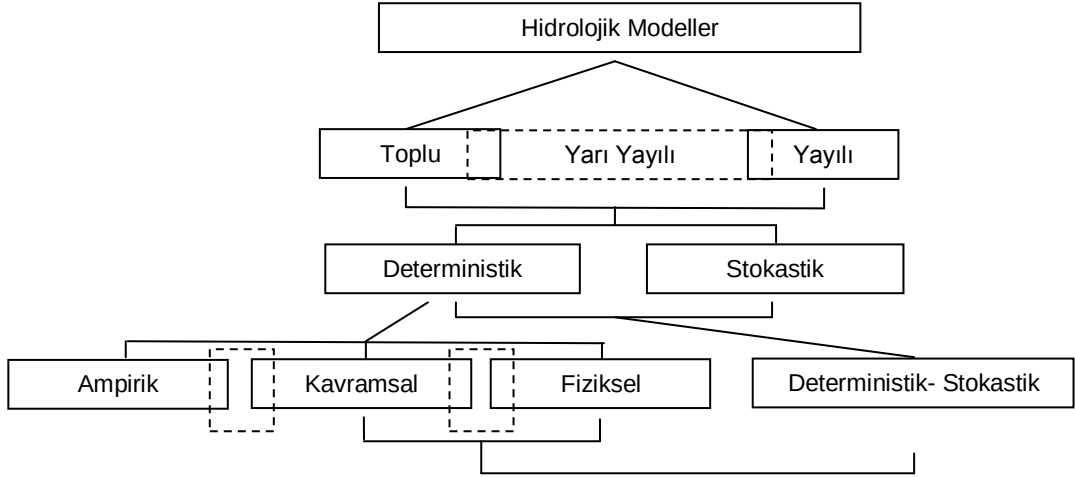
Metrik Modeller (Metric Models, Data-Based, Empirical, Black-Box Models): Metrik modeller, model yapısı ve uygun parametreleri elde etmek için mevcut zaman serisini kullanır. Bu modeller bilgiyi tamamen veriden elde ederler, havza davranışı ve akış sürecini hesaba katmazlar. Bu modellere örnek olarak yapay sinir ağları ve transfer fonksiyonları verilebilir. Metrik modeller genellikle toplu modellerdir.

Kavramsal Modeller (Parametric Models, Conceptual, Explicit Soil Moisture, Grey-Box Models): Ana bileşen olarak depolama elemanı kullanan modellerdir. Parametrik modeller önceden belirlenmiş yapılara sahiptirler. Modelin yapısı, modeli kuranın hidrolojik sistemi algılamasına göre tanımlanır. Model operasyon aşamasında parametrelerin hesaplanması çıktı verisinin zaman serisine bağlıdır.

Mekanistik Modeller (Mechanistic Models, Physically Based, White-Box Models): Mekanistik modeller kütle, momentum ve enerjinin korunumu yasasına dayanan modellerdir. Bu

modellerden beklenen fiziksel gerçekliği model parametreleri ile ilişkilendirerek kalibrasyon aşamasını ortadan kaldırmaktır. Ancak bu modeller çok fazla veriye ihtiyaç duyarlar (Wheater et al., 1993).

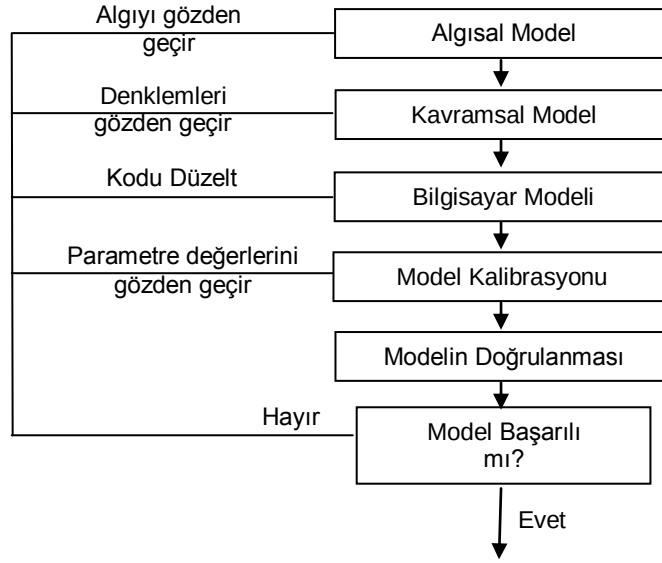
Pratikte bu modeller arasında kesin bir ayrım yapılamasa da Şekil 2.3' de modellerin genel bir sınıflandırılması görülmektedir.



2.1.3 Modelleme Süreci

Modelleme sürecinin başlangıcında model kuran kişi, daha önce yaptığı çalışmalardan ve birikiminden yararlanarak havzanın davranışını algılama şekline bağlı olarak kişisel bir model kurar. Bu model algısal modeldir. Kurulan algısal modelin, sayısal olarak işlem yapabilmesi için modelin matematiksel olarak ifade edilmesi gerekir. Modelin matematiksel olarak ifade edilmesiyle kavramsal model elde edilir. Bilgisayar modeli, kavramsal modelin bilgisayar üzerinde çalışarak sonuç üretecek hale getirilmesidir. Bilgisayar modeli aşamasındaki hidrolojik model, kalibrasyon ve doğrulama adımlarını tamamladıktan sonra amacına uygun şekilde kullanılacak duruma gelir (Beven, 2001).

Modelleme sürecinin başlangıcı algısal modelle başlıyor olsa da geliştirilmiş hidrolojik modellerin farklı havzalarda kullanılabilmesi için bu modellerin kalibrasyon ve doğrulama adımlarının tekrarlanması gerekmektedir. Bu nedenle bu adımlar ayrı başlıklar altında incelenecektir. Modelleme süreci şematik olarak Şekil 2.4' de gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Modelleme Süreci (Beven, 2001)

2.1.4 Modelin Kalibrasyonu

Birçok hidrolojik modelde, fiziksel süreçler kavramsal olarak ifade edilmektedir. Bu kavramsal ifadeler, sayısal işlemler yapılabilmesi için, içinde parametreler barındıran matematiksel denklemler halinde gösterilir.

Model parametreleri, fiziksel ve süreç parametreleri olarak iki şekilde adlandırılmaktadırlar. Fiziksel parametreler havzanın alanı, eğimi gibi fiziksel olarak ölçülebilen özellikleridir. Süreç parametreleri ise havzanın zemin depolaması, yer altı suyu depolaması gibi doğrudan ölçülemeyen özelliklerini gösteren parametrelerdir (Singh, 1995). Parametre değerlerinin, modelin amacına uygun olarak belirlenmesine kalibrasyon denir. Bir hidrolojik modelde; örneğin, bir havzadaki yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak gerçek değerlere uygun akım verilerini üretecek parametre değerlerinin elde edilmesidir.

Kalibrasyon işleminde, öncelikle fiziksel parametreler için ölçümler yapılır, süreç parametreleri için sınırlar belirlenir. Bu aşama parametrelerin belirlenmesi olarak adlandırılır. Daha sonra süreç parametreleri, modelin hidrolojik olayı en iyi şekilde ifade edebileceği şekilde tahmin edilir. Bu aşamaya parametre tahmini denir.

Parametrelerin tahmini iki şekilde olmaktadır. Bunlardan birincisi el ile kalibrasyondur. El ile kalibrasyon yönteminde parametre değerleri deneme yanılma yolu ile bulunmaya çalışılır. El ile kalibrasyon yöntemi çok zaman alıcı bir yöntem olmakla beraber karmaşık modellerde

kullanışsız olmaktadır ve kalibrasyon işlemine ne zaman son verileceği kararı öznelidir. Parametre tahmininde ikinci yol otomatik kalibrasyondur. Otomatik kalibrasyon yönteminde model parametreleri bilgisayar yardımı ile tahmin edilmektedir. Bu süreç için amaç fonksiyonu, optimizasyon algoritması, durdurma kistası ve veri gerekmektedir (Singh, 1995). Optimizasyon algoritması, verileri ve durdurma kistası kullanarak amaç fonksiyonunu en iyileyecek şekilde model parametrelerinin değerlerini bulur. Bu yöntem yardımıyla el ile kalibrasyon yönteminin kusurları olan yavaşlık ve öznellik giderilmiştir.

2.1.5 Modelin Doğrulanması

Kalibrasyon aşamasından sonra, modelin tahmin yeteneğini ölçmek için yapılan işlem, *doğrulama*, *test* veya *verifikasyon* olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışma boyunca bu işlem “doğrulama” olarak ifade edilmiştir. Diğer bir deyişle modelin test edilmesidir. Bu işlem farklı şekilde yapılabilir.

Basit Bölünmüş Örnek Testi (Split Sample Test): En sık yapılan ve klasikleşmiş testtir. Eldeki veri seti birbirinden bağımsız iki parçaya ayrılır. Bu parçalardan biri kalibrasyon için kullanılırken diğeri modelin doğrulanması için kullanılmaktadır.

Vekil Havza Testi (Proxy-Basin Test): Hidrolojik olarak benzer havzaların verilerinin kullanılmasıdır. Kalibrasyon için elverişli veri yok ise tercih edilmektedir.

Farklı Bölünmüş Örnek Testi (Differential Split Sampling Test): Modelin birbirinden farklı şartlar altında test edilmesidir. Veriler farklı koşulları ifade edecek şekilde seçilir, örneğin kurak veya yağışlı dönem.

Vekil Havza, Farklı Bölünmüş Örnek Testi (Proxy-Basin Differential Split Sampling Test): Vekil havza ve farklı bölünmüş örnek testinin birleşiminden meydana gelmektedir (Klemes,1986).

2.1.6 Belirsizlik

Model parametre değerlerinin doğrudan ölçülemediği durumlarda bu değerler kalibrasyon sonucu elde edilmek durumundadır. Hidrolojik modellemenin bir parçası olan belirsizlik, kalibrasyon işlemini etkilemekte ve en iyi parametre kümesinin elde edilmesini imkansızlaştırmaktadır. Bunun sonucu olarak model çıktıları ile ölçülen değerler arasında bir uyumsuzluk söz konusu olmaktadır. Belirsizlik aşağıdaki kaynaklardan meydana gelmektedir.

Veri Belirsizliği: Verilerin ölçümlerinde yapılan, bu verilerin mekânsal ve zamansal dönüşümlerinden meydana gelen ve verilerin işlenmesi sırasında yapılan hatalardır.

Model Yapısı Belirsizliği: Gerçek anlamda meydana gelen süreçlerin modelleme sırasında basitleştirilerek veya yetersiz olarak açıklanmasından doğan belirsizliktir.

Model Özelliği Belirsizliği: Veriler ile sağlanan bilginin en iyi model parametrelerine yakınsamama olasılığından doğan belirsizliktir.

Bilinmeyen Başlangıç Koşulları Belirsizliği: Modelin kalibrasyon veya simülasyon süreci başlangıcında, havzadaki gerçek değerlerin bilinmemesinden meydana gelen belirsizliktir (Wagener et al., 2004),

2.2 GR2M Aylık İki Parametrelili Yağış-Akış Modeli

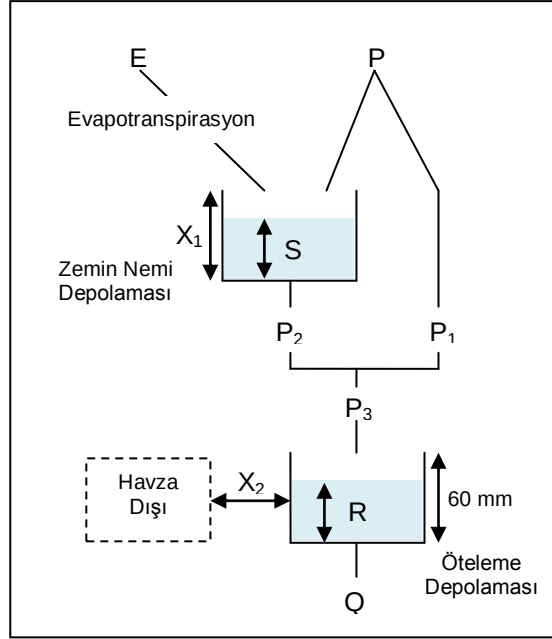
GR2M (Stands modèle du Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel) çalışmada kullanılan kavramsal modellerden biri olup, iki parametrelili toplu aylık kavramsal bir hidrolojik modeldir. GR2M modeli ile iklim modellerinin çıktılarını girdi olarak kullanıp iklim değişikliğinin akarsulara etkisinin incelenmesi (Ardoin - Bardin et al., 2009; Casimiro et al., 2011), havzada yaşanan değişikliklerin akarsulara etkisinin incelenmesi (Lacombe et al., 2010), aylık zaman adımıyla yağış ile akış ilişkisindeki eğilimin belirlenmesi (Kouassi et al., 2012) ve hidrolojik modellerde belirsizlik analizi (Huard ve Mailhot, 2008) hakkında çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, farklı sürümleri bulunan modelin Mouelhi (2003) tarafından geliştirilen sürümü kullanılmıştır. Model iki parametreye sahiptir. Bu parametreler zemin nemi depolama kapasitesi X_1 ve yeraltı suyu değişim katsayısı X_2 ' dir (Mouelhi et al., 2006). Model şematik olarak Şekil 2.5' te gösterilmiştir.

Modelin işlem adımları aşağıda verilmiştir. Burada, P (mm) aylık toplam yağışı, E (mm) aylık potansiyel evapotranspirasyonu ifade etmektedir.

Yağış olduğunda, yağışın bir kısmı zemin nemi seviyesi S' yi arttırır. Yeni S değeri Denklem 2.1 ile hesaplanır ve S_1 ile ifade edilir.

$$S_1 = \frac{S + X_1 \varphi}{1 + \varphi \frac{X_1}{X_1}} \quad \varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right) \quad (2.1)$$



Şekil 2.5 GR2M Modeli (Mouelhi et al., 2006)

Artık yağış zemine sızmaz ve yüzey akışına dönüşür. P_1 yüzey akışı Denklem 2.2 ile hesaplanır.

$$P_1 = P + S - S_1 \quad (2.2)$$

Evapotranspirasyon ile zemindeki su seviyesi azalarak S_1 seviyesinden S_2 seviyesine düşer.

$$S_2 = \frac{S_1(1-\psi)}{1+\psi\left(1-\frac{S_1}{X_1}\right)} \quad \psi = \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right) \quad (2.3)$$

Zemin nemi perkolasyon ile azalır ve seviyesi S' ye gelir ve bu değer sonraki ayın başındaki zemin nemi değeridir. S değeri ve P_2 perkolasyon miktarı Denklem 2.4 ve 2.5 ile bulunur.

$$S = \frac{S_2}{\left[1+\left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{1/3}} \quad (2.4)$$

$$P_2 = S_2 - S \quad (2.5)$$

Toplam efektif yağış yani akış haline gelen su miktarı P_3 Denklem 2.6 ile bulunur.

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad (2.6)$$

P_3 efektif yağış miktarı öteleme depolaması seviyesi R' ye eklenerek R seviyesini R_1 değerine artırır.

$$R_1 = R + P_3 \quad (2.7)$$

Öteleme elemanındaki seviye yeraltındaki su seviyesi değişiminden etkilenecek R_2 değerini alır.

$$R_2 = X_2 R_1 \quad (2.8)$$

Öteleme elemanı kapasitesi sabit ve 60 mm' dir. Sonuç olarak akım değeri Q Denklem 2.9 ile ve bir sonraki ayın öteleme elemanı seviyesi R Denklem 2.10 ile hesaplanır.

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} \quad (2.9)$$

$$R = R_2 - Q \quad (2.10)$$

Mouelhi et al. (2006) tarafından dünya üzerindeki farklı bölgelerde bulunan 410 havza ile yapılan çalışma sonucunda doğrulama örnekleri üzerinden elde edilen modelin iki parametresinin dağılım özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir. Bu değerler model kalibrasyonu sırasında kolaylık sağlamaktadır.

Çizelge 2.1 GR2M Modeli Parametrelerinin Dağılımı

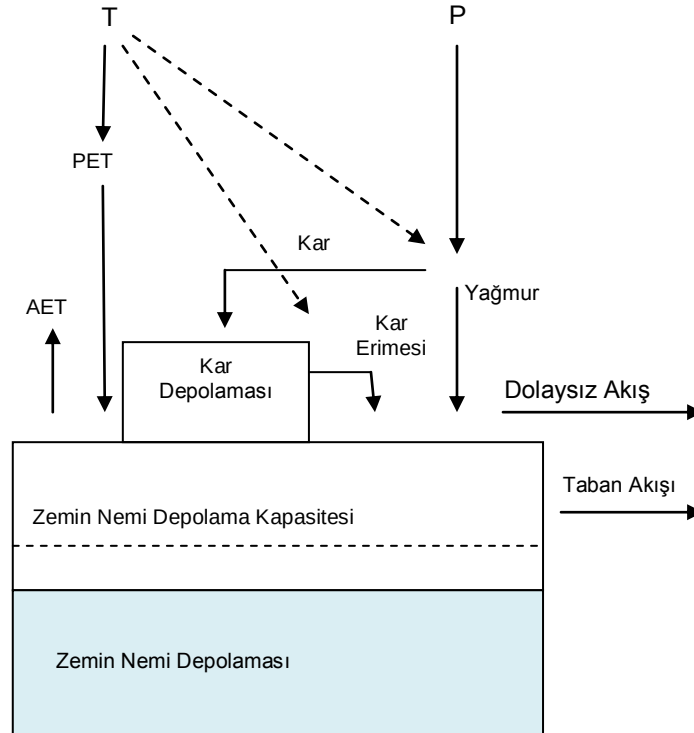
Parametreler	Dağılım Yüzdelерinin Değerleri		
	0,05	0,50	0,90
X_1 (mm)	140	380	2640
X_2	0,21	0,92	1,31

2.3 Thornthwaite Aylık Su Bütçesi Modeli (TWBM)

Bu su bütçesi modeli aylık olarak hidrolojik çevrimdeki suyun farklı bileşenlerdeki dağılımını Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) tarafından önerilmiş şekli ile hesaplar. Modelin şematik gösterimi Şekil 2.6' da verilmiştir.

TWBM modeli ile, akım değerlerinin belirlenmesi (McCabe ve Wolock, 2008), iklim modellerinin çıktılarını girdi olarak kullanıp iklim değişikliğinin akarsulara etkisinin incelenmesi (Yao et al., 2009; Hay ve McCabe, 2010; Madadgar ve Moradkhani, 2011), iklim değişikliğinin akarsulara etkisinin incelenmesi (McCabe ve Wolock, 2011a), yeraltı suyu beslenme miktarının belirlenmesi (Bakundukize et al., 2011), yağış ve sıcaklığın akış üzerindeki etkisinin incelenmesi (McCabe ve Wolock, 2011b) ve kuraklık analizinde standardize edilmiş yağış indeksi değerinin hesaplaması (Liu, et al., 2012) hakkında çalışmalar yapılmıştır.

Bu modelde girdiler aylık ortalama sıcaklık T ($^{\circ}\text{C}$), aylık toplam yağış P (mm) ve enlem değerlerinden oluşmaktadır. Modelinin altı tane parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler; zemin nemi depolama kapasitesi X_1 , taban akışı oranı X_2 , yağmur eşik sıcaklığı X_3 , kar eşik sıcaklığı X_4 , dolaysız akış oranı X_5 , maksimum kar erimesi oranı X_6 'dır.



Şekil 2.6 Thornthwaite Aylık Su Bütçesi Modeli (McCabe ve Markstrom, 2007)

İlk adım olarak yağışın miktarı yağmur $P_{Yağmur}$ veya kar P_{Kar} olarak bulunur. Yağışın türünü belirlemek için X_3 ve X_4 eşik değerleri kullanılır. Eğer sıcaklık T , X_4 değerinden küçük ise bütün yağış kar olarak kabul edilir. Eğer sıcaklık T , X_3 değerinden büyük ise bütün yağış yağmur olarak kabul edilir. Sıcaklık T , bu iki eşik değeri arasında ise P_{Kar} ve $P_{Yağmur}$ değeri Denklem 2.11 – 2.12 ile bulunur. Bulunan P_{Kar} değeri kar depolaması (kardepo) olarak birikir.

$$P_{Kar} = P \times \left[\frac{X_3 - T}{X_3 - X_4} \right] \quad (2.11)$$

$$P_{Yağmur} = P - P_{Kar} \quad (2.12)$$

Dolaysız akış $Q_{Dolaysız}$ zemine sızamayan yağış miktarından dolayı meydana gelen akıştır. Dolaysız akış, dolaysız akış oranı (X_5) ile Denklem 2.13' deki gibi belirlenir.

$$Q_{Dolaysız} = P_{Yağmur} \times X_5 \quad (2.13)$$

Kalan yağış P_{Kalan} Denklem 2.14 ile bulunur.

$$P_{Kalan} = P_{Yağmur} - Q_{Dolaysız} \quad (2.14)$$

Kar erimesinin oranı, KEO, sıcaklık T ve maksimum erime oranına, X_6 , bağlı olarak Denklem 2.15 ile hesaplanır.

$$KEO = \frac{T - X_4}{X_3 - X_4} \times X_6 \quad (2.15)$$

Eğer kar erimesi oranı, maksimum erime oranından büyük ise kar erimesi oranı, maksimum erime oranına eşit alınır. Kar erimesi miktarı, KE , Denklem 2.16 'da olduğu gibi hesaplanır.

$$KE = kardepo \times KEO \quad (2.16)$$

Kar erimesinden gelen su miktarı KE ile daha önce hesaplanan kalan yağış miktarı P_{Kalan} toplanarak zemine girecek toplam su miktarı P_{Toplam} elde edilir.

Potansiyel evapotranspirasyon, PET , Hamon denklemi (Hamon, 1961) kullanılarak hesaplanır.

Eğer toplam su miktarı P_{Toplam} potansiyel evapotranspirasyon PET değerinden az ise gerçek evapotranspirasyon değeri AET , toplam su miktarı P_{Toplam} ile zemin nemi depolamasında bulunan zemin neminin toplamı kadar olur. Zemin nemi miktarı Denklem 2.17 ile hesaplanır.

$$S_i = S_{i-1} - \left[|P_{toplam} - PET| \times \left(\frac{S_{i-1}}{X_1} \right) \right] \quad (2.17)$$

Eğer toplam su miktarı P_{Toplam} ve zemin nemi miktarı toplamı PET değerinden küçük ise su açığı oluşur bu değer PET ile AET arasındaki fark kadardır. Eğer toplam su miktarı P_{Toplam} potansiyel evapotranspirasyon miktarı PET değerinden büyük ise AET ile PET değeri eşit olur. Zemin nemi değeri, zemin nemi depolama kapasitesinden fazla olursa, fazla su miktarı, SF , akışa katılır.

SF değerinin belli bir oranı taban akışı miktarı Q_{Taban} 'yı oluşturur. Denklem 2.18 ile taban akışı oranı, X_2 , değeri kullanılarak hesaplanır.

$$Q_{Taban} = SF \times X_2 \quad SF = S - X_1 \quad (2.18)$$

Toplam aylık akış miktarı Q , dolaysız ve taban akışının toplamı olarak Denklem 2.19 ile hesaplanır.

$$Q = Q_{Dolaysiz} + Q_{Taban} \quad (2.19)$$

Bu parametreler ve McCabe ve Wolock tarafından çok sayıda havza üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen parametre değerleri Çizelge 2.2' de verilmiştir (McCabe ve Wolock, 1999, 2011a).

Çizelge 2.2 TWBM Modeli Parametrelerinin Önerilen Değerleri

Parametre	Açıklama	Önerilen Değer
X_1 (mm)	Zemin nemi depolama kapasitesi	150 mm
X_2	Taban akışı oranı	%50
X_3 (°C)	Yağmur eşik sıcaklığı	3,3 °C
X_4 (°C)	Kar eşik sıcaklığı	-1 °C <1000 m -10 °C >1000 m
X_5	Dolaysız akış oranı	%5
X_6	Maksimum kar erimesi oranı	%50

TWBM modelinin bu çalışmada, iki farklı parametre kümesi kalibre edilmiştir. Birinci parametre kümesi, X_1 ve X_2 parametrelerinden oluşmaktadır. Bu parametreler dışında kalan parametreler için Çizelge 2.2' deki değerler kullanılmıştır. İki parametrelili bu model çalışmanın geri kalanında TWBM-1 olarak anılacaktır. İkinci parametre kümesi ise TWBM modelinin tüm parametrelerini kapsamaktadır. Altı parametrelili bu model çalışmanın geri kalanında TWBM-2 olarak anılacaktır.

2.4 Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemleri

Bu çalışmada iki farklı potansiyel evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ile çalışılmıştır. GR2M aylık yağış akış modelinde, potansiyel evapotranspirasyon değerleri modelin girdisi olduğu için PET değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. GR2M modeli için PET değerleri Oudin et al. (2005) tarafından önerilen yöntem ile hesaplanmıştır.

TWBM modelinde ise PET değerleri modeli geliştirenler tarafından (McCabe ve Markstrom, 2007) Hamon denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sebeple TWBM yöntemi için PET değerlerinin hesaplanmasında bir değişiklik yapılmamıştır.

2.4.1 Oudin Potansiyel Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemi

Oudin et al. (2005), yaptıkları çalışmada toplu yağış akış modellerinin ihtiyaç duyduğu potansiyel evapotranspirasyon değerlerini hesaplamak için basit bir yöntem araştırmışlardır. Bu amaçla 308 havzada dört yağış akış modeliyle 27 farklı potansiyel evapotranspirasyon yöntemi denemişlerdir. Yağış akış modellerinde iyi başarı gösteren Jensen–Haise ve McGuinness–Brodne modellerini kaynak alan bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem kabul görmüş, daha karmaşık Penman ve türevi yöntemler kadar başarılı sonuçlar vermiştir. Bu yöntemin avantajı potansiyel evapotranspirasyonu hesaplarken sadece güneş radyasyonu ve günlük ortalama sıcaklık istemesidir (Oudin et al., 2005).

Önerilen yöntem ile potansiyel evapotranspirasyon, Denklem 2.20 ile hesaplanabilmektedir.

$$PET = \begin{cases} \frac{R_e}{\lambda \rho} \frac{T_a + 5}{100}, & T_a + 5 > 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2.20)$$

Burada PET (mm gün^{-1}) potansiyel evapotranspirasyonu, R_e güneş radyasyonunu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$), λ buharlaşma ısısı (MJ kg^{-1}), ρ su yoğunluğunu (kg m^{-3}), T_a ortalama günlük sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir.

Denklemden R_e güneş radyasyonu Morton (1983) tarafından yapılan çalışmadaki açıklandığı şekliyle Denklem 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27 ve 2.28 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\theta = 0,4093 \sin \left(\frac{i}{58,1} - 1,405 \right) \quad (2.21)$$

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\phi}{57,3} - \theta\right) \quad (2.22)$$

$$\cos Z \geq 0,001 \quad (2.23)$$

$$\cos \omega = 1 - \left(\frac{\cos Z}{\cos\left(\frac{\phi}{57,3}\right) \cos \theta} \right) \quad (2.24)$$

$$\cos \omega \geq -1 \quad (2.25)$$

$$\cos z = \cos Z + \left(\frac{\sin \omega}{\omega} - 1 \right) \cos\left(\frac{\phi}{57,3}\right) \cos \theta \quad (2.26)$$

$$\eta = 1 + \frac{\cos\left(\frac{i}{58,1}\right)}{30} \quad (2.27)$$

$$R_e = 446 \omega \cos z \eta \quad (2.28)$$

Burada, θ (rad) güneşin sapma açısını, ω güneşin doğuşu ile öğle vakti arasında dünyanın dönüş açısını, Z ve z sırasıyla öğle vaktindeki ve ortalama güneşin zenith açısal mesafesini, η Güneşin yarıçap vektörünü, ϕ Enlem derecesini, i gün sayısını göstermektedir.

2.4.2 Hamon Potansiyel Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemi

Bu yöntem Hamon (1961) tarafından önerilmiş olup aylık potansiyel evapotranspirasyon değerini hesaplar. Potansiyel evapotranspirasyon değeri Denklem 2.29 ile hesaplanır.

$$PET = 13,97 \times d \times D^2 \times W_t \quad (2.29)$$

Burada d ayın gün sayısını, D aylık ortalama güneşlenme süresini, W_t doymuş su buharı yoğunluğunu ve T aylık ortalama sıcaklığı ifade etmektedir. W_t değeri Denklem 2.30 ile hesaplanır.

$$W_t = \frac{4,95 \times e^{0,062 \times T}}{100} \quad (2.30)$$

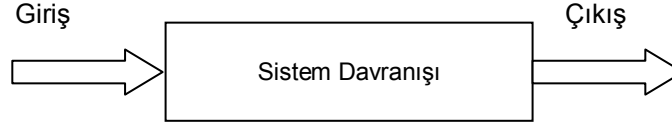
BÖLÜM III

YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ

Bu bölümde, yapılan çalışma kapsamında olan yapay zekâ teknikleri hakkında genel bilgilere ve kullanılan yöntemlerin ayrıntılarına yer verilmektedir. Bu çerçevede, bulanık sistemler, genetik algoritmalar ve genetik bulanık sistemler anlatılmaktadır.

3.1 Bulanık Sistemler

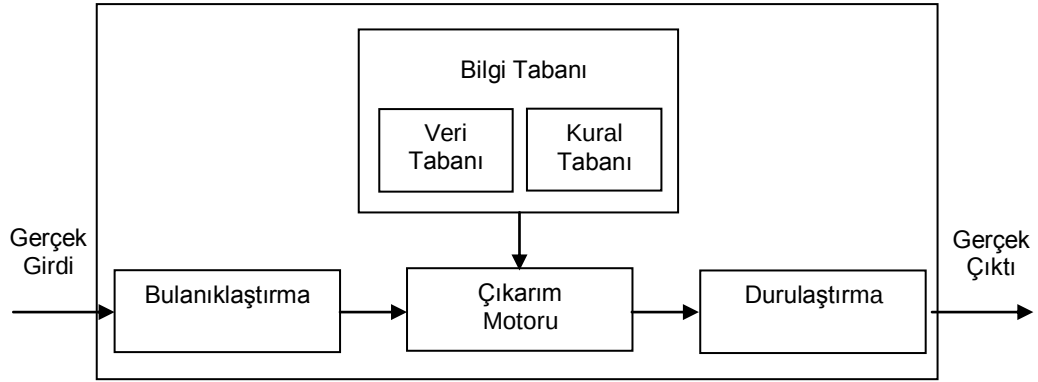
Sistem belli bir amaç için bir araya gelmiş aralarında çeşitli ilişkiler bulunan bir elemanlar topluluğudur. Bir sistem girdi, sistem davranışı ve çıktılarından oluşur. Bu anlamda bir sistem türü ister matematiksel, ister stokastik, isterse kavramsal olsun Şekil 3.1 görüldüğü şekilde şematik olarak gösterilebilir (Şen, 2001).



Şekil 3.1 Bir Sistemin Şematik Gösterimi (Şen, 2001)

Bir sistemin üç temel unsuru giriş, girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı temsil eden işlemler ve çıkıştır. Bulanık çıkarım sistemlerinde sistem davranışı bulanık kurallar ile ifade edilir. Sistemin çıktısı elde edilirken yapılan işlemler bulanık küme işlemleridir. Genel olarak bir bulanık sistem, girdi değerleri ile çıktı değerleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki kurar. Bulanık sistemlerin güçlü yanı bu ilişkilerin çok sayıda olmasıdır (Mendel, 1995).

Bulanık sistemler, bulanık kural tabanlı sistemler, bulanık model, bulanık uzman sistemler, bulanık çağrışımlı bellek olarak isimlendirilmektedirler. Bulanık sistemler ile kontrol, tanı, sınıflandırma, örüntü tanıma, modelleme, tahmin ve karar destek alanlarında uygulamalar yapılmaktadır. Bir bulanık çıkarım sisteminin yapısı Şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2 Bulanık Çıkarım Sistemi (Cordon et al., 2001)

Bir bulanık çıkarım sistemi, bulanıklaştırma, veri tabanı ile kural tabanından oluşan bilgi tabanı, çıkarım sistemi ve durulaştırma bileşenlerinden oluşmaktadır.

Bulanıklaştırma: Bulanıklaştırma, gerçek değerlerin bulanık değerlere dönüştürme işlemidir. Bu işlem girdi değişkenleri için önceden belirlenen üyelik fonksiyonları ile yapılır. Gerçek değer ait olduğu üyelik fonksiyonunda aldığı değer onun bulanık değeridir. Bu işlemde önemli olan üyelik fonksiyonlarının değişkenlere atanmasıdır. Atama işlemi sezgi, mertebelenme, açılı bulanık kümeler, yapay sinir ağları, genetik algoritma gibi yöntemlerle yapılabilir.

Bilgi Tabanı: Bilgi tabanı ve kural tabanından meydana gelen bulanık sistem bileşenidir.

Veri Tabanı: Üyelik fonksiyonu sayısı, etiketleri, sınır değerleri, değişken sayısı gibi verilerden meydana gelir.

Kural Tabanı: Eğer-İse şeklinde yazılan kurallar ile giriş değişkenleri ile çıkış değişkenleri arasında ilişkiler kurulur (Şen, 2001).

Bulanık bir kuralda EĞER ve İSE kelimeleri arasında kalan kısım aşağıdaki gibi “öncül terimler” ve sonraki kısım “soncul terimler” şeklinde ifade edilir.

EĞER “öncül terimler” **İSE** “soncul terimler”

Bulanık sistemin değişken sayısı ve bu değişkenlerin sahip olduğu üyelik fonksiyonu sayıları kural tabanını oluşturan kural sayısını etkilemektedir. Yazılabilecek kural sayısı, modelde ki “ m ” adet giriş ve “ n ” adet üyelik fonksiyonu sayısına bağlı olarak “ n^m ” ifadesi ile hesaplanır. Kural sayısı uzman bilgisi ve kural yazımında kullanılan değişik algoritmalar ile azaltılabilir.

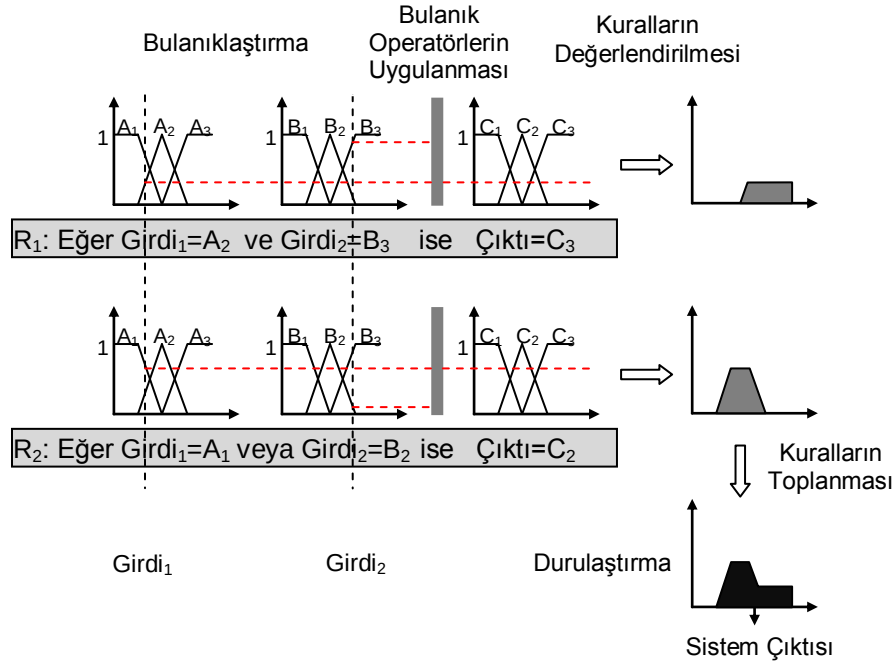
Çıkarım Motoru: Çıkarım motoru ile kural tabanı tarafından girdi ve çıktı değişkenleri arasında kurulmuş olan ilişkiler işlenerek sistemin çıktısı elde edilir. Literatürde farklı tipte çıkarım motorları mevcuttur. Bunlardan en çok tercih edilen iki tanesi Mamdani ve Takagi-Sugeno tipi çıkarım motorlarıdır.

Mamdani tipi çıkarım motoru: Bir buhar makinesi kontrolü için 1975 yılında Mamdani ve Assilian (1975) tarafından önerilen bulanık çıkarım sistemidir. Bu tip bulanık çıkarım sisteminde işlemler daha önce anlatıldığı şekilde olmaktadır. Gerçek girdi değerleri bulanıklaştırma birimi ile bulanık değerlere dönüştürülür. Çıkarım motorunda kurallar işlendikten sonra elde edilen bulanık değerler durulaştırma birimi tarafından gerçek çıktı değerlerine dönüştürülür. Mamdani tipi modelleri diğer modellerden ayıran özellik çıktı değerlerinin bulanık olmasıdır. Kural tabanında kurallar;

EĞER $Girdi_1 = A_i$ **ve/veya** $Girdi_2 = B_i$ **İSE** $Çıktı = C_i$ dir.

şeklinde yazılırlar.

Çıkarım motorunda kuralların değerlendirilmesi (implication) işlemi en küçükleme veya çarpım yöntemi ile olmaktadır. Kuralların değerlendirilmesinden sonra elde edilen bulanık kümeler kuralların toplanması (aggregation) işlemi ile tek küme haline getirilir. Şekil 3.3' te böyle bir çıkarım sistemine sahip bir modelin çıktığı nasıl hesapladığı gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Mamdani Çıkarım Motoruna Sahip Bulanık Sistem

Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoru: Bu çıkarım sistemi Takagi-Sugeno (1985) tarafından 1985 yılında önerilmiştir. Mamdani tipi çıkarım sistemine göre farkı kuralların soncul kısımlarıdır. Çıktı değerleri sabit bir değer veya doğrusal bir fonksiyonun sonucu olan bir değer olabilir. Buna bağlı olarak kuralların yazılması da farklılık gösterir. Bu tip çıkarım motorunda kurallar;

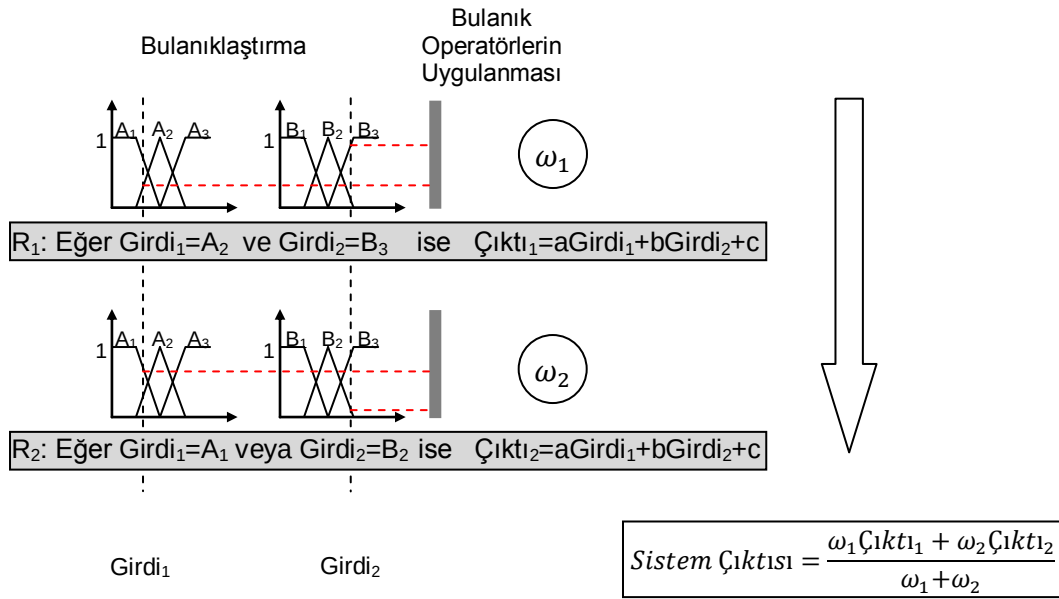
$$\text{EĞER } \text{Girdi}_1 = A_i \text{ ve/veya } \text{Girdi}_2 = B_i \text{ İSE } z_i = a\text{Girdi}_1 + b\text{Girdi}_2 + c$$

veya

$$\text{EĞER } \text{Girdi}_1 = A_i \text{ ve/veya } \text{Girdi}_2 = B_i \text{ İSE } z_i = c$$

şeklinde yazılır.

Şekil 3.4' ta bu tip çıkarım sistemine sahip bir modelin çıktısı nasıl hesapladığı gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Takagi-Sugeno Çıkarım Motoruna Sahip Bulanık Sistem

Durulaştırma: Bu aşamada çıkarım motorunda elde edilen bulanık değerler kesin çıktı değerlerine dönüştürülür. Bu amaçla, en büyük üyelik ilkesi, sentroid, ortalama en büyük değer, ağırlıklı ortalama, en büyük alanın merkezi isimli farklı yöntemler kullanılmaktadır.

3.1.1 Wang-Mendel (WM) Yöntemi

Wang ve Mendel (1992) tarafından önerilen yöntem ile Mamdani tipi çıkarım motoruna sahip bir bulanık sistemin kural tabanı girdi ve çıktı verilerinden elde edilebilmektedir. Wang-Mendel yöntemi, nehir akımlarının tahmini (Turan ve Yurdusev, 2009), kaotik zaman serisi tahminlerinde (Wang, Mendel,1992) kullanılmıştır.

Verilen girdi-çıkı verisi $(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}; y^{(1)}), (x_1^{(2)}, x_2^{(2)}; y^{(2)}), \dots$ şeklinde olsun. Burada x_1 ve x_2 girdi verisini, y çıktı verisini temsil etmektedir. Yöntem beş adımda kural tabanını elde etmektedir.

1. Adım – Girdi ve çıktı verilerinin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi

Girdi ve çıktı verilerinin alt ve üst sınır aralıkları belirlenir ve veriler bu aralıklar içinde $2N+1$ sayıya ayrılır. Her aralığa bir üyelik fonksiyonu atanır. N sayısı ve her aralığın genişliği değişkenler için farklı olabilir.

2. Adım-Verilerden kuralların elde edilmesi

İlk olarak girdi ve çıktı verilerinin her üyelik fonksiyonunda aldıkları üyelik dereceleri belirlenir. İkinci olarak veriye aldığı maksimum üyelik derecesi atanır. Son olarak her veri çiftinden bir kural elde edilir.

3. Adım-Her kurala bir derece atanması

Bu şekilde her veri için kural elde edilir fakat bu kuralların çelişkili olması ihtimali çok yüksektir. Çelişkili yani aynı öncül kısma sahip ama farklı soncul kısma sahip kurallar elde edilir. Anlamlı bir kural elde etmek için aynı öncül kısma sahip kurallardan sadece en yüksek dereceye sahip kural alınır. Kural dereceleri Denklem 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$D(Kural) = \mu(x_1)\mu(x_2)\mu(y) \quad (3.1)$$

4. Adım-Kural tabanının oluşturulması

En yüksek dereceye sahip kurallar seçilerek kural tabanı oluşturulur.

5. Adım-Durulaştırma

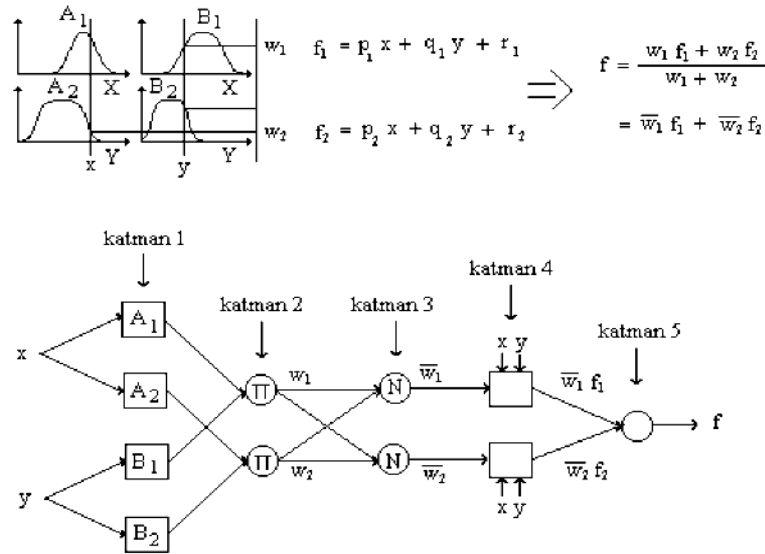
Çıkı verileri seçilen bir durulaştırma yöntemiyle durulaştırılır.

3.1.2 Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

ANFIS (Adaptive neuro fuzzy inference system) yapısı ilk olarak Jang (1993) tarafından geliştirilmiştir. Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoruna sahip bulanık sistemlere öğrenme özelliğinin kazandırılmış halidir.

ANFIS yöntemi ile, buharlaşma miktarının tahmini (Terzi ve diğerleri, 2006; Moghaddamnia et al., 2009), hidrolojik zaman serisi tahmini (Firat ve Güngör, 2008; Firat ve Turan, 2009), yağış akış modellemesi (Talei et al., 2010), su ihtiyacı tahmini (Firat ve diğerleri, 2010), yeraltı suyu seviyesi tahmini (Sreekanth et al., 2011), referans evapotranspirasyonun belirlenmesi (Tabari et al., 2012), konularında çalışmalar yapılmıştır.

ANFIS yapısının anlaşılabilmesi için Şekil 3.5' teki gibi birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı Takagi-Sugeno bulanık sistemi dikkate alınsın. Şeklin üst kısmında bulanık sistemin çıktısının matematiksel olarak elde edilişi aşağıda ise bu işlemlerin bir yapay sinir ağındaki gibi düğüm noktaları ile gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.5 Birinci Dereceden İki Girdili ve İki Kurallı Takagi-Sugeno Bulanık Sistemi ve Eşdeğer ANFIS Yapısı (Jang et al., 1997)

Görülen bulanık sistem için kurallar tabanı aşağıdaki gibi yazılabilir (Jang et al., 1997).

Kural 1: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ ise $z = p_1 x + q_1 y + r_1$

Kural 2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_2$ ise $z = p_2 x + q_2 y + r_2$

Burada, p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 ve r_2 bulanık sistemin soncul kısım parametrelerini μ_{A_i} ve μ_{B_i} ise A_i ve B_i bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.

Beş katmanlı yapıya sahip ANFIS' te her katmandaki işlemler aşağıdaki sırada yapılarak sistemin çıktısı hesaplanmaktadır.

Katman-1: Bu katmanda yer alan her bir düğüm girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarından meydana gelen uyarlanabilen düğümlerdir. Her bir düğümün çıktısı;

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1,2 \text{ veya} \quad (3.2)$$

$$O_{2,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3,4, \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanır. Burada x ve y düğümlerin girdisini ve A_i ile B_{i-2} ise söz konusu düğüme ait üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir.

Bu düğümün uyarlanabilir olması üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin ayarlanabilir olması demektir. Düğüm noktasındaki herhangi bir tip üyelik fonksiyonundan meydana gelebilir. Bu çalışmada üçgen tip üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

Katman-2: Bu katmandaki her bir düğüme gelen değerler kurallarda kullanılan bağlacın (ve/veya) türüne göre işlem görür. Eğer kurallarda kullanılan bağlaç "ve" ise düğüme gelen değerlerin çarpımı düğümün çıktısı olarak üretilir. Bu katmandaki düğümler Π sembolü ile ifade edilir. Düğümlerde ayarlanabilir bir parametre olmadığı için düğümler sabittir.

$$O_{2,i} = \omega_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1,2 \quad (3.4)$$

Her bir düğümün çıktısı, kuralın ateşleme kuvveti olarak adlandırılır.

Katman-3: Bu katmandaki i . düğüm, i . kuralın ateşleme kuvveti ile bütün kuralların ateşleme kuvvetleri toplamının oranını hesaplar. Katmandaki düğümler N ile gösterilir ve düğümler sabittir. Oranlar;

$$O_{3,i} = \bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, \quad i = 1,2 \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanır. Bu katmanın çıktıları, normalize edilmiş ateşleme kuvveti olarak adlandırılır.

Katman-4: Bu katmanda bulunan düğümlerde ayarlanabilir parametreler bulunduğu için düğümler uyarlanabilir. Düğümlerin çıktısı;

$$O_{3,i} = \bar{\omega}_i f_i = \bar{\omega}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada i $\bar{\omega}_i$, 3. katmanın çıktısı olup, $\{p_i, q_i, r_i\}$ ise kuralların soncul kısmındaki parametreleridir.

Katman-5: Son katmanda sistemin çıktısını hesaplayan Σ ile gösterilen sabit tek bir düğüm yer alır.

$$\text{Toplam çıktı} = O_{5,1} = \sum_i \bar{\omega}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} \quad (3.7)$$

Böylece, Takagi-Sugeno çıkarım motoruna sahip bir bulanık sistem, uyarlanabilir bir ağ yapısı ile elde edilmiş olur (Jang, 1993).

Yapılan çalışmada, uyarlanabilir yapıdaki bulanık sistemin girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonu sayıları ile kural tabanının elde edilmesinde ızgara bölümlleme yöntemi, sistemdeki parametrelerin değerlerinin elde edilmesi için ise hibrid öğrenme algoritması kullanılmıştır.

Izgara bölümlleme yönteminde girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyon sayıları kullanıcı tarafından seçilir. Bu sayıya göre değişken uzayı eşit aralıklara ayrılarak her aralığa bir üyelik fonksiyonu atanır. Kurallar girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının olası bütün kombinasyonları olacak şekilde elde edilir. Kural sayısı her değişkenin sahip olduğu üyelik fonksiyonlarının sayısının çarpımı kadardır.

Hibrid öğrenme algoritması ile iki aşamada sistemin ilk katmanında ve dördüncü katmanında bulunan parametrelerin en uygun değerleri bulunur. Öğrenme algoritmasının ilk aşaması ileri yönde geçiş olarak adlandırılır. Bu aşamada soncul parametreler sabit kalıp, öncül parametreler en küçük kareler yöntemi ile güncellenir. Daha sonra geri yönde geçiş olan ikinci aşamada öncül parametreler sabit kalarak soncul parametreler eğim düşümü yöntemi ile güncellenir. Bu işlemler, bulanık sistem değerleri ile hedef değerler arasındaki hata en küçük oluncaya kadar devam eder.

3.2 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar bir optimizasyon tekniğidir. Optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara ulaşmayı sağlayan bir araç olarak tanımlanmaktadır (Gass, 2000).

Bir optimizasyon problemi için karar değişkenlerinin, amaç fonksiyonunun ve var ise kısıtların tanımlanması zorunludur. Karar değişkenleri, problem hakkında karar alınacak değişkenleri ifade eder. Kısıtlar, kararların hangi sınırlar içinde alınacağını gösterirler. Amaç fonksiyonu ise en büyüklenecek veya en küçüklenecek fonksiyonu ifade etmektedir.

Optimizasyon problemleri karar değişkenlerine, amaç fonksiyonlarına ve kısıtlara göre farklı şekilde sınıflandırılırlar. Farklı tip optimizasyon problemlerinin çözümleri de farklı tipteki optimizasyon teknikleri ile olabilmektedir.

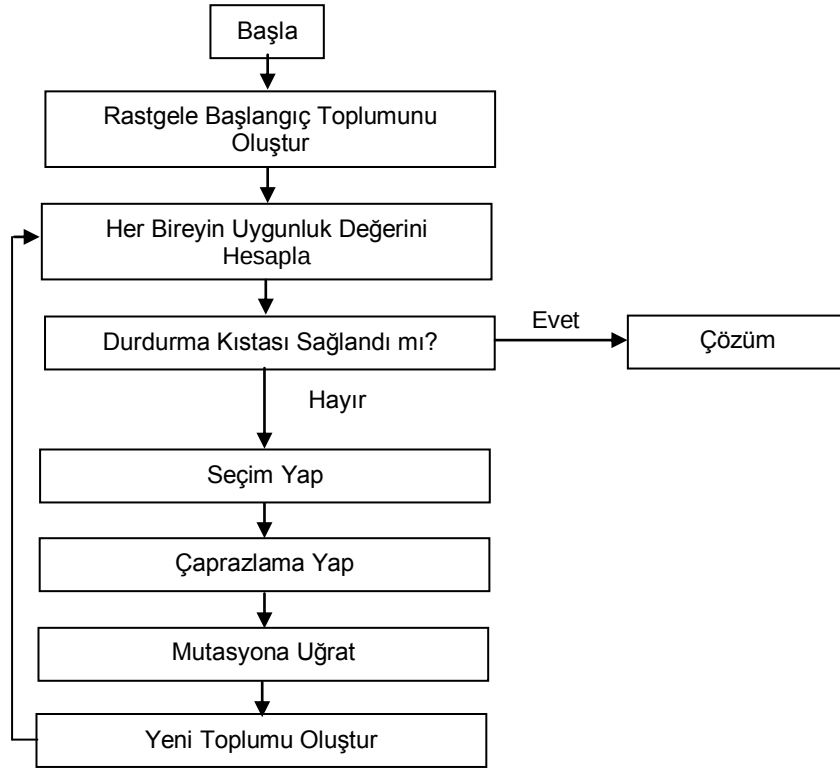
Genetik algoritma doğal seçim mekanizmasını örnek alarak kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş bir arama metodudur ve 1975 yılında Holland tarafından geliştirilmiştir. Bu teknik ile bir çok tipteki optimizasyon problemi çözülebilmektedir. Her optimizasyon tekniğinin amacı global optimum noktasını bulmaktır. Genetik algoritma yönteminde optimum noktaya çözüm uzayında arama yaparak ulaşılmaya çalışılır.

Bu yöntem ile başlangıçta problemin çözümü olabilecek bireylerden oluşan bir toplumdan doğal seçim mekanizmasından esinlenerek tanımlanan operatörlerin uygulanması ile problemin çözümüne ulaşılmaya çalışılır. Bu operatörler ile başlangıç toplumundaki bireyler problemin çözümünü oluşturacak yeni bireyleri meydana getirirler. Meydana gelen her yeni toplumda amaç fonksiyonun minimum/maksimum noktasına yaklaşılarak çözüm aranır.

Genetik algoritma ile su mühendisliğinde, kavramsal model kalibrasyonu (Wang, 1991; Franchini ve Galeati, 1997; Seibert, 2000; Cheng, et al.,2006), iletim hattı optimizasyonu (Simpson et al., 1994; Dandy et al.,1996), kanalizasyon hattı optimizasyonu (Haghighi ve Bakhshipour, 2012), hazne işletmesi (Chang ve Chen, 1998; Chen, 2003; Jothiprakash ve Shanthi, 2006), yaraltısuyu yönetim modeli (McKinney ve Lin, 1994) gibi birçok alanda çalışmalar yapılmıştır.

3.2.1 Genetik Algoritmanın İşlem Adımları

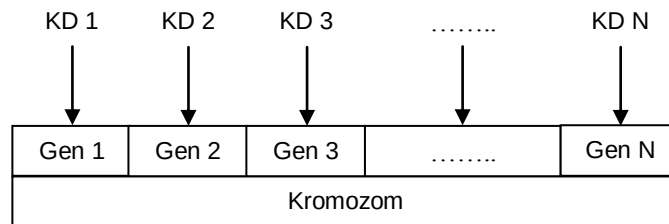
Bir optimizasyon probleminin genetik algoritma ile çözümü sırasında yapılan işlemlere aşağıda değinilmiş ve işlemlerin akış şeması Şekil 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.6 Genetik Algoritma Akış Şeması

1. Başlangıç Toplumunun Oluşturulması

Karar değişkenleri genler ile ifade edilirler. Her karar değişkeninin gen tarafından ifade edilebilmesi için karar değişkeninin kodlanması gerekir. Kodlama şekli, ikili kodlama, gray kodlama, gerçek kodlama şeklinde olabilmektedir. Bütün karar değişkenlerine karşılık gelen genlerin bir araya gelmesi ile kromozom (birey) elde edilir. Her kromozom problemin bir aday çözümüdür. Şekil 3.7' de gen ve kromozom yapısı görülmektedir.



Şekil 3.7 Gen ve Kromozom Yapısı

Başlangıç toplumu, rastgele olarak seçilen bireylerden oluşturulur. Her kromozom çözüm uzayında bir noktayı temsil etmektedir. Toplumdaki birey sayısı genetik algoritmanın hızını ve çözüme ulaşmasını etkilemektedir. Bu sebeple toplumdaki birey sayısının uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir.

2. Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Uygunluk değeri, bireyin amaç fonksiyonunda aldığı değerdir. Bu değer bireyin çözüme ne kadar uygun olduğunu gösterir.

3. Seçim

Seçim operatörü ile yeni toplumu oluşturacak bireyler seçilir. Bu operatör ile toplumda farklılaşma ve uygunluk değeri yüksek yani çözüme yakın bireylerin bir sonraki topluma aktarılması amaçlanır. Seçim işlemi farklı şekillerde olabilmektedir. Seçim operatörü olarak sıklıkla kullanılan seçim yöntemleri;

- Rulet Çarkı Seçimi,
- Rastgele Seçim,
- Rütbeleme Seçimi,
- Turnuva Seçimi şeklinde sıralanabilir.

4. Çaprazlama

Çaprazlama operatöründeki amaç toplumdaki seçilen iki bireyin genetik yapısını karşılıklı olarak değiştirerek uygunluk değeri daha yüksek bireyler elde etmektir. Birbirinden farklı çaprazlama yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanları;

- Tek noktalı çaprazlama,
- İki noktalı çaprazlama,
- Çok noktalı çaprazlama,
- Üniform çaprazlama, yöntemleridir.

5. Mutasyon

Bu işlemde amaç, mevcut kromozomun bir veya birkaç noktasında değişiklik yaparak nesillerde çeşitlilik sağlamaktır. Böylece tekrarlanan işlemler sonucu oluşacak aynı kromozomların önüne geçilir. Değişik şekilde mutasyon yöntemleri bulunmaktadır.

6. Yeni Toplumun Oluşturulması

Uygunluk değerlerine göre bireyler ya öldürülür ya da bir sonraki nesile aktararak yeni toplum oluşturulur.

7. Durdurma Kıstası

Bu adıma kadar yapılan işlemler durdurma kıstası sağlanmadığı sürece devam eder. Durdurma kıstası sağlandığında son toplumdaki en iyi, birey problemin çözümü olarak kabul edilir. Durdurma kıstası;

- Maksimum döngü sayısı,
- Maksimum süre,
- Uygunluk değerinin sabitlenmesi şeklinde olabilir (Sivanandam ve Deepa, 2007).

3.2.2 Genetik Algoritmanın Parametreleri

Genetik algoritma ile çözüme başlamadan önce algoritma içinde karar verilmesi gereken operatör tipleri, durdurma kıstası ve parametre değerleri vardır. Bu seçimler problem tipine göre değişiklik göstermekle beraber sonuca ulaşmayı ve işlem süresini etkilemektedir.

Kodlama Türü; Kodlama türü problemin tipine uygun seçilmelidir. Farklı tipteki kodlama türleri farklı problemlerin çözümüne uygun olmaktadır.

Toplum Büyüklüğü: Toplumdaki birey sayısı problemin çözümünün elde edilip edilememesini ve çözüme ne kadar sürede ulaşılabilirliğini belirler. Birey sayısının az olması çözüm uzayının yeterince taranamamasına ve evrensel optimum noktasına ulaşamamasına sebep olmaktadır. Birey sayısının fazlalığı ise işlem süresinin artmasına sebep olmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002).

Çaprazlama tipi ve Çaprazlama Olasılığı: Çaprazlama operatörü ile toplumdaki bireylerden çözüme daha yakın bireyler elde edilmeye çalışılır. Çaprazlama tipi kodlama türüne uygun seçilmelidir. Çaprazlama yapılacak birey oranını belirten çaprazlama olasılığı değerinin küçük olması çözüme ulaşmanın yavaş olmasına, değerin büyük olması iyi bireylerin kaybolmasına neden olur.

Mutasyon Türü ve Mutasyon Olasılığı: Mutasyon operatörü ile çözüm uzayında daha çok noktanın aranması amaçlanmaktadır. Çaprazlama tipi gibi kodlama türüne uygun olarak mutasyon tipi seçilmelidir. Mutasyon oranının büyük olması aramanın çok uzamasına, küçük olması evrensel optimumun bulunamamasına sebep olabilir.

3.3 Genetik Bulanık Sistemler (GBS)

Bulanık sistemlerin, genetik algoritma ile tasarlanması sonucunda genetik bulanık sistemler doğmuştur. Bulanık sistemlere bu sayede uyarlanabilme ve öğrenme özelliği kazandırılmaktadır (Herrera, 2008).

Bir bulanık sistemin amacına uygun şekilde sonuç üretebilmesi için bulanık sistemin bileşenlerinin tasarlanması gerekmektedir. Bulanık sistem kavramının ilk önerildiği dönemlerde tamamen uzman bilgisi yardımı ile olan bir durum olmakla beraber zaman içinde yapılan çalışmalar ile uzman bilgisi gereksinimi azaltılarak gerekli özellikleri girdi ve çıktı verisi yardımı ile belirleyen yöntemler geliştirilmiştir.

Tasarlanması gereken özellik ve parametreler bulanık sistemin her bileşeni için aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

Veri tabanı bileşeninde; girdi değişkenleri için bulanık kümelerin tiplerinin ve bulanık alt küme sayısının, Mamdani tipi bulanık sistemin çıktı değişkenleri için bulanık kümelerin tiplerinin ve bulanık alt küme sayısının, Takagi-Sugeno tipi modeller için soncul kısmı oluşturan fonksiyonun katsayılarının ve bulanık küme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bulanık kural tabanı bileşeni bulanık çıkarım motoru tipine göre farklılık göstermektedir. Farklı tipleri de göz önüne alarak; kural sayısının, kurallar oluşturulurken kullanılan ve/veya/değildir bağlaçlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Çıkarım motoru bileşeninde; hangi tip çıkarım motorunun, bağlaçlar, kural değerlendirmesi, kural toplanması için hangi bulanık mantık operatörlerinin kullanılacağına belirlenmesi gerekmektedir.

Durulaştırma bileşeninde ise durulaştırma işleminin belirlenmesi gerekmektedir.

Genetik bulanık sistemde, genetik algoritma bir makine öğrenme algoritması olarak karşımıza çıkmaktadır. Makine öğrenme işi aslında bir optimizasyon problemidir. Genetik bulanık sistemler Karr (1991), Valenzuela-Rendon (1991), Thrift (1991) ile Pham ve Karaboğa (1991) tarafından yapılan eş zamanlı yapılan çalışmalar ile ortaya çıkmıştır.

Bulanık sistem ana bileşenleri, bilgi tabanı ve çıkarım motorudur. Problemin bilgisini depolayan bilgi sistemi, kural tabanı ve veri tabanından oluşmaktadır. Çıkarım mekanizmasında ise bulanık karar verme işlemi yapılır.

3.3.1 Genetik Bulanık Sistemlerin Sınıflandırılması

Bulanık sistemlere genetik algoritmanın uygulandığı yöntemler genetik ayarlama ve genetik öğrenme olarak ikiye ayrılır.

Genetik Ayarlama: Bu işlem için kural tabanının belirlenmiş olması gerekmektedir. Belirlenen kural tabanı ile üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin değerleri genetik algoritma ile bulunarak bulanık sistemin performansı artırılır.

Genetik Öğrenme: Bu işlem iki şekilde olabilmektedir. Birinci yolda veri tabanı belirlenmiş bir sistemin kural tabanı genetik algoritma ile bulunur. İkinci yolda ise veri tabanı ve kural tabanı eş zamanlı olarak genetik algoritma tarafından oluşturulur.

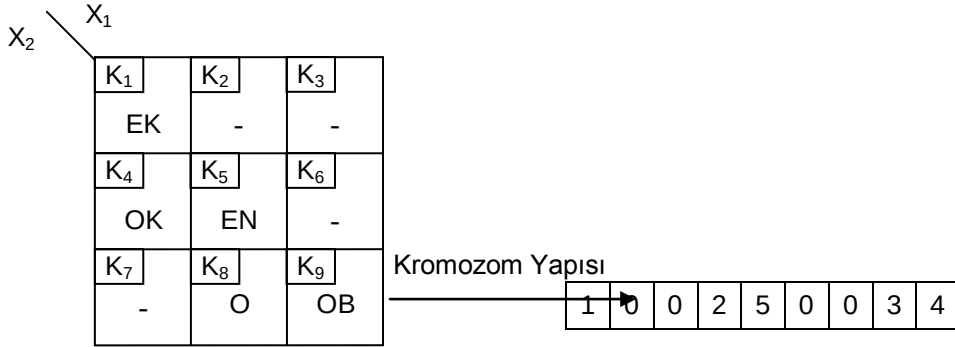
İki uygulama arasındaki fark şöyle açıklanabilir. Bulanık sistemin kural tabanı genetik algoritma ile elde ediliyor ise yapılan işlem genetik öğrenme, kural tabanı sabit kalıp bilgi tabanındaki parametreler genetik algoritma ile elde ediliyor ise yapılan işlem genetik ayarlama adını almaktadır (Herrera, 2008).

3.3.2 Thrift Yöntemi

Thrift (1991) tarafından önerilen bu yöntem, Mamdani çıkarım motoruna sahip bir bulanık sistemin kural tabanının genetik algoritma yöntemi kullanılarak elde edilmesini amaçlar.

Yöntem, bulunabilecek tüm kuralları gösteren tam bir kural tabanının kodlanması ile çalışır. Kromozomda genin yerinin önemli olduğu bir kodlama kullanılır. Bu genlerin aldığı değerlerin karşılığında, çıktı değişkeninin ilgili kuraldaki etiketi veya kuralın varlığı/yokluğu belirlenir.

Çıktı değişkenini ifade eden üyelik fonksiyonlarının etiketleri {EK, OK, O, OB, EN} ise genlerin ifade edeceği değerler kümesi, "-" işareti kuralın yokluğunu gösterecek şekilde { -, EK, OK, O, OB, EN} ifade edilir. Kodlama sırasında { -, EK, OK, O, OB, EN} kümesindeki elemanlara karşılık gelecek şekilde {0, 1, 2, 3, 4, 5} kümesindeki elemanlar kullanılır. Yani çıktı değişkeni etiket kümesindeki "-" elemanı "0", "EK" elemanı "1" ile diğer elemanlarda benzer şekilde ifade edilirler. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 3.8' de gösterilmektedir. (Cordon et al., 2001)



Şekil 3.8 Thrift Yönteminin Şematik Gösterimi (Cordon et al., 2001)

Yöntemde farklı genetik operatörleri kullanır. Çaprazlama operatörü standart çift nokta çaprazlama olmasına rağmen mutasyon operatörü bu süreç için özel tasarlanmıştır. Mutasyon operatörü, gen değeri "0" değerinden farklı olduğunda yeni gen değerini bir önceki veya bir sonraki elemana ya da "0" olarak değiştirecek biçimde uygulanır. Genin bir önceki değeri "0" olduğunda ise yeni değer rastgele seçilir.

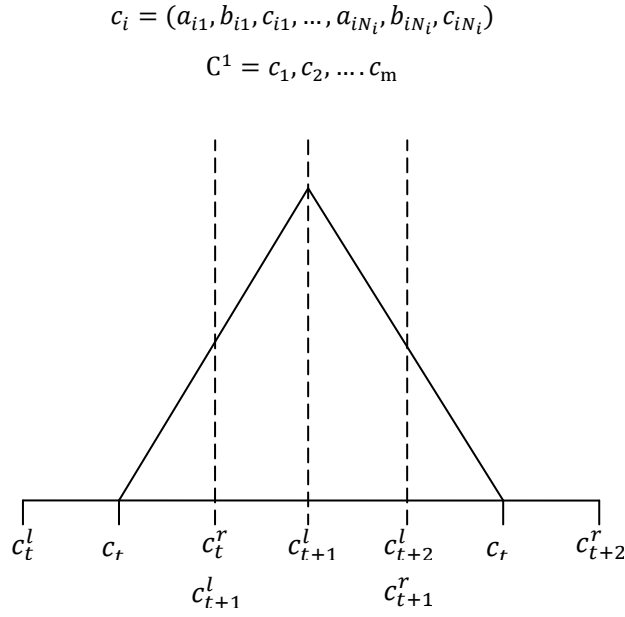
3.3.3 Genetik Bulanık Takagi-Sugeno Sistemi (GBS-TS) Yöntemi

Bu yöntem ile Takagi-Sugeno çıkarım motoruna sahip bir bulanık sistemin parametreleri genetik algoritma yöntemi ile ayarlanmaktadır.

Öncelikle bulanık sistem kural tabanı ızgara bölümlleme yöntemi ile oluşturulur. Bu işlem sonucunda elde edilen bulanık sistemin öncül ve soncul parametreleri, genetik algoritma ile eğitim veri seti kullanılarak ayarlanır.

Bulanık sistemin bilgi tabanını oluşturan öncül ve soncul parametreler kromozom C' ye iki parça olarak kodlanır. İlk parça C^1 de öncül kısım parametreleri ve ikinci kısım C^2 de soncul kısım parametreleri bulunur.

Bulanık sistemde üçgen üyelik fonksiyonu kullanılırsa, üyelik fonksiyonu 3 parametre (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n$ ile ifade edilir. Burada m, girdi değişkeni sayısını, n, girdi değişkeninin sahip olduğu bulanık küme sayısıdır. Bu durumda bir değişken için kromozom c_i ve kromozomun ilk parçası C^1 şeklinde sabit uzunlukta kodlanır. Kromozomun bu parçasının uzunluğu $\sum_{i=1}^m 3n_i$ şeklinde hesaplanır (Cordon ve Herrera, 1999).



Şekil 3.9 Üçgen Üyelik Fonksiyonu ve Parametre Sınırları (Cordon ve Herrera,1999)

Ayarlama sürecinde kromozomun C^1 parçasındaki parametrelerin alabileceği değerlerin alt ve üst sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Üçgen üyelik fonksiyonu için c_t bulanık kümenin desteğinin sol değeri olmak üzere ve diğer ifadelerde Şekil 2.15' te görüldüğü, gibi aralık değerleri Denklem 3.8, 3.9 ve 3.10 ile tanımlanır (Cordon ve Herrera,1997).

$$c_t \in [c_t^l, c_t^r] = \left[c_t - \frac{c_{t+1} - c_t}{2}, c_t + \frac{c_{t+1} - c_t}{2} \right] \quad (3.8)$$

$$c_{t+1} \in [c_{t+1}^l, c_{t+1}^r] = \left[c_{t+1} - \frac{c_{t+2} - c_{t+1}}{2}, c_{t+1} + \frac{c_{t+2} - c_{t+1}}{2} \right] \quad (3.9)$$

$$c_{t+2} \in [c_{t+2}^l, c_{t+2}^r] = \left[c_{t+2} - \frac{c_{t+3} - c_{t+2}}{2}, c_{t+2} + \frac{c_{t+3} - c_{t+2}}{2} \right] \quad (3.10)$$

Kromozomun ikinci parçası C^2 , kuralların soncul kısımlarındaki parametrelerden oluşur. Kromozomun bu parçasındaki gen sayısı $ks(m+1)$ şeklinde hesaplanır. Burada ks kural sayısı $m+1$ bir kuralda bulunan soncul kısım parametrelerin sayısıdır. Parametreler p ile gösterilirse kromozomun ikinci parçası C^2 şeklinde sabit uzunlukta kodlanır.

$$C^2 = (p_{i0}, p_{i1}, \dots, p_{im+1}), \quad i = 1, \dots, ks$$

Soncul kısmın kodlandığı bu kısımda parametrelerin alacağı değerlerin sınırlarının nasıl belirleneceği bir sorun olarak karşımıza çıkar. Bu çalışmada bu soruna karşı Cordon ve Herrera (1997) tarafından önerilen açısal kodlama yöntemi kullanılmıştır.

Örnek olarak kuralların soncul kısmını $Y=p_1 X+p_0$ şeklinde olduğu kabul edilirse burada X,Y ve p sırasıyla girdi, çıktı ve parametreyi ifade eder. Açısal kodlama yöntemine göre kromozomda parametrelerin açısal değerleri kullanılır ve gerçek değerlere dönüşüm tanjant fonksiyonu ile sağlanırsa kromozom değerlerinin ayarlama sürecindeki sınırları $\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$ aralığında olacaktır. Böylece bütün parametrelerin sınırlarının aynı olduğu ve tüm çözüm uzayının temsil edilebildiği bir durum oluşur.

BÖLÜM IV

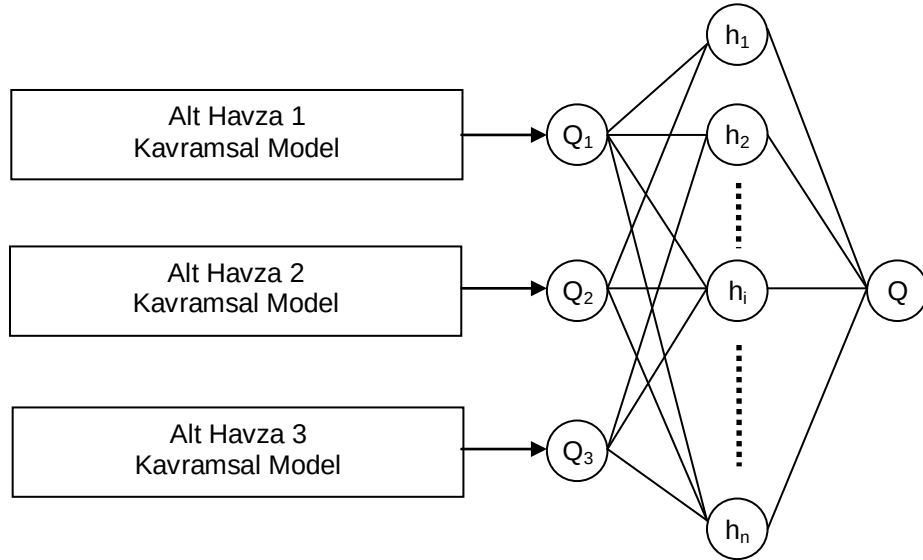
KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLERİN BULANIKLAŞTIRILMASI

Bu bölümde, yapılan çalışmanın asıl konusunu oluşturan kavramsal hidrolojik modellere bulanık sistem entegrasyonundan bahsedilmektedir. Bölümün başında bu konuda yapılan daha önceki çalışmalar özetlenmiştir.

4.1 Yapay Zekâ Entegre Kavramsal Modeller

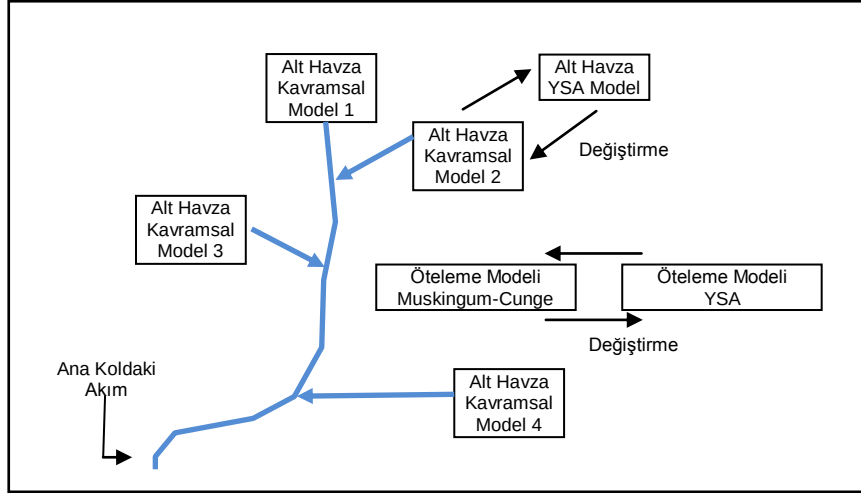
Yapılan çalışmada geliştirilen yöntem, kavramsal bir hidrolojik modele yapay zekâ yöntemlerinden olan bulanık sistemlerin entegre edilmesi ve elde edilen modelin otomatik kalibrasyonudur. Literatürde hidrolojik modellere yapay zeka tekniklerinin entegre edilmesi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan ele alınan konuya en yakın olanları seçilmiş ve incelenmiştir.

Chen ve Adams (2006), Bai River nehri havzasındaki akımı kavramsal model-yapay sinir ağları (YSA) kombinasyonu ile modellemişlerdir. Nehrin alt havzalarındaki akım kavramsal model ile modellenmiş ve öteleme yapay sinir ağları ile yapılarak ana koldaki akım elde edilmiştir. Çalışmada üç farklı kavramsal model kullanılarak alt havzalar modellenmiştir. Önerilen yöntemin şematik gösterimi Şekil 4.1’ de gösterilmektedir.



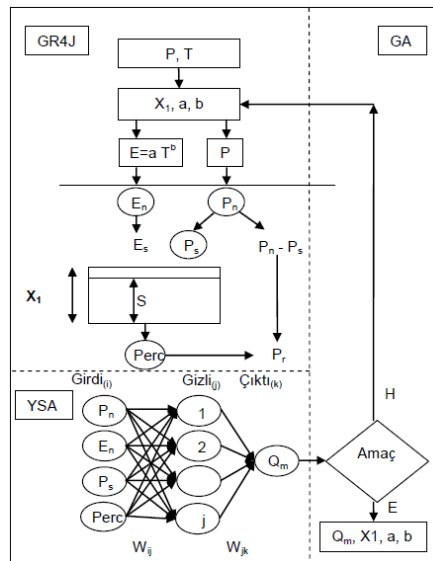
Şekil 4.1 YSA ile Kavramsal Model Entegrasyonu (Chen & Adams 2006)

Corzo et al. (2009), Meuse nehri havzasındaki akımı iki farklı kavramsal model-yapay sinir ağı kombinasyonu ile modellemişlerdir. İlk kombinasyonda nehrin alt havzaları kara kutu model olarak yapay sinir ağları olarak modellenmiş sonra ana koldaki akım Muskingum-Cunge öteleme modeli ile elde edilmiştir. İkinci kombinasyonda ise Chen ve Adams (2006) tarafından yapılan çalışma tekrarlanmış ancak nehrin alt havzalarındaki akımı IHMS-HBV modeli ile modellemişlerdir. Daha sonra ana koldaki akım öteleme süreci yapay sinir ağı ile modellenerek bulunmuştur. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 4.2' de gösterilmektedir.



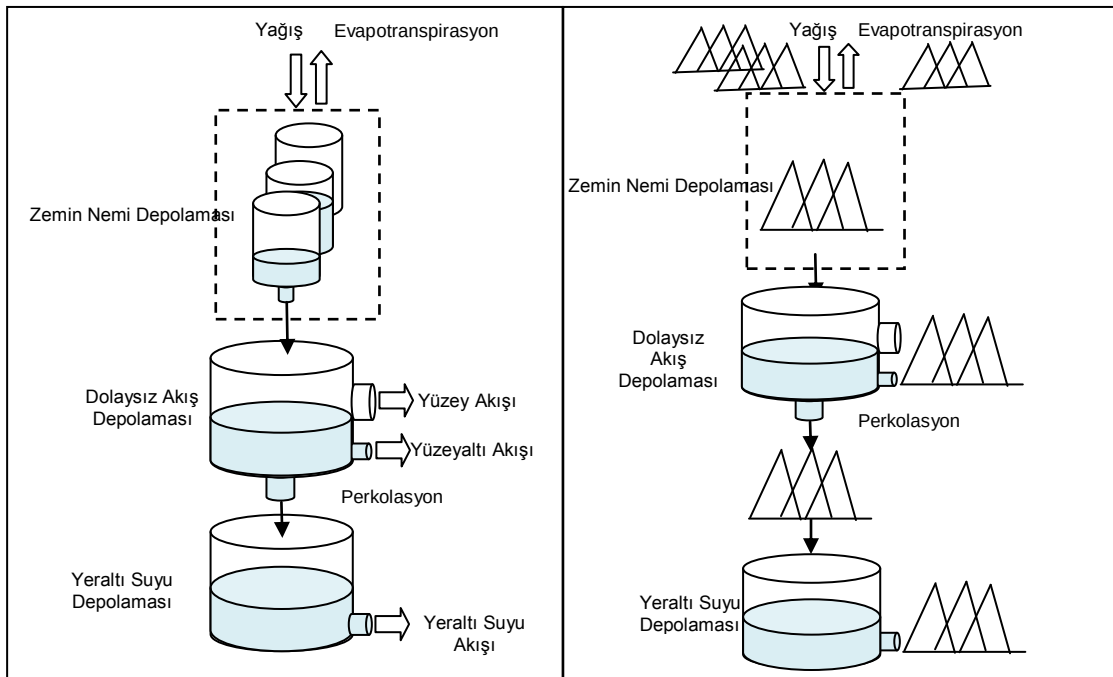
Şekil 4.2 Alt Havza Modellerinin YSA ile Değiştirilmesi (Corzo et al., 2009)

Kumanlioğlu ve Fıstıkoğlu (2011), bir kavramsal model ile yapay sinir ağı entegrasyonu yapmışlardır. Günlük GR4J kavramsal hidrolojik modelinin öteleme sürecini yapay sinir ağı ile değiştirip modeli genetik algoritma yöntemi ile kalibre etmişlerdir. Önerilen Yöntemin şematik gösterimi Şekil 4.3' te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 GR4J-YSA-GA Entegre Model (Kumanlioğlu ve Fıstıkoğlu, 2011)

Hundecha et al. (2001) yaptıkları çalışma ile bir kavramsal modelin içsel süreçlerini bulanık sistemler ile modelleyerek modelin performansını arttırmayı amaçlamışlardır. Neckar nehri havzasında yapılan uygulamada HBV günlük kavramsal yağış akış modelini kullanmışlardır. HBV modelin dört ana içsel süreci, kar erimesi, evapotranspirasyon, akış ve havza tepkisi bulanık sistemler ile değiştirilmiştir. Toplam yedi adet bulanık sistem kullanılmıştır. Bu bulanık sistemlerin hepsi uzman bilgisi ile oluşturulmuştur. Modelin kalibrasyonu sırasında her seferinde bir tane bulanık sistem HBV modele entegre edilmiş ve bulanık sistem el ile kalibre edilmiştir. Bağımsız halde kalibre edilen bütün bulanık sistemler ile HBV model entegrasyonu sonucunda bulanıklaştırılmış HBV model edilmiştir. Bu modelin şematik gösterimi Şekil 4.4' de verilmiştir.

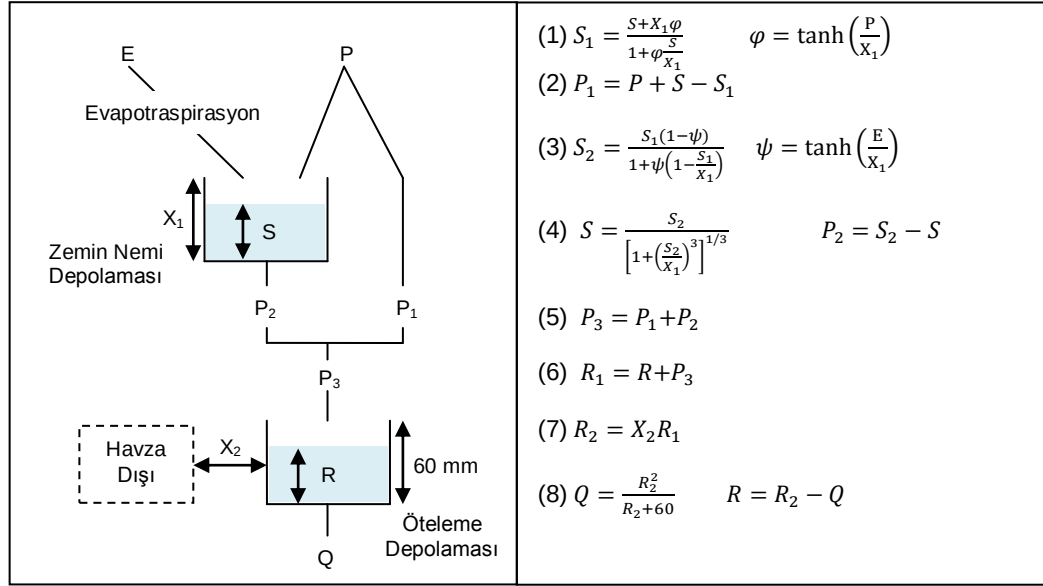


Şekil 4.4 HBV Model ve Bulanıklaştırılmış HBV Model (Das ve diğerleri, 2008)

Bu araştırmada, GR2M ve TWBM aylık kavramsal modellerin içsel süreçleri bulanık sistemler ile değiştirilmiştir. Hundecha et al. (2001) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak, bulanık sistemler uzman bilgisi olmadan ızgara bölümlleme ile elde edilmiş ve model entegrasyonu yapıldıktan sonra bulanıklaştırılmış modelin tüm bileşenleri otomatik olarak kalibre edilmiştir. Çalışmada geliştirilen bulanıklaştırılmış modeller detaylı olarak konunun devamında anlatılmıştır.

4.2 GR2M Modelinin Bulanıklaştırılması

Geliştirilen yöntem çerçevesinde GR2M modeli analiz edilerek modeli oluşturan süreçlerden hangilerinin bulanık sistemler ile ifade edilebileceğine karar verilmesi gerekmektedir. GR2M modeli Şekil 4.5’ te şematik ve matematiksel olarak görülmektedir.

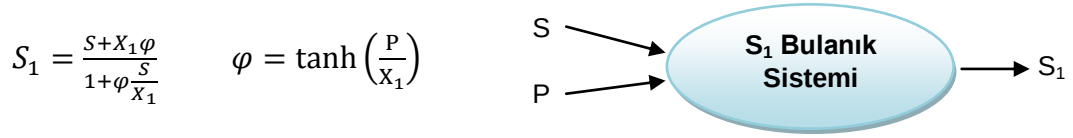


Şekil 4.5 GR2M Modeli

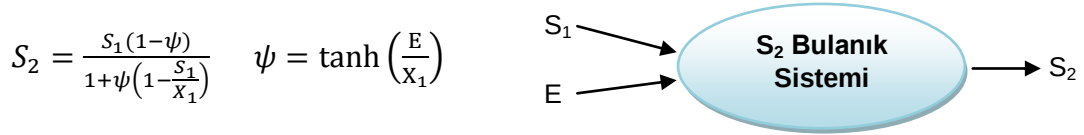
GR2M modelinde zemindeki nem miktarı bir depolama elemanı ile ifade edilmektedir. Depolama elemanın seviyesi “S” nin değişimi yağış, evapotranspirasyon ve perkolasyon değerlerine bağlı olan Şekil 4.5’ teki 1, 2 ve 4 numaralı üç fonksiyon ile hesaplanmaktadır. Önerilen yöntem ile bu üç fonksiyonun hesapladığı değerler üç bulanık sistem ile hesaplanmaktadır. İkinci olarak öteleme elemanı seviyesi “R” deki değişim Şekil 4.5’ teki 7 numaralı fonksiyon ile hesaplanmaktadır. Bu değer de, bir bulanık sistem ile hesaplanmaktadır.

Bulanık sistem ile ifade edilen süreçler ve bulanık sistemlerin yapıları aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

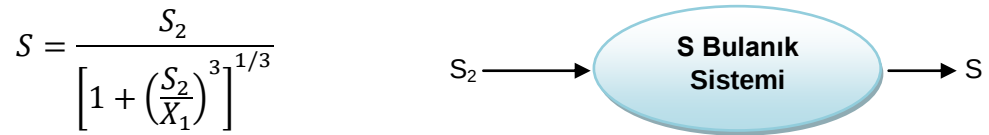
S_1 Bulanık Sistemi: S_1 fonksiyonu bir önceki zemin nemi değeri S ve yağış değerleri P ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple S_1 değerinin hesaplanacağı bulanık sistemin girdilerini, S ve P değerleri, çıktısını ise S_1 değeri oluşturmaktadır. Şekil 4.6’ de S_1 bulanık sistemi görülmektedir.

Şekil 4.6 S₁ Bulanık Sistemi

S₂ Bulanık Sistemi: S₂ fonksiyonu bir önceki zemin nemi değeri S₁ ve evapotranspirasyon değeri E ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple S₂ değerinin hesaplanacağı bulanık sistemin girdilerini S₁ ve E değerleri çıktısını ise S₂ değeri oluşturmaktadır. Şekil 4.7' de S₂ bulanık sistemi görülmektedir.

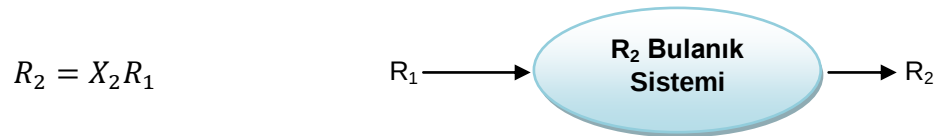
Şekil 4.7 S₂ Bulanık Sistemi

S Bulanık Sistemi: S fonksiyonu, bir önceki zemin nemi değeri S₂ ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple S değerinin hesaplanacağı bulanık sistemin girdisini S₂ değerleri, çıktısını ise S değerleri oluşturmaktadır. Şekil 4.8' de S bulanık sistemi görülmektedir.

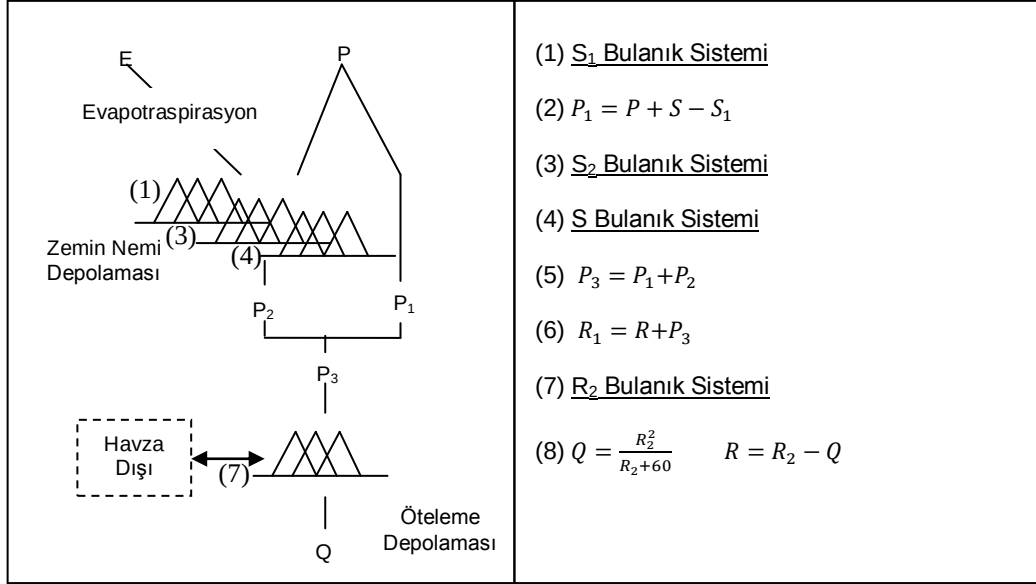


Şekil 4.8 S Bulanık Sistemi

R₂ Bulanık Sistemi: R₂ fonksiyonu, bir önceki öteleme depolaması değeri R₁ ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple R₂ değerinin hesaplanacağı bulanık sistemin girdilerini R₁ değerleri, çıktısını ise R₂ değerleri oluşturmaktadır. Şekil 4.9' de R₂ bulanık sistemi görülmektedir.

Şekil 4.9 R₂ Bulanık Sistemi

Model yapısında yapılan değişiklikler ile model, hiyerarşik yapıda çalışan dört bulanık sisteme sahip hale dönüştürülmüş olup modelin son halinde depolama elemanları ile modellenen zemin nemi depolaması ve öteleme süreçleri bulanık sistemler ile ifade edilmiştir. Şekil 4.10' da modelin bulanık sistemler ile ifade edilmiş işlem adımları şematik olarak görülmektedir.



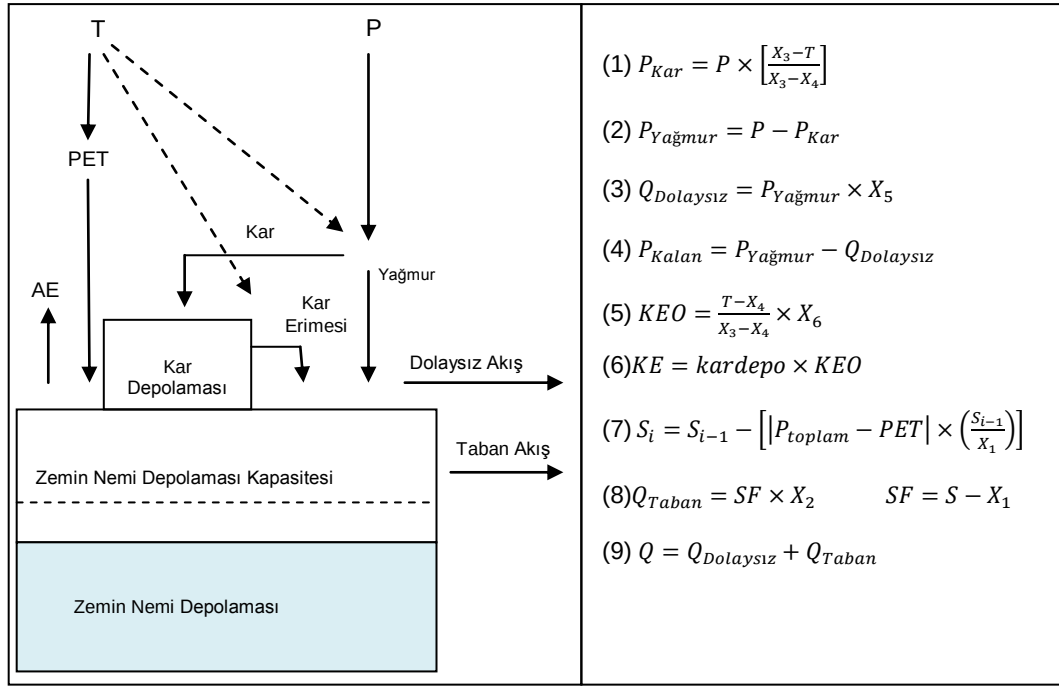
Şekil 4.10 Bulanıklaştırılmış GR2M Modeli

4.3 TWBM Modelinin Bulanıklaştırılması

Bu çalışmada, GR2M modelinde yapılan değişikliklere benzer şekilde TWBM modelini oluşturan süreçler bulanık sistemler ile ifade edilmiştir. Şekil 4.11' de TWBM modelinin işlem adımları şematik ve matematiksel olarak görülmektedir.

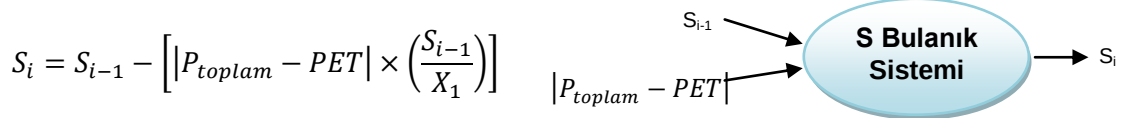
TWBM modelinde de GR2M modelinde olduğu gibi zemin nemi miktarı bir depolama haznesi ile ifade edilmektedir. Önerilen yöntem ile GR2M modelinde yapılan işleme benzer olacak şekilde zemin nemi miktarındaki değişiminin hesaplandığı Şekil 4.11' deki 7 numaralı fonksiyonun hesapladığı değerler bulanık sistem ile hesaplanmaktadır. Yine GR2M modelinde yapılan işleme benzer olarak ötelemeyi ifade eden Şekil 4.11' deki 8 numaralı fonksiyonun hesapladığı değerler bulanık sistem ile hesaplanmaktadır.

Bulanık sistem ile ifade edilen süreçler ve bulanık sistemlerin yapıları aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.



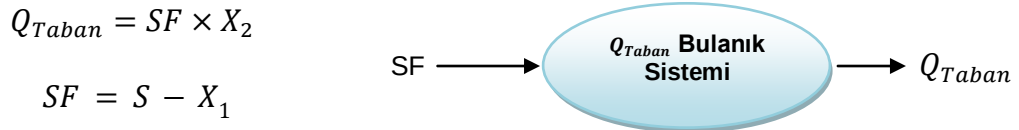
Şekil 4.11 TWBM Modeli

S Bulanık Sistemi: S fonksiyonu önceki zemin nemi değeri S_{i-1} ve $|P_{toplaml} - PET|$ ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple S_1 değerinin hesaplanacağı bulanık sistemin girdilerini S_{i-1} ve $|P_{toplaml} - PET|$ değerleri, çıktısını ise S_i değeri oluşturmaktadır. Şekil 4.12 S bulanık sistemi görülmektedir.

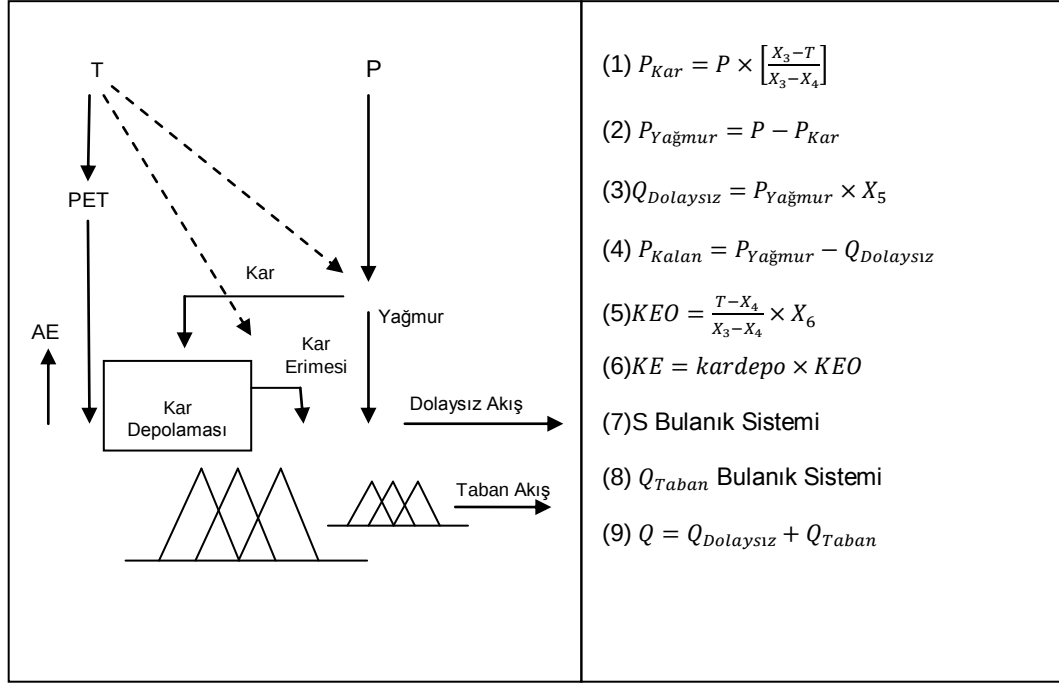


Şekil 4.12 S Bulanık Sistemi

Q_{Taban} Bulanık Sistemi: Q_{Taban} fonksiyonu, su fazlası değeri SF ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple Q_{Taban} değerinin hesaplanacağı bulanık sistemin girdisini SF değerleri çıktısını ise Q_{Taban} değeri oluşturmaktadır. Şekil 4.13' de Q_{Taban} bulanık sistemi görülmektedir.

Şekil 4.13 Q_{Taban} Bulanık Sistemi

Modelin son halinde, zemin nemi depolamasını ve ötelemeyi ifade eden süreçler, bulanık sistemler ifade edilmiştir. Şekil 4.14' te modelin bulanık sistemler ile ifade edilmiş işlem adımları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Bulanıklaştırılmış TWBM Modeli

4.4 Bulanıklaştırılmış Hidrolojik Modellerin Kalibrasyonu

Geliştirilen yöntem ile GR2M ve TWBM aylık kavramsal hidrolojik modellerinin zemin nemi depolaması ve öteleme süreçleri bulanık sistemler ile modellenmiştir. GR2M modelinin bulanıklaştırılması sonucunda modele dört tane bulanık sistem, TWBM modelinin bulanıklaştırılması sonucunda iki tane bulanık sistem entegre edilmiştir.

Bölüm VII' de elde edilen sonuçlar ışığında çalışmada Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoruna sahip bulanık sistemlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Kavramsal modellere entegre edilen bu sistemlerin her birinin başlangıç bilgi tabanı ızgara bölümlene yöntemi ile elde edilmiştir. Kodlama GBS-TS yöntemi başlığı altında anlatıldığı gibi yapılmaktadır. Sonuç olarak sabit uzunlukta ve bütün bulanık sistemlerin bilgi tabanının kodlandığı bir kromozom yapısı elde edilir. Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu belirlenen ve kodlanmış olan sistem genetik algoritma yöntemi ile kalibre edilmektedir.

BÖLÜM V

UYGULAMA ALANI ve KULLANILAN VERİLER

Bu bölümde, uygulama alanı olan Gediz Havzası ve bu havzada seçilen gözlem istasyonları tanıtılmaktadır. Seçilen akım gözlem ve meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen veriler hakkında bilgiler verilmektedir.

5.1 Çalışma Alanı

Çalışmada uygulaması yapılan mevcut modellerin ve bulanıklaştırılmış GR2M ile TWBM modelleri için gerekli veriler akım, sıcaklık ve yağış verileridir. Bu veriler Gediz Havzasında bulunan akım gözlem istasyonları ile ilgili istasyon yağış alanını temsil eden meteoroloji istasyonlarından elde edilmiştir. Akım verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından işletilen akım gözlem istasyonlarının verileridir. Meteorolojik verileri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) işletilen istasyonların verileridir.

Çalışmanın gerçek süreci yansıtmaması açısından verileri kullanılan akım gözlem istasyonlarının bulundukları akarsuyun üzerinde hiçbir yapının olmamasına, en azından verilerin kullanıldıkları tarihlerde akarsuyun bu özellikleri taşımasına dikkat edilmiş, istasyonlar buna göre seçilmiştir. Böylece doğal akım verileri ile çalışılmıştır. Meteoroloji istasyonları, belirlenen akım gözlem istasyonunun havzasını temsil edecek şekilde, havza içinden veya dışından seçilmiştir.

Kullanılan veriler, çalışmadaki yağış akış modellerinin aylık olmasından dolayı aylık olarak hesaplanmıştır. Akım verileri seçilen istasyonların aylık toplam akım verileridir. Bu değerler yağış alanına bölünerek akım yükseklikleri elde edilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Modellerin toplu olmasından dolayı tüm havza için tek bir sıcaklık ve yağış değerine ihtiyaç vardır. Bunun için sıcaklık değerleri seçilen havzayı temsil eden meteoroloji gözlem istasyonlarında ölçülen sıcaklıkların ortalaması olarak hesaplanmıştır. Yağış değerleri ise alansal ortalama yağış yükseklikleri olarak dikkate alınmıştır.

Türkiye konumları ve sınırları Şekil 5.1' de görüldüğü gibi 26 adet hidrolojik havzaya ayrılmıştır. Çalışmada bahsedilen yöntem ve modellerin Gediz Havzasında bulunan istasyonlar verileri uygulamaları yapılmıştır.



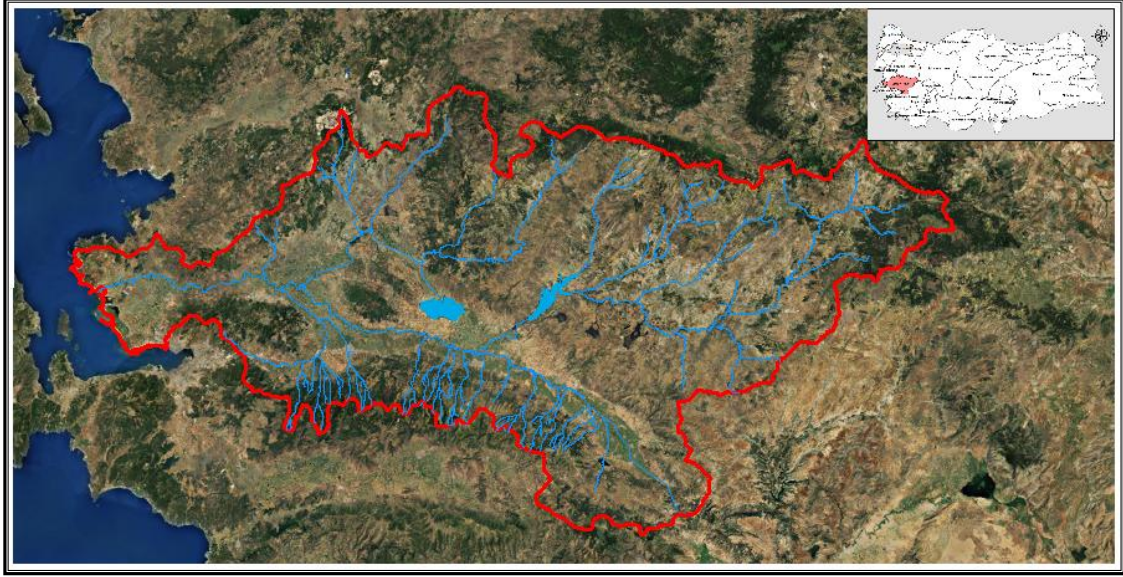
Şekil 5.1 Türkiye Havzaları (ARİS, 2012)

5.1.1 Gediz Havzası

Türkiye'nin batısında, Ege Bölgesi sınırları içinde yer alan havza, $38^{\circ} 04' - 39^{\circ} 13'$ kuzey enlemleri ile $26^{\circ} 42' - 29^{\circ} 45'$ doğu boylamları arasında bulunur. Kuzeyinde Bakırçay ve Susurluk, güneyinde Büyük Menderes ve Küçük Menderes havzaları bulunmaktadır. Toplam yağış alanı 18.000 km^2 ortalama yıllık akışı $1,95 \text{ km}^3$, yıllık ortalama verimi $3,6 \text{ l/s/km}^2$ 'dir (DSİ, 2012).

Havzadaki akarsular, havzaya adını veren Gediz Nehri ve kollarından meydana gelmektedir. Gediz Nehri, Kütahya İl sınırları içerisinde Murat ve Şaphane Dağları'ndan doğup, Foça ile Çamaltı Tuzlası arasından İzmir Körfezi'ne dökülmektedir.

Gediz Nehri'ne, Yukarı Gediz olarak adlandırılan Demirköprü Barajı'nın membasındaki kesimde, kuzeyden Selendi, Deliniş ve Demirci Çayı katılır. Aşağı Gediz olarak adlandırılan Demirköprü Barajı'nın mansabındaki kesimde, kuzeyden Kum Çayı, güneyden Alaşehir Çayı, Nif Çayı ve Ahmetli Deresi katılır. Bunlardan başka Gediz Nehri çok sayıda yan derelerle beslenmektedir. Bu yan derelerin en önemlileri Medar Çayı, Gördes Çayı, Kurşunlu Deresi, Tabak Çayı, Karaçalı Deresi ve Irlamaz Çayı'dır. Şekil 5.2' de havzanın yüzey suları görülmektedir.



Şekil 5.2 Gediz Havzası ve Yüzey Suları

Gediz Havzası, tipik Akdeniz iklimine sahiptir. Havzanın doğu ucundaki yüksek kesimler Akdeniz iklimi ile kara iklimi arasında bir geçiş bölgesi oluşturur. Bu kesimlerde, özellikle kış aylarında kar yağışı görülebilmekte dolayısıyla daha düşük sıcaklıklar gözlenebilmektedir (DSİ, 2005).

Havzanın üçte ikisi doğal veya kullanılmamış alandır. Bunu çoğunlukla havzanın kuzey ve kuzeydoğusunda bulunan dağlık alanlar oluşturmaktadır. Geriye kalan üçte bir alanın % 53.2'si tarımsal alan, % 35.5'i orman ve fundalık, % 1.9'u göller ve tuzlalar, yaklaşık % 9.4'lük kısmı kentsel alan niteliğindedir (ÇOB, 2008).

5.1.2 Kullanılan Gözlem İstasyonları

Gediz Havzasında çalışmaya uygun olan dört adet akım gözlem istasyonu seçilmiştir. Bunlar, Medar Çayı üzerinde Kayalıoğlu (#509), Gediz Nehri üzerinde Acısu (#523), Murat Çayı üzerinde Sazköy (#524) ve Yiğitler Deresi üzerinde Yiğitler (#525) istasyonlarıdır. Bu istasyonların coğrafi konumları, yağış alanları ve kotları Çizelge 5.1' de verilmiştir. Akım gözlem istasyonlarının havzasını temsil edecek meteoroloji gözlem istasyonları ve konumları Çizelge 5.1 verilmiştir.

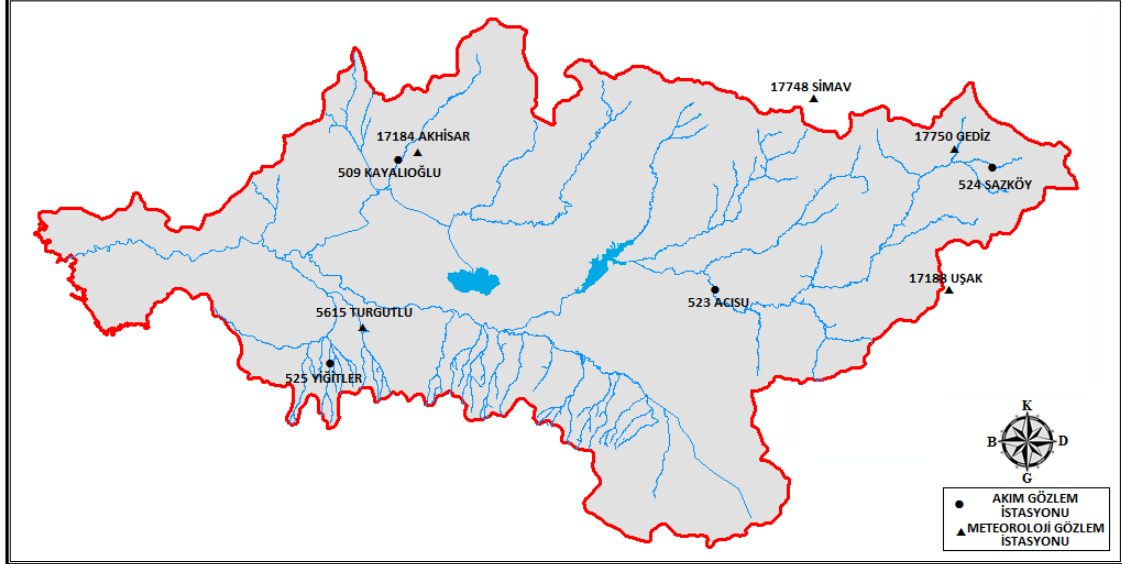
Çizelge 5.1 Gediz Havzasında Seçilen Akım Gözlem İstasyonları

İstasyon Adı	Bulunduğu Akarsu	Yağış Alanı (km ²)	Kotu (m)	Coğrafi Konumu
Kayalıoğlu (#509)	Medar Çayı	901,6	77	27° 46' 07" D 38° 53' 26" K
Acısu (#523)	Gediz Nehri	3272,4	373	28° 43' 11" D 38° 38' 26" K
Sazköy (#524)	Murat Çayı	176	790	29° 30' 45" D 38° 57' 26" K
Yiğitler (#525)	Yiğitler Deresi	64	165	27° 36' 43" D 38° 24' 48" K

Çizelge 5.2 Gediz Havzası İçin Belirlenen Meteoroloji Gözlem İstasyonları

İstasyon Adı	İlişkili AGİ	Kot (m)	Coğrafi Konumu
Akhisar (#17184)	Kayalıoğlu (#509)	93	27° 49' 05" D 38° 54' 42" K
Uşak (#17188)	Acısu (#523)	919	29° 23' 35" D 38° 40' 20" K
Simav (#17748)	Acısu (#523)	809	28° 59' 25" D 39° 05' 22" K
Gediz (#17750)	Acısu (#523) Sazköy (#524)	825	29° 23' 40" D 38° 59' 49" K
Turgutlu (#5615)	Yiğitler (#525)	120	27° 42' 52" D 38° 29' 29" K

Gediz havzasındaki çalışmada havzaları modellenen akım gözlem istasyonlarının konumları, havza sınırları ve meteoroloji istasyonlarının konumları Şekil 5.3' te görülmektedir.



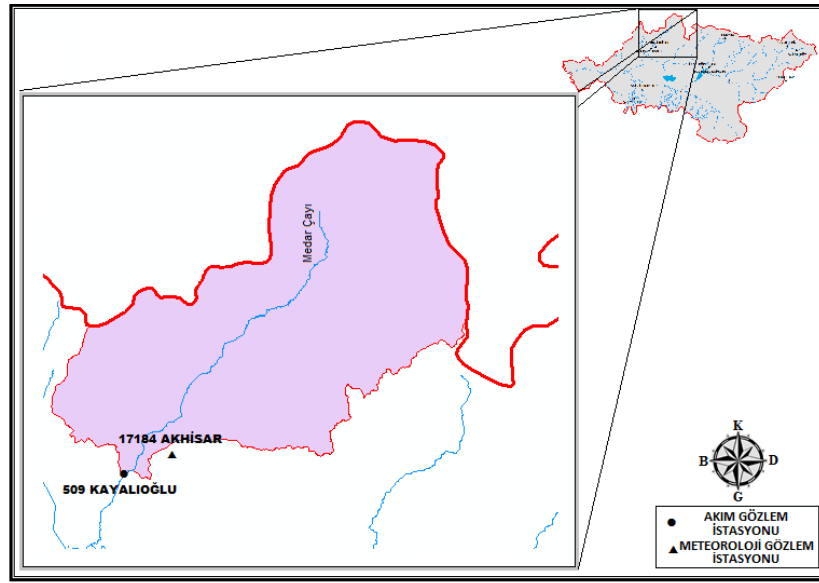
Şekil 5.3 Gediz Havzası Gözlem İstasyonları

5.2 Kullanılan Veriler

Gediz Havzasında yapılan bu çalışmada havzası modellenen akım gözlem istasyonu verileri ve meteorolojik veriler hakkındaki bilgiler havzalara göre ayrı ayrı aşağıda verilmektedir.

5.2.1 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası Verileri

Kayalıoğlu (#509) istasyonu konumu ile havzası ve bu havzayı temsil eden Akhisar (#17184) meteoroloji gözlem istasyonunun konumu Şekil 5.4' te gösterilmektedir.



Şekil 5.4 Kayalıoğlu (#509) İstasyonu Havzası

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının kara kutu modelleme tekniği kullanılarak aylık akım verileri ile modellenmesinde, Ekim 1971 ile Aralık 1998 tarihleri arasındaki 327 adet aylık akım verisi eğitim, Ocak 1999 ile Aralık 2006 tarihleri arasındaki 96 adet aylık akım verisi test aşamasında kullanılmaktadır. Havzanın kavramsal hidrolojik ve bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modeller ile aylık olarak modellenmesinde ise Ekim 1982 ile Eylül 1994 tarihleri arasındaki 144 adet aylık akım verisi kalibrasyon, Ekim 1994 ile Eylül 1999 tarihleri arasındaki 60 adet aylık akım verisi doğrulama aşamasında kullanılmaktadır.

Modelleme sırasında kullanılan bu iki farklı veri kümesinin, minimum değerleri, x_{min} , maksimum değerleri, x_{mak} , ortalamaları, $\bar{x}$, standart sapmaları, S_x , çarpıklık katsayıları, C_{sx} , kara kutu modelleme tekniği için Çizelge 5.3' te ve kavramsal hidrolojik modeller için Çizelge 5.4' te verilmiştir gösterilmektedir.

Çizelge 5.3 Kayalıoğlu (#509) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

	Eğitim Aşaması				Test Aşaması			
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)
x_{min}	0,01	0,00	2,40	15,18	0,00	0,00	3,60	17,40
x_{mak}	80,21	351,20	28,80	177,41	75,40	217,10	29,30	180,06
$\bar{x}$	6,92	46,88	15,83	83,51	7,59	46,40	16,79	87,66
S_x	10,49	50,47	7,63	52,03	13,12	49,97	8,02	54,68
C_{sx}	3,07	1,68	0,08	0,29	2,87	1,44	0,08	0,28

Çizelge 5.4 Kayalıoğlu (#509) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)
x_{min}	0,05	0	3,20	0,01	0	4,80
x_{mak}	47,53	207,50	28,80	75,40	236,60	28,80
$\bar{x}$	4,94	39,82	15,98	7,96	54,36	16,44
S_x	7,57	44,59	7,83	12,05	56,56	7,89
C_{sx}	2,65	1,43	0,05	3,30	1,18	0,17

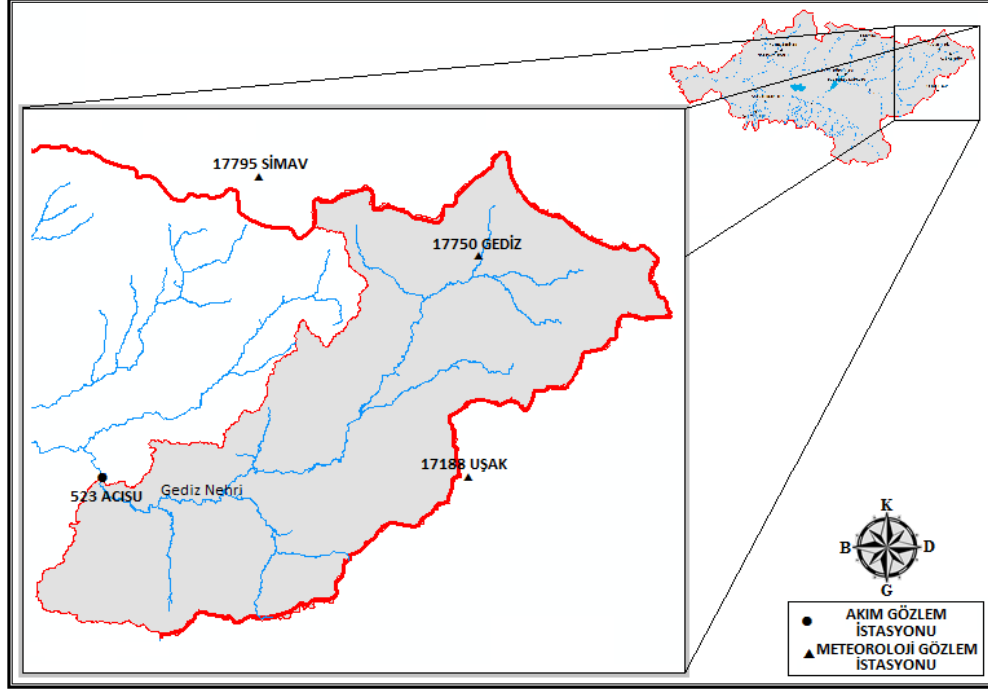
5.2.2 Gediz Nehri-Acısü (#523) AGİ Havzası Verileri

Acısü (#523) AGİ havzası birden fazla meteoroloji gözlem istasyonu ile temsil edilmekte olduğundan alansal ortalama yağış yüksekliği Thiessen çokgenleri yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Havzayı, Uşak (#17188) MGİ 58%, Simav (#17748) MGİ 5%, Gediz (#17750) MGİ 37% oranlarında temsil etmektedir.

Acısü (#523) istasyonu konumu ile havzası ve bu havzayı temsil eden Uşak (#17188), Simav (#17748), Gediz (#17750), meteoroloji gözlem istasyonlarının konumu Şekil 5.5' te verilmiştir.

Acısü (#523) AGİ havzasının kara kutu modelleme tekniği kullanılarak aylık akım verileri ile modellenmesinde, Ocak 1972 ile Aralık 1998 tarihleri arasındaki 324 adet aylık akım verisi eğitim, Ocak 1999 ile Aralık 2005 tarihleri arasındaki 84 adet aylık akım verisi test aşamasında kullanılmaktadır. Havzasının kavramsal hidrolojik ve bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modeller ile aylık olarak modellenmesinde ise Ocak 1980 ile Aralık 1991 tarihleri arasındaki 144

adet aylık akım verisi kalibrasyon, Ocak 1992 ile Aralık 1996 tarihleri arasındaki 60 adet aylık akım verisi doğrulama aşamasında kullanılmaktadır.



Şekil 5.5 Acisu (#523) İstasyonu Havzası

Modelleme sırasında kullanılan bu iki farklı veri kümesinin, minimum değerleri, x_{min} , maksimum değerleri, x_{mak} , ortalamaları, $\bar{x}$, standart sapmaları, S_x , çarpıklık katsayıları, C_{sx} , kara kutu modelleme tekniği için Çizelge 5.5' te ve kavramsal hidrolojik modeller için Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.5 Acisu (#523) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

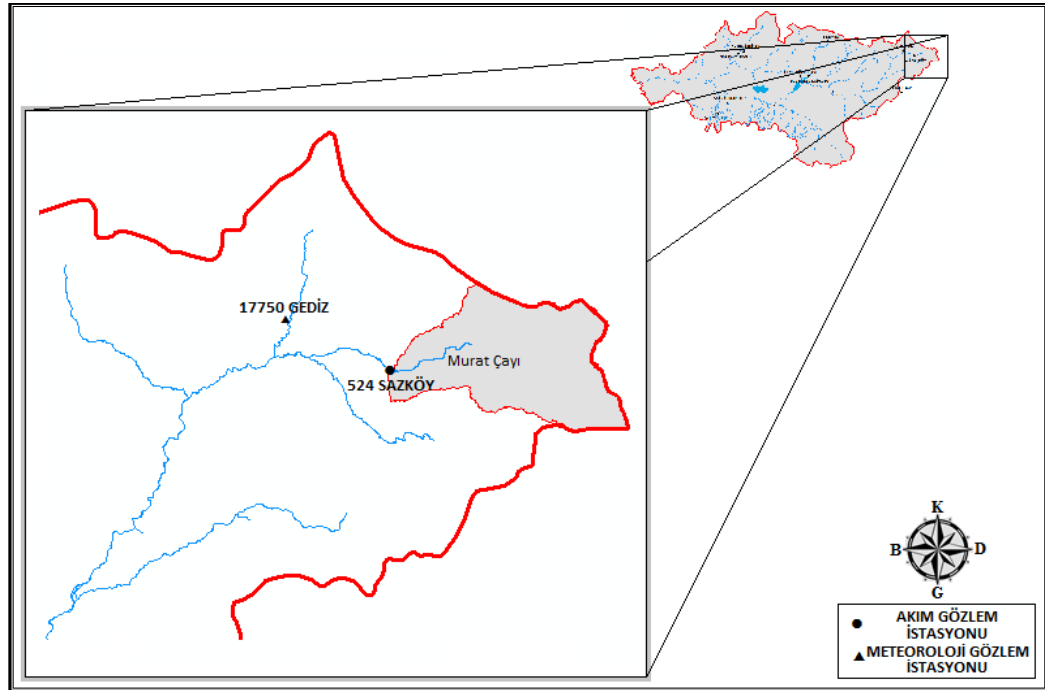
	Eğitim Aşaması				Test Aşaması			
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)
x_{min}	0,06	0,00	-1,50	7,46	0,10	0,00	-1,57	7,83
x_{mak}	69,27	187,92	25,13	154,99	54,29	190,60	25,71	161,13
$\bar{x}$	7,64	45,63	11,99	69,75	6,47	48,57	12,75	72,89
S_x	9,82	37,78	7,48	46,72	9,40	40,66	7,75	48,99
C_{sx}	2,99	1,02	0,05	0,30	2,57	1,20	0,08	0,33

Çizelge 5.6 Acısu (#523) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)
x_{min}	0,16	0,00	-1,37	0,06	0,00	-1,27
x_{mak}	61,63	187,92	24,87	22,10	115,59	24,10
$\bar{x}$	8,35	44,28	11,99	4,99	42,86	11,98
S_x	10,69	39,04	7,49	5,52	31,48	7,83
C_{sx}	2,49	1,19	0,06	1,42	0,27	0,05

5.2.3 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzası Verileri

Sazköy (#524) istasyonu konumu ile havzası ve bu havzayı temsil eden Gediz (#17750) meteoroloji gözlem istasyonunun konumu Şekil 5.6' da gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Sazköy (#524) İstasyonu Havzası

Sazköy (#524) AGİ havzasının kara kutu modelleme tekniği kullanılarak aylık akım verileri ile modellenmesinde, Ekim 1972 ile Aralık 1998 tarihleri arasındaki 315 adet aylık akım verisi eğitim, Ocak 1999 ile Aralık 2005 tarihleri arasındaki 84 adet aylık akım verisi test aşamasında kullanılmaktadır. Havzasının kavramsal hidrolojik ve bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik

modeller ile aylık olarak modellenmesinde ise Ekim 1979 ile Eylül 1991 tarihleri arasındaki 144 adet aylık akım verisi kalibrasyon, Ekim 1991 ile Eylül 1996 tarihleri arasındaki 60 adet aylık akım verisi doğrulama aşamasında kullanılmaktadır.

Modelleme sırasında kullanılan bu iki farklı veri kümesinin, minimum değerleri, x_{min} , maksimum değerleri, x_{mak} , ortalamaları, $\bar{x}$, standart sapmaları, S_x , çarpıklık katsayıları, C_{sx} , kara kutu modelleme tekniği için Çizelge 5.7' de ve kavramsal hidrolojik modeller için Çizelge 5.8' de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Sazköy (#524) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

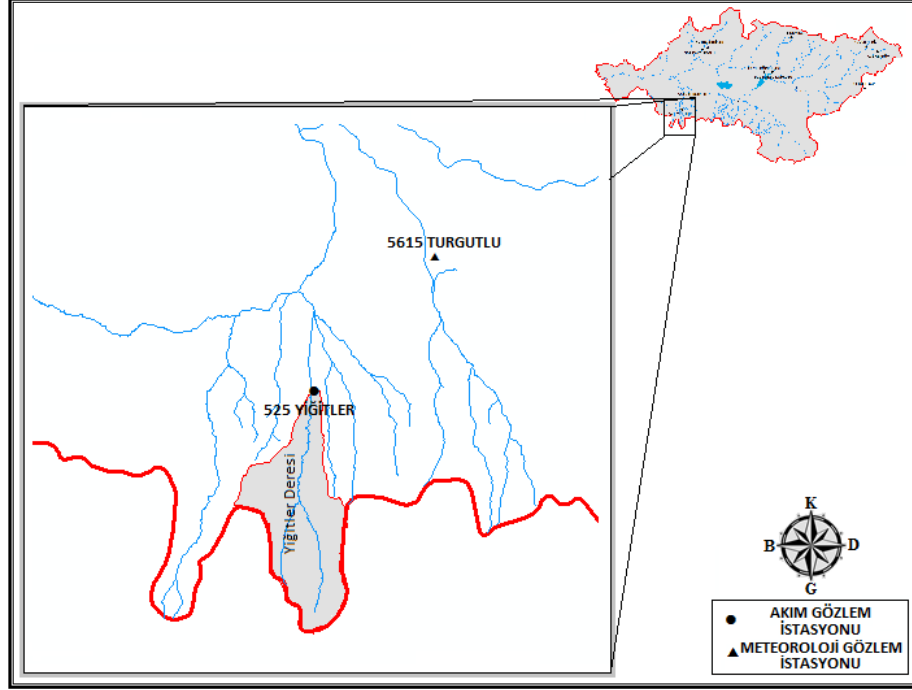
	Eğitim Aşaması				Test Aşaması			
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)
x_{min}	1,69	0,00	-2,10	7,47	1,31	0,00	-1,10	8,64
x_{mak}	92,22	205,10	26,20	161,26	107,07	202,30	26,70	166,34
$\bar{x}$	22,73	46,99	12,21	70,39	22,13	48,73	13,05	74,18
S_x	18,35	40,40	7,70	47,93	23,25	43,03	8,05	50,71
C_{sx}	1,50	1,14	0,10	0,33	1,94	1,20	0,14	0,35

Çizelge 5.8 Sazköy (#524) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)
x_{min}	1,99	0,00	-0,70	1,69	0,00	-2,10
x_{mak}	92,22	205,10	25,70	91,00	107,60	25,00
$\bar{x}$	24,79	46,83	12,28	17,62	41,62	11,83
S_x	18,93	42,42	7,64	17,00	30,17	8,22
C_{sx}	1,25	1,29	0,09	2,15	0,16	0,09

5.2.4 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzası Verileri

Yiğitler (#525) istasyonu konumu ile havzası ve bu havzayı temsil eden Gediz (#17750) meteoroloji gözlem istasyonunun konumu Şekil 5.7' de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Yiğitler (#525) İstasyonu Havzası

Yiğitler (#525) AGİ havzasının kara kutu modelleme tekniği kullanılarak aylık akım verileri ile modellenmesinde, Ocak 1995 ile Aralık 2000 tarihleri arasındaki 192 adet aylık akım verisi eğitim, Ocak 2001 ile Aralık 2005 tarihleri arasındaki 60 adet aylık akım verisi test aşamasında kullanılmaktadır. Havzasının kavramsal hidrolojik ve bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modeller ile aylık olarak modellenmesinde, Ocak 1986 ile Aralık 1997 tarihleri arasındaki 144 adet aylık akım verisi kalibrasyon, Ocak 1998 ile Aralık 2002 tarihleri arasındaki 60 adet aylık akım verisi doğrulama aşamasında kullanılmaktadır.

Modelleme sırasında kullanılan bu iki farklı veri kümesinin, minimum değerleri, x_{min} , maksimum değerleri, x_{mak} , ortalamaları, $\bar{x}$, standart sapmaları, S_x , çarpıklık katsayıları, C_{sx} , kara kutu modelleme tekniği için Çizelge 5.9' da ve kavramsal hidrolojik modeller için Çizelge 5.10' da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Yiğitler (#525) İstasyonu Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

	Eğitim Aşaması				Test Aşaması			
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Evapo-transpirasyon (mm)
x_{min}	0,00	0,00	3,30	17,35	0,00	0,00	3,50	28,35
x_{mak}	302,40	207,80	29,90	176,90	180,42	190,30	29,40	141,49
$\bar{x}$	21,30	39,70	16,75	85,46	25,62	44,72	16,79	77,10
S_x	32,70	42,66	7,80	50,55	37,98	48,29	7,91	36,60
C_{sx}	4,13	1,32	0,02	0,29	2,23	1,31	0,09	0,45

Çizelge 5.10 Yiğitler (#525) İstasyonu Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesinde Kullanılan Aylık Verilere Ait İstatistikler

	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Toplam Akım (mm)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)
x_{min}	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00	3,80
x_{mak}	123,46	186,80	28,70	302,40	207,80	29,90
$\bar{x}$	18,85	39,12	16,58	28,13	45,34	17,32
S_x	24,95	41,62	7,82	50,04	47,78	7,88
C_{sx}	1,94	1,14	0,04	3,56	1,47	0,04

BÖLÜM VI

UYGULAMA I: KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLER

Bu bölümde, kavramsal hidrolojik modeller ile Gediz Havzasında bulunan dört akım gözlem istasyonunun havzaları aylık veriler kullanılarak modellenmiştir. Uygulamada GR2M, TWBM-1, TWBM-2 kavramsal modellerinin performansları karşılaştırılmıştır.

6.1 Modelleme Genel Prensipleri

Çalışmada uygulaması yapılan modellerin performans değerleri üç farklı performans ölçütü ile değerlendirilmiştir. Bunlar determinasyon katsayısı R^2 , ortalama karesel hatanın karekökü OKHK ve Nash ve Sutcliffe (1970) tarafından hidrolojik modeller için önerilen verimlilik katsayısı E ' dir. Bu performans ölçütlerinin matematiksel ifadeleri Denklem 6.1, 6.2 ve 6.3' te verilmiştir.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{t=1}^N (Q_g(t) - \overline{Q_g})(Q_h(t) - \overline{Q_h})}{\sqrt{\sum_{t=1}^N (Q_g(t) - \overline{Q_g})^2 (Q_h(t) - \overline{Q_h})^2}} \right]^2 \quad (6.1)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (Q_g(t) - Q_h(t))^2}{N}} \quad (6.2)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (Q_g(t) - Q_h(t))^2}{\sum_{t=1}^N (Q_g(t) - \overline{Q_g})^2} \quad (6.3)$$

Burada, Q_g gözlenen akım değerlerini, Q_h tahmin edilen akım değerlerini, $\overline{Q_g}$ gözlenen akım değerlerinin ortalamasını, $\overline{Q_h}$ tahmin edilen akım değerlerinin ortalamasını ve N veri sayısını göstermektedir. Bahsedilen performans ölçütleri diğer uygulama bölümlerinde bulunan modellerin veya yöntemlerin performanslarının karşılaştırılmasında da kullanılmaktadır.

Bütün modellerin performansları R^2 , OKHK ve E performans ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Buna göre, en küçük OKHK ile en büyük R^2 ve E değerlerine sahip bulanık sistemler en uygun bulanık sistemler olarak belirlenmiştir.

Modellerin hesap aşamasında kullanılan yöntemle özgü özellikler ve değerler, yöntem başlıkları altında verilmektedir.

GR2M Modeli: Modelin sahip olduğu iki parametre genetik algoritma yöntemi kullanılarak otomatik kalibrasyon ile elde edilmiştir. Kalibrasyon aşamasında amaç fonksiyonu olarak Nash - Sutcliffe verimlilik katsayısı kullanılmıştır. Parametrelerin başlangıç değerlerinin kalibrasyon

aşamasındaki etkisini önlemek amacıyla ilk 12 aylık değerler hesaba katılmamıştır. Bu aşamada kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 60, çaprazlama oranı 0,2, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Bu değerler bölümdeki bütün GR2M modellerinin kalibrasyonu aşamasında aynı kalmıştır.

Daha sonra elde edilen parametre değerleri doğrulama aşamasında sabit tutulup modelin doğrulama aşaması performans değerleri hesaplanmıştır.

TWBM modelinin, kalibre edilen parametre sayısına göre iki farklı hali elde edilmiştir. Böylece model parametrelerinin sonuçlar üzerine etkisi incelenmek istenmiştir.

TWBM-1 Modeli: Modelin bu halinde, zemin nemi kapasitesi X_1 ve taban akışı oranı X_2 parametreleri dışındaki parametreler yağmur eşik sıcaklığı X_3 3,3°C, kar eşik sıcaklığı X_4 10°C, dolaysız akış oranı X_5 0,05 ve maksimum kar erimesi oranı X_6 0,5 değerine sabitlenmiştir. Kalan iki parametre genetik algoritma yöntemi kullanılarak otomatik kalibrasyon ile elde edilmiştir. Kalibrasyon aşamasında amaç fonksiyonu olarak Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı kullanılmıştır. Parametrelerin başlangıç değerlerinin kalibrasyon aşamasındaki etkisini önlemek amacıyla ilk 12 aylık değerler hesaba katılmamıştır. Bu aşamada kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 60, çaprazlama oranı 0,2, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Bu değerler bölümdeki bütün TWBM-1 modellerinin kalibrasyonu aşamasında aynı kalmıştır.

Daha sonra elde edilen parametre değerleri doğrulama aşamasında sabit tutulup modelin doğrulama aşaması performans değerleri hesaplanmıştır.

TWBM-2 Modeli: Modelin bu halinde, altı parametre genetik algoritma yöntemi kullanılarak otomatik kalibrasyon ile elde edilmiştir. Kalibrasyon aşamasında amaç fonksiyonu olarak Nash - Sutcliffe verimlilik katsayısı kullanılmıştır. Parametrelerin başlangıç değerlerinin kalibrasyon aşamasındaki etkisini önlemek amacıyla ilk 12 aylık değerler hesaba katılmamıştır. Bu aşamada kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 60, çaprazlama oranı 0,2, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Bu değerler bölümdeki bütün TWBM-2 modellerinin kalibrasyonu aşamasında aynı kalmıştır.

Daha sonra elde edilen parametre değerleri doğrulama aşamasında sabit tutulup modelin doğrulama aşaması performans değerleri hesaplanmıştır.

6.2 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının GR2M, TWBM-1 ve TWBM-2 aylık kavramsal hidrolojik modeller ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

6.2.1 GR2M Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının GR2M ile modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.1’ de verilmektedir.

Çizelge 6.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
348,08	0,70

GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.2’ de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.3’ te verilmektedir.

Çizelge 6.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,82	0,83
OKHK	3,39	5,53
E	0,81	0,79

Çizelge 6.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,05	0,02	0,01	0,07
x_{mak}	47,53	43,55	75,40	67,09
$\bar{x}$	4,94	4,49	7,96	9,11
S_x	7,57	7,62	12,05	13,39
C_{sx}	2,65	2,67	3,30	2,21

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.1’ de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.2’ de gösterilmektedir.

6.2.2 TWBM-1 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının TWBM-1 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.4' te verilmektedir.

Çizelge 6.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
212,95	0,31

TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.5' te ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.6' da verilmektedir.

Çizelge 6.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,66	0,59
OKHK	4,87	10,06
E	0,61	0,29

Çizelge 6.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,05	0,00	0,01	0,83
x_{mak}	47,53	39,78	75,40	62,72
$\bar{x}$	4,94	5,68	7,96	13,08
S_x	7,57	8,10	12,05	13,25
C_{sx}	2,65	2,49	3,30	1,92

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.3' te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.4' te gösterilmektedir.

6.2.3 TWBM-2 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının TWBM-2 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.7' de verilmektedir.

Çizelge 6.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2	X_3 (°C)	X_4 (°C)	X_5	X_6
239,49	0,36	5,00	-5,32	0,09	0,85

TWBM-2 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.8' de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.9' da verilmektedir.

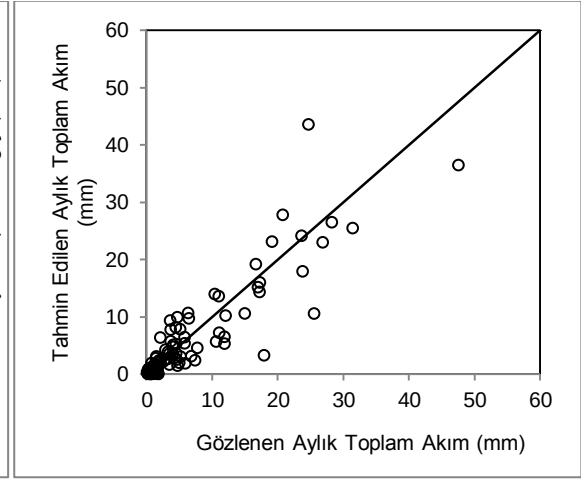
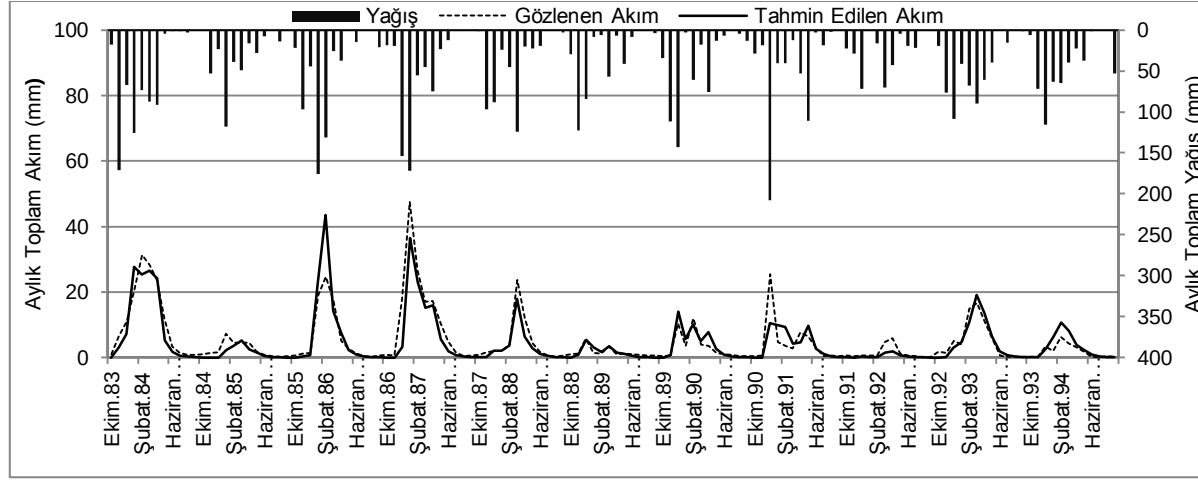
Çizelge 6.8 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,67	0,62
OKHK	4,67	9,01
E	0,64	0,43

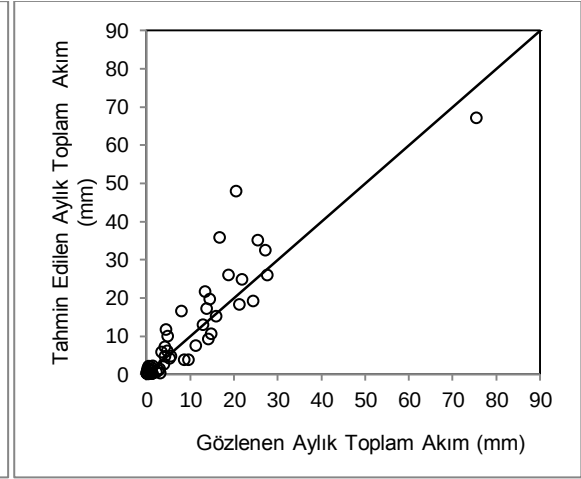
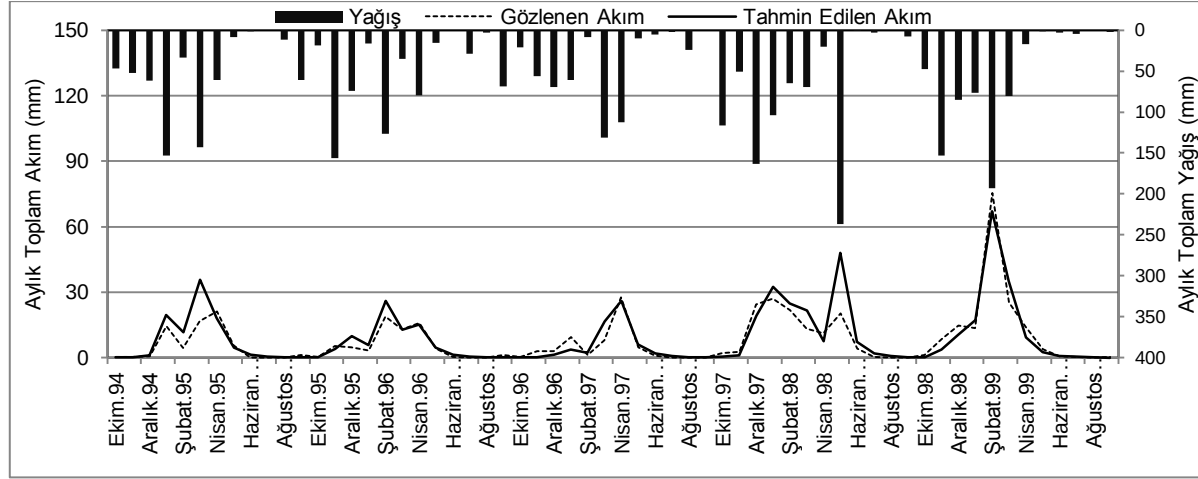
Çizelge 6.9 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,05	0,00	0,01	0,00
x_{mak}	47,53	38,09	75,40	64,99
$\bar{x}$	4,94	5,70	7,96	11,61
S_x	7,57	7,46	12,05	13,09
C_{sx}	2,65	2,41	3,30	2,39

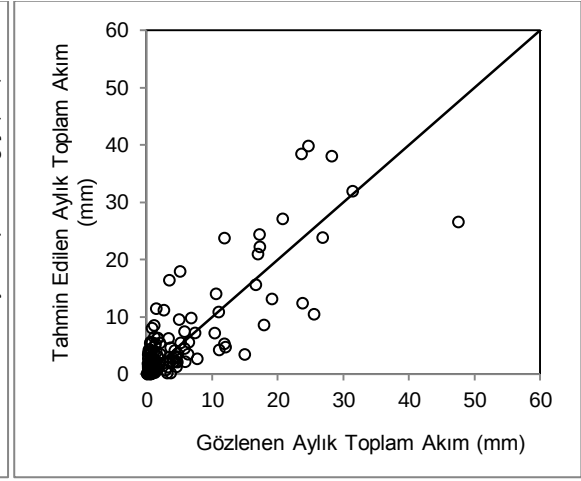
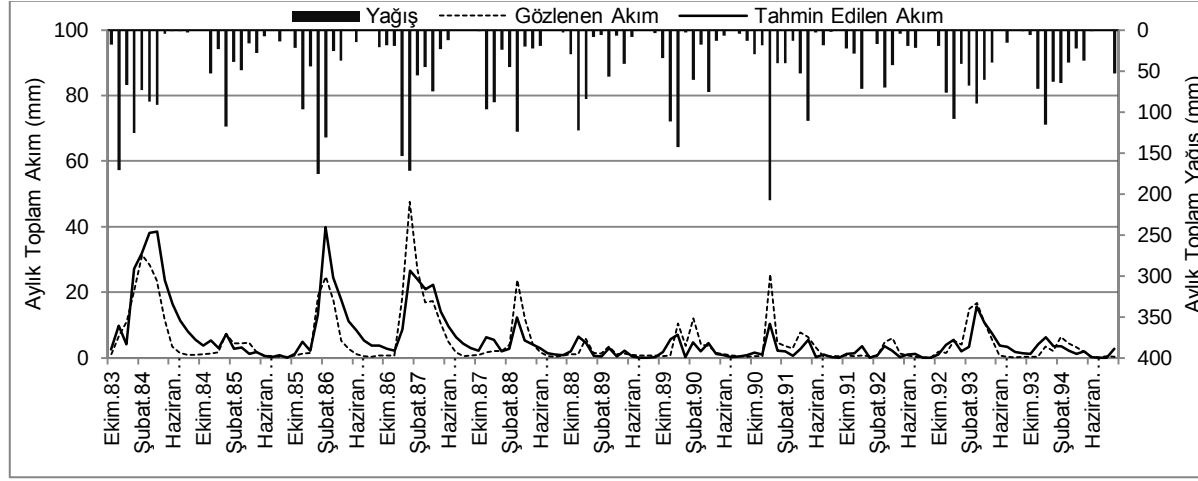
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.5' te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.6' da gösterilmektedir.



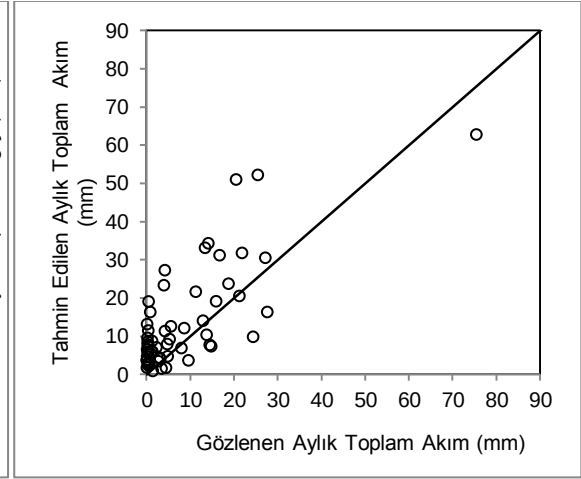
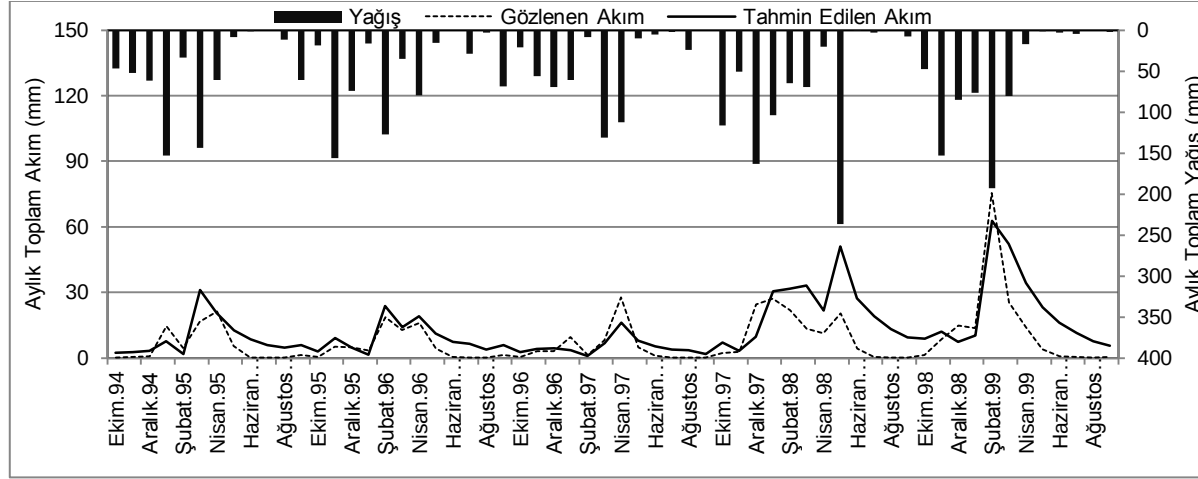
Şekil 6.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



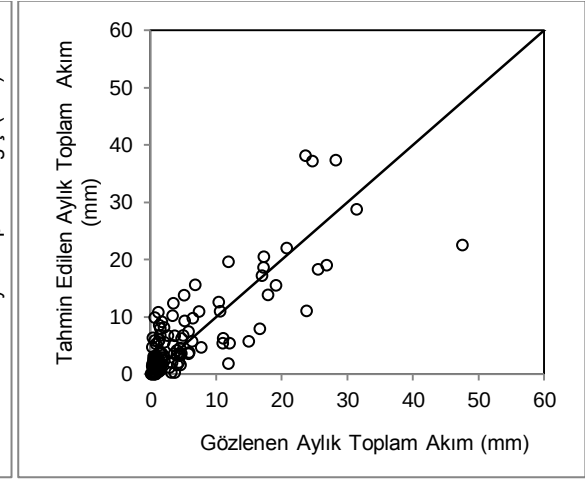
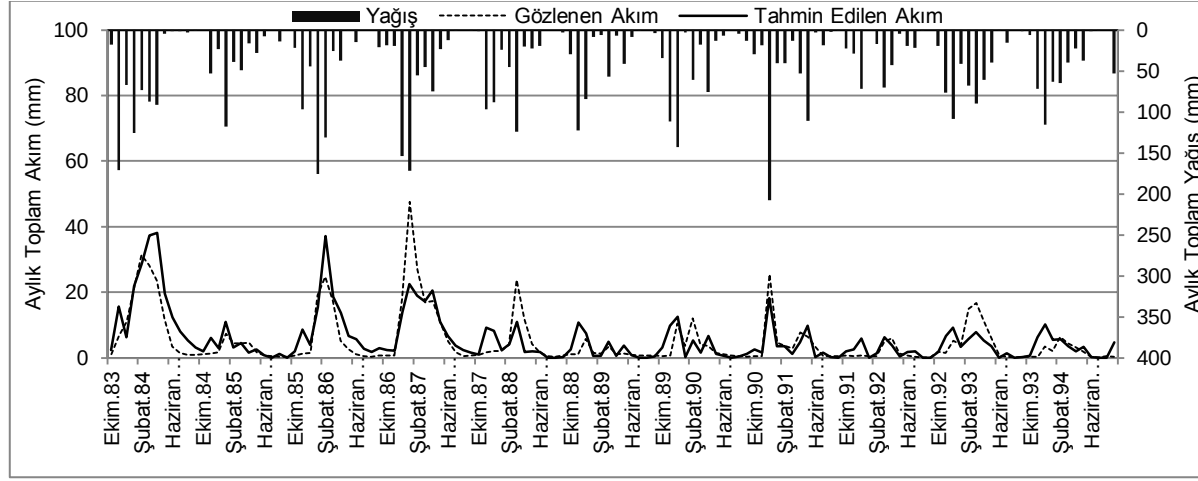
Şekil 6.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



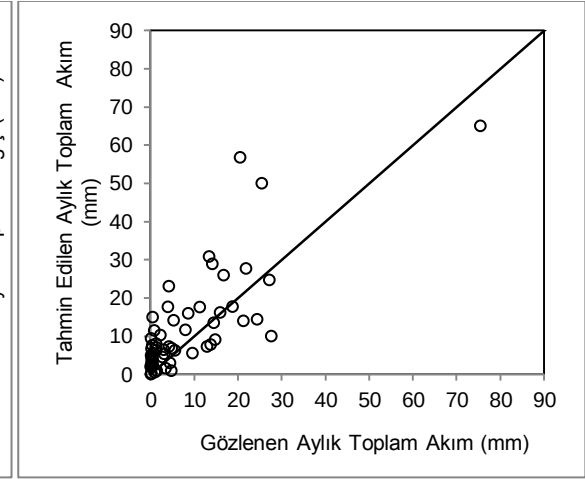
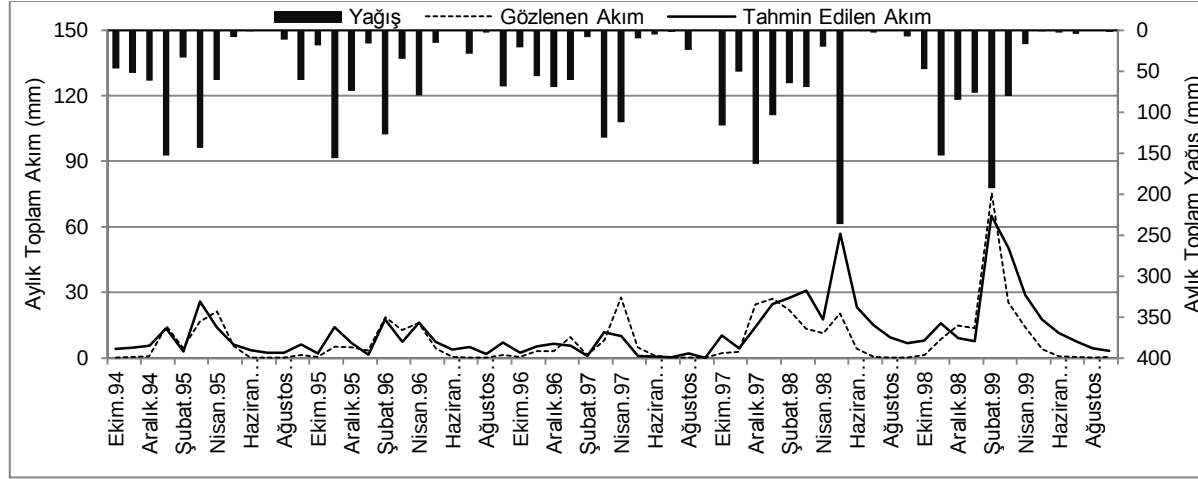
Şekil 6.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

6.3 Gediz Nehri-Acısü (#523) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Gediz Nehri-Acısü (#523) AGİ Havzasının GR2M, TWBM-1 ve TWBM-2 aylık kavramsal hidrolojik modeller ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

6.3.1 GR2M Modeli ile Acısü (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

Acısü (#523) AGİ havzasının GR2M modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.10' da verilmektedir.

Çizelge 6.10 Acısü (#523) AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
286,42	0,72

GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.11' de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.12' de verilmektedir.

Çizelge 6.11 Acısü (#523) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,82	0,80
OKHK	4,16	2,94
E	0,80	0,71

Çizelge 6.12 Acısü (#523) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,16	0,06	0,06	0,11
x_{mak}	61,63	40,88	22,10	25,17
$\bar{x}$	8,35	6,89	4,99	5,46
S_x	10,69	9,27	5,52	6,50
C_{sx}	2,49	1,74	1,42	1,33

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.7' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.8' de verilmektedir.

6.3.2 TWBM-1 Modeli ile Acısu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

Acısu (#523) AGİ havzasının TWBM-1 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.13' te verilmektedir.

Çizelge 6.13 Acısu (#523) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
192,42	0,32

TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.14' te ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.15' te verilmektedir.

Çizelge 6.14 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,68	0,54
OKHK	5,79	4,01
E	0,62	0,46

Çizelge 6.15 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,16	0,04	0,06	0,04
x_{mak}	61,63	50,34	22,10	27,18
$\bar{x}$	8,35	8,46	4,99	5,54
S_x	10,69	9,89	5,52	5,54
C_{sx}	2,49	2,26	1,42	2,20

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.9' da, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.10' da verilmektedir.

6.3.3 TWBM-2 Modeli ile Acısu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

Acısu (#523) AGİ havzasının TWBM-2 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.16' da verilmektedir.

Çizelge 6.16 Acısu (#523) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2	X_3 (°C)	X_4 (°C)	X_5	X_6
215,39	0,39	0,14	-13,75	0,12	0,97

TWBM-2 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.17' de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.18' de verilmektedir.

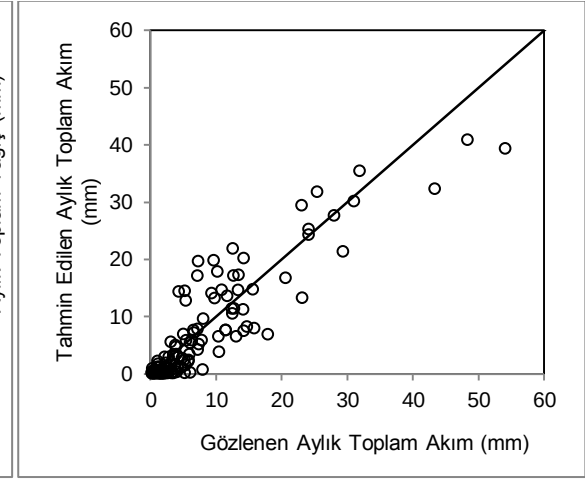
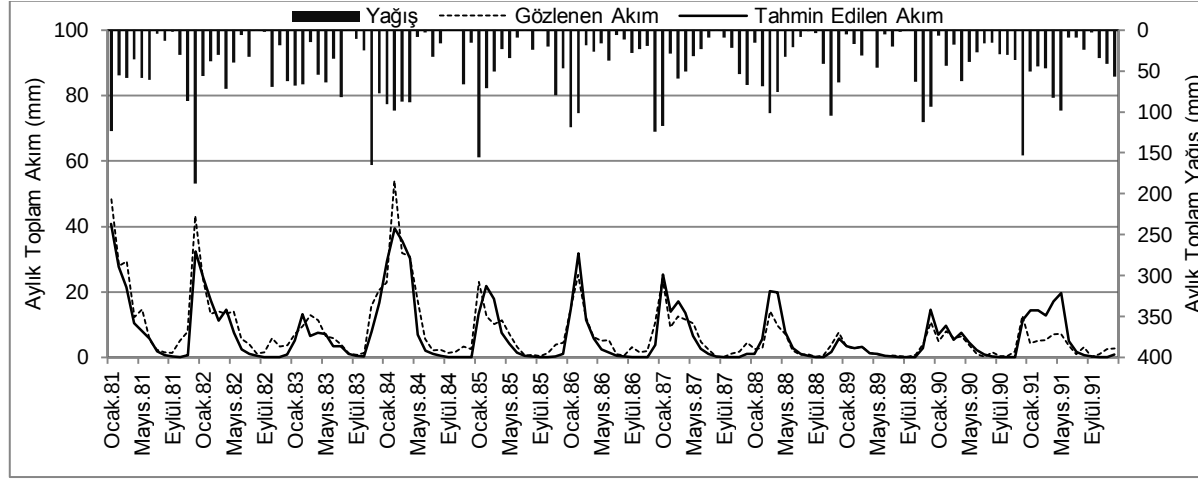
Çizelge 6.17 Acısu (#523) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,74	0,53
OKHK	5,13	3,89
E	0,70	0,49

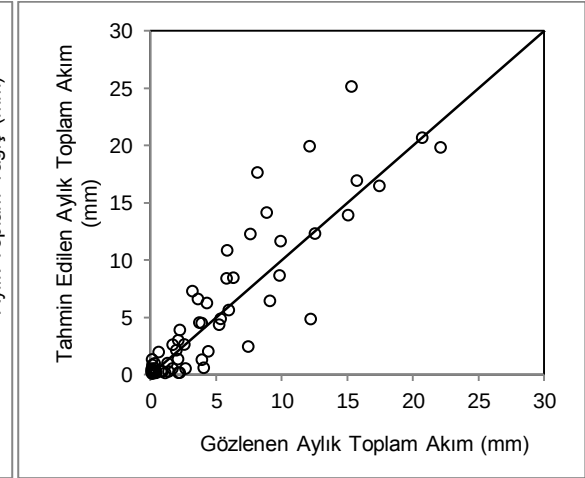
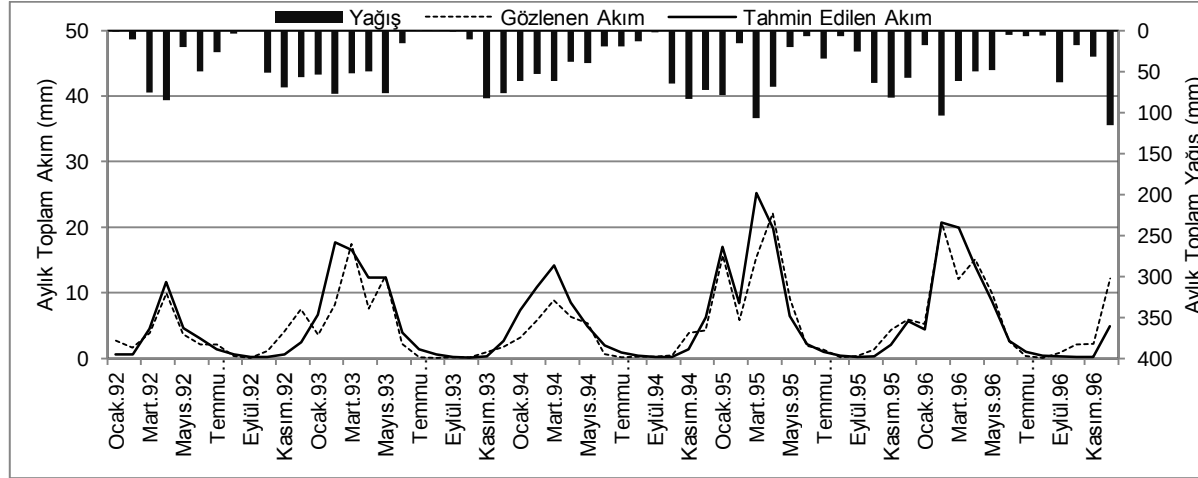
Çizelge 6.18 Acısu (#523) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,16	0,05	0,06	0,00
x_{mak}	61,63	51,96	22,10	21,56
$\bar{x}$	8,35	8,57	4,99	5,88
S_x	10,69	9,49	5,52	4,55
C_{sx}	2,49	2,45	1,42	1,12

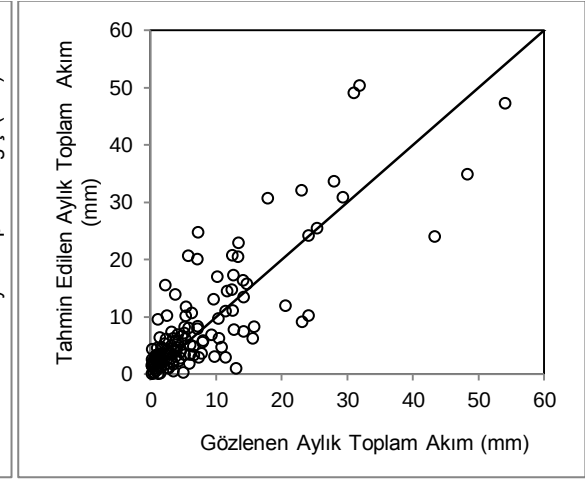
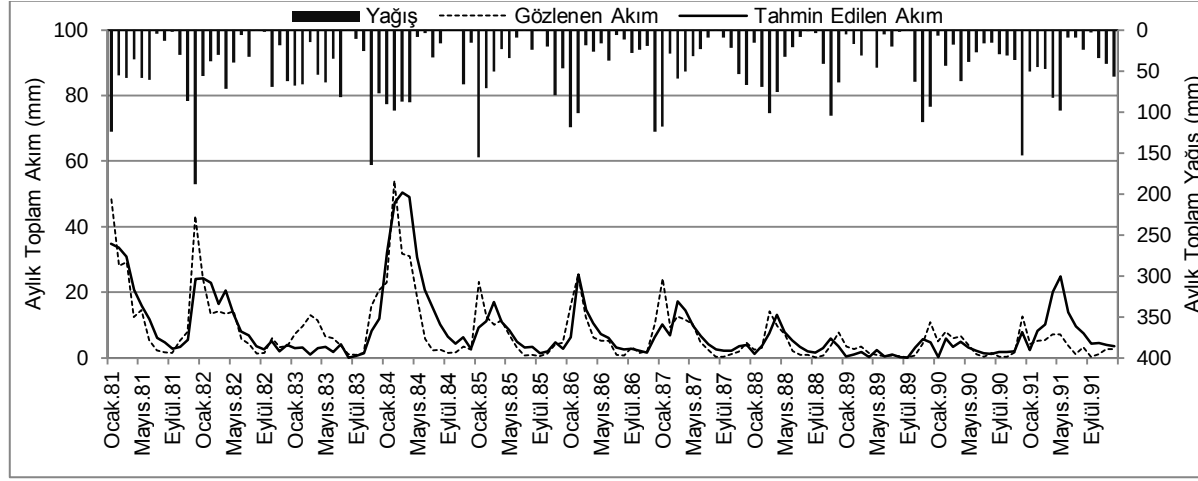
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.11' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.12' de verilmektedir.



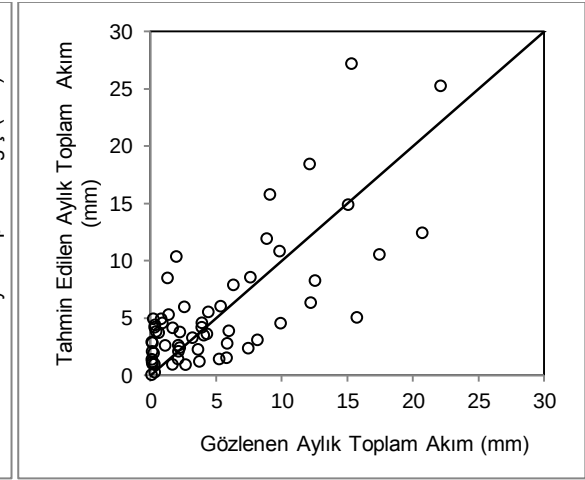
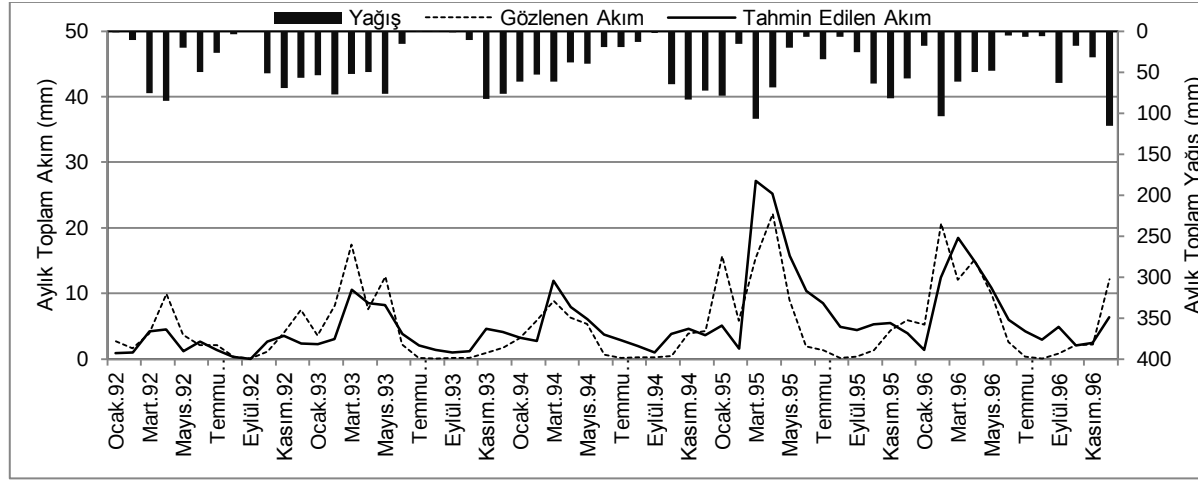
Şekil 6.7 Acisu (#523) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



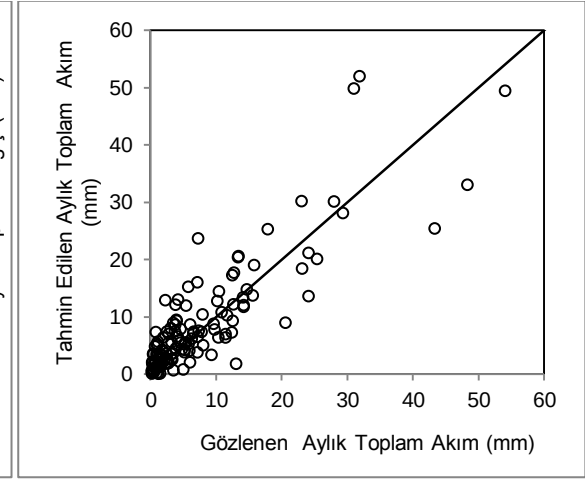
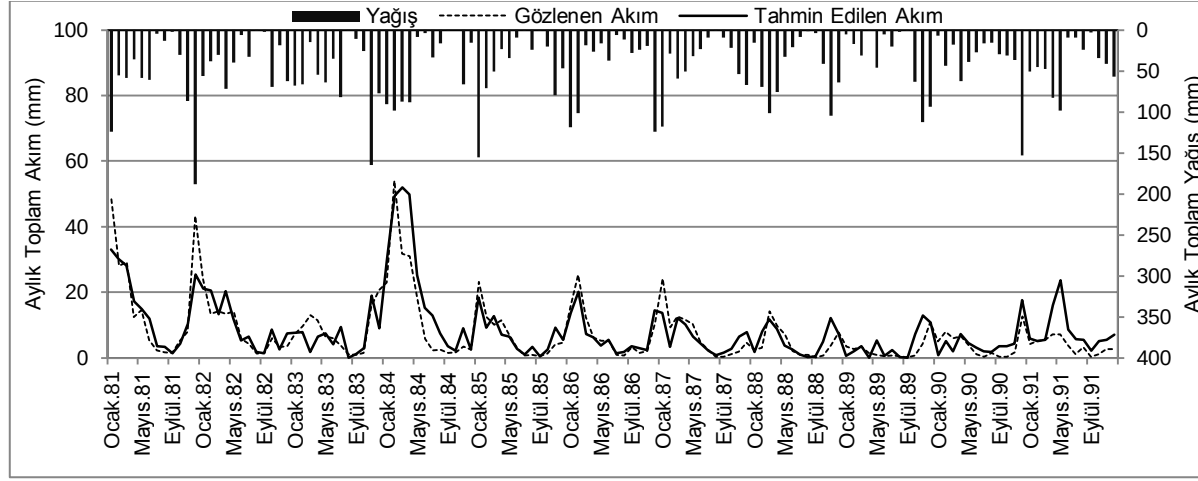
Şekil 6.8 Acisu (#523) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



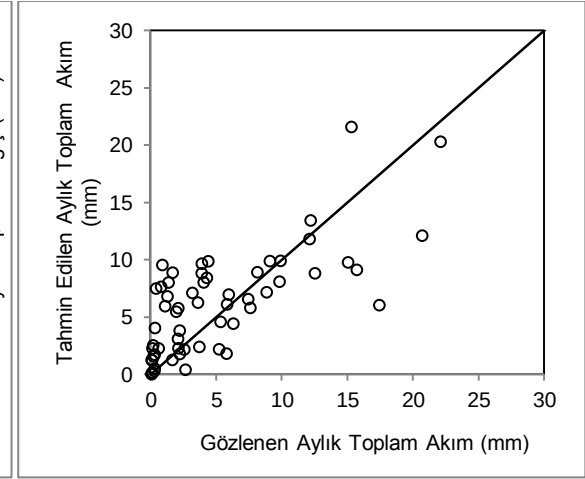
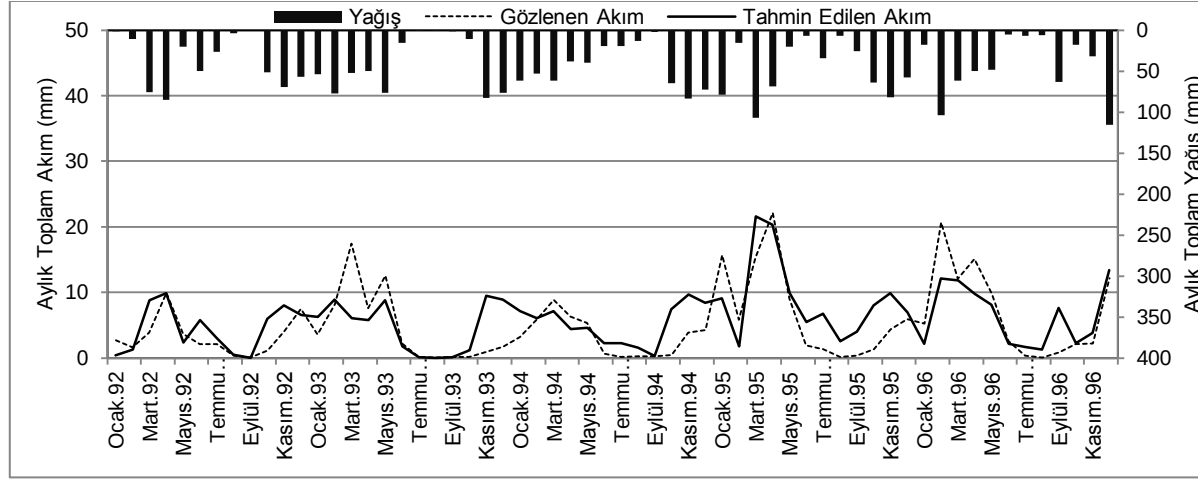
Şekil 6.9 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.10 Acısu (#523) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.11 Acisu (#523) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.12 Acisu (#523) AGİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

6.4 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının GR2M, TWBM-1 ve TWBM-2 aylık kavramsal hidrolojik modeller ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

6.4.1 GR2M Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

Sazköy (#524) AGİ havzasının GR2M ile modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.19’ da verilmektedir.

Çizelge 6.19 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
1330	1,37

GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.20’ de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.21’ de verilmektedir

Çizelge 6.20 Sazköy (#524) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,67	0,63
OKHK	10,82	11,79
E	0,65	0,51

Çizelge 6.21 Sazköy (#524) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,99	8,30	1,69	9,46
x_{mak}	92,22	70,41	91,00	40,09
$\bar{x}$	24,79	24,12	17,62	19,73
S_x	18,93	13,23	17,00	8,02
C_{sx}	1,25	1,21	2,15	0,86

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.13’ te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.14’ te gösterilmektedir.

6.4.2 TWBM-1 Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

Sazköy (#524) AGİ havzasının TWBM-1 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.22' de verilmektedir.

Çizelge 6.22 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
19,45	0,16

TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.23' te ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.24' te verilmektedir.

Çizelge 6.23 Sazköy (#524) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,50	0,32
OKHK	13,27	14,06
E	0,48	0,30

Çizelge 6.24 Sazköy (#524) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,99	4,40	1,69	6,27
x_{mak}	92,22	51,53	91,00	35,26
$\bar{x}$	24,79	22,23	17,62	17,66
S_x	18,93	11,46	17,00	7,51
C_{sx}	1,25	0,71	2,15	0,48

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.15' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.16' da gösterilmektedir.

6.4.3 TWBM-2 Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

Sazköy (#524) AGİ havzasının TWBM-2 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.25' te verilmektedir.

Çizelge 6.25 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2	X_3 (°C)	X_4 (°C)	X_5	X_6
26,52	0,19	4,99	-0,03	0,10	0,69

TWBM-2 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.26' da ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.27' de verilmektedir.

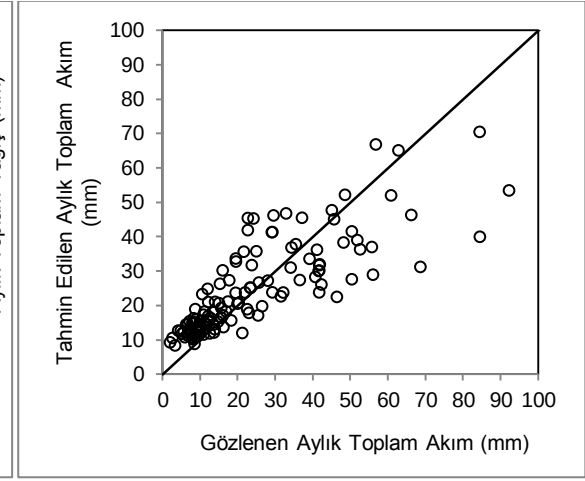
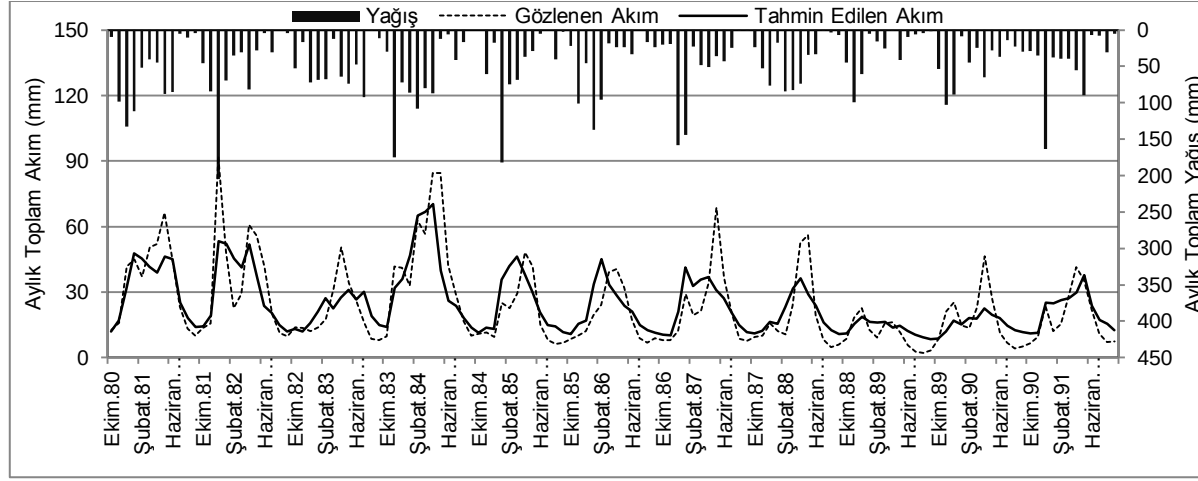
Çizelge 6.26 Sazköy (#524) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,58	0,38
OKHK	12,26	13,36
E	0,56	0,37

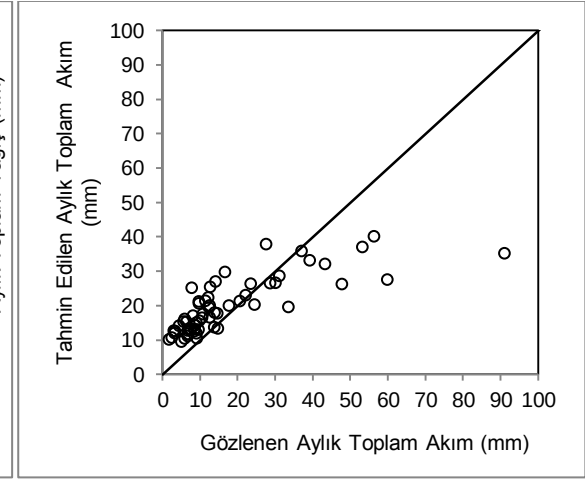
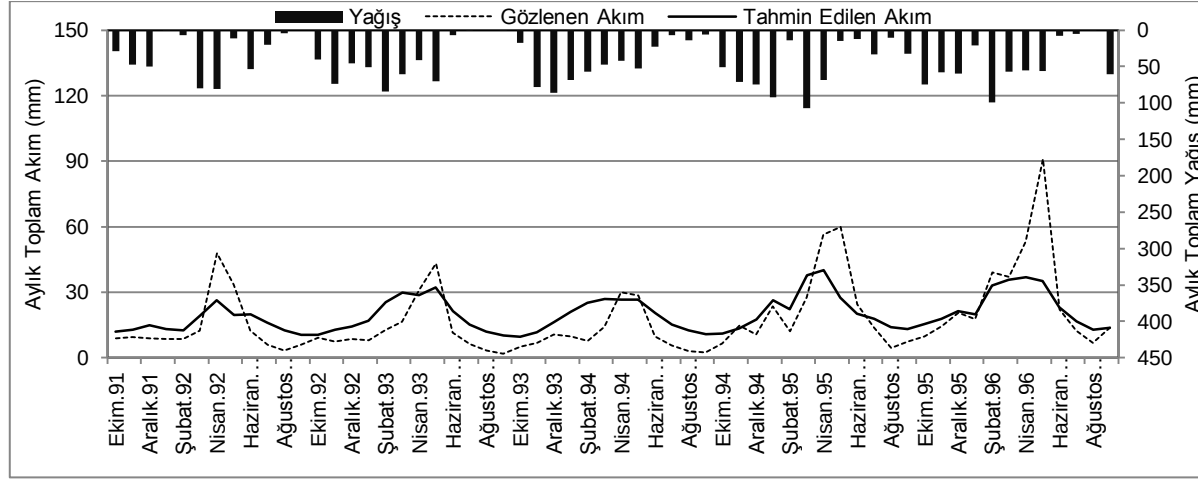
Çizelge 6.27 Sazköy (#524) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,99	3,18	1,69	3,03
x_{mak}	92,22	61,13	91,00	41,59
$\bar{x}$	24,79	21,80	17,62	17,43
S_x	18,93	12,41	17,00	8,89
C_{sx}	1,25	0,91	2,15	0,56

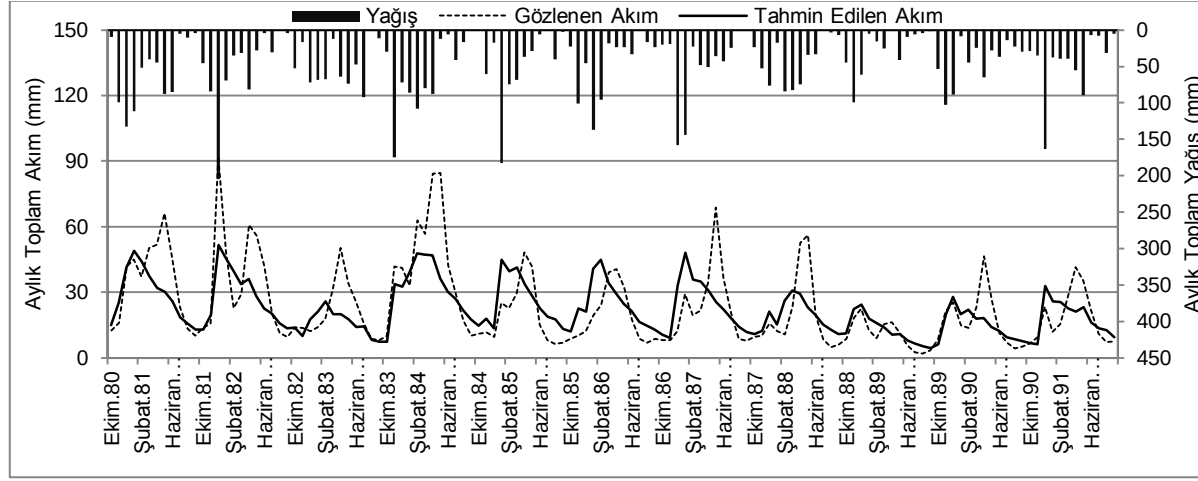
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.17' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.18' de gösterilmektedir.



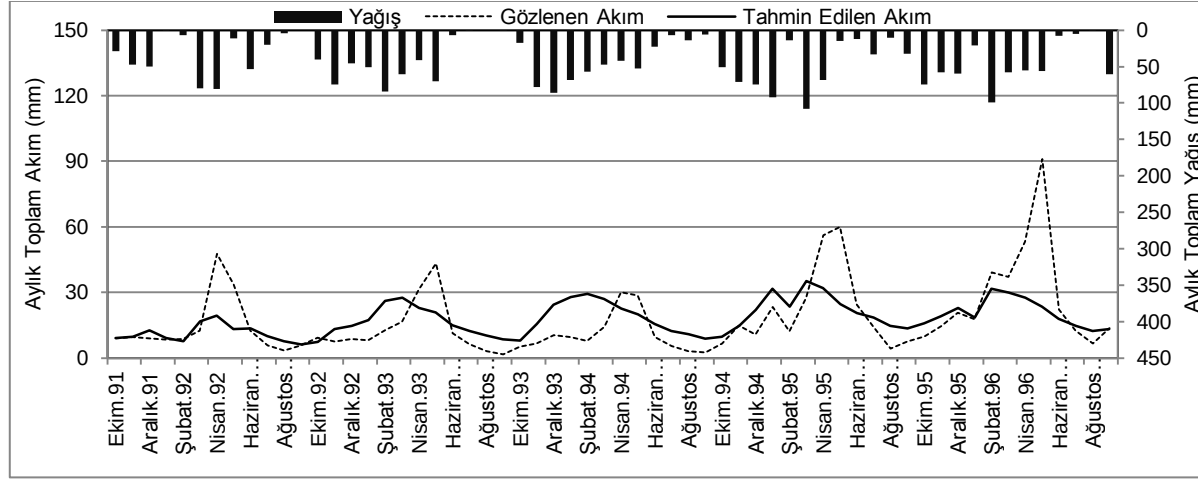
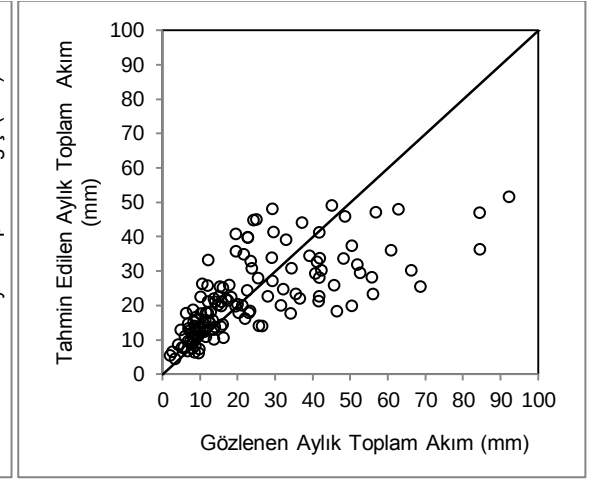
Şekil 6.13 Şazköy (#524) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



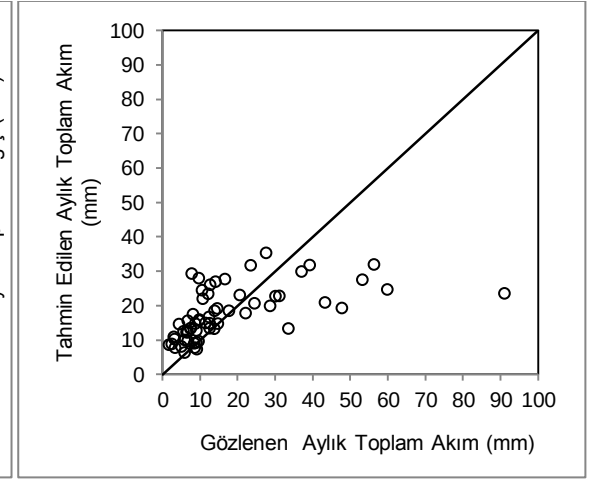
Şekil 6.14 Şazköy (#524) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

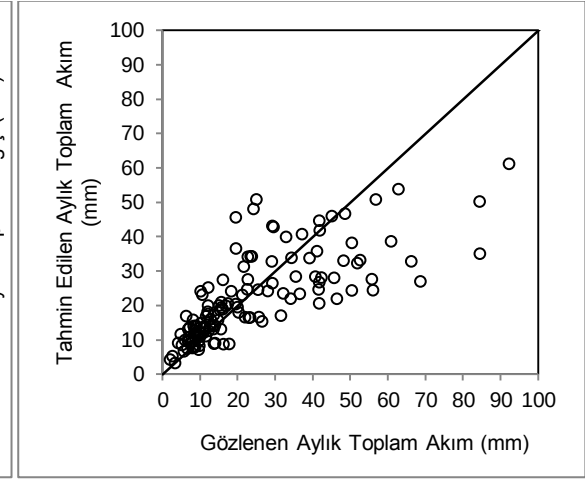
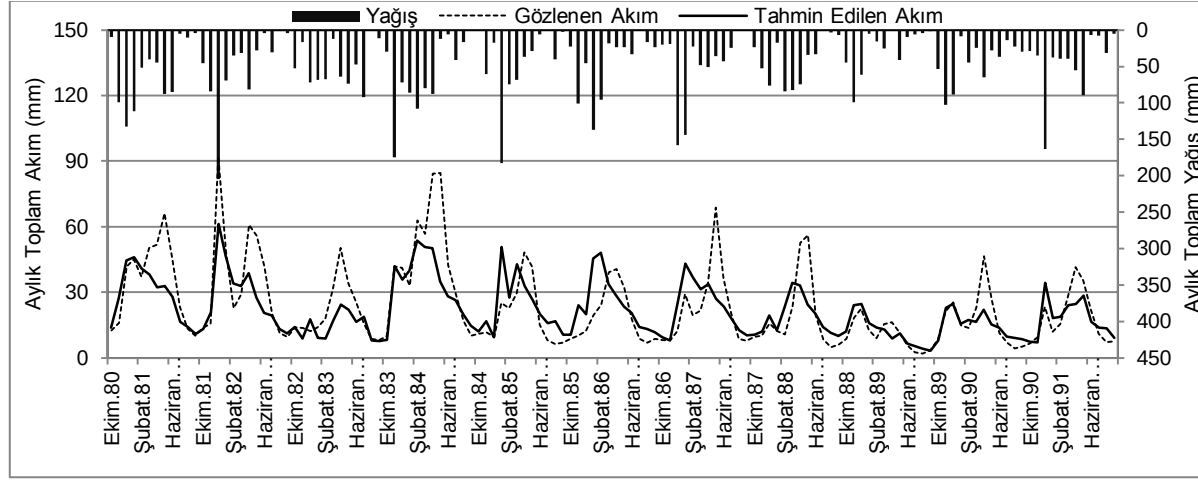


Şekil 6.15 Şazköy (#524) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

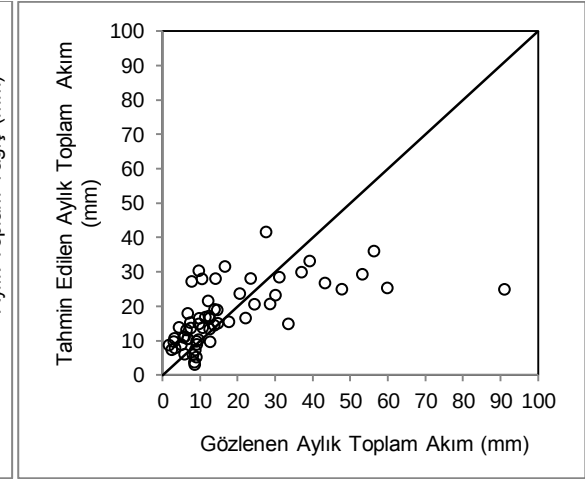
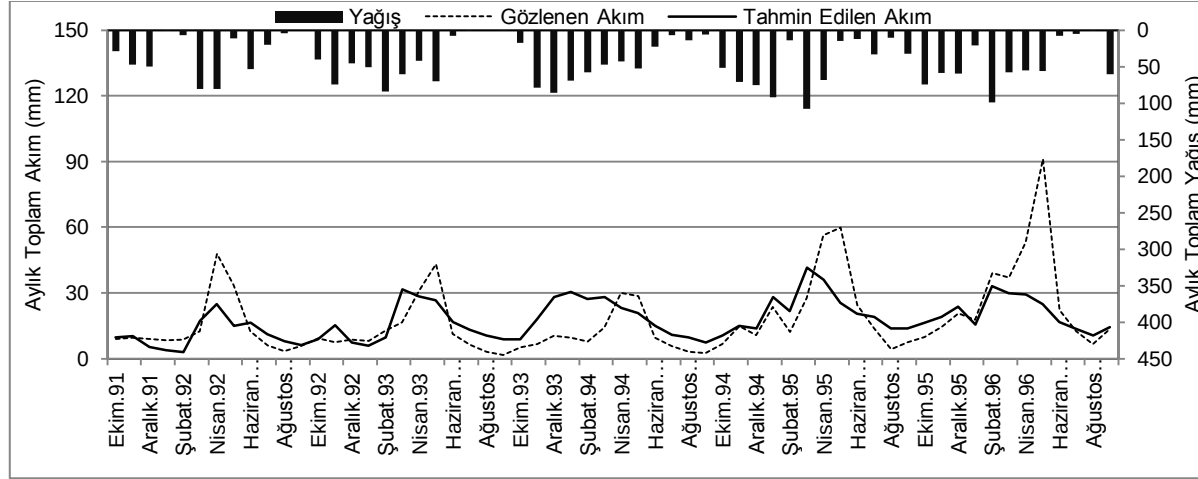


Şekil 6.16 Şazköy (#524) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri





Şekil 6.17 Sazköy (#524) AĞİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.18 Sazköy (#524) AĞİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

6.5 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Yiğitler Deresi- Yiğitler (#525) AGİ Havzasının GR2M, TWBM-1 ve TWBM-2 aylık kavramsal hidrolojik modeller ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

6.5.1 GR2M Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

Yiğitler (#525) AGİ havzasının GR2M ile modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.28’ de verilmektedir.

Çizelge 6.28 Yiğitler (#525)AGİ Havzası İçin GR2M Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
209,59	1,20

GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.29’ da ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.30’ da verilmektedir.

Çizelge 6.29 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,74	0,81
OKHK	11,99	28,86
E	0,74	0,66

Çizelge 6.30 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	3,30	0,00	3,38
x_{mak}	123,46	89,39	302,40	144,89
$\bar{x}$	18,85	19,03	28,13	21,45
S_x	24,95	18,65	50,04	27,13
C_{sx}	1,94	1,73	3,56	2,57

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.19’ da, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.20’ de gösterilmektedir.

6.5.2 TWBM-1 Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

Yiğitler (#525) AGİ havzasının TWBM-1 ile modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.31’ de verilmektedir.

Çizelge 6.31 Yiğitler (#525) AGİ Havzası İçin TWBM-1 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2
46,28	0,46

TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.32’ de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.33’ te verilmektedir.

Çizelge 6.32 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,68	0,79
OKHK	13,98	31,73
E	0,64	0,59

Çizelge 6.33 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,07	0,00	0,05
x_{mak}	123,46	70,27	302,40	115,40
$\bar{x}$	18,85	14,59	28,13	19,00
S_x	24,95	16,62	50,04	24,23
C_{sx}	1,94	1,42	3,56	1,83

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.21’ de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.22’ de gösterilmektedir.

6.5.3 TWBM-2 Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

Yiğitler (#525) AGİ havzasının TWBM-2 ile modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 6.34’ te verilmektedir.

Çizelge 6.34 Yiğitler (#525) AGİ Havzası İçin TWBM-2 Model Parametreleri

X_1 (mm)	X_2	X_3 (°C)	X_4 (°C)	X_5	X_6
45,83	0,45	4,74	-1,07	0,09	0,08

TWBM-2 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 6.35' te ve sonuçların istatistikleri Çizelge 6.36' da verilmektedir.

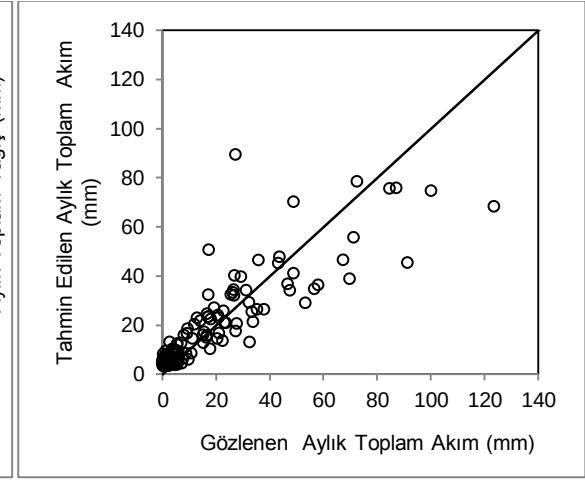
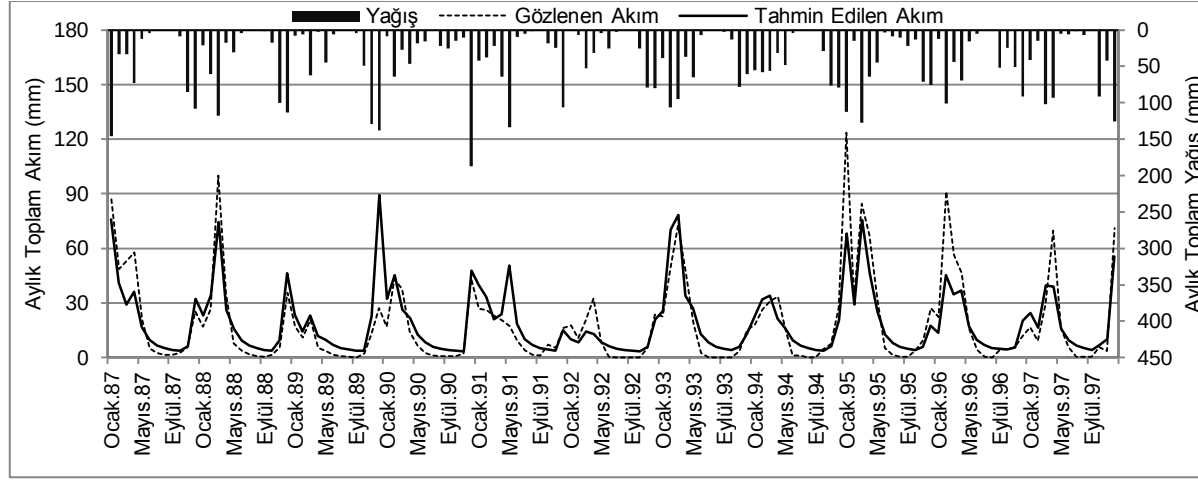
Çizelge 6.35 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,68	0,79
OKHK	13,93	31,68
E	0,65	0,59

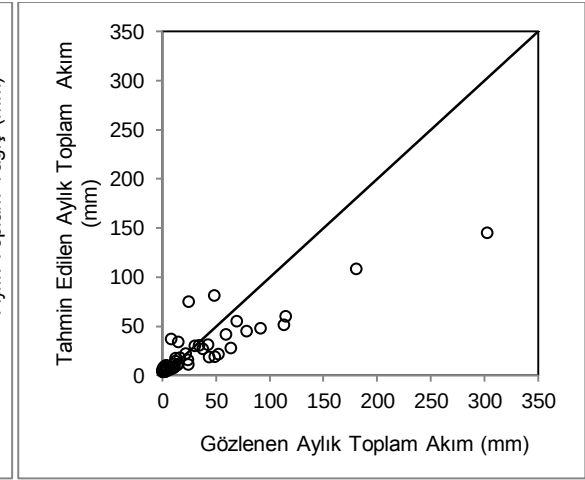
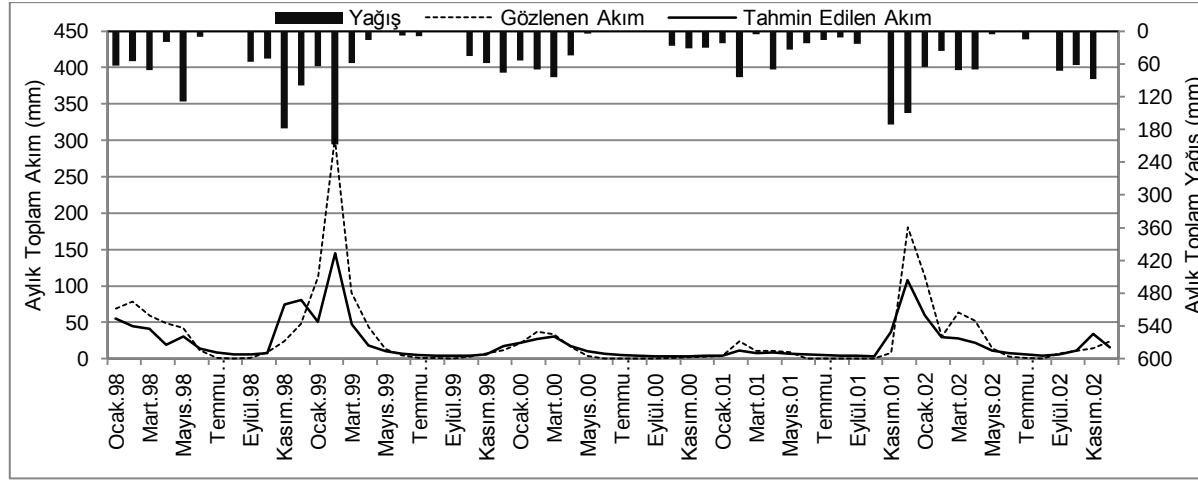
Çizelge 6.36 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Akım (mm)	Tahmin Edilen Akım (mm)	Gözlenen Akım (mm)	Tahmin Edilen Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,07	0,00	0,04
x_{mak}	123,46	71,30	302,40	117,26
$\bar{x}$	18,85	14,99	28,13	19,46
s_x	24,95	16,68	50,04	24,18
c_{sx}	1,94	1,47	3,56	1,88

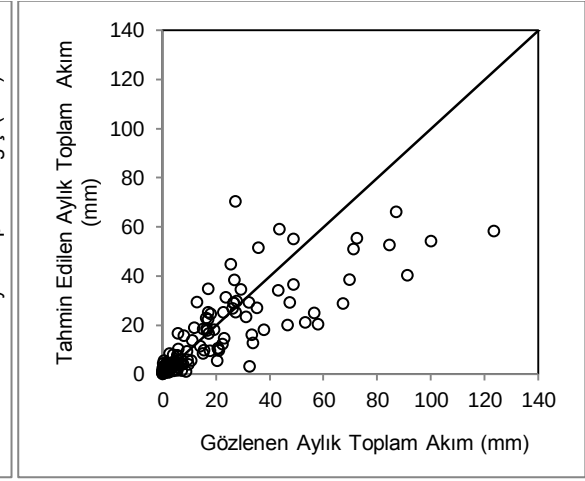
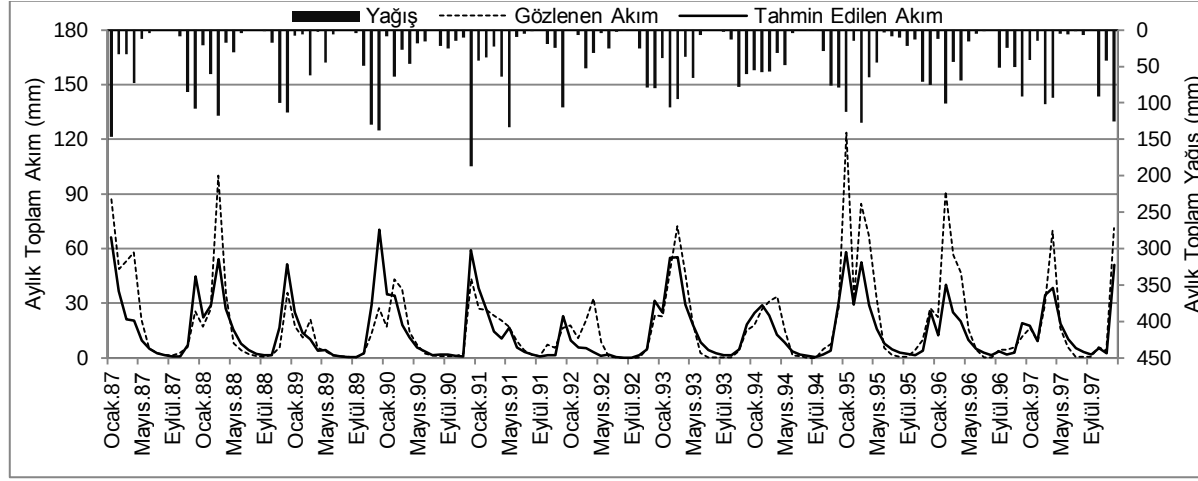
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.23' te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 6.24' te gösterilmektedir.



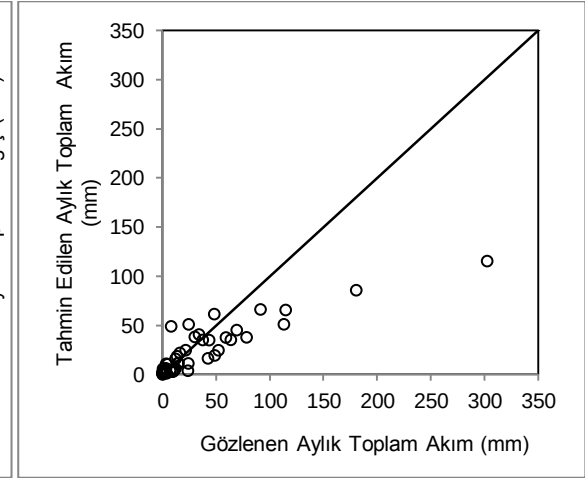
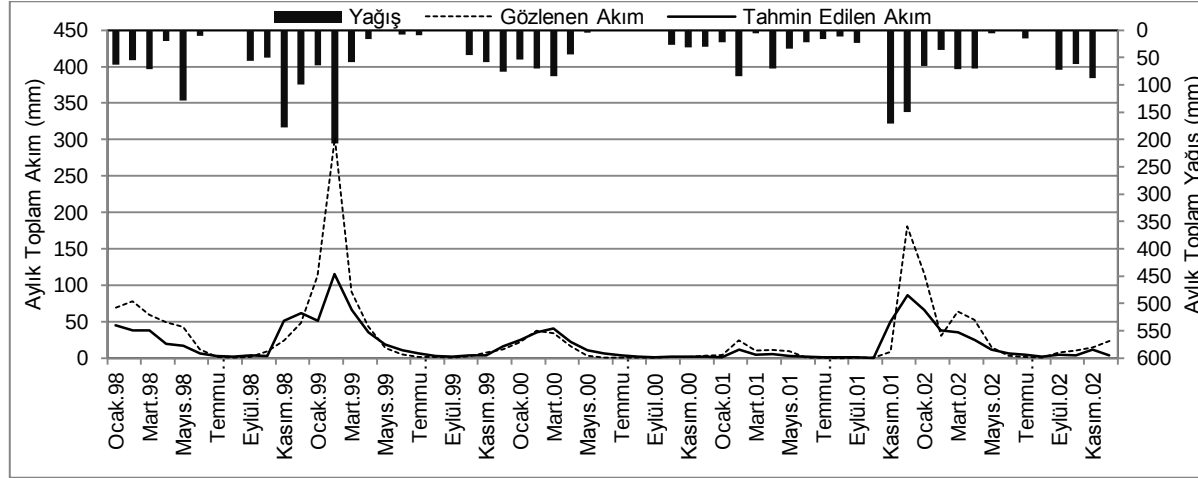
Şekil 6.19 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



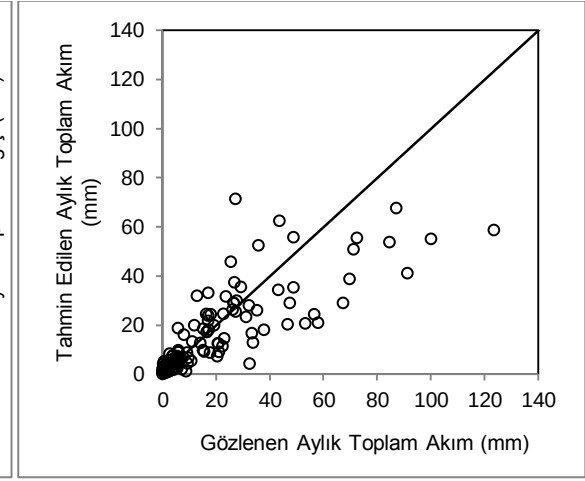
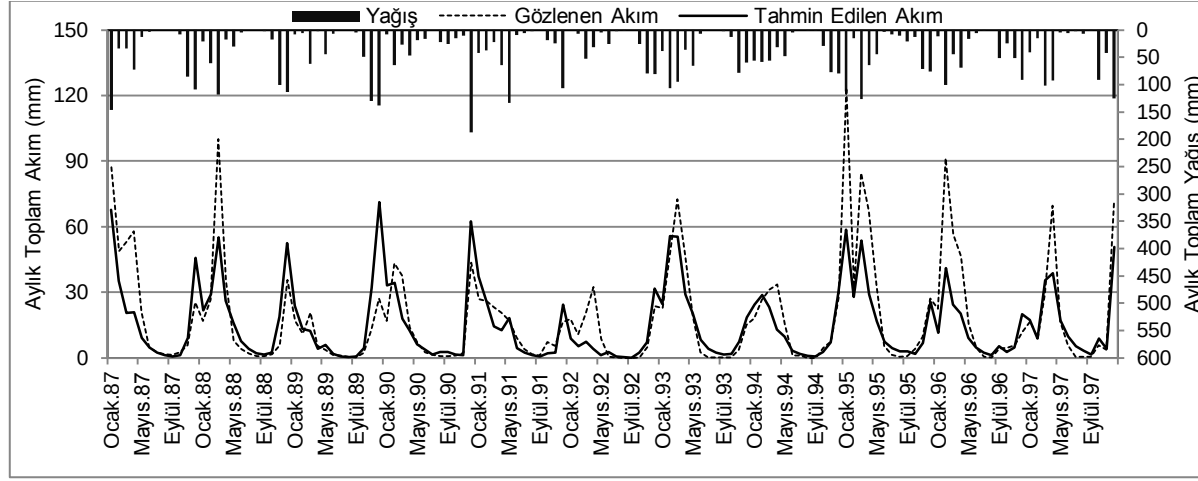
Şekil 6.20 Yiğitler (#525) AGİ GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



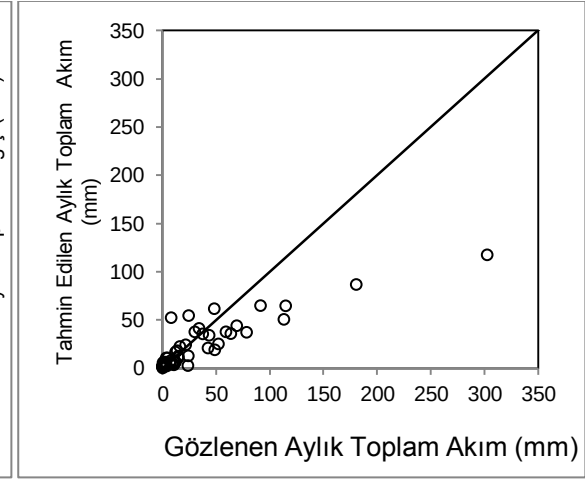
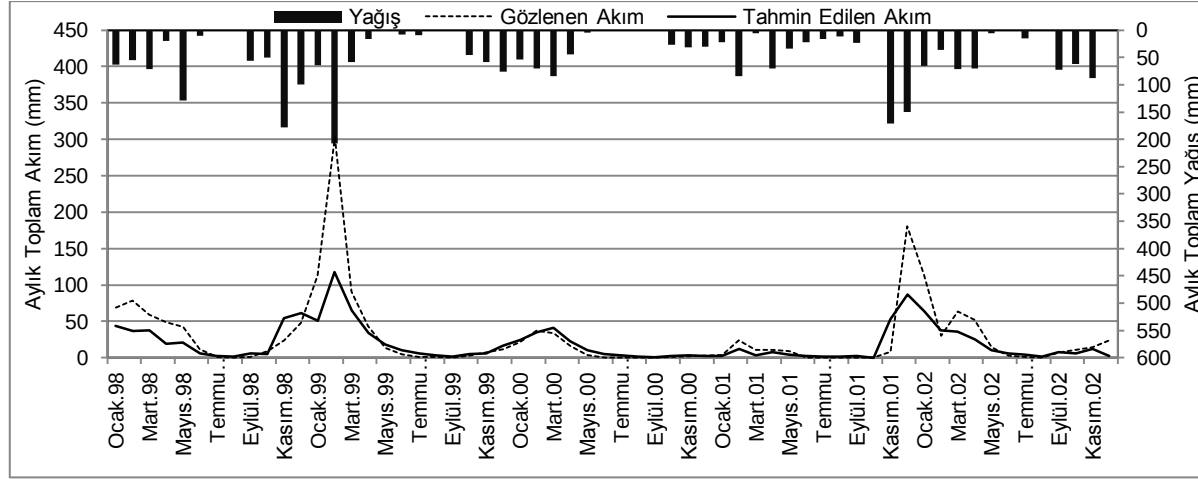
Şekil 6.21 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.22 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.23 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 6.24 Yiğitler (#525) AGİ TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

6.6 Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modelleme Sonuçları

GR2M, TWBM-1, TWBM-2 aylık kavramsal hidrolojik modelleri ile Gediz Havzasında bulunan dört istasyonun Kayalıoğlu (#509), Acısu (#523), Sazköy (#524), Yiğitler (#525) akım gözlem istasyonlarının havzaları aylık olarak modellenmiştir.

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 6.37' de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin GR2M modeline ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.37 Kayalıoğlu (#509) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Model	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
GR2M	0,82	3,39	0,81	0,83	5,53	0,79
TWBM-1	0,66	4,87	0,61	0,59	10,06	0,29
TWBM-2	0,67	4,67	0,64	0,62	9,01	0,43

Acısu (#523) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 6.38' de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin GR2M modeline ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.38 Acısu (#523) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Model	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
GR2M	0,82	4,16	0,80	0,80	2,94	0,71
TWBM-1	0,68	5,79	0,62	0,54	4,01	0,46
TWBM-2	0,74	5,13	0,70	0,53	3,89	0,49

Sazköy (#524) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 6.39' da görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin GR2M modeline ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.39 Sazköy (#524) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Model	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
GR2M	0,67	10,82	0,65	0,63	11,79	0,51
TWBM-1	0,50	13,27	0,48	0,32	14,06	0,30
TWBM-2	0,58	12,26	0,56	0,38	13,36	0,37

Yiğitler (#525) AGİ havzasının modelleme sonuçları 6.40' ta görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin GR2M modeline ait olduğu görülmektedir

Çizelge 6.40 Yiğitler (#525) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Model	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
GR2M	0,74	11,99	0,74	0,81	28,86	0,66
TWBM-1	0,68	13,92	0,64	0,79	31,73	0,59
TWBM-2	0,68	13,93	0,65	0,79	31,68	0,59

BÖLÜM VII

UYGULAMA II: KARA KUTU MODELLER

Kara kutu modelleme tekniği kullanılarak Gediz Havzasında bulunan dört akım gözlem istasyonunun aylık toplam akım değerleri tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Yöntem olarak WM (Wang-Mendel), ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), Thrift ve GBS-TS (Genetik Bulanık Takagi-Sugeno Sistem) yöntemleri kullanılmaktadır.

7.1 Modelleme Genel Prensipleri

Her akım gözlem istasyonu için girdi yapısı birbirinden farklı dört model oluşturulmuştur. Modellerin girdi yapıları Çizelge 7.1’ de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Girdi Yapılarına Göre Kara Kutu Modeller

Model	Girdiler	Çıktı
Model-1	$P(t), T(t)$	$Q(t)$
Model-2	$P(t), P(t-1), T(t), T(t-1)$	$Q(t)$
Model-3	$P(t), E(t)$	$Q(t)$
Model-4	$P(t), P(t-1), E(t), E(t-1)$	$Q(t)$

Her girdi yapısında dört yöntemin uygulaması yapılmıştır. Bu dört yöntemden ikisinde Mamdani tipi diğer ikisinde ise Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoruna sahip bulanık sistemler kullanılmıştır. Mamdani tipi çıkarım motoruna sahip bulanık sistemlerin kullanıldığı yöntemlerden biri genetik algoritma içermeyen WM yöntemi diğeri ise genetik bulanık sistem olan Thrift yöntemidir. Aynı şekilde Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoruna sahip bulanık sistemlerin kullanıldığı yöntemlerden biri genetik algoritma içermeyen ANFIS yöntemi diğeri ise genetik bulanık sistem GBS-TS yöntemidir.

Yapılan uygulamalarda, aynı tip çıkarım motoruna sahip bulanık sistemlerde genetik algoritma kullanımının sonuçlar üzerindeki etkisinin ve kara kutu modelleme tekniği kullanılarak yapılan hidrolojik modellemede genetik bulanık sistemlerin performansının incelenmesi amaçlanmıştır.

Bütün yöntemlerin performansları Denklem 6.1, 6.2, 6.3’ te verilen, R^2 , OKHK ve E performans ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Buna göre, en küçük OKHK ile en büyük R^2 ve E değerlerine sahip bulanık sistemler en uygun bulanık sistemler olarak belirlenmiştir.

Bütün yöntemlerin hesap aşamasında kullanılan yöntemle özgü özellikler ve değerler, yöntem başlıkları altında verilmiştir.

WM Yöntemi: Oluşturulan bütün bulanık sistemlerde Mamdani tipi çıkarım motoru, üçgen üyelik fonksiyonu, kuralların elde edilmesinde “ve” bağlacı, kuralların değerlendirilmesinde en küçükleme yöntemi, kuralların toplanmasında en büyükleme yöntemi ve durulaştırma aşamasında sentroid yöntemi kullanılmıştır.

Her değişkenin sahip olduğu bulanık küme sayısı Model-1 ve Model-3 girdi yapısında 3’ten 9’a kadar değiştirilerek, en uygun sonucu veren bulanık sistem yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Model-2 ve Model-4 girdi yapılarında Thrift yöntemine paralellik olması açısından sadece her değişkenin 3 tane bulanık kümeye sahip olduğu bulanık sistemlerin uygulaması yapılmıştır.

Thrift Yöntemi: Thrift yöntemi ile oluşturulan bütün bulanık sistemlerde Mamdani tipi çıkarım motoru, üçgen üyelik fonksiyonu, kuralların elde edilmesinde “ve” bağlacı, kuralların değerlendirilmesinde en küçükleme yöntemi, kuralların toplanmasında en büyükleme yöntemi ve durulaştırma aşamasında sentroid yöntemi kullanılmıştır.

Her değişkenin sahip olduğu bulanık küme sayısı Model-1 ve Model-3 girdi yapısında 3’ten 9’a kadar değiştirilerek, en uygun sonucu veren bulanık sistem yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Model-2 ve Model-4 girdi yapılarında ise parametre sayısının veri sayısından fazla olması sebebiyle sadece her değişkenin 3 tane bulanık kümeye sahip olduğu bulanık sistemlerin uygulaması yapılmıştır.

Yöntemde kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 120, çaprazlama oranı 0,4, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak ortalama karesel hata fonksiyonu kullanılmıştır. Bu değerler Thrift yöntemi ile elde edilen bütün bulanık sistemlerde aynıdır.

ANFIS Yöntemi: ANFIS yöntemi ile oluşturulan bütün bulanık sistemlerde Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoru, üçgen üyelik fonksiyonu, kuralların elde edilmesinde “ve” bağlacı kullanılmıştır.

Her değişkenin sahip olduğu bulanık küme sayısı Model-1 ve Model-3 girdi yapısında 2’den 5’e kadar değiştirilerek, en uygun sonucu veren bulanık sistem yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Model-2 ve Model-4 girdi yapılarında ise parametre sayısının veri sayısından fazla olması sebebiyle sadece her değişkenin 2 tane bulanık kümeye sahip olduğu bulanık sistemlerin uygulaması yapılmıştır.

GBS-TS Yöntemi: GBS-TS yöntemi ile oluşturulan bütün bulanık sistemlerde Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoru, üçgen üyelik fonksiyonu, kuralların elde edilmesinde “ve” bağlacı kullanılmıştır. Her değişkenin sahip olduğu bulanık küme sayısı Model-1 ve Model-3 girdi yapısında 2’den 5’e kadar değiştirilerek, en uygun sonucu veren bulanık sistem yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Model-2 ve Model-4 girdi yapılarında ise parametre sayısının veri sayısından fazla olması sebebiyle sadece her değişkenin 2 tane bulanık kümeye sahip olduğu bulanık sistemlerin uygulaması yapılmıştır.

Yöntemde kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 120, çaprazlama oranı 0,2, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak ortalama karesel hata fonksiyonu kullanılmıştır. Bu değerler GBS-TS yöntemi ile elde edilen bütün bulanık sistemlerde aynıdır.

7.2 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi

Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 girdi yapıları ile WM, Thrift, ANFIS ve GBS-TS yöntemleri kullanılarak aylık olarak modellenmesi sonuçları yöntemler için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

7.2.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.2’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.3’ te verilmektedir.

Çizelge 7.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R²	0,51	0,52
OKHK	7,43	9,18
E	0,50	0,50

Çizelge 7.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,01	0,00	0,01
x_{mak}	80,21	80,20	75,40	49,03
$\bar{x}$	6,92	5,74	7,59	5,98
s_x	10,49	8,20	13,12	9,23
c_{sx}	3,07	3,42	2,87	2,47

Thrift Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 22 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.4' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.5' te verilmektedir.

Çizelge 7.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,53	0,52
OKHK	7,24	9,06
E	0,52	0,52

Çizelge 7.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,01	0,00	0,01
x_{mak}	80,21	80,20	75,40	47,36
$\bar{x}$	6,92	7,64	7,59	7,84
s_x	10,49	7,92	13,12	8,81
c_{sx}	3,07	3,19	2,87	2,27

ANFIS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda girdi değişkenlerinin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.6' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.7' de verilmektedir.

Çizelge 7.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,56	0,55
OKHK	6,94	8,87
E	0,56	0,54

Çizelge 7.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	79,52	75,40	49,27
$\bar{x}$	6,92	6,92	7,59	6,97
S_x	10,49	7,85	13,12	8,61
C_{sx}	3,07	3,94	2,87	2,95

GBS-TS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda girdi değişkenlerinin 4 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.8’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.9’ da verilmektedir.

Çizelge 7.8 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,57
OKHK	6,72	8,57
E	0,59	0,57

Çizelge 7.9 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,05
x_{mak}	80,21	77,51	75,40	56,91
$\bar{x}$	6,92	6,95	7,59	7,13
S_x	10,49	7,93	13,12	9,37
C_{sx}	3,07	4,02	2,87	3,47

7.2.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 23 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.10' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.11' de verilmektedir.

Çizelge 7.10 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,61	0,51
OKHK	6,68	9,26
E	0,59	0,50

Çizelge 7.11 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	80,21	75,40	33,09
$\bar{x}$	6,92	8,25	7,59	8,48
S_x	10,49	8,66	13,12	8,25
C_{sx}	3,07	2,28	2,87	0,73

Thrift Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 48 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Elde edilen bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.12' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.13' de verilmektedir.

Çizelge 7.12 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,71	0,70
OKHK	5,68	7,46
E	0,71	0,67

Çizelge 7.13 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	80,21	75,40	51,70
$\bar{x}$	6,92	6,27	7,59	6,50
S_x	10,49	8,84	13,12	9,24
C_{sx}	3,07	2,59	2,87	1,96

ANFIS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık zaman aralığında Model-2 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Elde edilen bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.14' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.15' de verilmektedir.

Çizelge 7.14 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,86	0,67
OKHK	3,94	7,69
E	0,86	0,65

Çizelge 7.15 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	80,19	75,40	86,13
$\bar{x}$	6,92	6,97	7,59	7,92
S_x	10,49	9,70	13,12	12,54
C_{sx}	3,07	3,31	2,87	3,46

GBS-TS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık zaman aralığında Model-2 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonuna ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Elde edilen bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.16' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.17' de verilmektedir.

Çizelge 7.16 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,80	0,74
OKHK	4,74	6,79
E	0,80	0,73

Çizelge 7.17 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	78,18	75,40	60,21
$\bar{x}$	6,92	7,27	7,59	7,91
S_x	10,49	9,31	13,12	10,26
C_{sx}	3,07	3,19	2,87	2,56

7.2.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 7 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 24 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.18’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.19’ da verilmektedir.

Çizelge 7.18 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,51	0,51
OKHK	7,41	9,19
E	0,50	0,50

Çizelge 7.19 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	80,21	75,40	48,01
$\bar{x}$	6,92	6,41	7,59	6,68
S_x	10,49	8,36	13,12	9,05
C_{sx}	3,07	3,39	2,87	2,43

Thrft Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve Thrft yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 7 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 42 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.20' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.21' de verilmektedir.

Çizelge 7.20 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 Thrft Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,50
OKHK	6,73	9,30
E	0,59	0,49

Çizelge 7.21 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 Thrft Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	80,21	75,40	54,81
$\bar{x}$	6,92	7,55	7,59	8,33
S_x	10,49	8,65	13,12	10,09
C_{sx}	3,07	3,15	2,87	2,31

ANFIS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.22' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.23' te verilmektedir.

Çizelge 7.22 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,53	0,48
OKHK	7,20	9,59
E	0,53	0,46

Çizelge 7.23 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,51
x_{mak}	80,21	87,28	75,40	38,30
$\bar{x}$	6,92	6,92	7,59	7,02
S_x	10,49	7,61	13,12	7,21
C_{sx}	3,07	4,50	2,87	2,21

GBS-TS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.24' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.25' te verilmektedir.

Çizelge 7.24 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,53
OKHK	6,74	8,99
E	0,59	0,53

Çizelge 7.25 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	81,67	75,40	55,68
$\bar{x}$	6,92	6,98	7,59	7,69
S_x	10,49	8,18	13,12	9,23
C_{sx}	3,07	4,03	2,87	3,00

7.2.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Model: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 23 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.26' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.27' de verilmektedir.

Çizelge 7.26 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,60
OKHK	7,47	8,39
E	0,49	0,59

Çizelge 7.27 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	80,21	75,40	51,20
$\bar{x}$	6,92	9,00	7,59	8,94
S_x	10,49	10,63	13,12	10,69
C_{sx}	3,07	1,65	2,87	1,43

Thrift Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 48 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.28' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.29' da verilmektedir.

Çizelge 7.28 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,73	0,66
OKHK	5,49	7,64
E	0,73	0,66

Çizelge 7.29 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	70,31	75,40	71,61
$\bar{x}$	6,92	6,51	7,59	7,53
S_x	10,49	8,49	13,12	11,10
C_{sx}	3,07	2,50	2,87	3,09

ANFIS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.30' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.31' de verilmektedir.

Çizelge 7.30 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,88	0,72
OKHK	3,67	6,89
E	0,88	0,72

Çizelge 7.31 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	80,22	75,40	53,56
$\bar{x}$	6,92	6,95	7,59	7,56
S_x	10,49	9,82	13,12	10,80
C_{sx}	3,07	3,25	2,87	2,27

GBS-TS Yöntemi: Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.32' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.33' te verilmektedir.

Çizelge 7.32 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,79	0,74
OKHK	4,85	6,70
E	0,79	0,74

Çizelge 7.33 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,01	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	80,21	83,55	75,40	50,42
$\bar{x}$	6,92	7,32	7,59	7,86
S_x	10,49	9,74	13,12	10,97
C_{sx}	3,07	3,08	2,87	2,26

7.3 Gediz Nehri-Acısü (#523) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi

Gediz Nehri-Acısü (#523) AGİ Havzasının Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 girdi yapıları ile WM, Thrift, ANFIS ve GBS-TS yöntemleri kullanılarak aylık olarak modellenmesi sonuçları yöntemler için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

7.3.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Acısü (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Acısü (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 7 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 32 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.34' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.35' te verilmektedir.

Çizelge 7.34 Acısü (#523) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,38	0,37
OKHK	7,92	8,69
E	0,35	0,14

Çizelge 7.35 Acısu (#523) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	47,71	54,29	57,34
$\bar{x}$	7,64	6,88	6,47	7,89
S_x	9,82	7,79	9,40	10,08
C_{sx}	2,99	1,16	2,57	1,98

Thrift Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 9 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 76 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.36’ da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.37’ de verilmektedir.

Çizelge 7.36 Acısu (#523) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,57	0,36
OKHK	6,43	8,74
E	0,57	0,13

Çizelge 7.37 Acısu (#523) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	55,31	54,29	55,35
$\bar{x}$	7,64	7,52	6,47	8,59
S_x	9,82	7,97	9,40	9,75
C_{sx}	2,99	2,04	2,57	2,23

ANFIS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.38’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.39’ da verilmektedir.

Çizelge 7.38 Acısu (#523) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,53	0,46
OKHK	6,73	7,96
E	0,53	0,27

Çizelge 7.39 Acısu (#523) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,00	0,10	0,44
x_{mak}	69,27	54,23	54,29	73,22
$\bar{x}$	7,64	7,65	6,47	8,40
S_x	9,82	7,12	9,40	9,95
C_{sx}	2,99	2,59	2,57	3,97

GBS-TS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.40' ta, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.41' de verilmektedir.

Çizelge 7.40 Acısu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,51	0,51
OKHK	6,87	6,95
E	0,51	0,45

Çizelge 7.41 Acısu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,00	0,10	0,00
x_{mak}	69,27	50,36	54,29	53,20
$\bar{x}$	7,64	7,70	6,47	8,07
S_x	9,82	6,92	9,40	8,37
C_{sx}	2,99	2,39	2,57	2,84

7.3.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Acısu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 34 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.42’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.43’ te verilmektedir.

Çizelge 7.42 Acısu (#523) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,47	0,69
OKHK	8,54	5,90
E	0,24	0,60

Çizelge 7.43 Acısu (#523) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	44,24	54,29	52,90
$\bar{x}$	7,64	2,98	6,47	3,97
s_x	9,82	7,51	9,40	9,18
c_{sx}	2,99	3,02	2,57	3,11

Thrift Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 55 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.44’ te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.45’ te verilmektedir.

Çizelge 7.44 Acısu (#523) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,63	0,65
OKHK	6,10	6,26
E	0,61	0,55

Çizelge 7.45 Acısu (#523) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	51,74	54,29	47,84
$\bar{x}$	7,64	7,72	6,47	8,00
S_x	9,82	9,08	9,40	10,06
C_{sx}	2,99	1,42	2,57	1,58

ANFIS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.46' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.47' de verilmektedir.

Çizelge 7.46 Acısu (#523) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,80	0,54
OKHK	4,39	7,93
E	0,80	0,28

Çizelge 7.47 Acısu (#523) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,00	0,10	0,00
x_{mak}	69,27	67,20	54,29	54,89
$\bar{x}$	7,64	7,68	6,47	8,50
S_x	9,82	8,74	9,40	11,20
C_{sx}	2,99	2,70	2,57	2,40

GBS-TS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.48' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.49' da verilmektedir.

Çizelge 7.48 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,72	0,77
OKHK	5,22	5,44
E	0,72	0,66

Çizelge 7.49 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,00	0,10	0,00
x_{mak}	69,27	68,68	54,29	59,80
$\bar{x}$	7,64	7,58	6,47	8,50
s_x	9,82	8,64	9,40	10,62
c_{sx}	2,99	2,44	2,57	2,40

7.3.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Acısu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 7 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 33 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.50’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.51’ de verilmektedir.

Çizelge 7.50 Acısu (#523) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,36	0,41
OKHK	8,34	8,26
E	0,28	0,22

Çizelge 7.51 Acısu (#523) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	53,87	54,29	53,99
$\bar{x}$	7,64	5,49	6,47	6,39
s_x	9,82	7,77	9,40	10,13
c_{sx}	2,99	3,49	2,57	3,20

Thrift Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 23 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.52' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.53' te verilmektedir.

Çizelge 7.52 Acısu (#523) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,44	0,47
OKHK	7,46	7,90
E	0,42	0,29

Çizelge 7.53 Acısu (#523) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	50,50	54,29	59,67
$\bar{x}$	7,64	8,10	6,47	8,68
s_x	9,82	7,59	9,40	9,88
c_{sx}	2,99	1,67	2,57	2,64

ANFIS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.54' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.55' te verilmektedir.

Çizelge 7.54 Acısu (#523) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,48	0,47
OKHK	7,10	7,15
E	0,48	0,42

Çizelge 7.55 Acısu (#523) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,18	0,10	0,28
x_{mak}	69,27	47,71	54,29	45,33
$\bar{x}$	7,64	7,64	6,47	8,16
S_x	9,82	6,77	9,40	7,66
C_{sx}	2,99	2,44	2,57	2,49

GBS-TS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 9 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.56' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.57' de verilmektedir.

Çizelge 7.56 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,46	0,50
OKHK	7,22	7,01
E	0,46	0,44

Çizelge 7.57 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,00	0,10	0,00
x_{mak}	69,27	44,64	54,29	43,70
$\bar{x}$	7,64	7,34	6,47	8,10
S_x	9,82	6,76	9,40	8,33
C_{sx}	2,99	2,19	2,57	2,52

7.3.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Acısu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 31 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.58’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.59’ da verilmektedir.

Çizelge 7.58 Acısu (#523) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,50	0,48
OKHK	7,03	7,31
E	0,49	0,39

Çizelge 7.59 Acısu (#523) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	41,37	54,29	57,48
$\bar{x}$	7,64	6,83	6,47	7,48
S_x	9,82	7,47	9,40	9,19
C_{sx}	2,99	1,05	2,57	2,39

Thrift Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 56 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.60’ da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.61’ de verilmektedir.

Çizelge 7.60 Acısu (#523) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,67	0,73
OKHK	5,98	6,82
E	0,63	0,47

Çizelge 7.61 Acısu (#523) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,06	0,10	0,06
x_{mak}	69,27	53,50	54,29	50,94
$\bar{x}$	7,64	8,25	6,47	9,29
s_x	9,82	10,08	9,40	11,88
c_{sx}	2,99	1,74	2,57	1,74

ANFIS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.62’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.63’ te verilmektedir.

Çizelge 7.62 Acısu (#523) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,80	0,12
OKHK	4,41	16,23
E	0,80	-2,02

Çizelge 7.63 Acısu (#523) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,00	0,10	0,00
x_{mak}	69,27	68,37	54,29	113,05
$\bar{x}$	7,64	7,66	6,47	10,16
s_x	9,82	8,77	9,40	16,41
c_{sx}	2,99	2,69	2,57	3,92

GBS-TS Yöntemi: Acısu (#523) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.64’ te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.65’ te verilmektedir.

Çizelge 7.64 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,72	0,78
OKHK	5,25	5,73
E	0,71	0,62

Çizelge 7.65 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,06	0,00	0,10	0,00
x_{mak}	69,27	69,45	54,29	57,83
$\bar{x}$	7,64	7,93	6,47	9,08
S_x	9,82	8,62	9,40	10,97
C_{sx}	2,99	2,94	2,57	2,33

7.4 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi

Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 girdi yapıları ile WM, Thrift, ANFIS ve GBS-TS yöntemleri kullanılarak aylık olarak modellenmesi sonuçları yöntemler için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

7.4.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 17 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.66' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.67' de verilmektedir.

Çizelge 7.66 Sazköy (#524) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,21	0,14
OKHK	16,90	22,02
E	0,15	0,09

Çizelge 7.67 Sazköy (#524) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,32	1,31	1,32
x_{mak}	92,22	54,19	107,07	52,09
$\bar{x}$	22,73	22,56	22,13	22,61
S_x	18,35	13,07	23,25	13,60
C_{sx}	1,50	0,02	1,94	0,27

Thrift Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 24 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.68’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.69’ da verilmektedir.

Çizelge 7.68 Sazköy (#524) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,20	0,13
OKHK	16,46	21,66
E	0,19	0,12

Çizelge 7.69 Sazköy (#524) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,32	1,31	1,32
x_{mak}	92,22	90,24	107,07	58,40
$\bar{x}$	22,73	24,11	22,13	23,98
S_x	18,35	8,43	23,25	9,39
C_{sx}	1,50	1,40	1,94	0,22

ANFIS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.70’ te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.71’ de verilmektedir.

Çizelge 7.70 Sazköy (#524) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,24	0,18
OKHK	16,00	20,95
E	0,24	0,18

Çizelge 7.71 Sazköy (#524) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	4,09	1,31	0,00
x_{mak}	92,22	92,18	107,07	35,58
$\bar{x}$	22,73	22,73	22,13	21,97
s_x	18,35	8,92	23,25	8,84
c_{sx}	1,50	1,17	1,94	-0,47

GBS-TS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.72’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.73’ te verilmektedir.

Çizelge 7.72 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,22	0,21
OKHK	16,22	20,57
E	0,22	0,21

Çizelge 7.73 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	0,30	1,31	1,00
x_{mak}	92,22	51,02	107,07	45,77
$\bar{x}$	22,73	22,72	22,13	22,18
s_x	18,35	8,34	23,25	9,69
c_{sx}	1,50	-0,03	1,94	-0,06

7.4.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 35 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.74' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.75' te verilmektedir.

Çizelge 7.74 Sazköy (#524) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,25	0,23
OKHK	16,23	20,44
E	0,22	0,22

Çizelge 7.75 Sazköy (#524) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,31	1,31	1,31
x_{mak}	92,22	72,12	107,07	76,81
$\bar{x}$	22,73	21,23	22,13	22,04
s_x	18,35	12,09	23,25	14,15
c_{sx}	1,50	0,36	1,94	1,04

Thrift Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 51

kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.76' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.77' de verilmektedir.

Çizelge 7.76 Sazköy (#524) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,54	0,46
OKHK	12,70	17,67
E	0,52	0,42

Çizelge 7.77 Sazköy (#524) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,31	1,31	3,63
x_{mak}	92,22	54,19	107,07	52,88
$\bar{x}$	22,73	24,78	22,13	25,35
S_x	18,35	12,51	23,25	12,37
C_{sx}	1,50	0,47	1,94	0,48

ANFIS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.78' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.79' da verilmektedir.

Çizelge 7.78 Sazköy (#524) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,74	0,55
OKHK	9,42	15,77
E	0,74	0,53

Çizelge 7.79 Sazköy (#524) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	3,98	1,31	0,00
x_{mak}	92,22	91,22	107,07	112,23
$\bar{x}$	22,73	22,75	22,13	24,22
S_x	18,35	15,76	23,25	19,67
C_{sx}	1,50	1,20	1,94	1,91

GBS-TS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.80' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.81' de verilmektedir.

Çizelge 7.80 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,67	0,61
OKHK	10,61	14,54
E	0,67	0,60

Çizelge 7.81 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	0,00	1,31	0,00
x_{mak}	92,22	77,93	107,07	84,91
$\bar{x}$	22,73	22,47	22,13	23,69
S_x	18,35	15,47	23,25	17,51
C_{sx}	1,50	0,95	1,94	1,31

7.4.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 7 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 32

kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri izelge 7.82' de, sonuçlara ait istatistikler izelge 7.83' te verilmektedir.

Çizelge 7.82 Sazköy (#524) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans lt	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,27	0,20
OKHK	15,85	21,02
E	0,25	0,17

Çizelge 7.83 Sazköy (#524) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,48	1,31	1,87
x_{mak}	92,22	74,18	107,07	62,53
$\bar{x}$	22,73	24,94	22,13	25,31
S_x	18,35	10,87	23,25	11,76
C_{sx}	1,50	0,37	1,94	0,56

Thrift Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 9 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 76 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri izelge 7.84' te, sonuçlara ait istatistikler izelge 7.85' te verilmektedir.

Çizelge 7.84 Sazköy (#524) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans lt	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,48	0,36
OKHK	13,16	18,58
E	0,48	0,35

Çizelge 7.85 Sazköy (#524) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,37	1,31	6,00
x_{mak}	92,22	97,06	107,07	81,31
$\bar{x}$	22,73	22,66	22,13	24,50
S_x	18,35	12,85	23,25	13,59
C_{sx}	1,50	1,51	1,94	1,40

ANFIS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 9 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.86’ da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.87’ de verilmektedir.

Çizelge 7.86 Sazköy (#524) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,40	0,34
OKHK	14,20	18,74
E	0,40	0,34

Çizelge 7.87 Sazköy (#524) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	0,00	1,31	0,00
x_{mak}	92,22	88,91	107,07	103,20
$\bar{x}$	22,73	22,76	22,13	22,24
S_x	18,35	11,47	23,25	14,80
C_{sx}	1,50	1,29	1,94	2,40

GBS-TS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 25 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.88’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.89’ da verilmektedir.

Çizelge 7.88 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,35	0,34
OKHK	14,79	18,78
E	0,35	0,34

Çizelge 7.89 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	4,10	1,31	0,00
x_{mak}	92,22	72,47	107,07	85,65
$\bar{x}$	22,73	22,83	22,13	23,13
S_x	18,35	10,65	23,25	13,56
C_{sx}	1,50	1,05	1,94	1,73

7.4.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 31 kuraldan oluştuğu bulanık sistem elde edilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.90' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.91' de verilmektedir.

Çizelge 7.90 Sazköy (#524) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,28	0,27
OKHK	16,08	19,98
E	0,23	0,25

Çizelge 7.91 Sazköy (#524) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,31	1,31	1,31
x_{mak}	92,22	80,60	107,07	71,95
$\bar{x}$	22,73	22,12	22,13	22,72
s_x	18,35	13,75	23,25	15,11
c_{sx}	1,50	0,85	1,94	1,04

Thrift Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 60 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.92’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.93’ te verilmektedir.

Çizelge 7.92 Sazköy (#524) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,58	0,52
OKHK	11,90	16,39
E	0,58	0,50

Çizelge 7.93 Sazköy (#524) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,31	1,31	2,64
x_{mak}	92,22	55,44	107,07	66,53
$\bar{x}$	22,73	23,03	22,13	25,12
s_x	18,35	14,20	23,25	15,13
c_{sx}	1,50	0,67	1,94	0,77

ANFIS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 4 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.94’ te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.95’ te verilmektedir.

Çizelge 7.94 Sazköy (#524) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,77	0,44
OKHK	8,78	19,01
E	0,77	0,32

Çizelge 7.95 Sazköy (#524) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	1,33	1,31	2,91
x_{mak}	92,22	85,14	107,07	157,27
$\bar{x}$	22,73	22,75	22,13	25,25
S_x	18,35	16,13	23,25	22,53
C_{sx}	1,50	1,16	1,94	2,77

GBS-TS Yöntemi: Sazköy (#524) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 4 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.96’ da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.97’ de verilmektedir.

Çizelge 7.96 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,68	0,63
OKHK	10,46	14,03
E	0,68	0,63

Çizelge 7.97 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,69	0,00	1,31	0,00
x_{mak}	92,22	64,18	107,07	90,48
$\bar{x}$	22,73	22,50	22,13	22,61
S_x	18,35	15,50	23,25	17,76
C_{sx}	1,50	0,65	1,94	1,03

7.5 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Kara Kutu Modelleme Tekniği ile Modellenmesi

Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Model-1, Model-2, Model-3, Model-4 girdi yapıları ile WM, Thrift, ANFIS ve GBS-TS yöntemleri kullanılarak aylık olarak modellenmesi sonuçları yöntemler için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

7.5.1 Model-1 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 7 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 28 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.98’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.99’ da verilmektedir.

Çizelge 7.98 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,52
OKHK	22,13	28,15
E	0,54	0,44

Çizelge 7.99 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	302,40	180,42	174,40
$\bar{x}$	21,30	15,03	25,62	15,36
S_x	32,70	29,57	37,98	29,47
C_{sx}	4,13	5,45	2,23	3,28

Thrift Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 22 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.100’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.101’ de verilmektedir.

Çizelge 7.100 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,60
OKHK	21,41	25,21
E	0,57	0,55

Çizelge 7.101 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,02	0,00	0,02
x_{mak}	302,40	302,34	180,42	234,28
$\bar{x}$	21,30	18,93	25,62	23,46
S_x	32,70	29,37	37,98	37,81
C_{sx}	4,13	5,01	2,23	3,51

ANFIS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.102' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.103' te verilmektedir.

Çizelge 7.102 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,67	0,47
OKHK	18,79	28,57
E	0,67	0,42

Çizelge 7.103 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	301,99	180,42	61,61
$\bar{x}$	21,30	21,33	25,62	20,97
S_x	32,70	26,68	37,98	19,08
C_{sx}	4,13	6,25	2,23	0,62

GBS-TS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-1 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.104' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.105' te verilmektedir.

Çizelge 7.104 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,60	0,60
OKHK	20,69	24,06
E	0,60	0,59

Çizelge 7.105 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	1,05	0,00	1,08
x_{mak}	302,40	222,11	180,42	174,59
$\bar{x}$	21,30	21,04	25,62	25,07
S_x	32,70	24,72	37,98	31,61
C_{sx}	4,13	3,80	2,23	2,96

7.5.2 Model-2 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 27 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.106' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.107' de verilmektedir.

Çizelge 7.106 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,73
OKHK	23,28	22,20
E	0,49	0,65

Çizelge 7.107 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	178,37	180,42	183,16
$\bar{x}$	21,30	22,76	25,62	26,29
S_x	32,70	35,01	37,98	43,11
C_{sx}	4,13	1,64	2,23	2,02

Thrift Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 55 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.108’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.109’ da verilmektedir.

Çizelge 7.108 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,67	0,51
OKHK	21,77	28,30
E	0,55	0,44

Çizelge 7.109 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	212,86	180,42	182,88
$\bar{x}$	21,30	26,79	25,62	27,15
S_x	32,70	36,07	37,98	36,89
C_{sx}	4,13	1,68	2,23	1,75

ANFIS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.110’ da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.111’de verilmektedir.

Çizelge 7.110 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,90	0,31
OKHK	10,49	31,83
E	0,90	0,29

Çizelge 7.111 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	302,33	180,42	100,12
$\bar{x}$	21,30	21,33	25,62	21,13
S_x	32,70	30,79	37,98	24,44
C_{sx}	4,13	4,56	2,23	1,58

GBS-TS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-2 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.112’de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.113’ te verilmektedir.

Çizelge 7.112 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,80	0,72
OKHK	14,77	19,98
E	0,79	0,72

Çizelge 7.113 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	224,52	180,42	170,44
$\bar{x}$	21,30	21,46	25,62	25,65
S_x	32,70	28,57	37,98	34,77
C_{sx}	4,13	2,95	2,23	2,35

7.5.3 Model-3 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 7 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.114' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.115' de verilmektedir.

Çizelge 7.114 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,37	0,41
OKHK	30,15	35,72
E	0,15	0,10

Çizelge 7.115 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	220,37	180,42	216,33
$\bar{x}$	21,30	6,56	25,62	12,57
S_x	32,70	25,15	37,98	40,55
C_{sx}	4,13	5,06	2,23	3,51

Thrift Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 18 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.116' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.117' de verilmektedir.

Çizelge 7.116 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,59	0,49
OKHK	22,22	29,02
E	0,54	0,41

Çizelge 7.117 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,02	0,00	0,02
x_{mak}	302,40	237,28	180,42	170,31
$\bar{x}$	21,30	14,94	25,62	22,16
S_x	32,70	29,03	37,98	37,31
C_{sx}	4,13	3,28	2,23	1,95

ANFIS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 4 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.118’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.119’ da verilmektedir.

Çizelge 7.118 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,64	0,43
OKHK	19,46	28,90
E	0,64	0,41

Çizelge 7.119 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	302,37	180,42	71,50
$\bar{x}$	21,30	21,31	25,62	23,34
S_x	32,70	26,22	37,98	19,75
C_{sx}	4,13	6,60	2,23	0,77

GBS-TS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-3 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 5 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 25 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.120’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.121’de verilmektedir.

Çizelge 7.120 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,70	0,49
OKHK	18,01	27,14
E	0,70	0,48

Çizelge 7.121 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	297,96	180,42	188,49
$\bar{x}$	21,30	21,41	25,62	26,28
s_x	32,70	27,04	37,98	30,27
c_{sx}	4,13	5,99	2,23	2,96

7.5.4 Model-4 Girdi Yapısına Göre Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

WM Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve WM yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 23 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.122' de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.123' te verilmektedir.

Çizelge 7.122 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,52	0,60
OKHK	24,05	26,69
E	0,46	0,50

Çizelge 7.123 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 WM Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	209,40	180,42	201,60
$\bar{x}$	21,30	23,72	25,62	26,41
s_x	32,70	31,73	37,98	41,50
c_{sx}	4,13	2,02	2,23	2,10

Thrift Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve Thrift yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 3 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 53 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.124' te, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.125' te verilmektedir.

Çizelge 7.124 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,54	0,68
OKHK	23,52	25,53
E	0,48	0,54

Çizelge 7.125 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 Thrift Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	181,20	180,42	182,62
$\bar{x}$	21,30	24,65	25,62	28,68
s_x	32,70	30,88	37,98	45,19
c_{sx}	4,13	1,46	2,23	1,84

ANFIS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve ANFIS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.126' da, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.127' de verilmektedir.

Çizelge 7.126 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,91	0,39
OKHK	10,03	30,47
E	0,91	0,35

Çizelge 7.127 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 ANFIS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	302,40	180,42	83,59
$\bar{x}$	21,30	21,22	25,62	18,35
S_x	32,70	31,04	37,98	21,34
C_{sx}	4,13	4,51	2,23	1,21

GBS-TS Yöntemi: Yiğitler (#525) AGİ havzasının aylık olarak Model-4 girdi yapısı ve GBS-TS yöntemi ile modellenmesi sonucunda değişkenlerin 2 üyelik fonksiyonundan ve kural tabanının 16 kuraldan oluştuğu bulanık sistem en uygun olarak seçilmiştir. Bu bulanık sistemin performans değerleri Çizelge 7.128’ de, sonuçlara ait istatistikler Çizelge 7.129’ da verilmektedir.

Çizelge 7.128 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Eğitim Aşaması	Test Aşaması
R^2	0,78	0,67
OKHK	15,28	22,76
E	0,78	0,63

Çizelge 7.129 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim ve Test Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Eğitim Aşaması		Test Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,00	0,00	0,00
x_{mak}	302,40	242,79	180,42	210,32
$\bar{x}$	21,30	21,53	25,62	26,71
S_x	32,70	27,99	37,98	38,53
C_{sx}	4,13	3,35	2,23	2,91

7.6 Kara Kutu Modelleme Tekniği Sonuçları

Kara kutu modelleme tekniği ile Gediz Havzasında bulunan dört akım gözlem istasyonunun aylık akımları dört farklı girdi yapısında ve dört farklı yöntem kullanılarak modellenmiştir. Modelleme sonuçları çizelgeler şeklinde özetlenerek aşağıda verilmektedir.

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası aylık olarak Model-1 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.130' da gösterilmektedir. Sonuçlar yöntemlere göre değerlendirildiğinde, genetik bulanık sistemlerin diğer yöntemlere göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası Model-1 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.1 ve Şekil 7.2' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.130 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,51	7,43	0,50	0,52	9,18	0,50
Thrift	0,53	7,24	0,52	0,52	9,06	0,52
ANFIS	0,56	6,94	0,56	0,55	8,87	0,54
GBS-TS	0,59	6,72	0,59	0,57	8,57	0,57

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası aylık olarak Model-2 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.131' de gösterilmektedir. Sonuçlar yöntemlere göre değerlendirildiğinde, Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası Model-2 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.3 ve Şekil 7.4' te gösterilmektedir.

Çizelge 7.131 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,61	6,68	0,59	0,51	9,26	0,50
Thrift	0,71	5,68	0,71	0,70	7,46	0,67
ANFIS	0,86	3,94	0,86	0,67	7,69	0,65
GBS-TS	0,80	4,74	0,80	0,74	6,79	0,73

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası aylık olarak Model-3 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.132' de gösterilmektedir. Sonuçlar yonteme göre değerlendirildiğinde GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim aşamasında iyi ancak test aşamasında kötü performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası Model-3 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.5 ve Şekil 7.6' da gösterilmektedir.

Çizelge 7.132 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,51	7,41	0,50	0,51	9,19	0,50
Thrift	0,59	6,73	0,59	0,50	9,30	0,49
ANFIS	0,53	7,20	0,53	0,48	9,59	0,46
GBS-TS	0,59	6,74	0,59	0,53	8,99	0,53

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası aylık olarak Model-4 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.133' te gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası Model-4 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.7 ve Şekil 7.8' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.133 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,59	7,47	0,49	0,60	8,39	0,59
Thrift	0,73	5,49	0,73	0,66	7,64	0,66
ANFIS	0,88	3,67	0,88	0,72	6,89	0,72
GBS-TS	0,79	4,85	0,79	0,74	6,70	0,74

Kayalıoğlu (#509) akım gözlem istasyonunun aylık akımlarının kara kutu modelleme tekniği ile modellenmesi sonucunda Model 2 ve Model 4 girdi yapılarına sahip bulanık sistemlerin performans değerleri birbirine yakındır. Ancak bunlar içinde ise Model 4 girdi yani P(t), P(t-1), E(t), E(t-1) yapısına sahip modelin daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yöntemler ele alındığında ise Takagi-Sugeno çıkarım motoruna sahip bulanık sistem ve GBS-TS yöntemi bütün girdi yapılarının test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahiptir.

Acısu (#523) AGİ havzası aylık olarak Model-1 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.134' te gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim aşamasında daha iyi, test aşamasında daha kötü performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Acısu (#523) AGİ havzası Model-1 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.9 ve Şekil 7.10' da gösterilmektedir.

Çizelge 7.134 Acısu (#523) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,38	7,92	0,35	0,37	8,69	0,14
Thrift	0,57	6,43	0,57	0,36	8,74	0,13
ANFIS	0,53	6,73	0,53	0,46	7,96	0,27
GBS-TS	0,51	6,87	0,51	0,51	6,95	0,45

Acısu (#523) AGİ havzası aylık olarak Model-2 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.135' de gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim aşamasında daha iyi, test aşamasında daha kötü performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS

yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Acısu (#523) AGİ havzası Model-2 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.11 ve Şekil 7.12' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.135 Acısu (#523) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,47	8,54	0,24	0,69	5,90	0,60
Thrift	0,63	6,10	0,61	0,65	6,26	0,55
ANFIS	0,80	4,39	0,80	0,54	7,93	0,28
GBS-TS	0,72	5,22	0,72	0,77	5,44	0,66

Acısu (#523) AGİ havzası aylık olarak Model-3 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.136' da gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip oldukları görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Acısu (#523) AGİ havzası Model-3 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.13 ve Şekil 7.14' te gösterilmektedir.

Çizelge 7.136 Acısu (#523) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,36	8,34	0,28	0,41	8,26	0,22
Thrift	0,44	7,46	0,42	0,47	7,90	0,29
ANFIS	0,48	7,10	0,48	0,47	7,15	0,42
GBS-TS	0,46	7,22	0,46	0,50	7,01	0,44

Acısu (#523) AGİ havzası aylık olarak Model-4 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.137' de gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip oldukları görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine

göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Acısu (#523) AGİ havzası Model-4 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.15 ve Şekil 7.16' da gösterilmektedir.

Çizelge 7.137 Acısu (#523) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,50	7,03	0,49	0,48	7,31	0,39
Thrift	0,67	5,98	0,63	0,73	6,82	0,47
ANFIS	0,80	4,41	0,80	0,12	16,23	-2,02
GBS-TS	0,72	5,25	0,71	0,78	5,73	0,62

Acısu (#523) akım gözlem istasyonunun aylık akımlarının kara kutu modelleme tekniği ile modellenmesi sonucunda Model 2 ve Model 4 girdi yapılarına sahip bulanık sistemlerin performans değerleri birbirine yakındır. Ancak bunlar içinde ise Model 2 girdi yani P(t), P(t-1), T(t), T(t-1) yapısına sahip modelin daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yöntemler ele alındığında ise Takagi-Sugeno çıkarım motoruna sahip bulanık sistem ve GBS-TS yöntemi bütün girdi yapılarının test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahiptir.

Sazköy (#524) AGİ havzası aylık olarak Model-1 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.138' de gösterilmektedir. Bulanık sistemlerin hepsinin sonuçları kabul edilebilir düzeye ulaşamamıştır ancak bu durumda en iyi performans değerlerine sahip sistem GBS-TS yöntemi ile elde edilmiştir. Sazköy (#524) AGİ havzası Model-1 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.17 ve Şekil 7.18' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.138 Sazköy (#524) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,21	16,90	0,15	0,14	22,02	0,09
Thrift	0,20	16,46	0,19	0,13	21,66	0,12
ANFIS	0,24	16,00	0,24	0,18	20,95	0,18
GBS-TS	0,22	16,22	0,22	0,21	20,57	0,21

Sazköy (#524) AGİ havzası aylık olarak Model-2 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.139' da gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Sazköy (#524) AGİ havzası Model-2 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.19 ve Şekil 7.20' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.139 Sazköy (#524) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,25	16,23	0,22	0,23	20,44	0,22
Thrift	0,54	12,70	0,52	0,46	17,67	0,42
ANFIS	0,74	9,42	0,74	0,55	15,77	0,53
GBS-TS	0,67	10,61	0,67	0,61	14,54	0,60

Sazköy (#524) AGİ havzası aylık olarak Model-3 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.140' ta gösterilmektedir. Bulanık sistemlerin hepsinin sonuçları kabul edilebilir düzeye ulaşamamıştır ancak bu durumda en iyi performans değerlerine sahip sistem Thrift yöntemi ile elde edilmiştir. Sazköy (#524) AGİ havzası Model-3 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.21 ve Şekil 7.22' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.140 Sazköy (#524) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,27	15,85	0,25	0,20	21,02	0,17
Thrift	0,48	13,16	0,48	0,36	18,58	0,35
ANFIS	0,40	14,20	0,40	0,34	18,74	0,34
GBS-TS	0,35	14,79	0,35	0,34	18,78	0,34

Sazköy (#524) AGİ havzası aylık olarak Model-4 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.141' de gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine

göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Sazköy (#524) AGİ havzası Model-4 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.23 ve Şekil 7.24' te gösterilmektedir.

Çizelge 7.141 Sazköy (#524) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,28	16,08	0,23	0,27	19,98	0,25
Thrift	0,58	11,90	0,58	0,52	16,39	0,50
ANFIS	0,77	8,78	0,77	0,44	19,01	0,32
GBS-TS	0,68	10,46	0,68	0,63	14,03	0,63

Sazköy (#524) akım gözlem istasyonunun aylık akımlarının kara kutu modelleme tekniği ile modellenmesi sonucunda Model 2 ve Model 4 girdi yapılarına sahip bulanık sistemlerin performans değerleri birbirine yakındır. Ancak bunlar içinde ise Model 4 girdi yani P(t), P(t-1), E(t), E(t-1) yapısına sahip modelin daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yöntemler ele alındığında ise Thrift yönteminin Model-3 girdi yapısı test aşamasında, GBS-TS modelinin ise kalan girdi yapıları test aşamalarında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Yiğitler (#525) AGİ havzası aylık olarak Model-1 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.142' de gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yiğitler (#525) AGİ havzası Model-1 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.25 ve Şekil 7.26' da gösterilmektedir.

Çizelge 7.142 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,59	22,13	0,54	0,52	28,15	0,44
Thrift	0,59	21,41	0,57	0,60	25,21	0,55
ANFIS	0,67	18,79	0,67	0,47	28,57	0,42
GBS-TS	0,60	20,69	0,60	0,60	24,06	0,59

Yiğitler (#525) AGİ havzası aylık olarak Model-2 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.143' te gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim aşamasında daha iyi, test aşamasında daha kötü performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yiğitler (#525) AGİ havzası Model-2 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.27 ve Şekil 7.28' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.143 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,59	23,28	0,49	0,73	22,20	0,65
Thrift	0,67	21,77	0,55	0,51	28,30	0,44
ANFIS	0,90	10,49	0,90	0,31	31,83	0,29
GBS-TS	0,80	14,77	0,79	0,72	19,98	0,72

Yiğitler (#525) AGİ havzası aylık olarak Model-3 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.144' te gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde genetik bulanık sistemlerin diğer yöntemlere göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yiğitler (#525) AGİ havzası Model-3 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.29 ve Şekil 7.30' da gösterilmektedir.

Çizelge 7.144 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,37	30,15	0,15	0,41	35,72	0,10
Thrift	0,59	22,22	0,54	0,49	29,02	0,41
ANFIS	0,64	19,46	0,64	0,43	28,90	0,41
GBS-TS	0,70	18,01	0,70	0,49	27,14	0,48

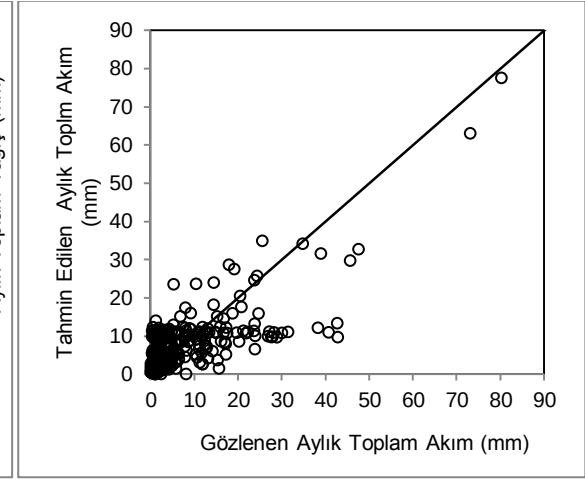
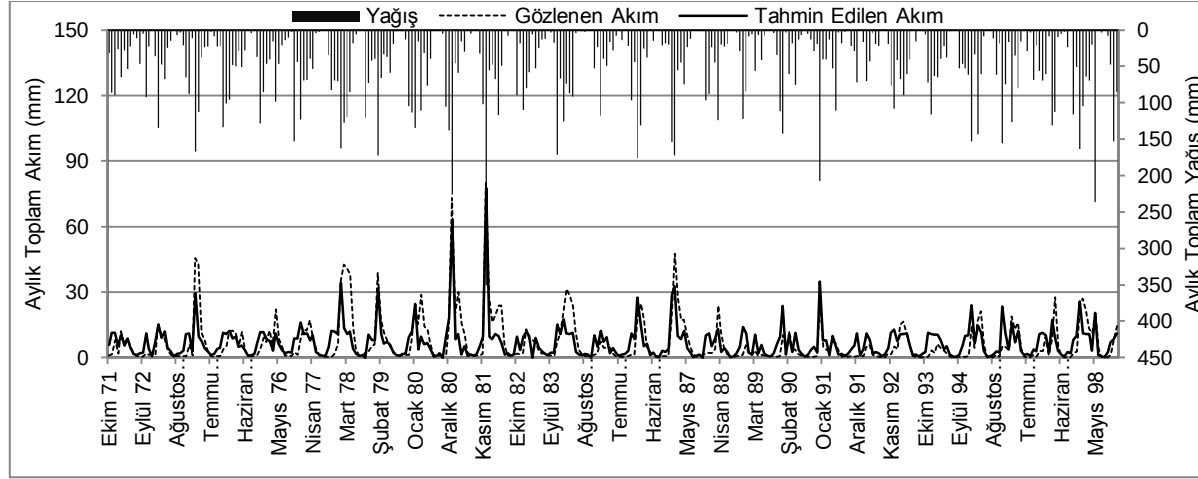
Yiğitler (#525) AGİ havzası aylık olarak Model-4 girdi yapısı ile modellendiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 7.145' de gösterilmektedir. Sonuçlar bulanık sistem çıkarım motoruna göre değerlendirildiğinde Thrift yönteminin, WM yöntemine göre eğitim ve test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip oldukları görülmektedir. GBS-TS yönteminin, ANFIS yöntemine göre eğitim aşamasında kötü ancak test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Genetik bulanık sistemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise GBS-TS yönteminin Thrift yöntemine göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yiğitler (#525) AGİ havzası Model-4 girdi yapısı ile GBS-TS yöntemi için eğitim ve test aşaması sonuçlarının zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 7.31 ve Şekil 7.32' de gösterilmektedir.

Çizelge 7.145 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 Eğitim ve Test Aşaması Performans Değerleri

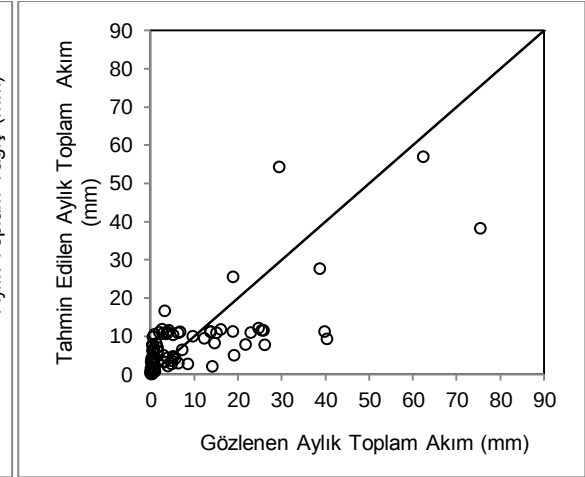
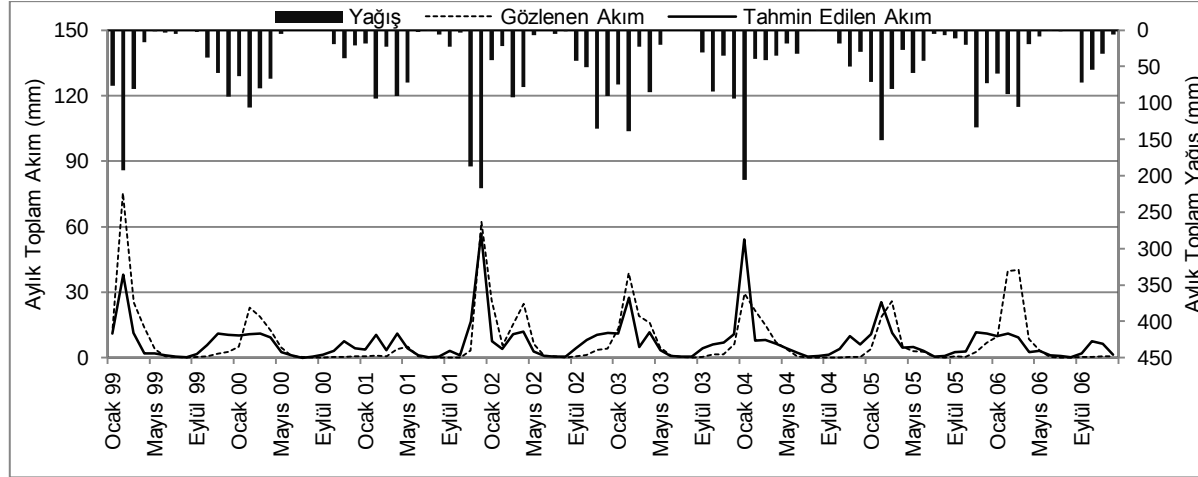
Yöntem	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
WM	0,52	24,05	0,46	0,60	26,69	0,50
Thrift	0,54	23,52	0,48	0,68	25,53	0,54
ANFIS	0,91	10,03	0,91	0,39	30,47	0,35
GBS-TS	0,78	15,28	0,78	0,67	22,76	0,63

Yiğitler (#525) akım gözlem istasyonunun aylık akımlarının kata kutu modelleme tekniği ile modellenmesi sonucunda Model 2 ve Model 4 girdi yapılarına sahip bulanık sistemlerin performans değerleri birbirine yakındır. Ancak bunlar içinde ise Model 2 girdi yani P(t), P(t-1), T(t), T(t-1) yapısına sahip modelin daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yöntemler ele alındığında ise Takagi-Sugeno çıkarım motoruna sahip bulanık sistem ve GBS-TS yöntemi bütün girdi yapılarının test aşamasında daha iyi performans değerlerine sahiptir.

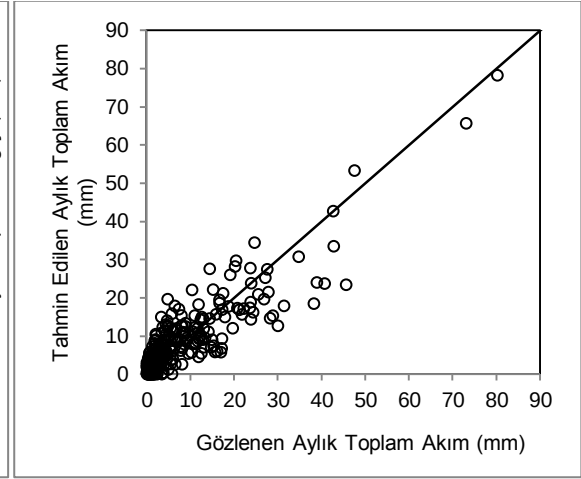
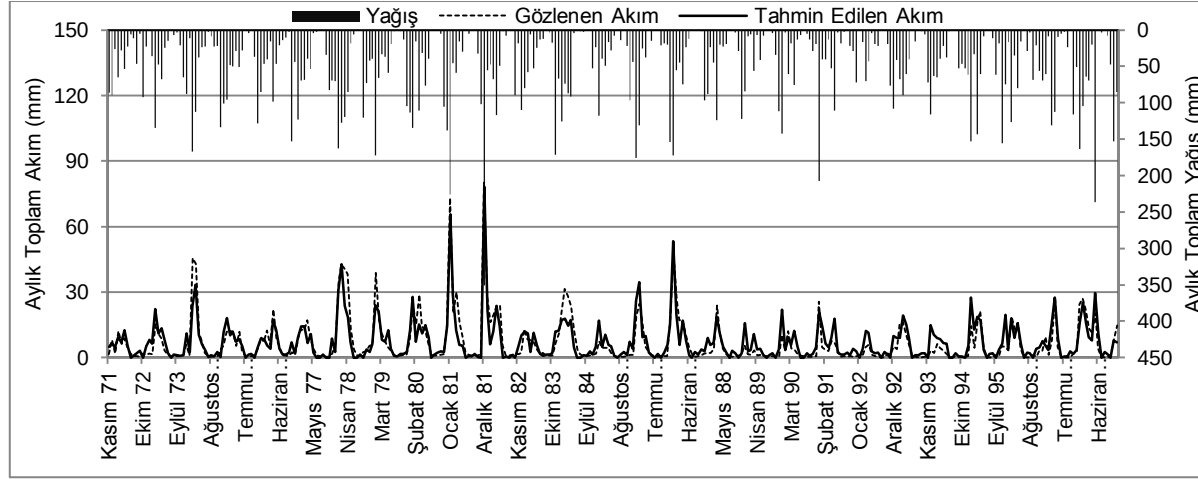
Kara kutu modelleme tekniği ile yapılan uygulamalarda, bütün sonuçlar dikkate alındığında GBS-TS yönteminin diğer yöntemlere göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yöntem özellikle bütün test sonuçlarında en iyi değerlere sahiptir, bu da yöntemin tahmin kapasitesinin diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.



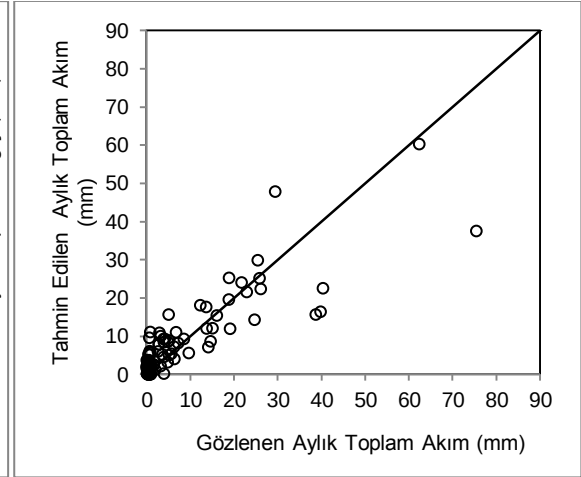
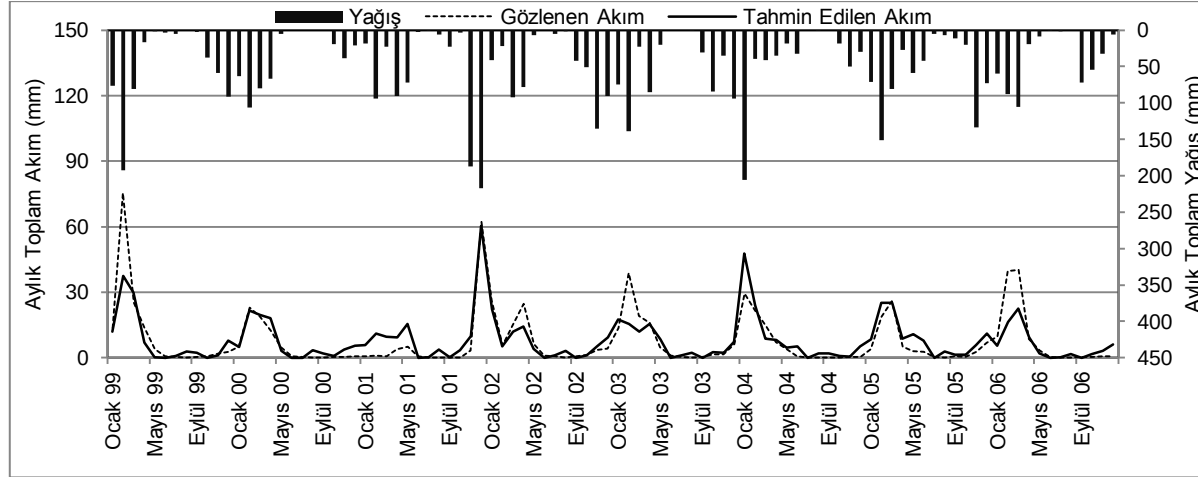
Şekil 7.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



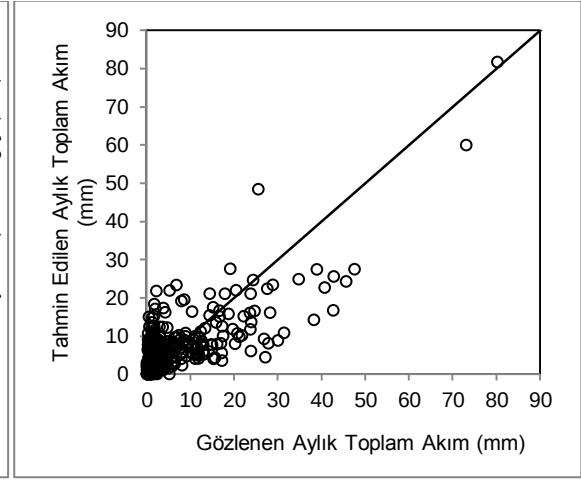
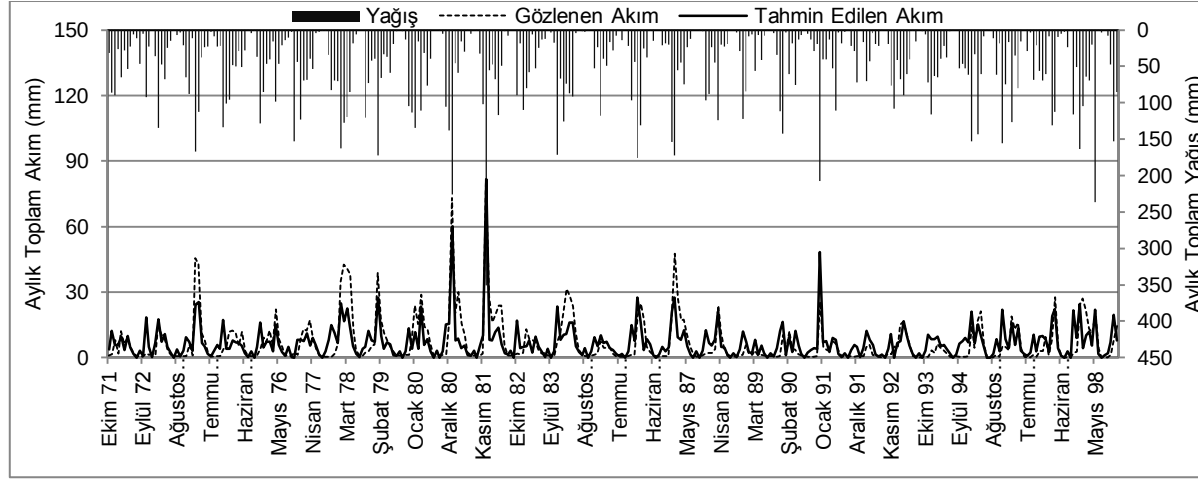
Şekil 7.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



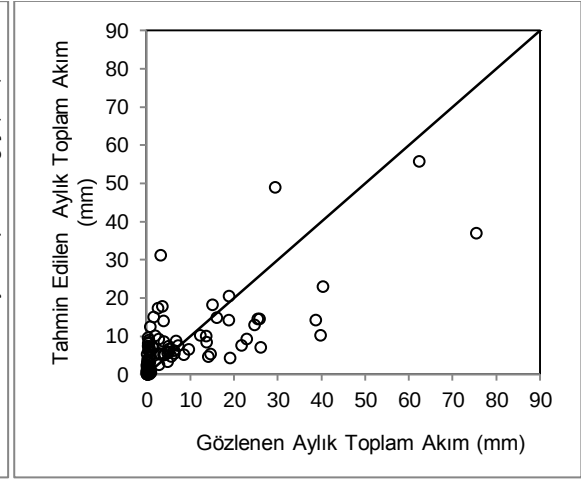
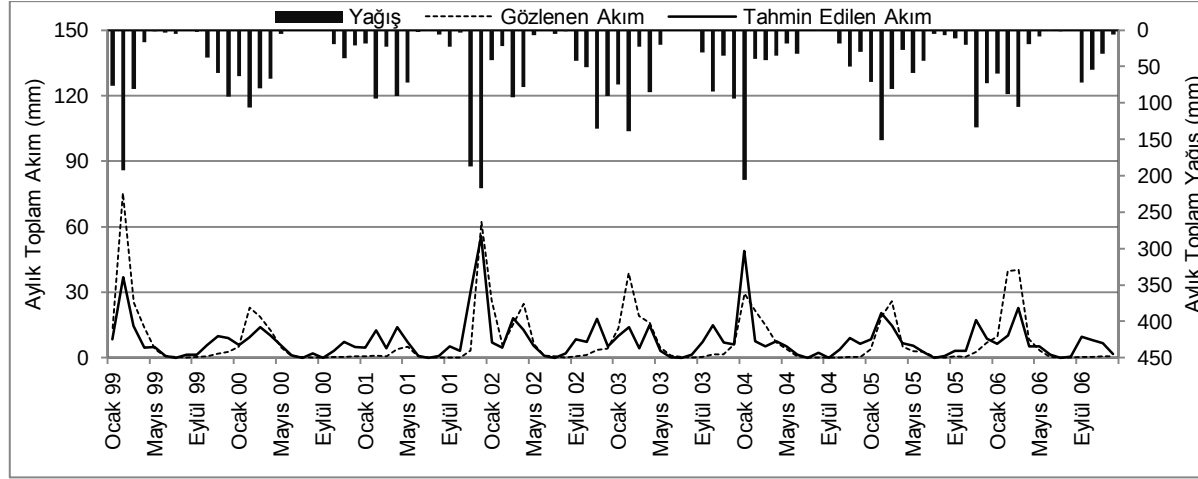
Şekil 7.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



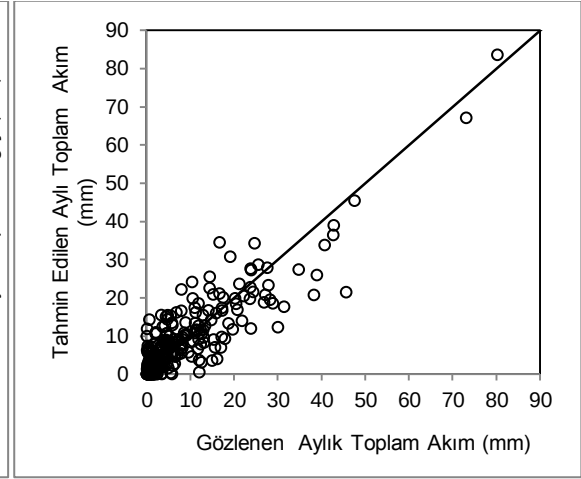
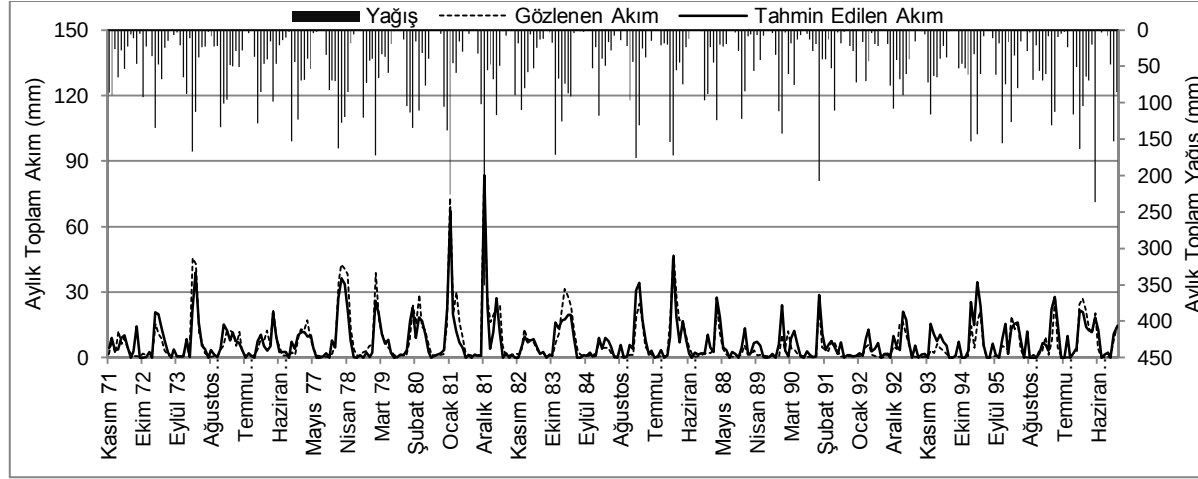
Şekil 7.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



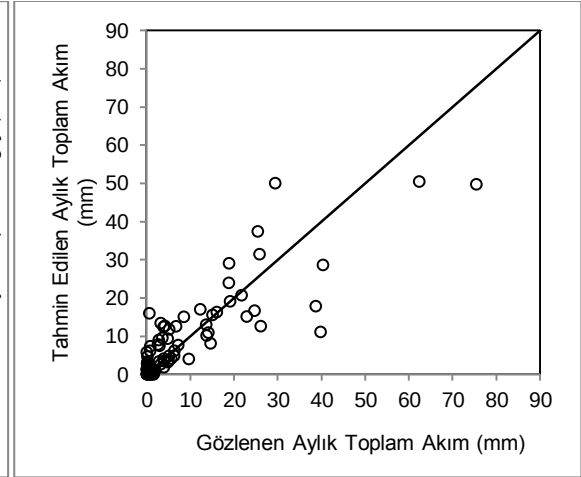
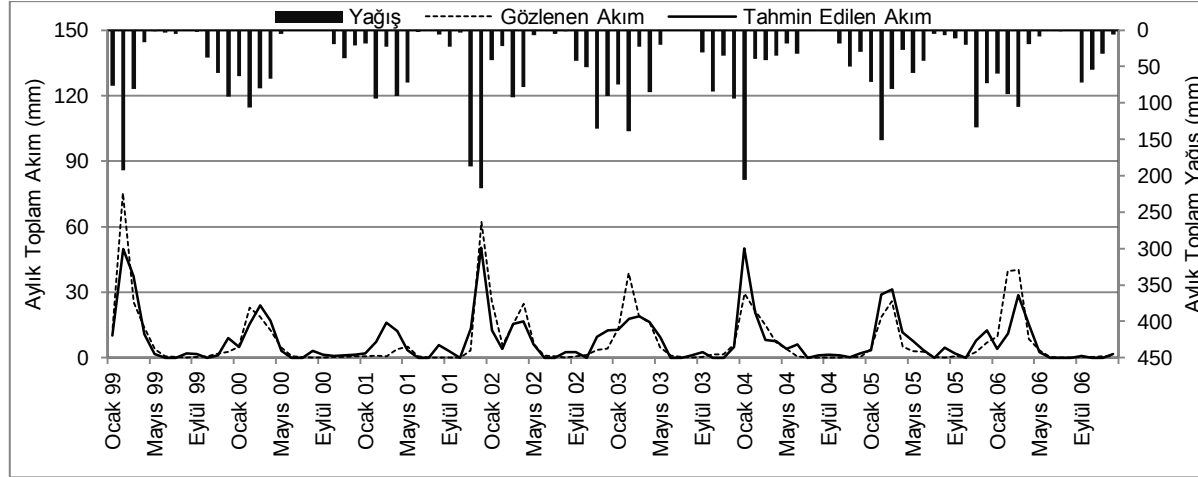
Şekil 7.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



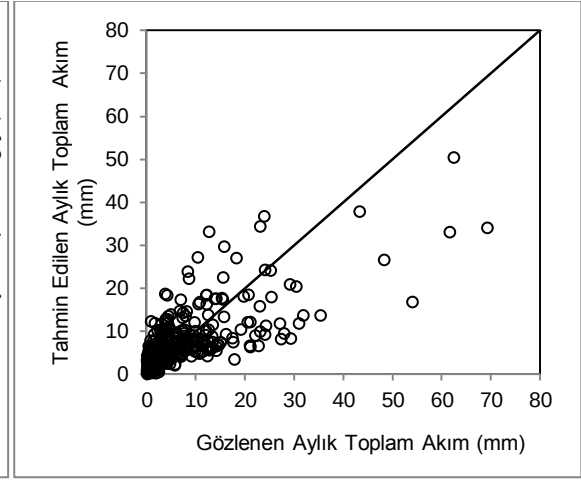
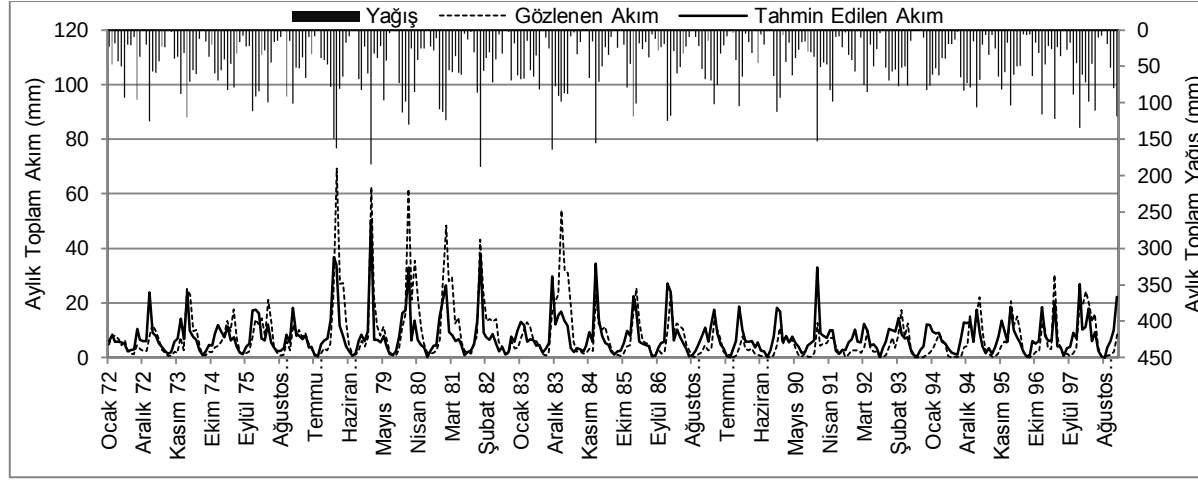
Şekil 7.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



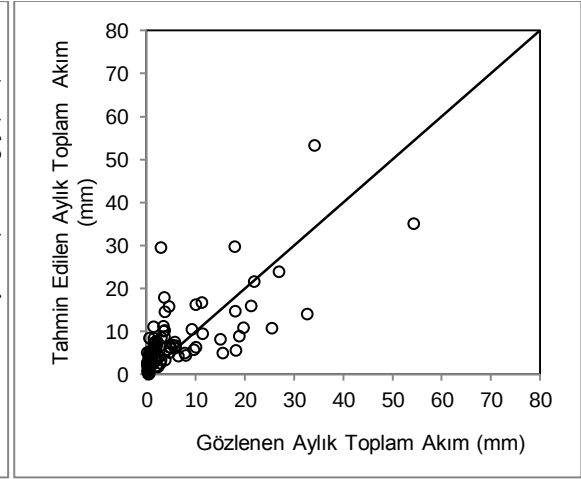
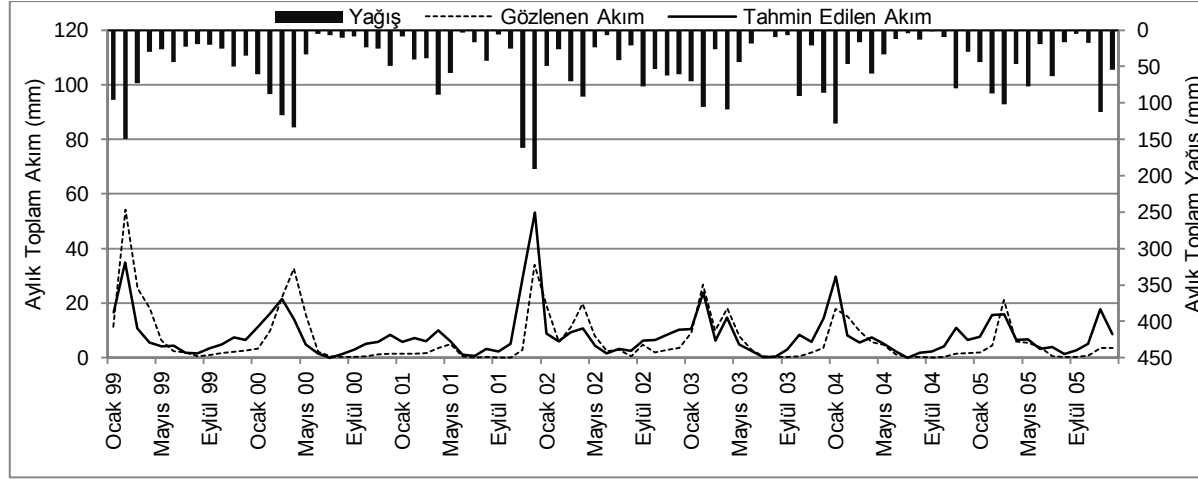
Şekil 7.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



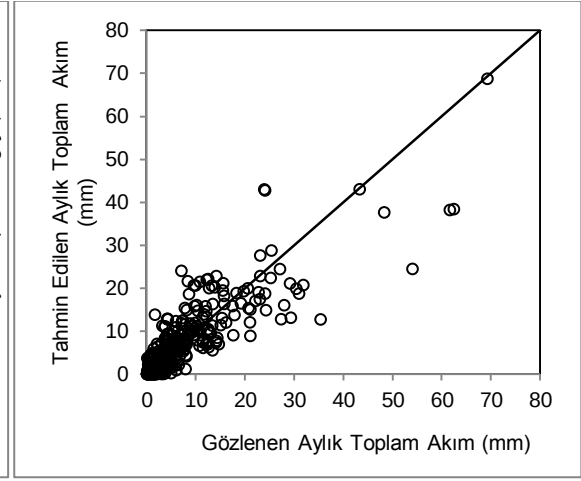
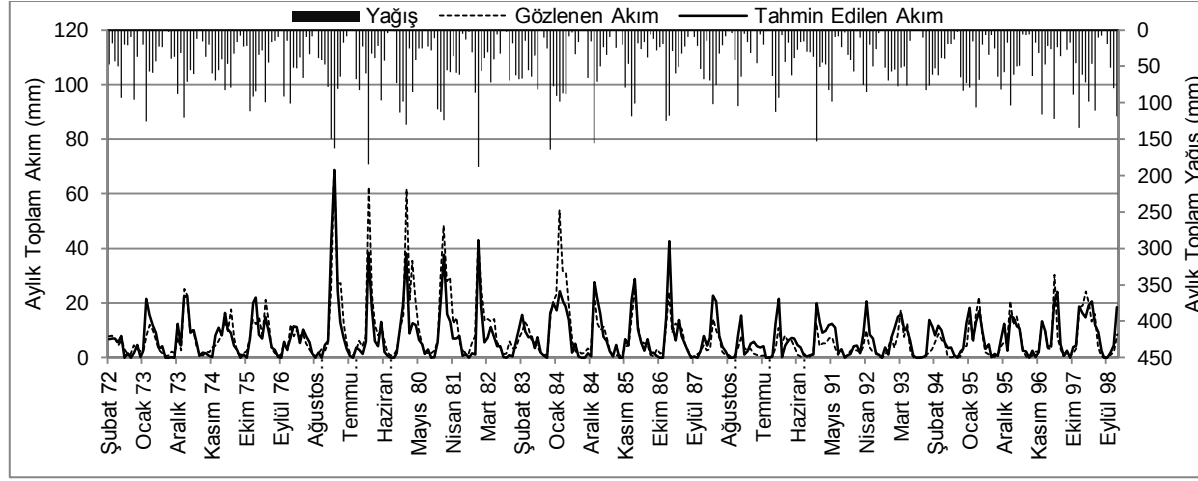
Şekil 7.8 Kayalıoğlu (#509) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



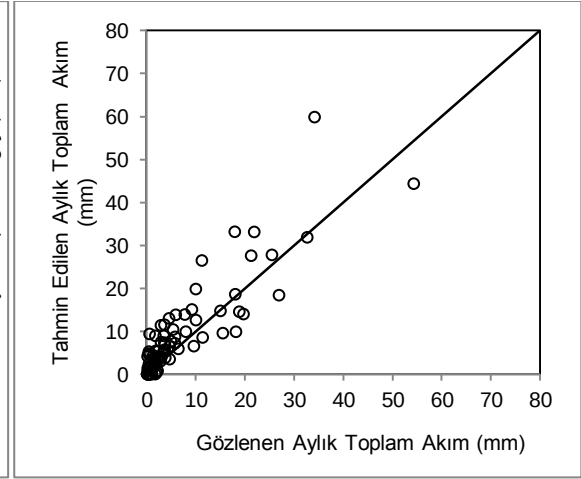
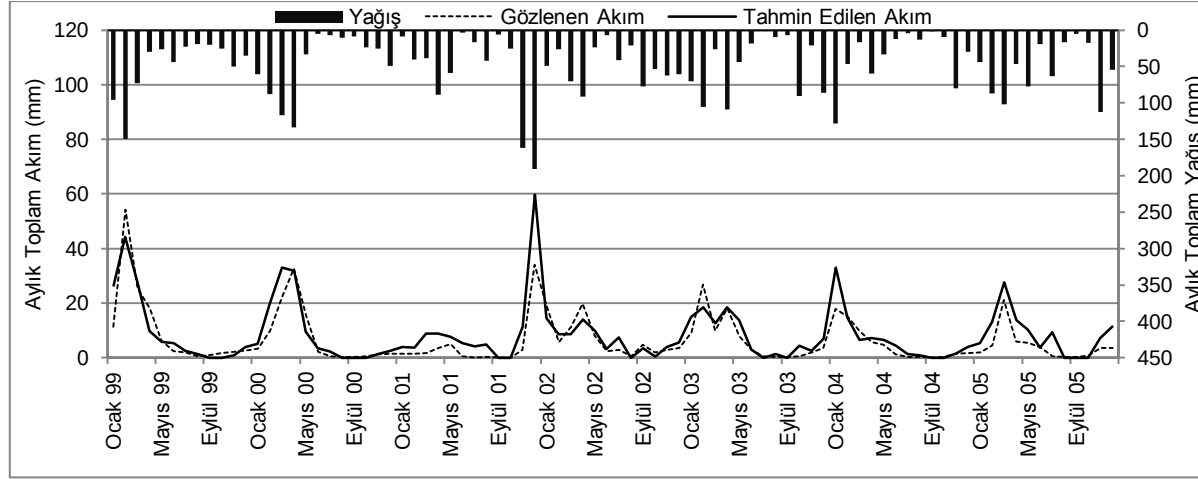
Şekil 7.9 Acisu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



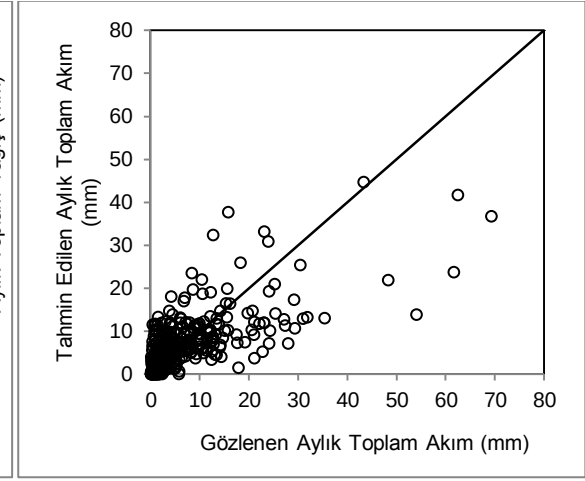
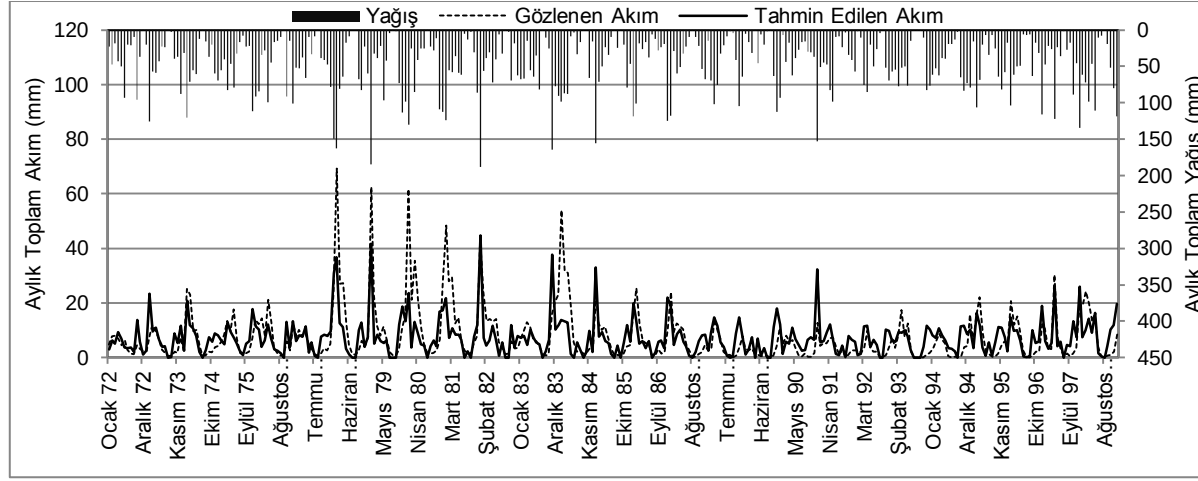
Şekil 7.10 Acisu (#523) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



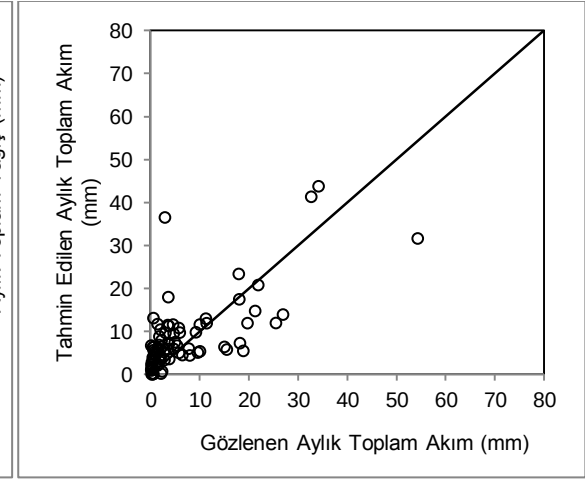
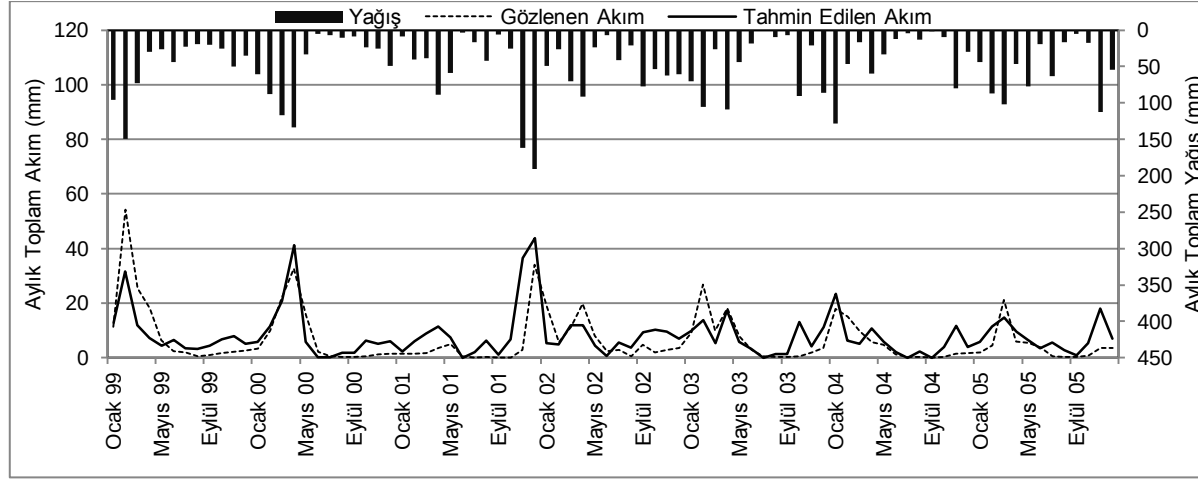
Şekil 7.11 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



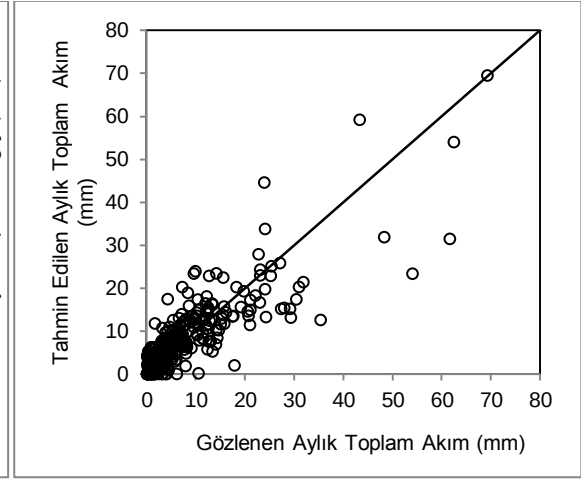
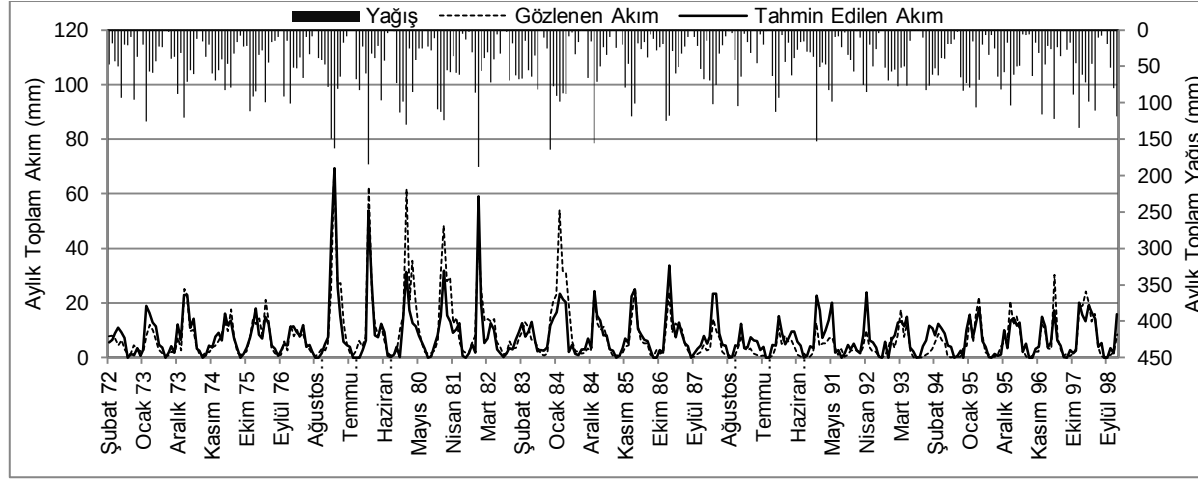
Şekil 7.12 Acısu (#523) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



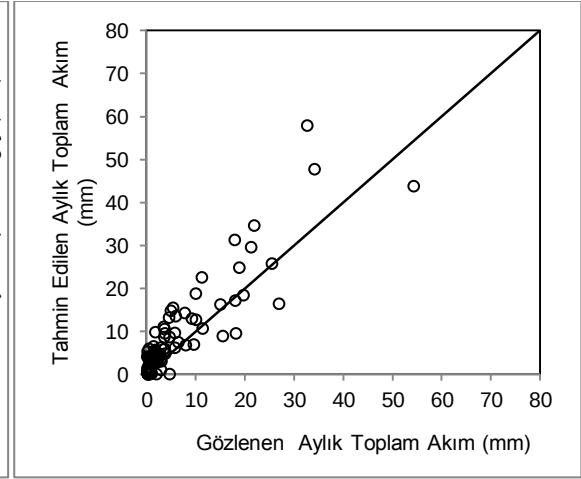
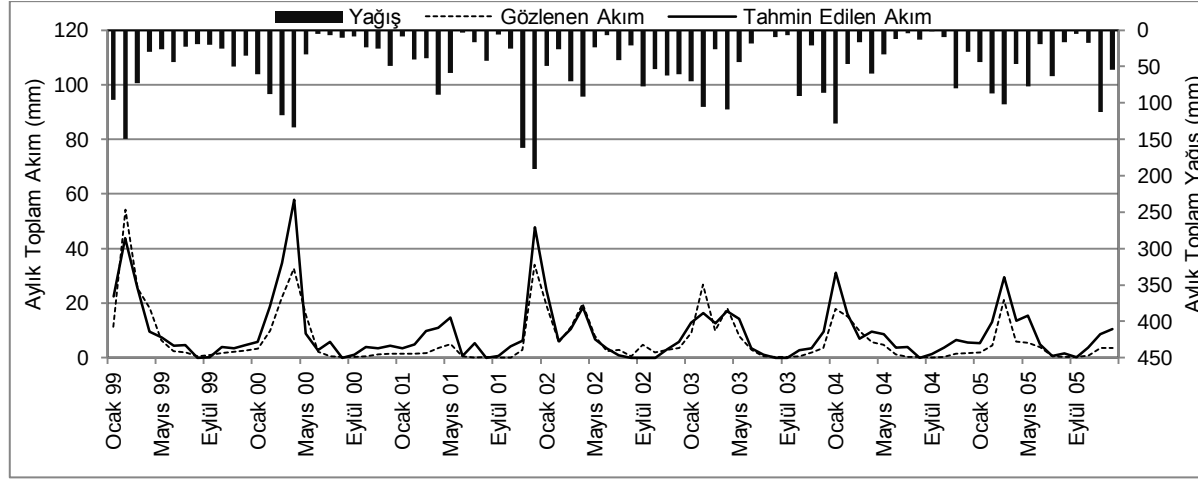
Şekil 7.13 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



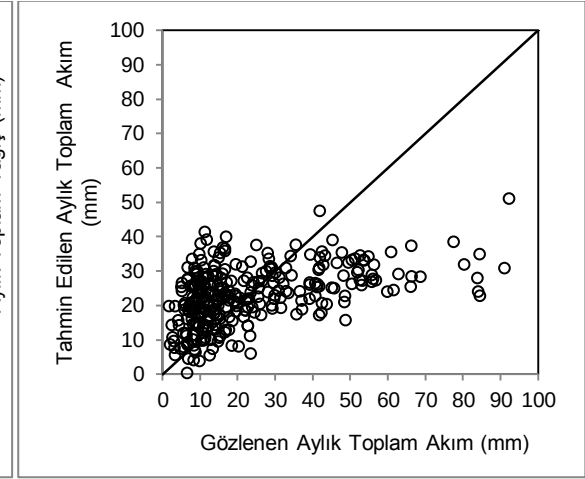
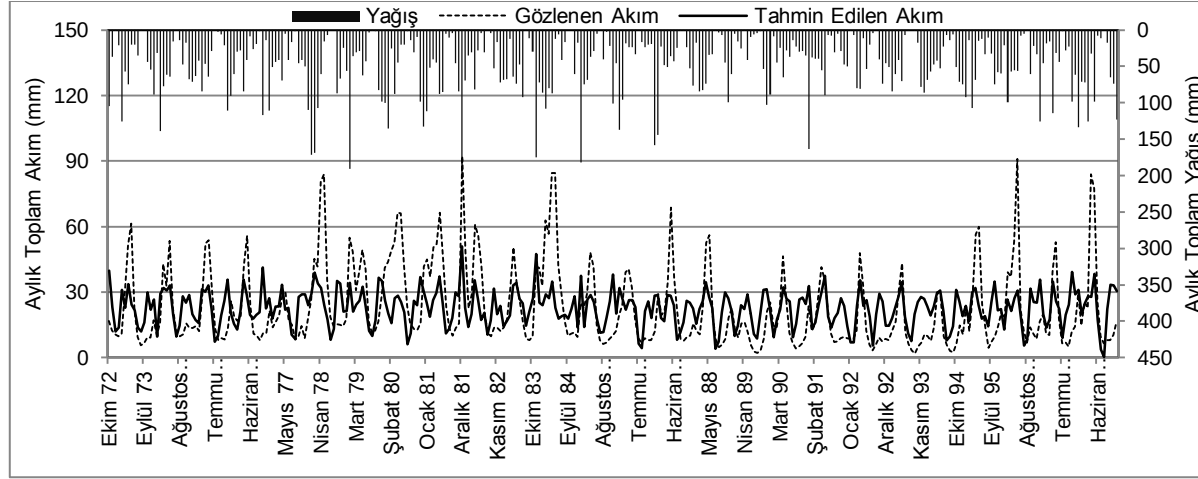
Şekil 7.14 Acısu (#523) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



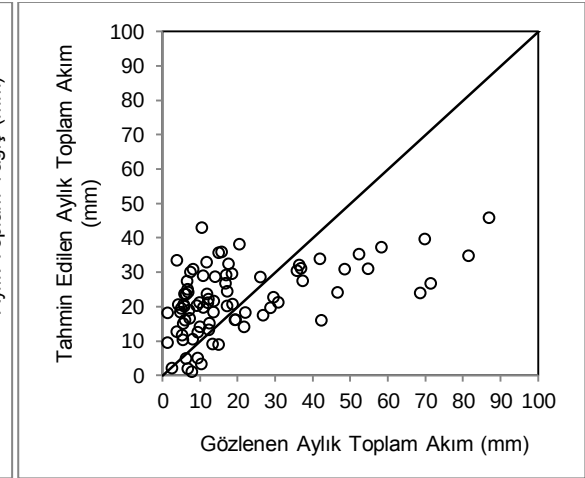
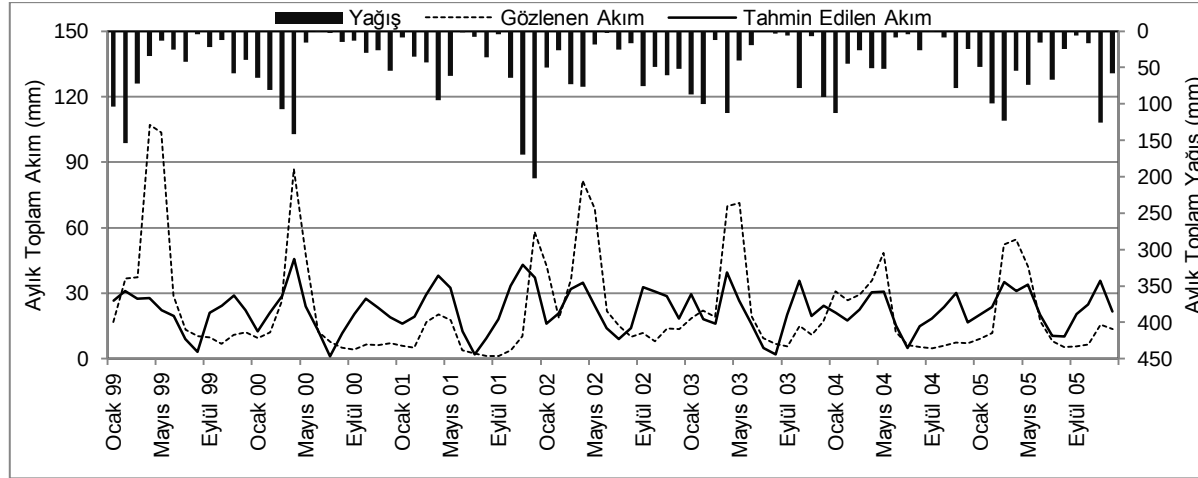
Şekil 7.15 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



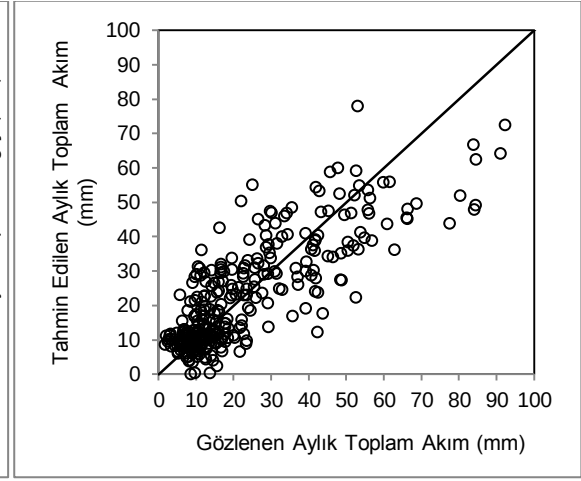
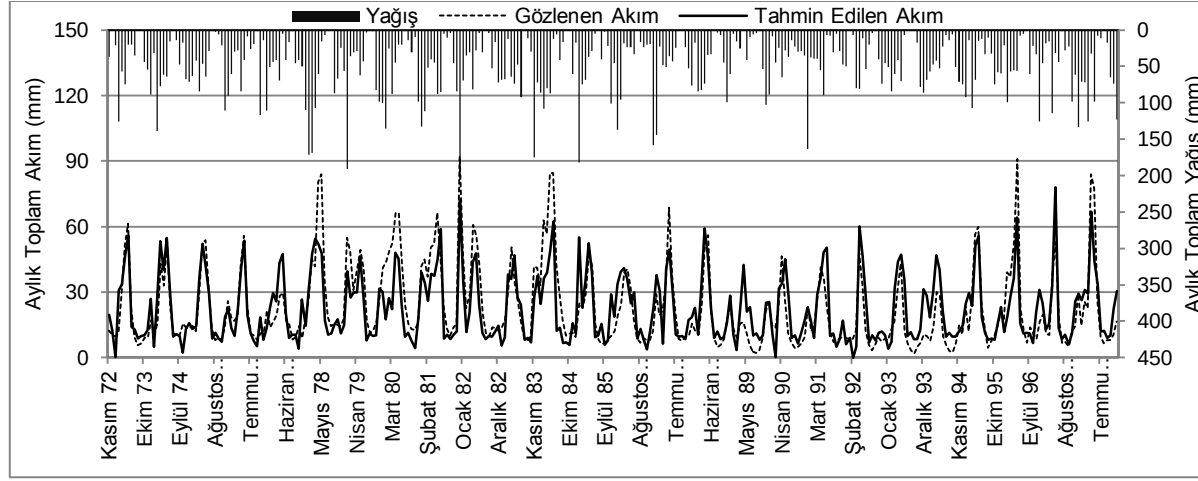
Şekil 7.16 Acısu (#523) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



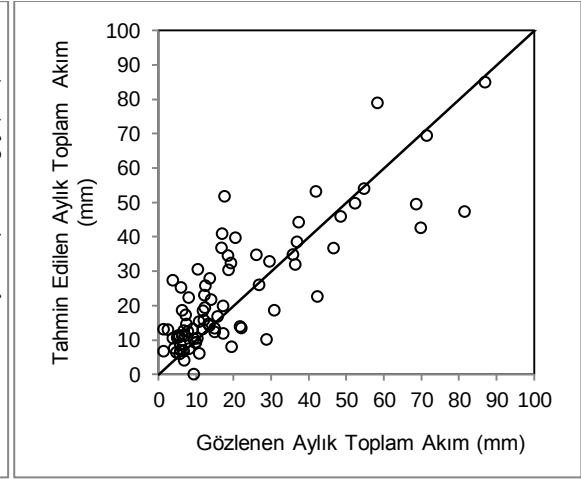
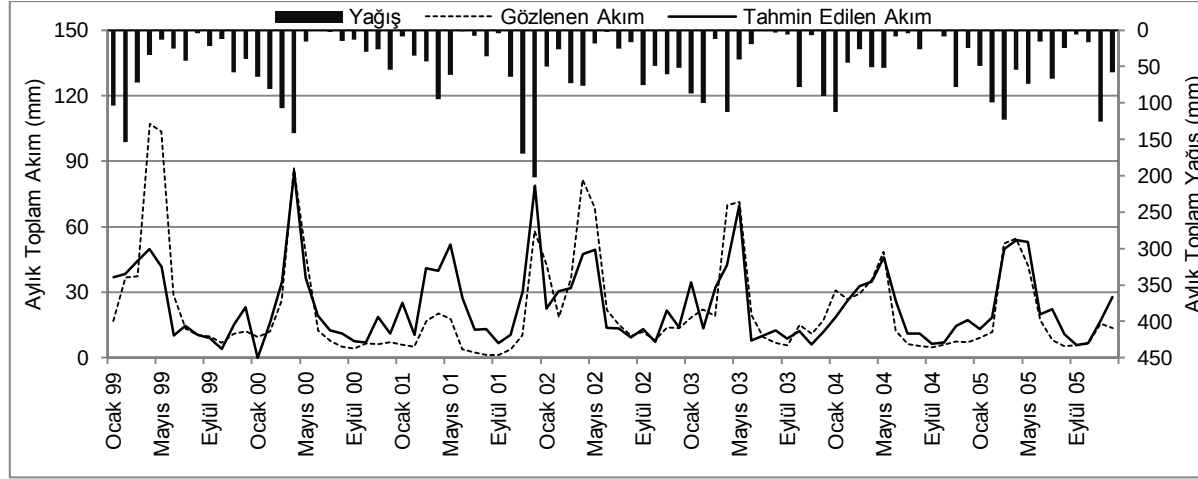
Şekil 7.17 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



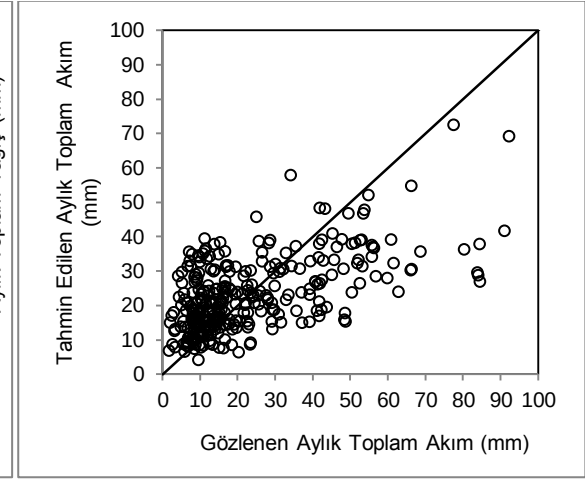
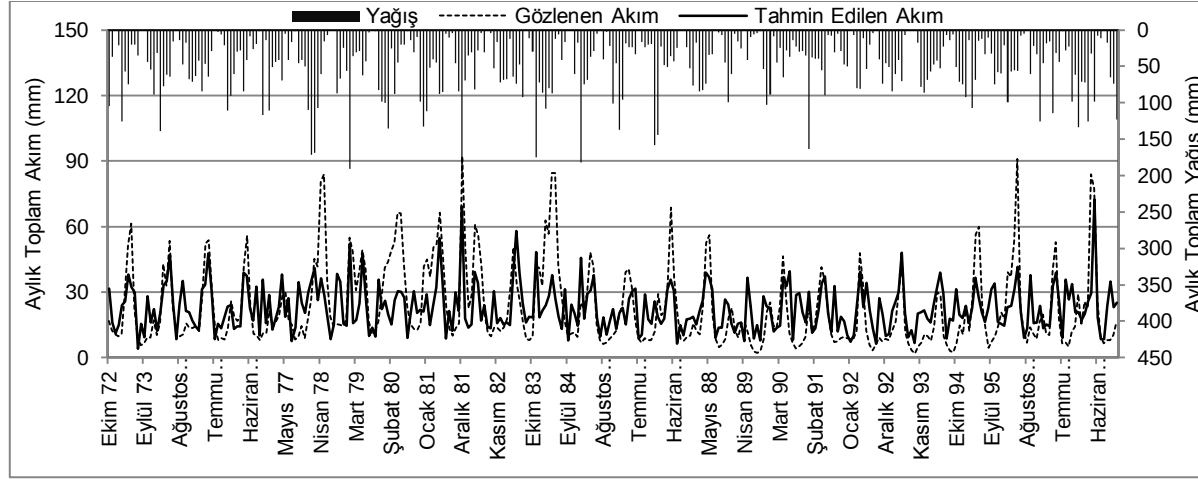
Şekil 7.18 Sazköy (#524) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



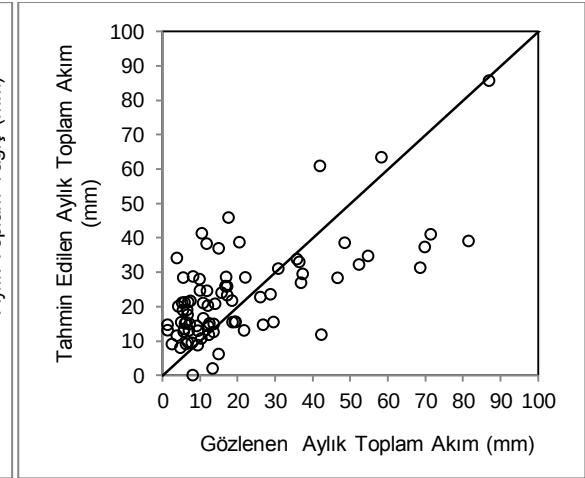
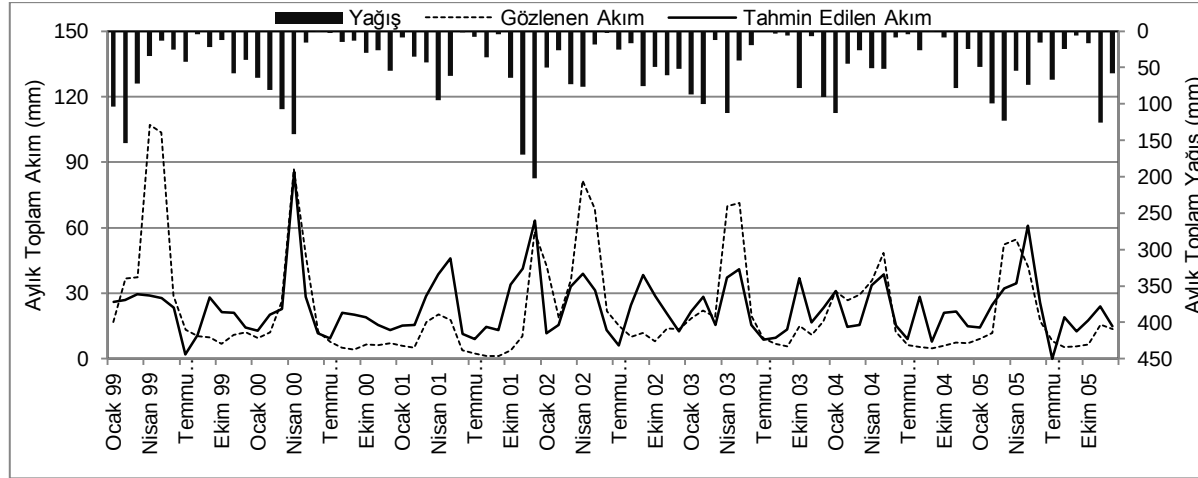
Şekil 7.19 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



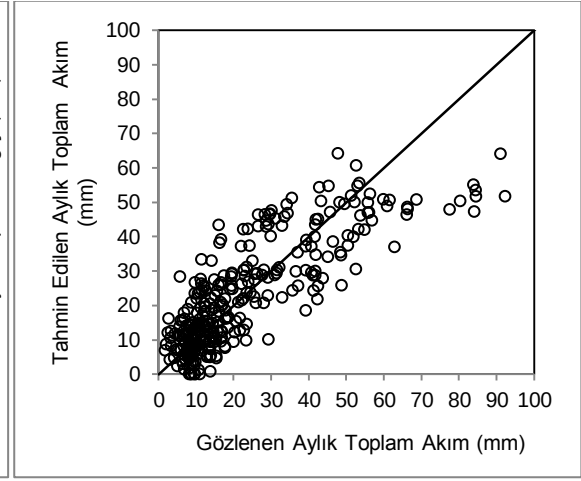
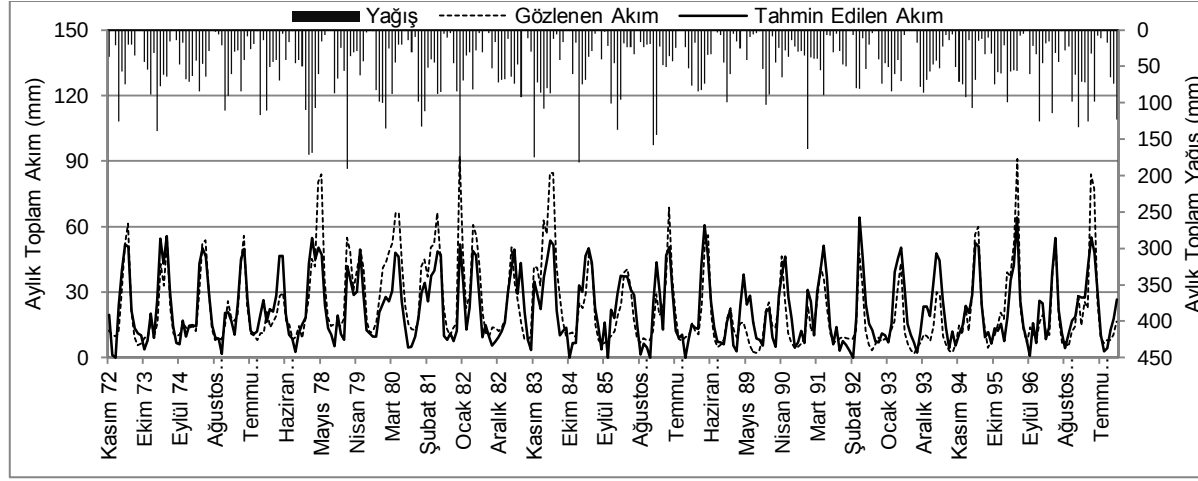
Şekil 7.20 Sazköy (#524) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



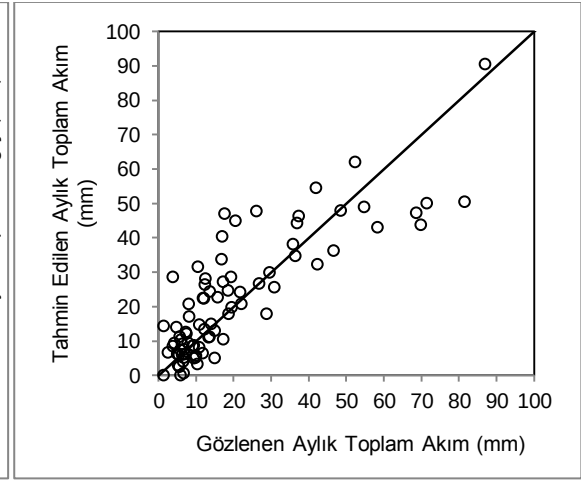
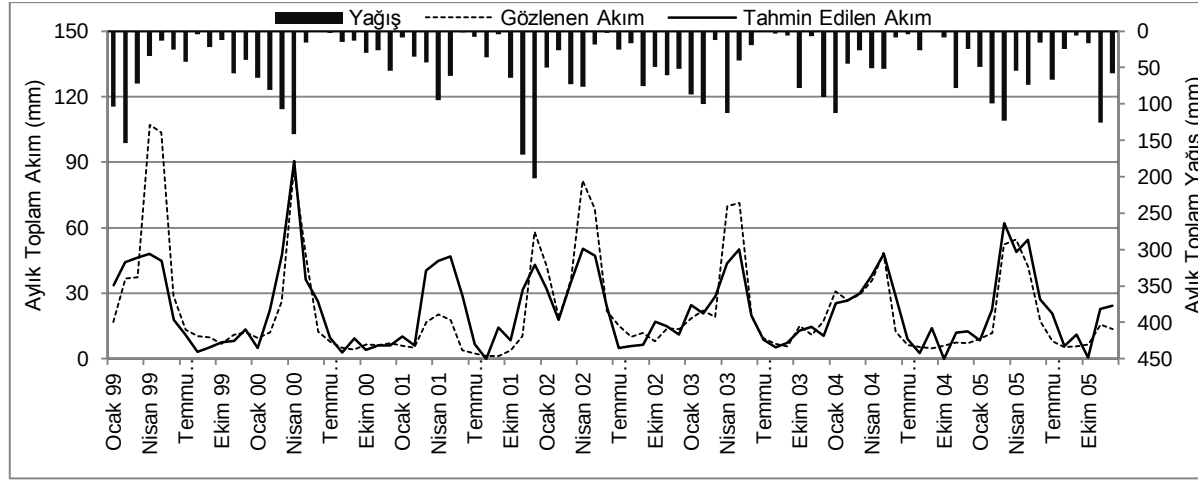
Şekil 7.21 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



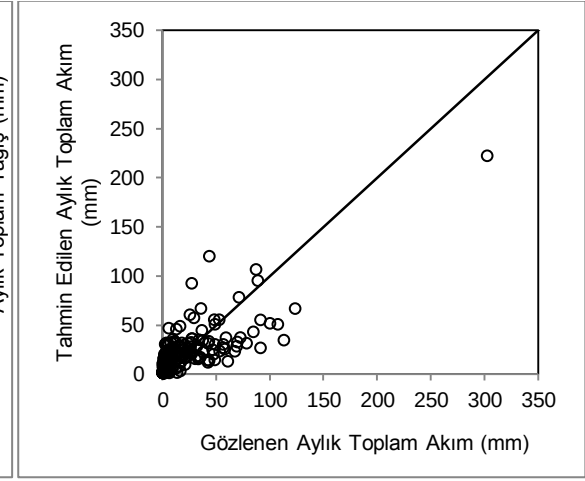
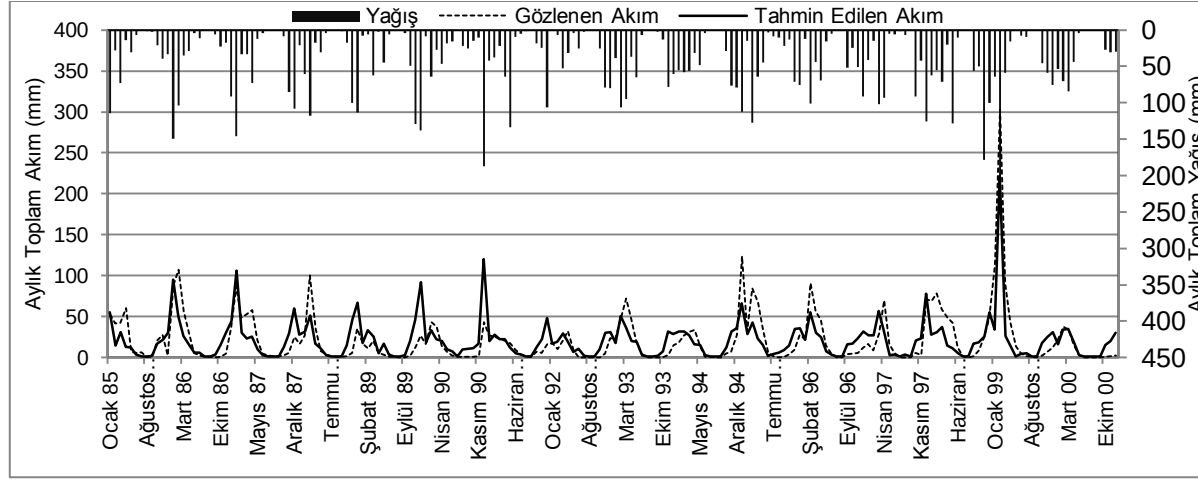
Şekil 7.22 Sazköy (#524) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



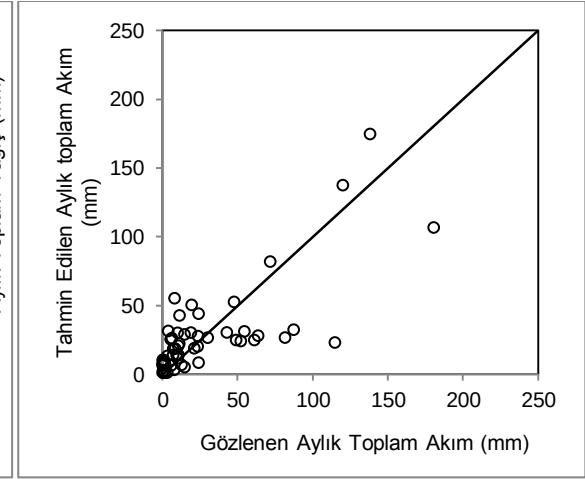
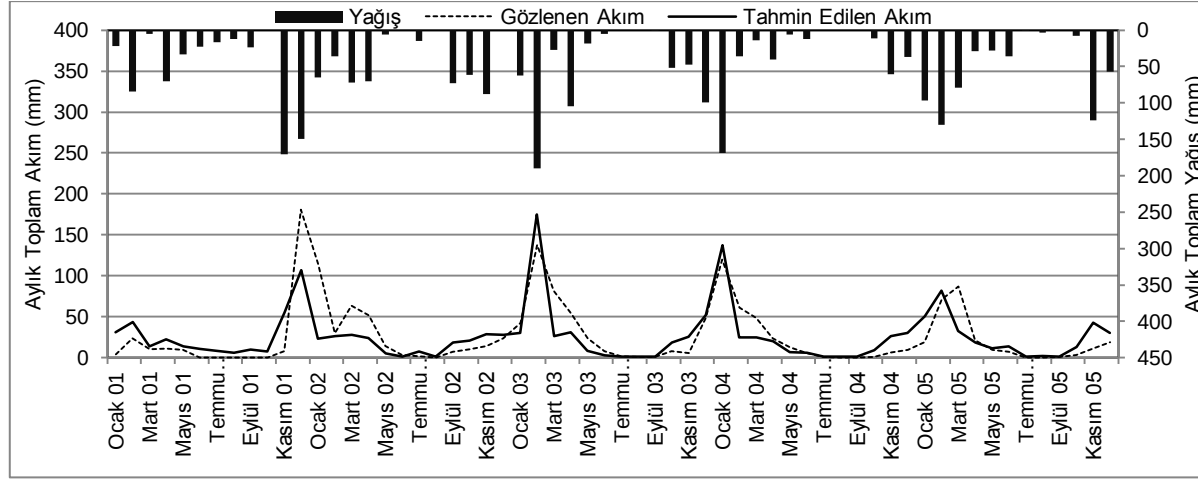
Şekil 7.23 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



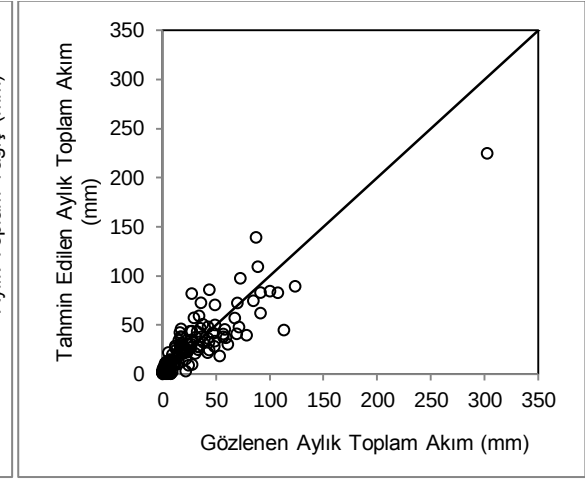
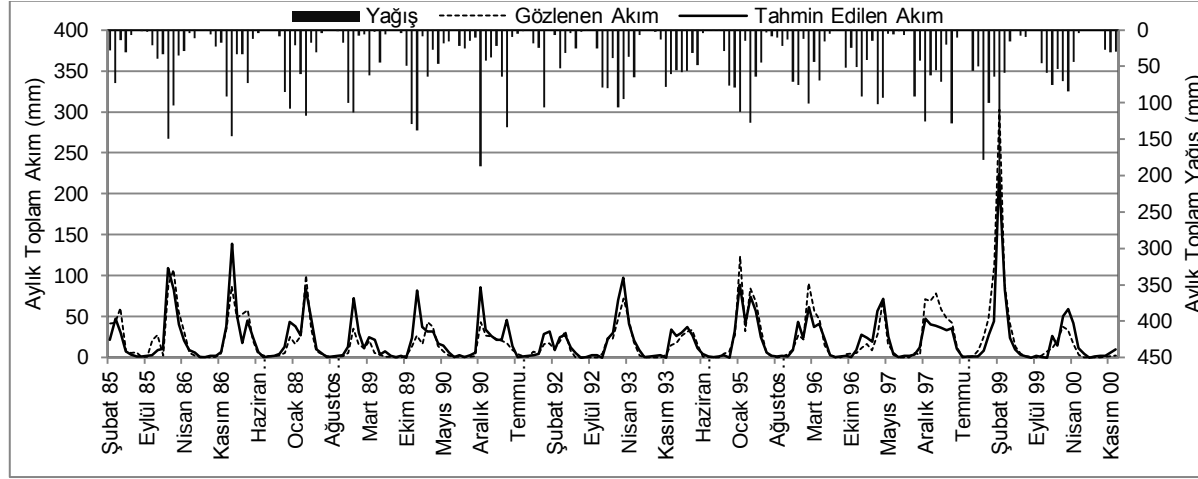
Şekil 7.24 Sazköy (#524) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



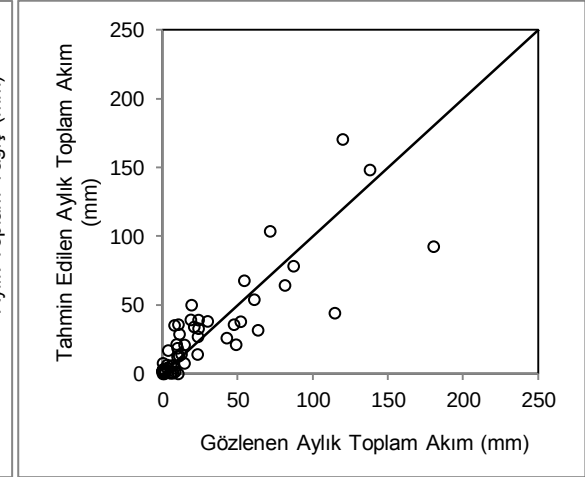
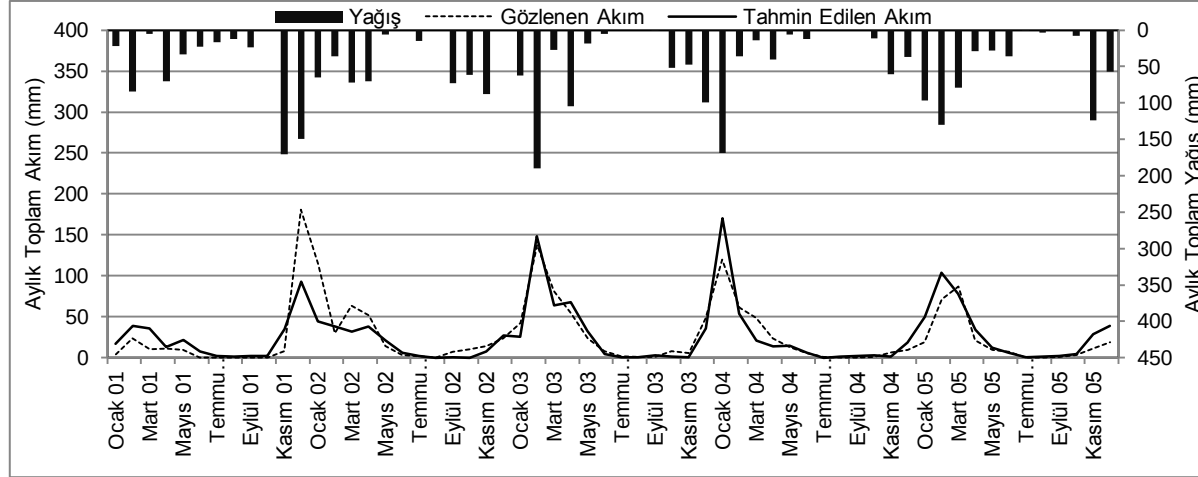
Şekil 7.25 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



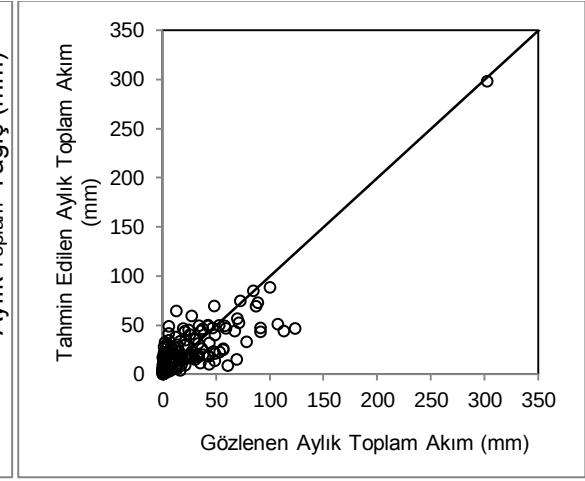
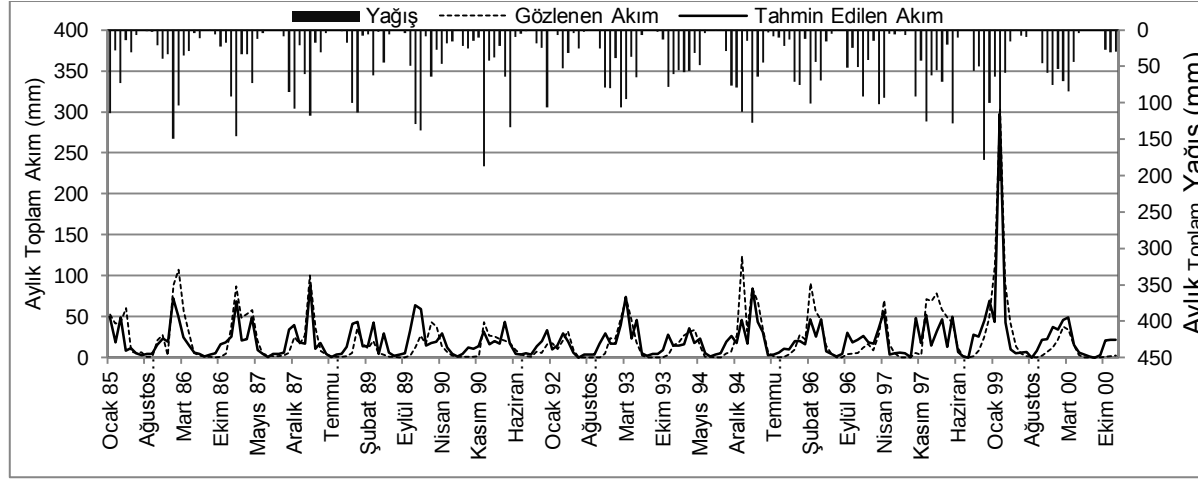
Şekil 7.26 Yiğitler (#525) AGİ Model-1 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



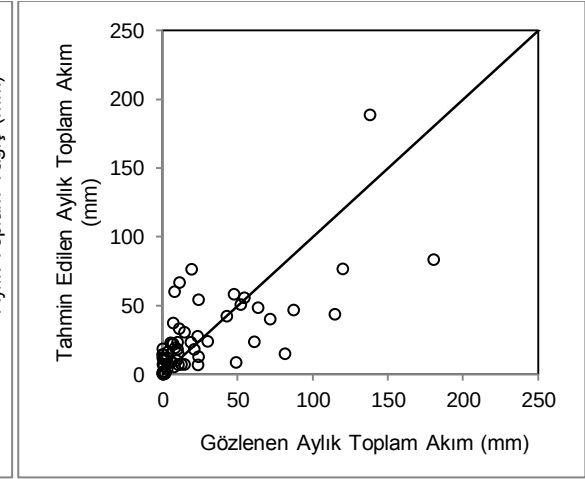
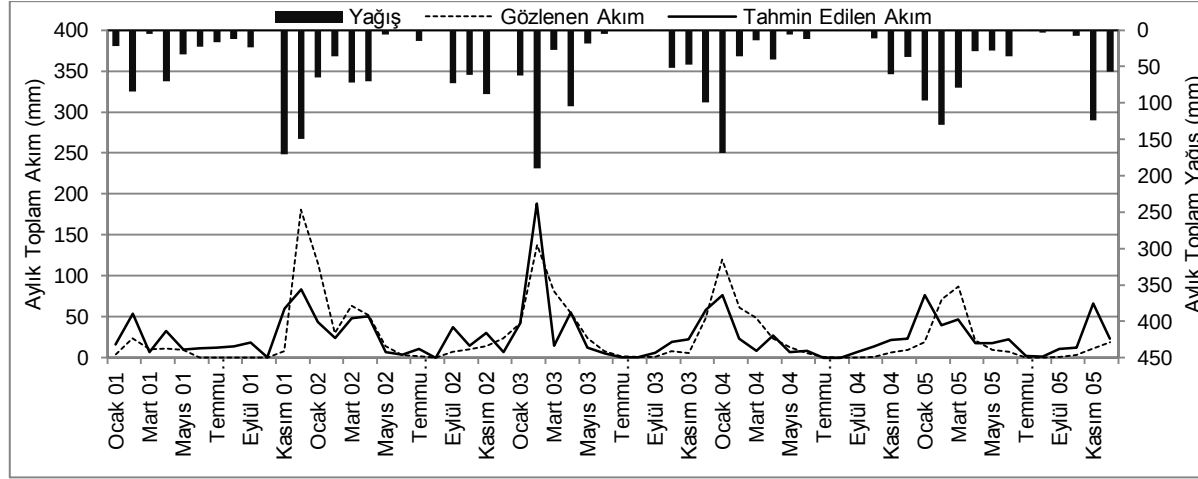
Şekil 7.27 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



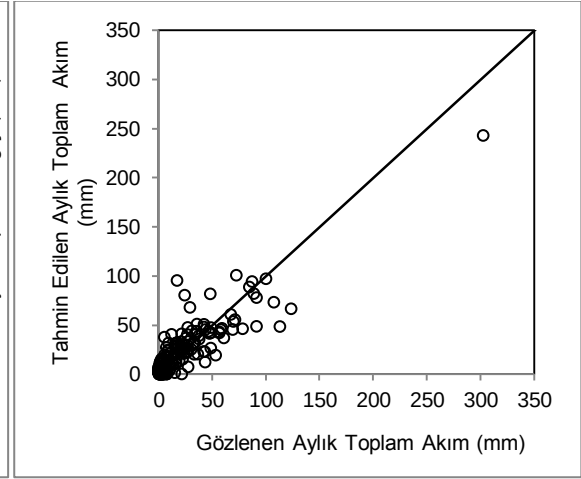
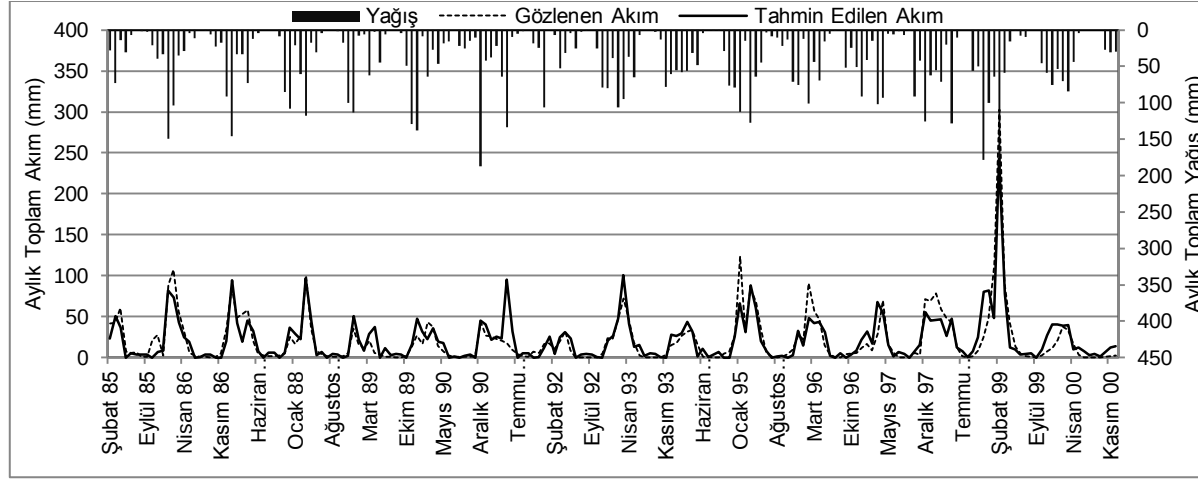
Şekil 7.28 Yiğitler (#525) AGİ Model-2 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



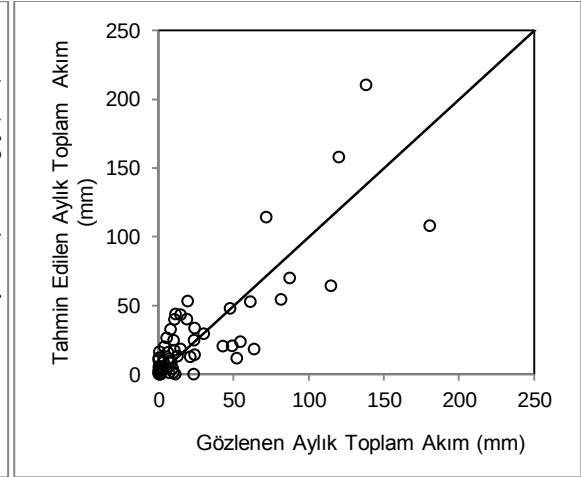
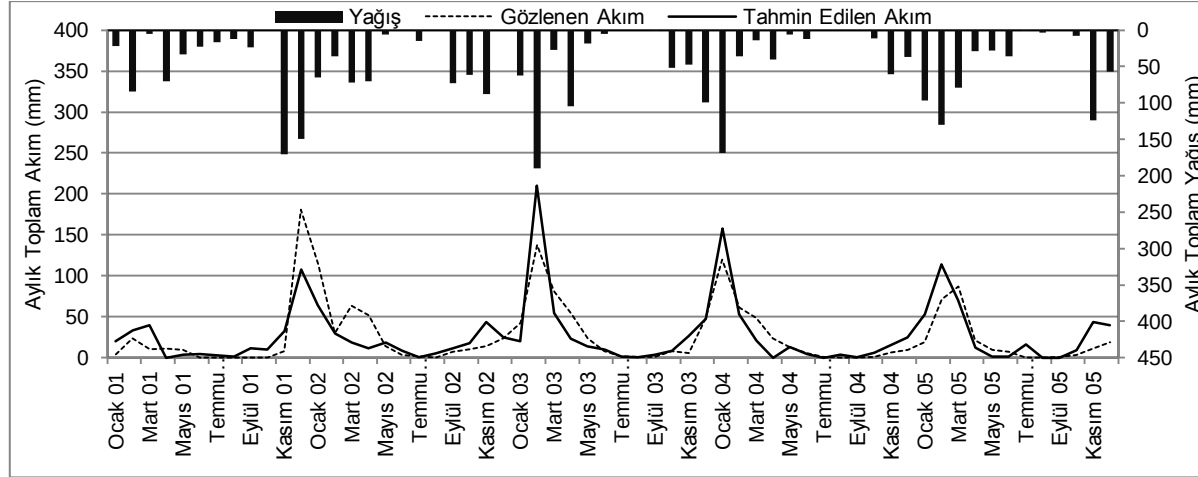
Şekil 7.29 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 7.30 Yiğitler (#525) AGİ Model-3 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 7.31 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Eğitim Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 7.32 Yiğitler (#525) AGİ Model-4 GBS-TS Yöntemi Test Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

BÖLÜM VIII

UYGULAMA III: BULANIKLAŞTIRILMIŞ KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLER

Bu bölümde, bulanık sistemler entegre edilmiş kavramsal hidrolojik modeller ile Gediz Havzasında bulunan dört akım gözlem istasyonunun havzaları aylık olarak modellenmiştir. Uygulama sonuçlarına göre bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modellerin performansları karşılaştırılmıştır.

8.1 Modelleme Genel Prensipleri

Geliştirilen modeller ile amaçlanan, mevcut kavramsal hidrolojik modellere bulanık sistem entegrasyonu sonucunda modellerin performansında iyileşme sağlamaktır.

Bütün modellerin performansları Denklem 6.1, 6.2, 6.3' te verilen, performans ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Buna göre, en küçük OKHK ile en büyük R^2 ve E değerlerine sahip bulanık sistemler en uygun bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik model olarak belirlenmiştir.

Modellerin hesap aşamasında kullanılan yöntemle özgü özellikler ve değerler, model başlıkları altında verilmiştir.

B-GR2M Modeli: GR2M modeline bulanık sistemler entegre edildikten sonra modelin zemin nemi kapasitesi X_1 ve yeraltı suyu değişim katsayısı X_2 parametresi ortadan kalkmıştır. Genetik algoritma ile B-GR2M modelindeki dört bulanık sistemin öncül ve soncul kısım parametreleri ayarlanmıştır. Modeldeki bütün bulanık sistemlerde girdi değişkeni üyelik fonksiyonu sayısı üç adettir. Kalibrasyon aşamasında amaç fonksiyonu olarak Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı kullanılmıştır. Bu aşamada kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 60, çaprazlama oranı 0,6, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Bu değerler bölümdeki bütün B-GR2M modellerinin kalibrasyonu aşamasında aynı kalmıştır.

Daha sonra elde edilen parametre değerleri doğrulama aşamasında sabit tutulup modelin doğrulama aşaması performans değerleri hesaplanmıştır.

B-TWBM-1 Modeli: TBWM-1 modeline bulanık sistemler entegre edildikten sonra modelin zemin nemi kapasitesi X_1 parametresi ortadan kalkmıştır. Genetik algoritma ile B-TWBM-1 modelindeki iki bulanık sistemin öncül ve soncul kısım parametrelerinin ve taban akışı oranı X_2 parametresinin değerleri bulunmuştur. Modeldeki bütün bulanık sistemlerde girdi değişkeni

üyelik fonksiyonu sayısı üç adettir. Kalibrasyon aşamasında amaç fonksiyonu olarak Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı kullanılmıştır. Bu aşamada kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 60, çaprazlama oranı 0,6, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Bu değerler bölümdeki bütün B-TWBM-1 modellerinin kalibrasyonu aşamasında aynı kalmıştır.

Daha sonra elde edilen parametre değerleri doğrulama aşamasında sabit tutulup modelin doğrulama aşaması performans değerleri hesaplanmıştır.

B-TWBM-2 Modeli: TBWM-2 modeline bulanık sistemler entegre edildikten sonra modelin zemin nemi kapasitesi X_1 parametresi ortadan kalkmıştır. Genetik algoritma ile B-TWBM-2 modelindeki iki bulanık sistemin öncül ve soncul kısım parametrelerinin ve zemin nemi kapasitesi X_1 parametresi dışındaki diğer beş parametresinin değerleri bulunmuştur. Modeldeki bütün bulanık sistemlerde girdi değişkeni üyelik fonksiyonu sayısı üç adettir. Kalibrasyon aşamasında amaç fonksiyonu olarak Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı kullanılmıştır. Bu aşamada kullanılan genetik algoritma parametreleri; toplum büyüklüğü 60, çaprazlama oranı 0,6, mutasyon oranı 0,1, elit birey sayısı 2 olarak alınmıştır. Bu değerler bölümdeki bütün B-TWBM-2 modellerinin kalibrasyonu aşamasında aynı kalmıştır.

Daha sonra elde edilen parametre değerleri doğrulama aşamasında sabit tutulup modelin doğrulama aşaması performans değerleri hesaplanmıştır.

8.2 Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Medar Çayı-Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının B-GR2M, B-TWBM-1 ve B-TWBM-2 bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modelleri ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

8.2.1 B-GR2M Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.1' de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.2' de verilmektedir.

Çizelge 8.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,86	0,90
OKHK	2,93	4,14
E	0,86	0,88

Çizelge 8.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,05	0,01	0,01	0,02
x_{mak}	47,53	45,27	75,40	73,32
$\bar{x}$	4,94	4,96	7,96	9,19
S_x	7,57	7,29	12,05	12,28
C_{sx}	2,65	2,68	3,30	2,92

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.1' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.2' de verilmiştir.

8.2.2 B-TWBM-1 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.3' te ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.4' te verilmiştir. B-TWBM-1 model parametresi X_1 kalibrasyon sonucunda 17,65 mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 8.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,90	0,88
OKHK	2,49	4,27
E	0,90	0,87

Çizelge 8.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,05	0,18	0,01	0,44
x_{mak}	47,53	43,91	75,40	70,70
$\bar{x}$	4,94	5,57	7,96	9,05
s_x	7,57	7,28	12,05	11,01
c_{sx}	2,65	2,47	3,30	3,34

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.3' te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.4' te verilmiştir.

8.2.3 B-TWBM-2 Modeli ile Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzasının Modellenmesi

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının B-TWBM-2 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 8.5' te verilmiştir.

Çizelge 8.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri

X_2	$X_3 (^{\circ}C)$	$X_4 (^{\circ}C)$	X_5	X_6
27,49	0,94	-8,09	0,06	0,81

B- TWBM-2 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.6' da ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.7' de verilmiştir.

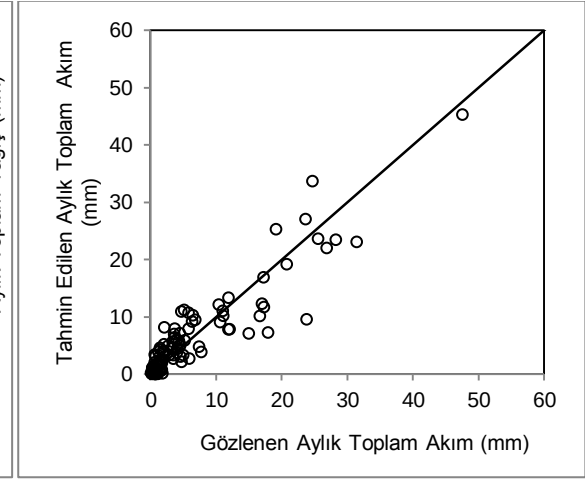
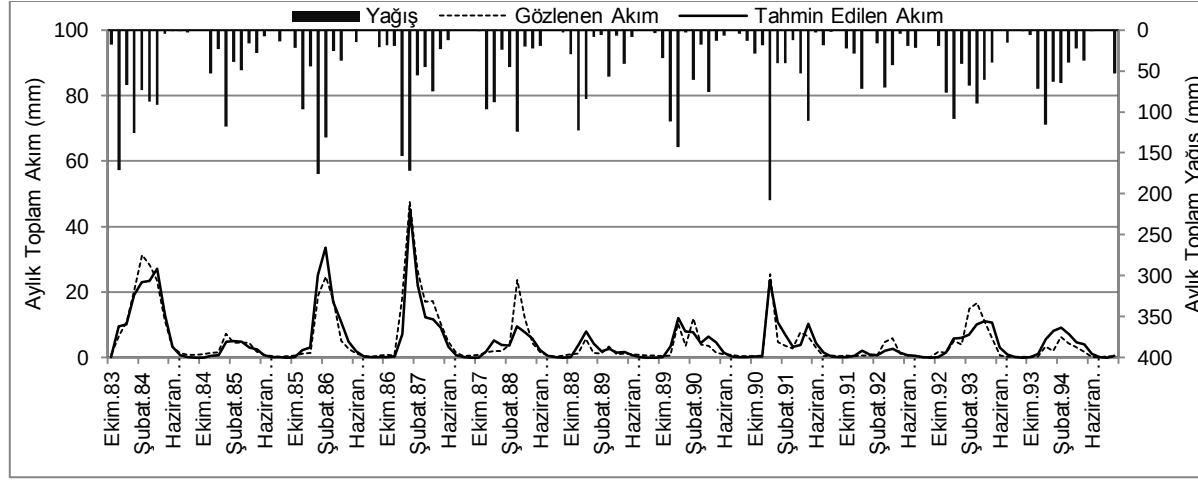
Çizelge 8.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,86	0,86
OKHK	2,99	4,77
E	0,85	0,84

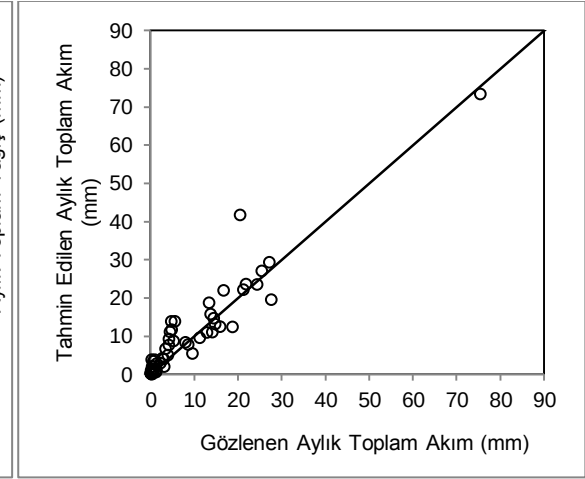
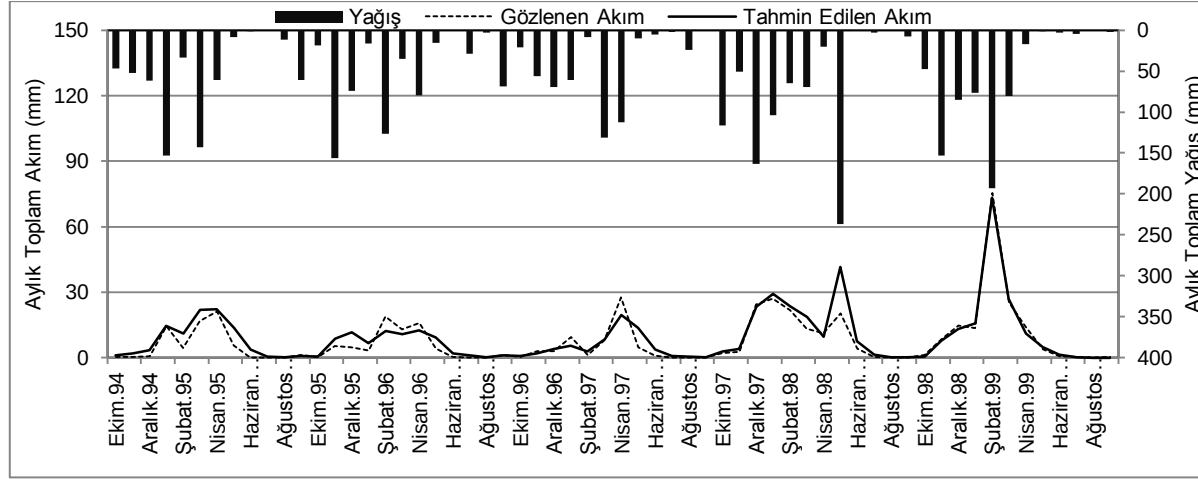
Çizelge 8.7 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,05	0,54	0,01	0,54
x_{mak}	47,53	36,56	75,40	50,38
$\bar{x}$	4,94	5,51	7,96	9,05
s_x	7,57	7,33	12,05	10,12
c_{sx}	2,65	2,18	3,30	1,71

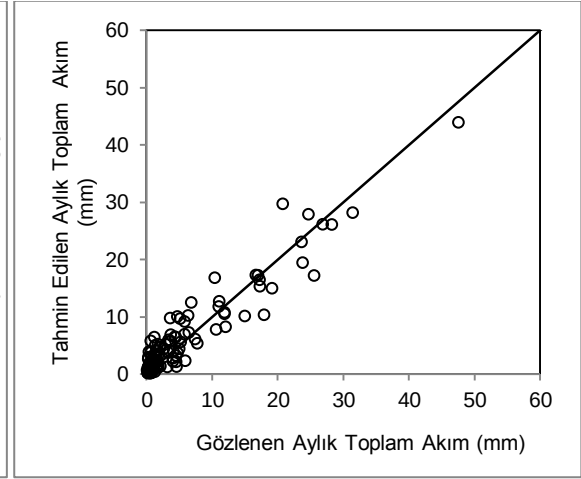
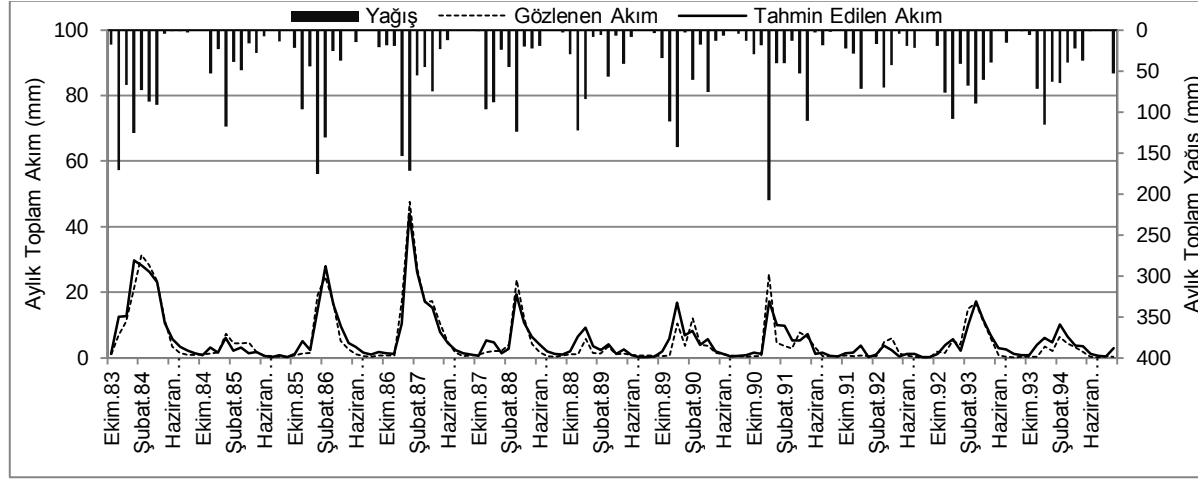
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.5' te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.6' da verilmiştir.



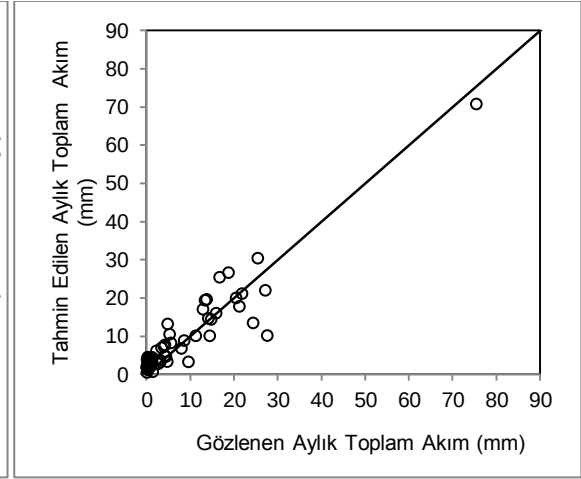
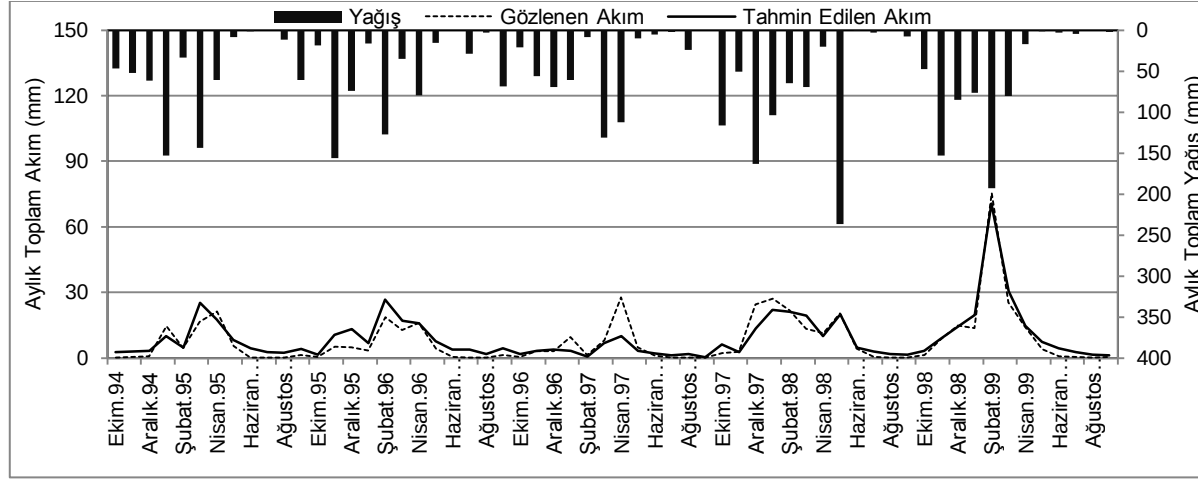
Şekil 8.1 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



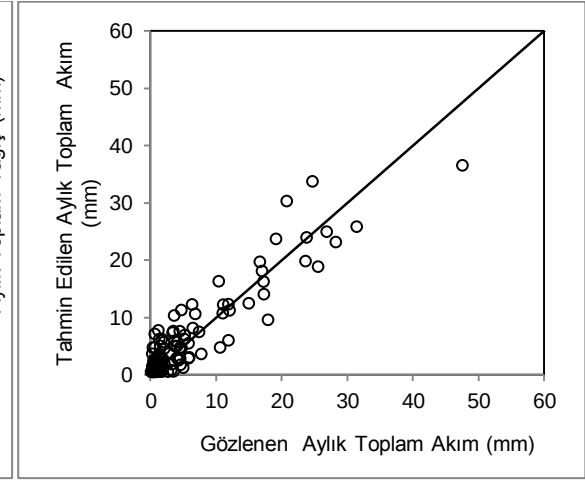
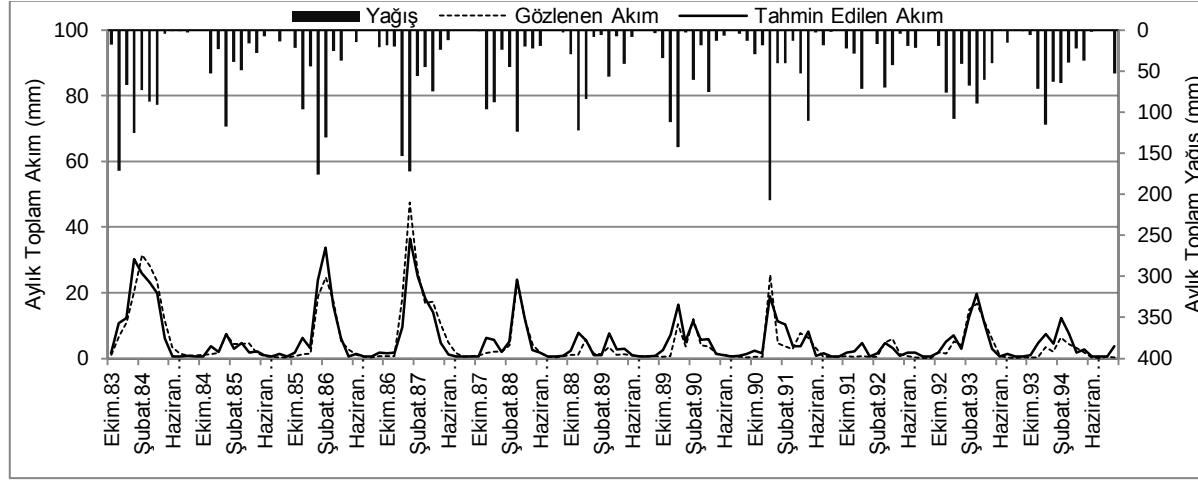
Şekil 8.2 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



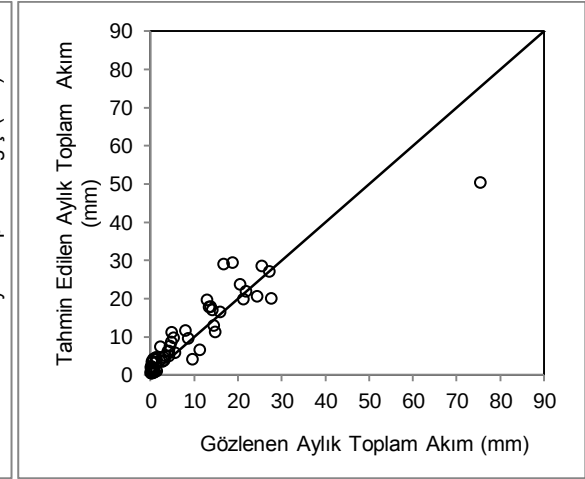
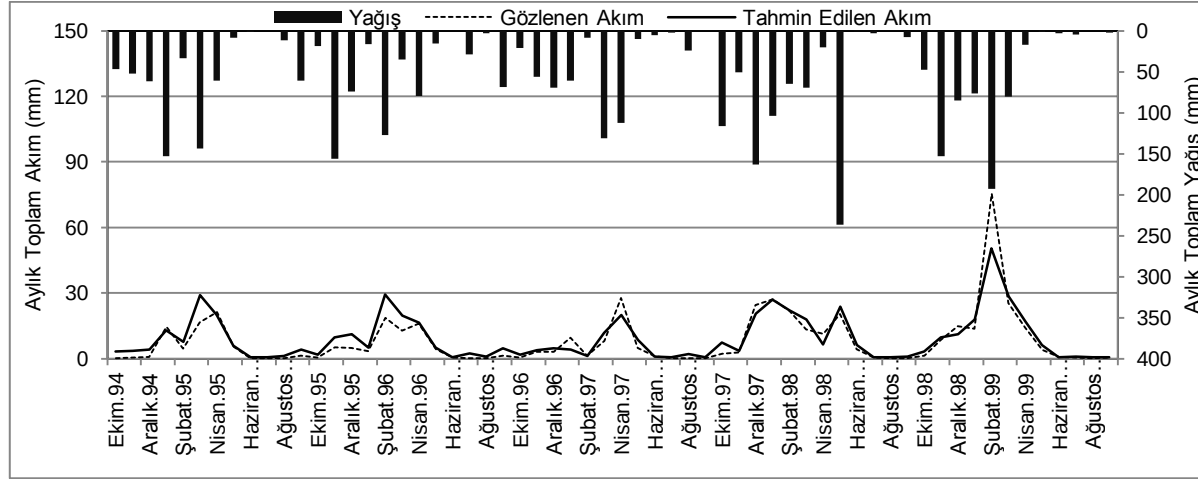
Şekil 8.3 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.4 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.5 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.6 Kayalıoğlu (#509) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

8.3 Gediz Nehri-Acisu (#523) AGİ Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Gediz Nehri-Acisu (#523) AGİ havzasının B-GR2M, B-TWBM-1 ve B-TWBM-2 bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modeller ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

8.3.1 B-GR2M Modeli ile Acisu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.8' de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.9' da verilmektedir.

Çizelge 8.8 Acisu (#523) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,86	0,78
OKHK	3,50	2,67
E	0,86	0,76

Çizelge 8.9 Acisu (#523) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,16	0,70	0,06	0,70
x_{mak}	61,63	39,92	22,10	19,28
$\bar{x}$	8,35	7,54	4,99	5,03
S_x	10,69	8,73	5,52	4,14
C_{sx}	2,49	1,82	1,42	1,17

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.7' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.8' de gösterilmektedir.

8.3.2 B-TWBM-1 Modeli ile Acisu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.10' da ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.11' de verilmektedir. B-TWBM-1 model parametresi X_1 kalibrasyon sonucunda 1,76 mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 8.10 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,77	0,68
OKHK	4,61	3,62
E	0,76	0,56

Çizelge 8.11 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,16	0,50	0,06	1,07
x_{mak}	61,63	42,34	22,10	16,32
$\bar{x}$	8,35	8,11	4,99	6,87
S_x	10,69	7,37	5,52	4,30
C_{sx}	2,49	1,81	1,42	0,47

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.9' da, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.10' da gösterilmektedir.

8.3.3 B-TWBM-2 Modeli ile Acısu (#523) AGİ Havzasının Modellenmesi

Acısu (#523) AGİ havzasının B-TWBM-2 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 8.12' de verilmektedir.

Çizelge 8.12 Acısu (#523) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri

X_2	$X_3 (^{\circ}C)$	$X_4 (^{\circ}C)$	X_5	X_6
0,63	1,01	-9,22	0,08	0,59

B-TWBM-2 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.13' te ve sonuçların istatistikleri 8.14' te verilmektedir.

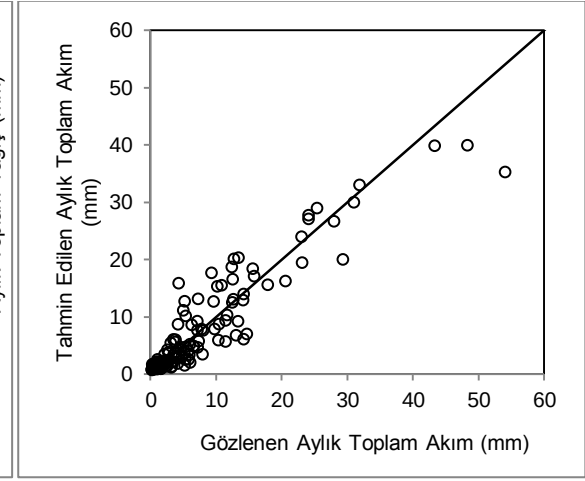
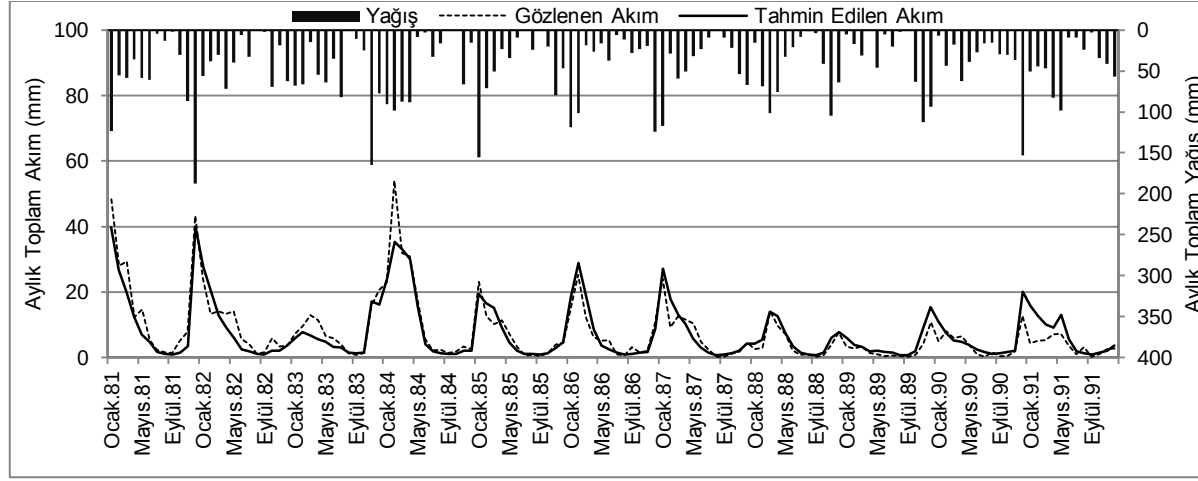
Çizelge 8.13 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,74	0,61
OKHK	4,80	3,61
E	0,74	0,56

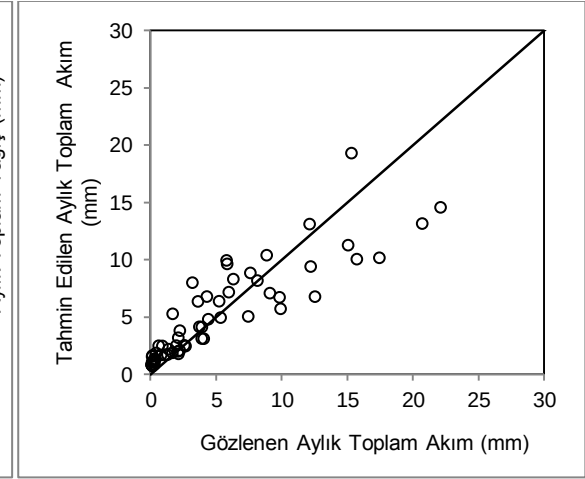
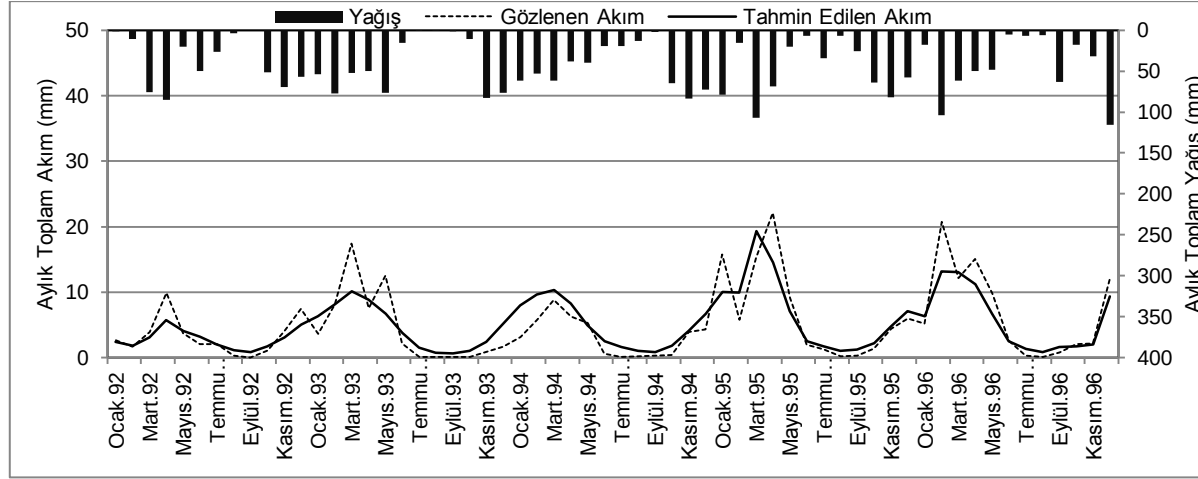
Çizelge 8.14 Acısu (#523) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,16	0,49	0,06	0,49
x_{mak}	61,63	51,42	22,10	14,10
$\bar{x}$	8,35	7,85	4,99	6,16
s_x	10,69	7,99	5,52	4,20
c_{sx}	2,49	2,40	1,42	0,26

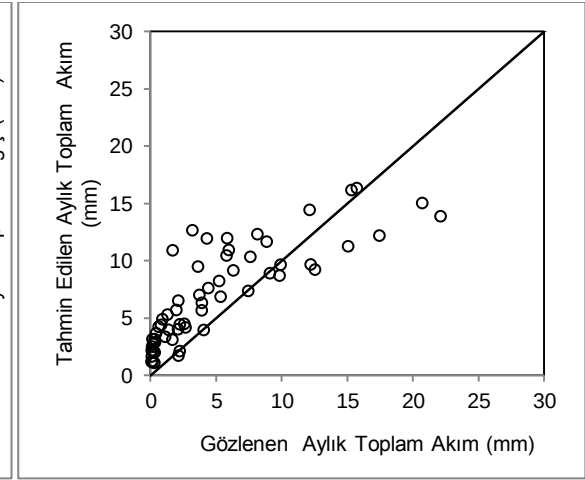
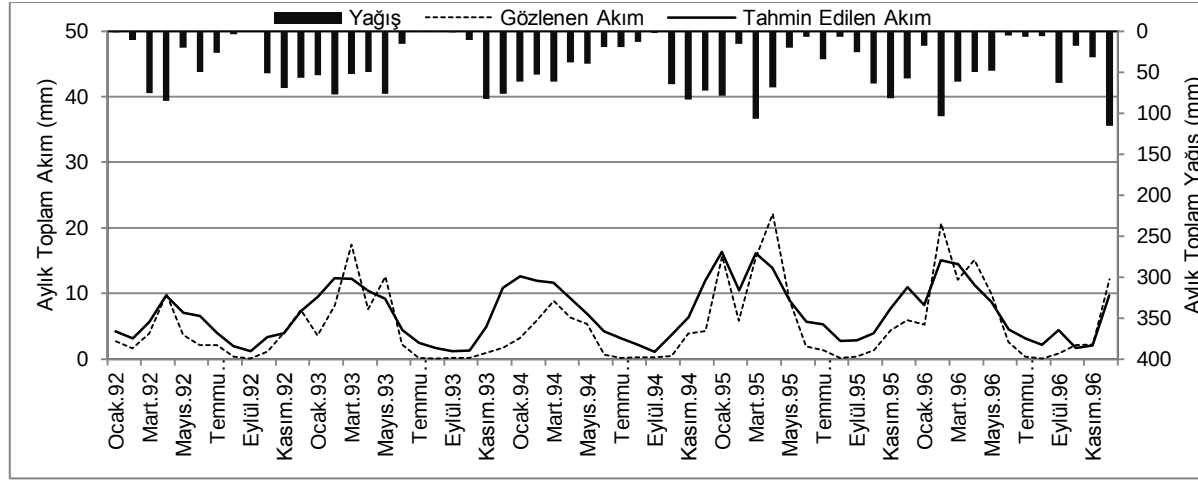
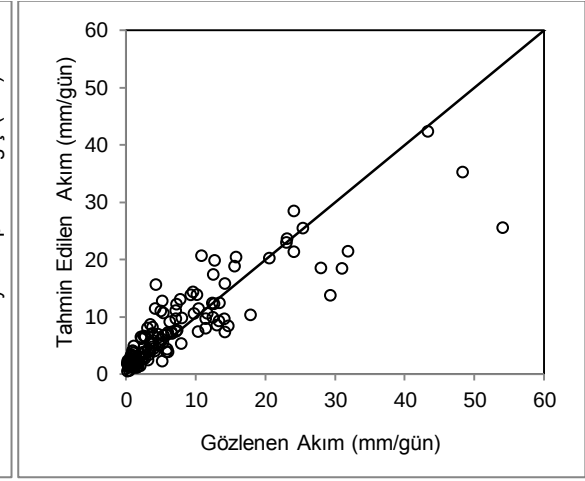
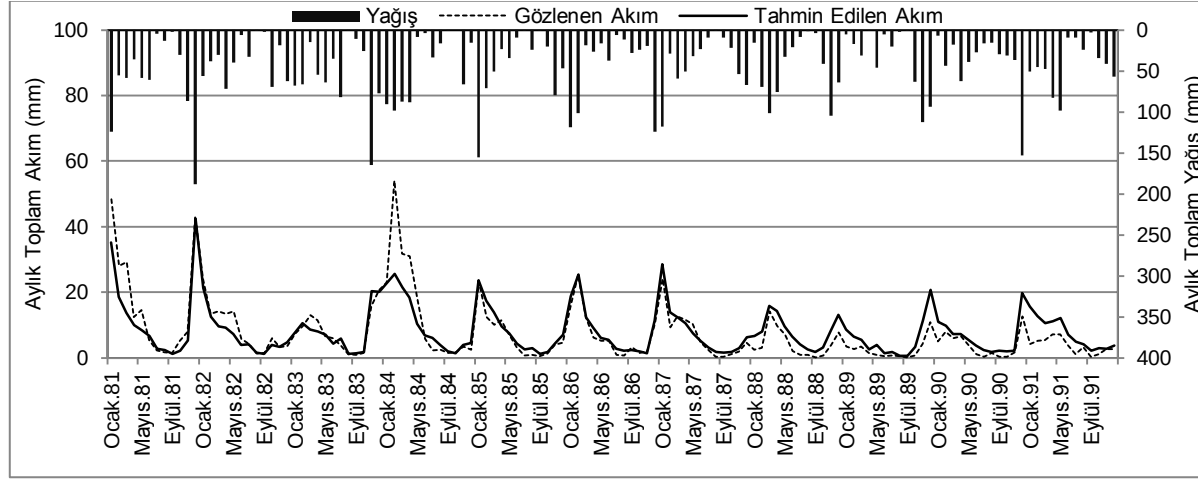
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.11' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.12' de gösterilmektedir.

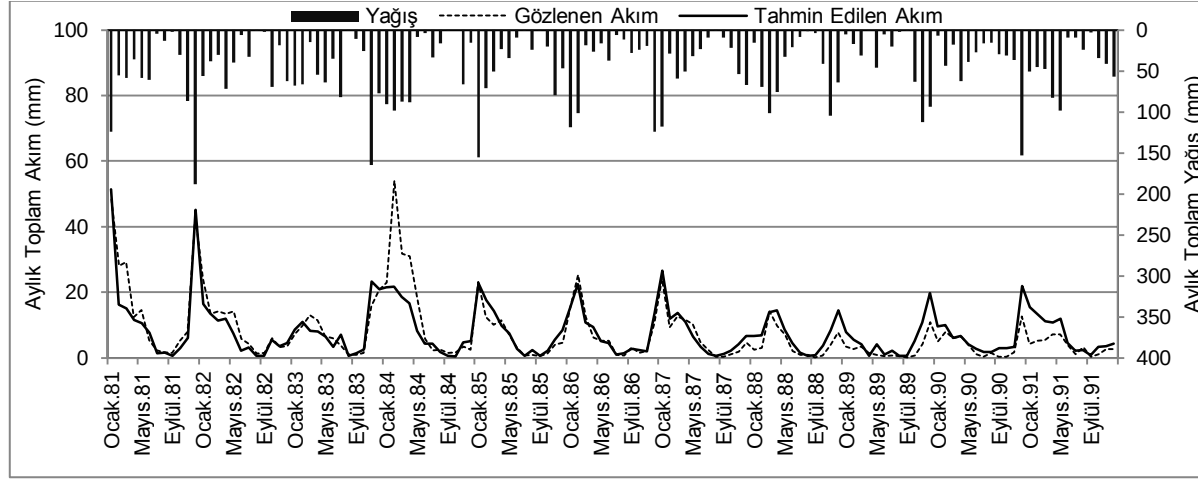


Şekil 8.7 Acisu (#523) AGİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

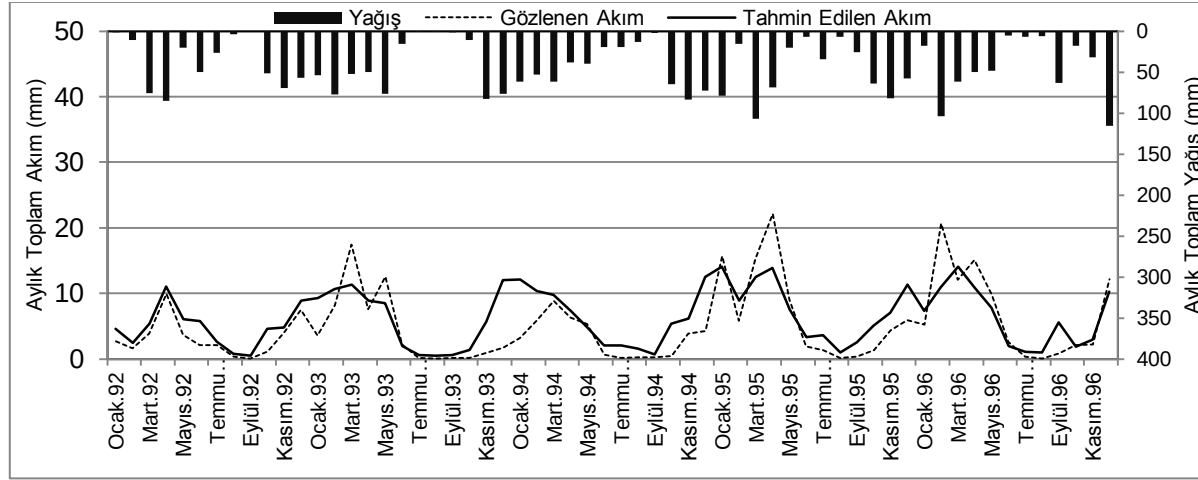


Şekil 8.8 Acisu (#523) AGİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri





Şekil 8.11 Acısı (#523) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.12 Acısı (#523) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

8.4 Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Murat Çayı-Sazköy (#524) AGİ havzasının B-GR2M, B-TWBM-1 ve B-TWBM-2 bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modeller ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

8.4.1 B-GR2M Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.15’ te ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.16’ da verilmiştir.

Çizelge 8.15 Sazköy (#524) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,79	0,58
OKHK	8,37	11,00
E	0,79	0,57

Çizelge 8.16 Sazköy (#524) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,99	1,51	1,69	1,25
x_{mak}	92,22	88,45	91,00	51,02
$\bar{x}$	24,79	23,32	17,62	17,46
s_x	18,93	17,11	17,00	11,70
c_{sx}	1,25	1,29	2,15	0,84

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.13’ te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.14’ te verilmiştir.

8.4.2 B-TWBM-1 Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.17’ de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.18’ de verilmiştir. B-TWBM-1 model parametresi X_1 kalibrasyon sonucunda 2,69 mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 8.17 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,66	0,48
OKHK	10,91	13,16
E	0,65	0,39

Çizelge 8.18 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,99	1,11	1,69	4,25
x_{mak}	92,22	84,09	91,00	45,75
$\bar{x}$	24,79	23,42	17,62	22,47
S_x	18,93	13,94	17,00	10,71
C_{sx}	1,25	0,81	2,15	0,15

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.15' te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.16' da verilmiştir.

8.4.3 B-TWBM-2 Modeli ile Sazköy (#524) AGİ Havzasının Modellenmesi

Sazköy (#524) AGİ havzasının B-TWBM-2 modeliyle modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 8.19' da verilmiştir.

Çizelge 8.19 Sazköy (#524) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri

X_2	$X_3(^{\circ}C)$	$X_4(^{\circ}C)$	X_5	X_6
4,81	2,53	-4,23	0,28	0,23

B-TWBM modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.20 ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.21' de verilmiştir.

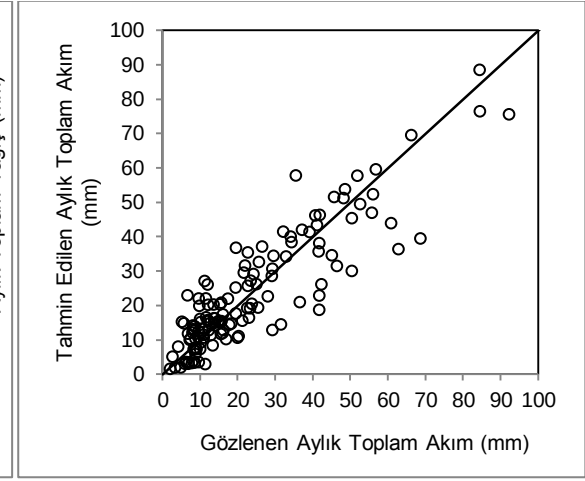
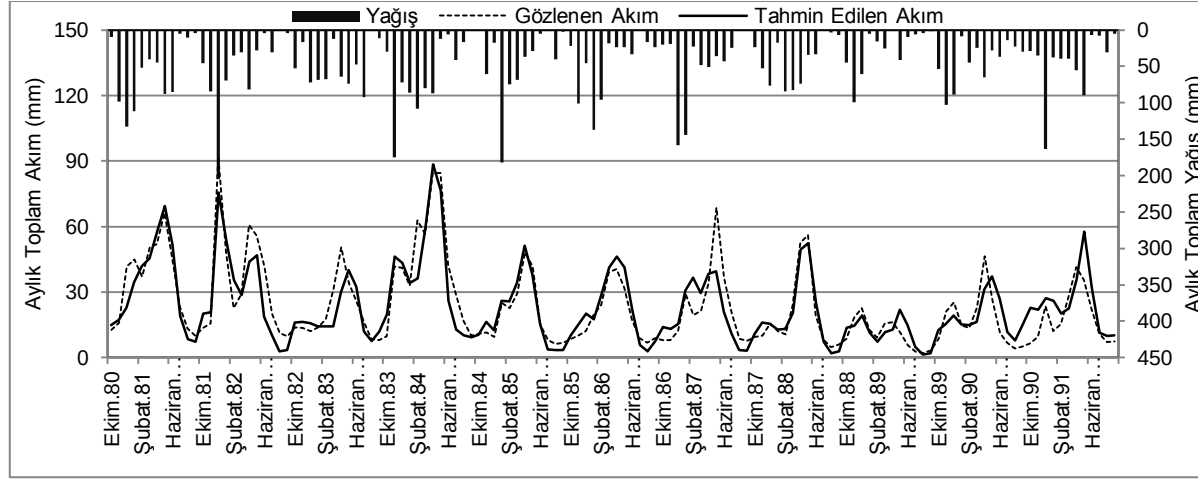
Çizelge 8.20 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri' de

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,72	0,58
OKHK	9,83	11,22
E	0,72	0,56

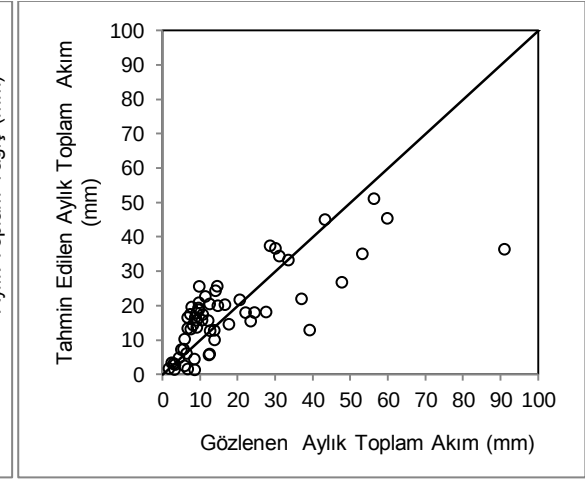
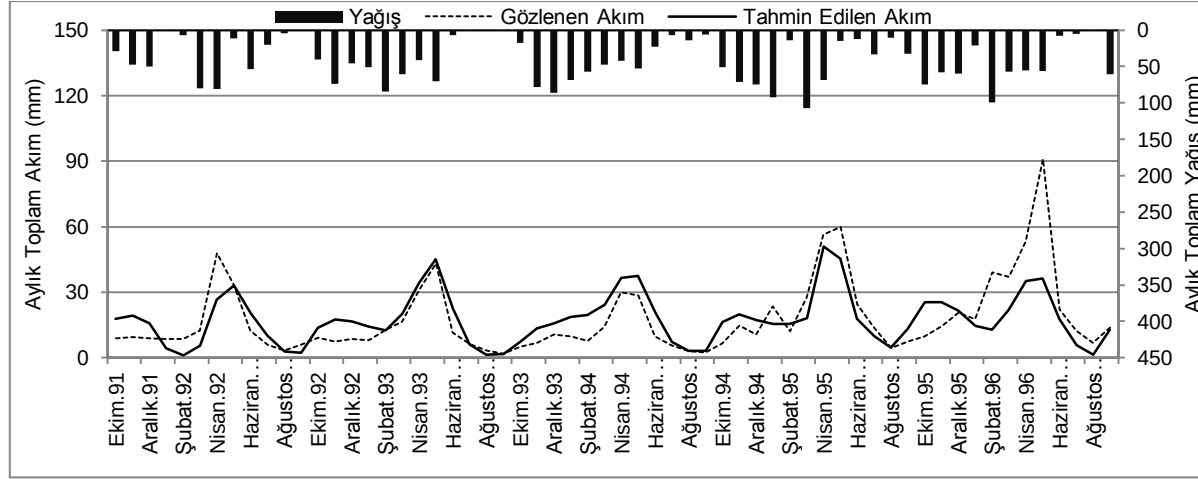
Çizelge 8.21 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	1,99	1,33	1,69	1,68
x_{mak}	92,22	85,48	91,00	43,75
$\bar{x}$	24,79	23,37	17,62	19,88
s_x	18,93	14,98	17,00	11,68
c_{sx}	1,25	0,74	2,15	0,52

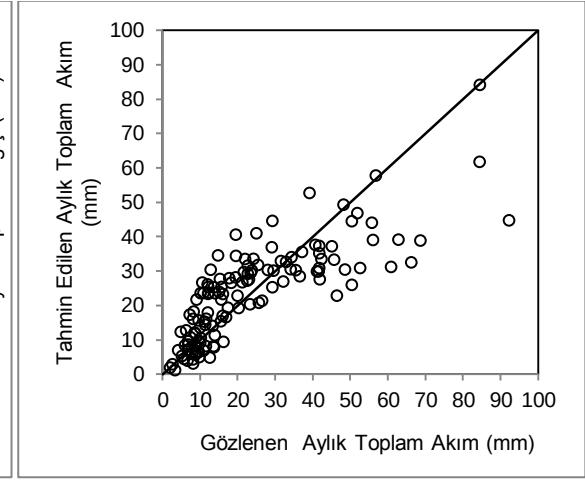
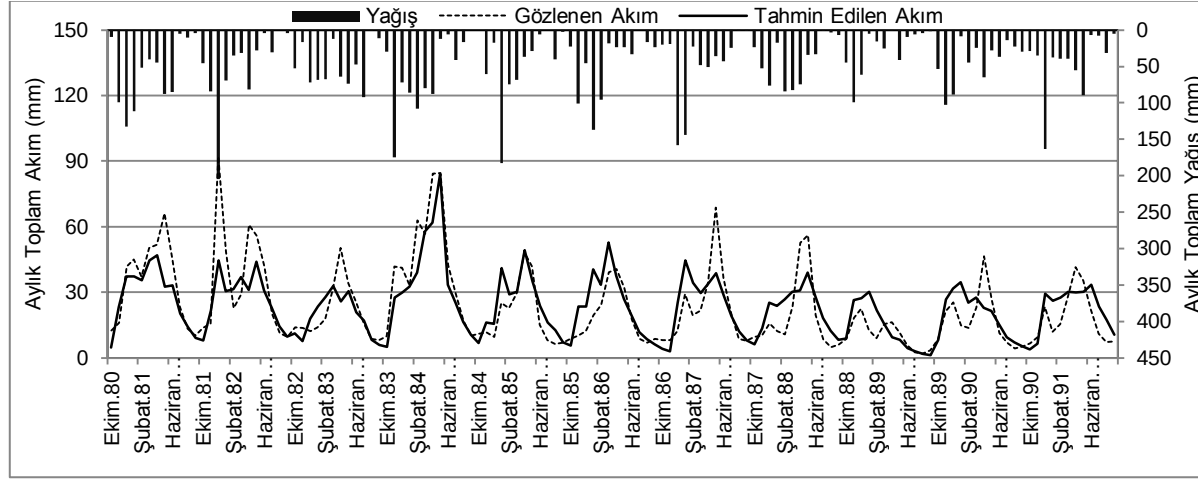
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.17' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.18' de verilmiştir.



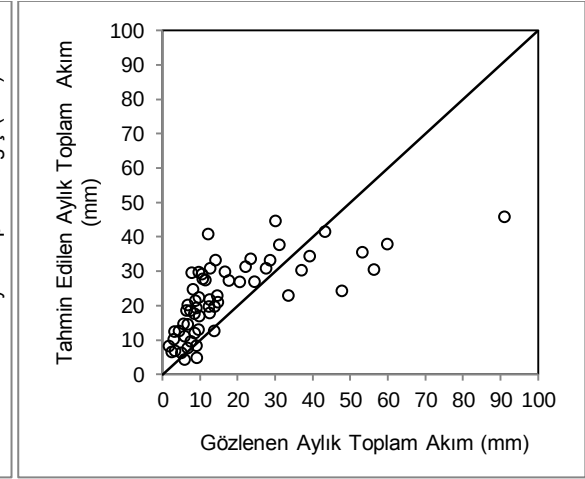
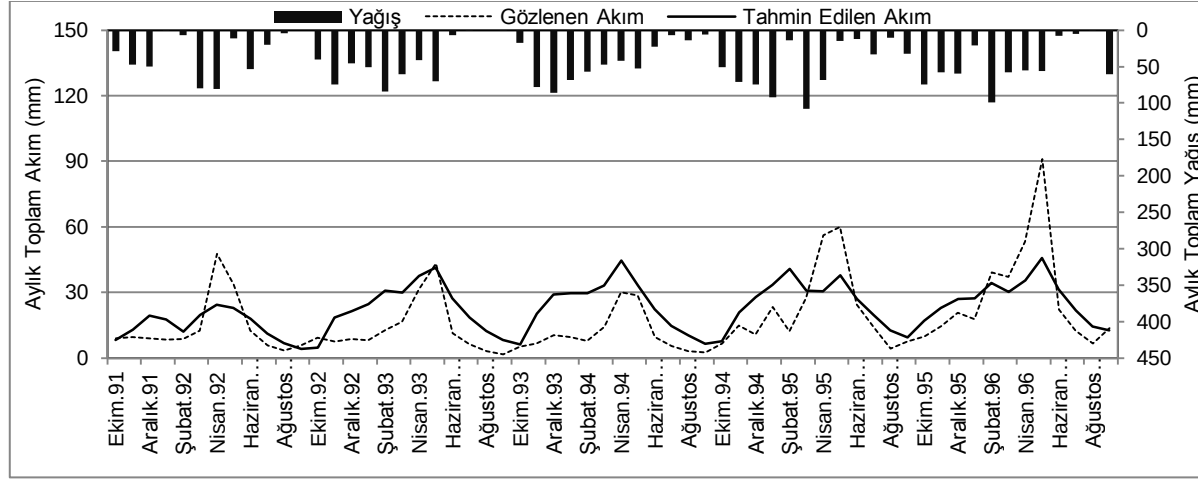
Şekil 8.13 Sazköy (#524) AĞİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



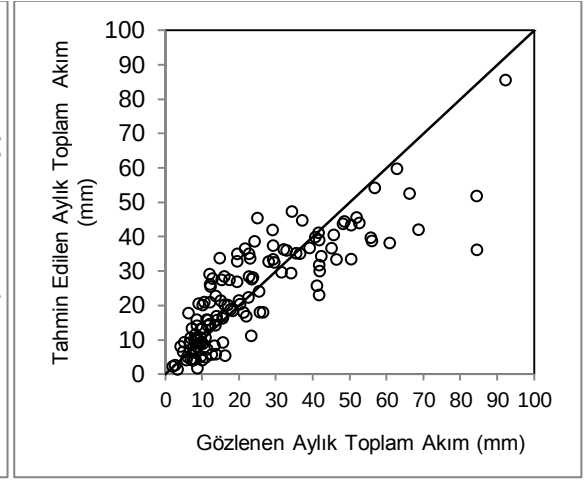
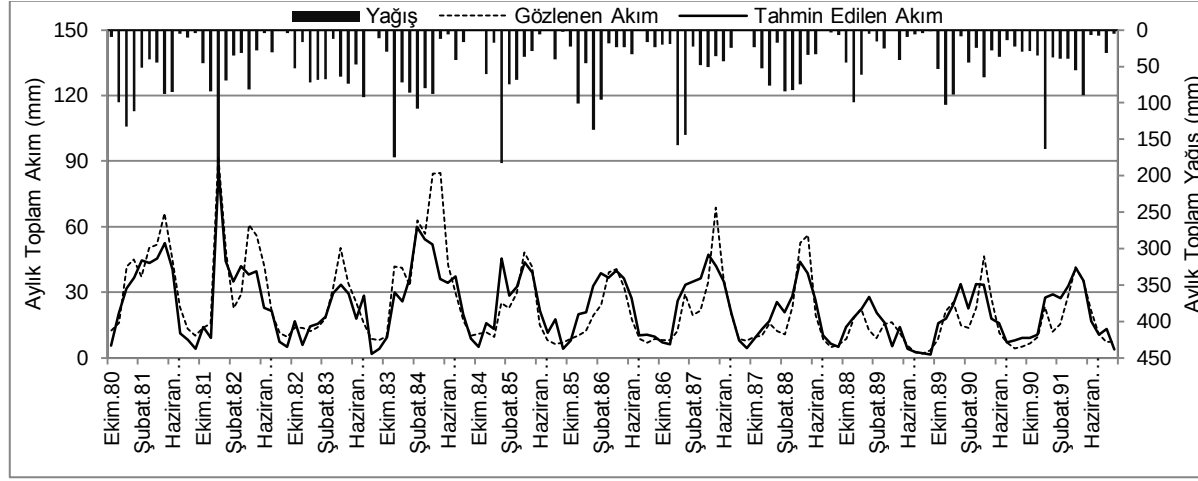
Şekil 8.14 Sazköy (#524) AĞİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



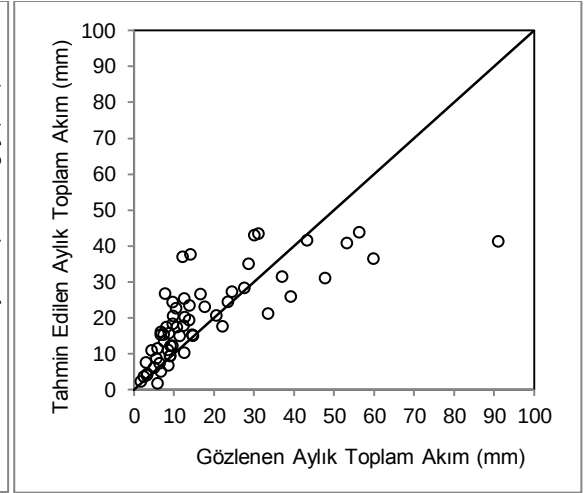
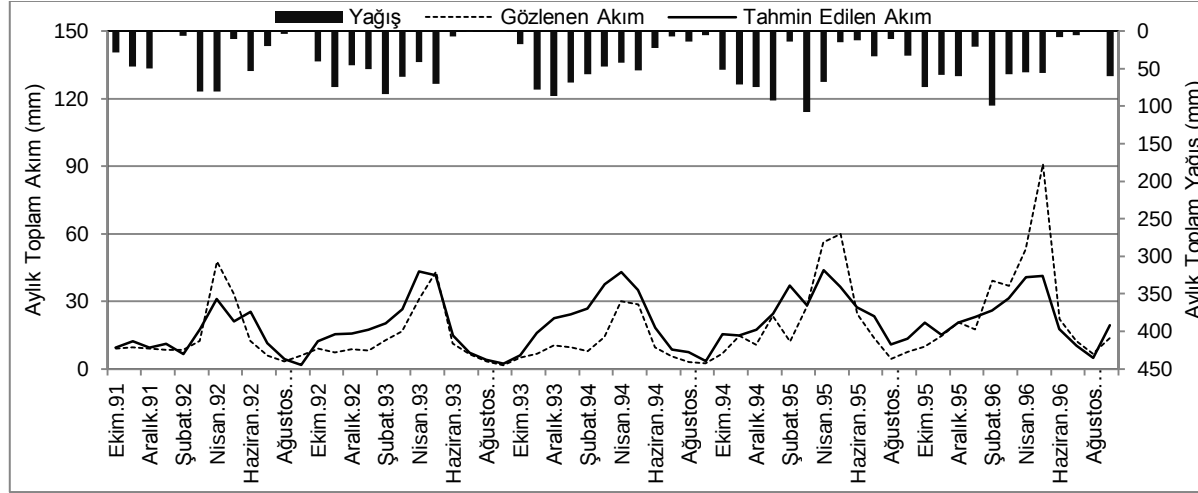
Şekil 8.15 Sazköy (#524) AĞİ B-TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.16 Sazköy (#524) AĞİ B-TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.17 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.18 Sazköy (#524) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

8.5 Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Bulanıklaştırılmış Kavramsal Hidrolojik Modeller ile Modellenmesi

Yiğitler Deresi-Yiğitler (#525) AGİ havzasının B-GR2M, B-TWBM-1 ve B-TWBM-2 bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modeller ile modellenmesi sonuçları modeller için ayrı ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

8.5.1 B-GR2M Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-GR2M modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.22' de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.23' te verilmiştir.

Çizelge 8.22 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,78	0,79
OKHK	11,19	23,56
E	0,77	0,77

Çizelge 8.23 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,85	0,00	0,41
x_{mak}	123,46	80,97	302,40	261,84
$\bar{x}$	18,85	19,39	28,13	25,24
s_x	24,95	19,09	50,04	38,68
c_{sx}	1,94	1,29	3,56	4,23

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.19' da, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.20' de verilmiştir.

8.5.2 B-TWBM-1 Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

B-TWBM-1 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.24' te ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.25' de verilmiştir. B-TWBM-1 model parametresi X_1 kalibrasyon sonucunda 8,97 mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 8.24 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,72	0,76
OKHK	12,61	30,54
E	0,71	0,62

Çizelge 8.25 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-1 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,47	0,00	0,47
x_{mak}	123,46	93,15	302,40	112,05
$\bar{x}$	18,85	20,07	28,13	23,14
S_x	24,95	20,31	50,04	25,52
C_{sx}	1,94	1,30	3,56	1,50

Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.21' de, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.22' de verilmiştir.

8.5.3 B-TWBM-2 Modeli ile Yiğitler (#525) AGİ Havzasının Modellenmesi

Yiğitler (#525) AGİ havzasının B-TWBM-2 ile modellenmesi sonucunda, kalibrasyon aşamasında elde edilen model parametreleri Çizelge 8.26' da verilmiştir.

Çizelge 8.26 Yiğitler (#525) AGİ Havzası İçin B-TWBM-2 Model Parametreleri

X_2	$X_3 (^{\circ}C)$	$X_4 (^{\circ}C)$	X_5	X_6
3,07	1,02	-4,88	0,23	0,92

B-TWBM-2 modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamasına ait performans değerleri Çizelge 8.27' de ve sonuçların istatistikleri Çizelge 8.28'de verilmiştir.

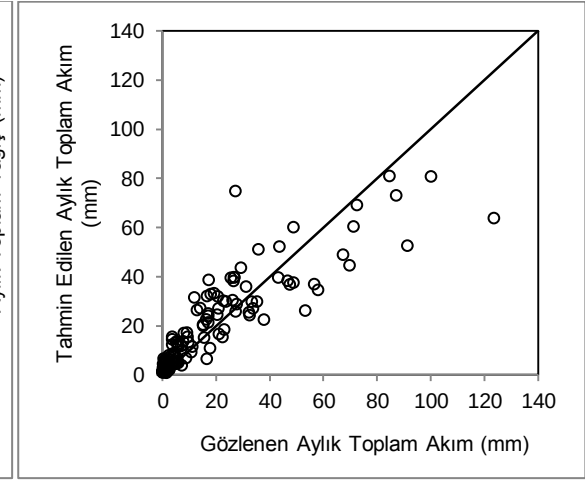
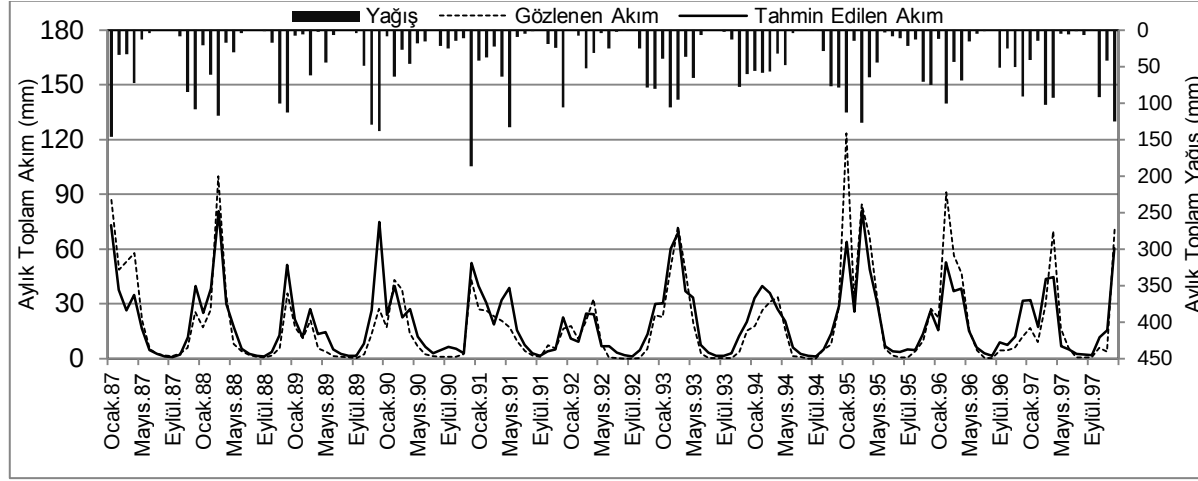
Çizelge 8.27 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Performans Ölçütü	Kalibrasyon Aşaması	Doğrulama Aşaması
R^2	0,76	0,81
OKHK	12,24	28,67
E	0,73	0,67

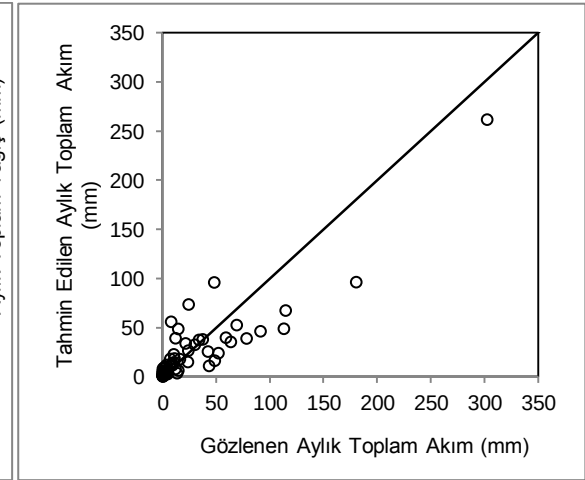
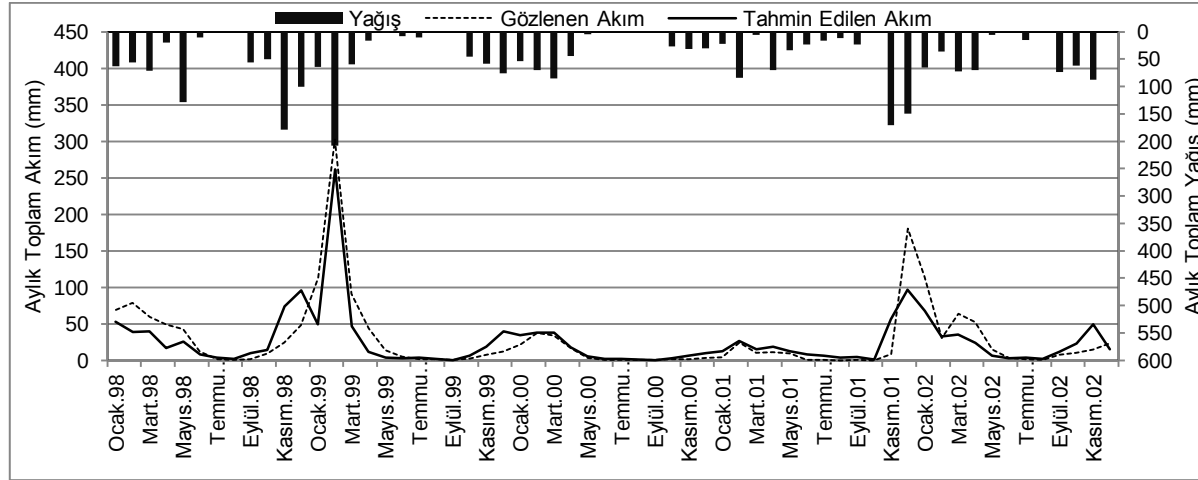
Çizelge 8.28 Yiğitler (#525) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon ve Doğrulama Aşamasına Ait Sonuçların İstatistikleri

	Kalibrasyon Aşaması		Doğrulama Aşaması	
	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)	Gözlenen Aylık Toplam Akım (mm)	Tahmin Edilen Aylık Toplam Akım (mm)
x_{min}	0,00	0,43	0,00	0,46
x_{mak}	123,46	102,25	302,40	148,76
$\bar{x}$	18,85	21,69	28,13	25,26
s_x	24,95	18,58	50,04	26,21
c_{sx}	1,94	1,49	3,56	2,35

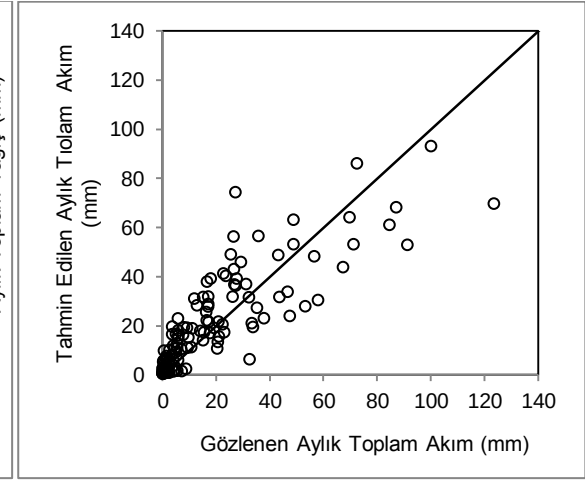
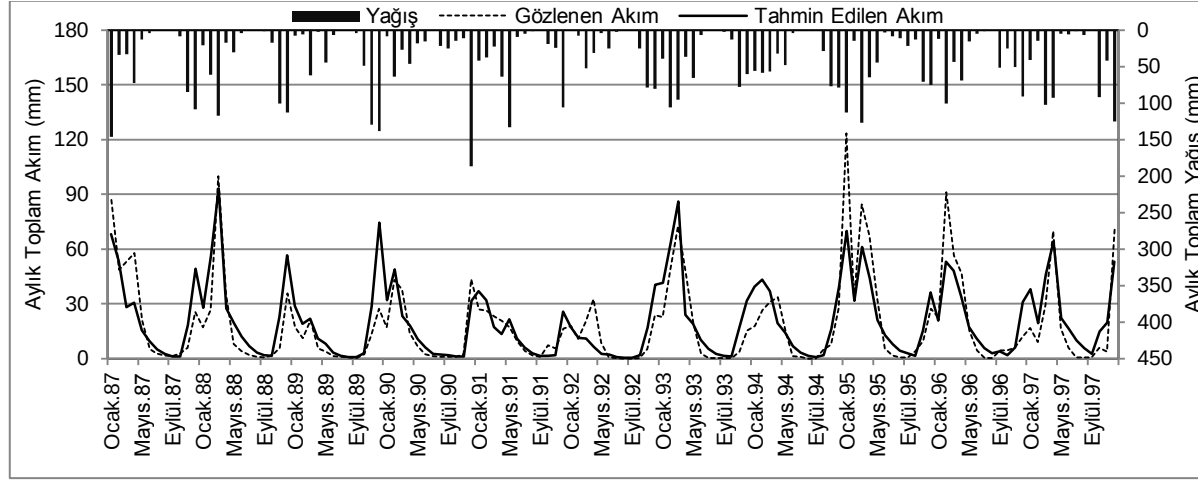
Sonuçlar ayrıca görsel olarak kalibrasyon aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.23' te, doğrulama aşaması zaman serisi ve saçılma grafikleri Şekil 8.24' te verilmiştir.



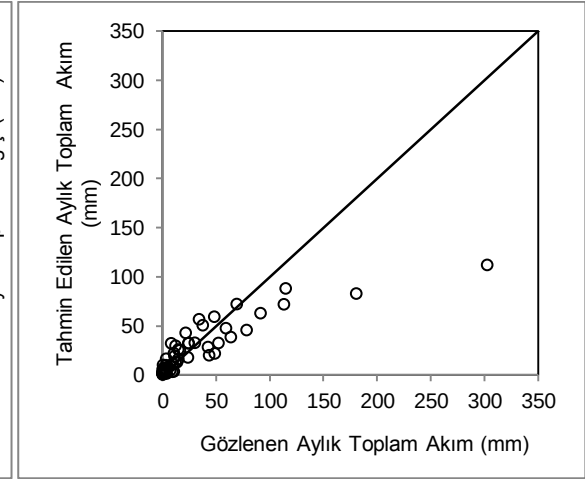
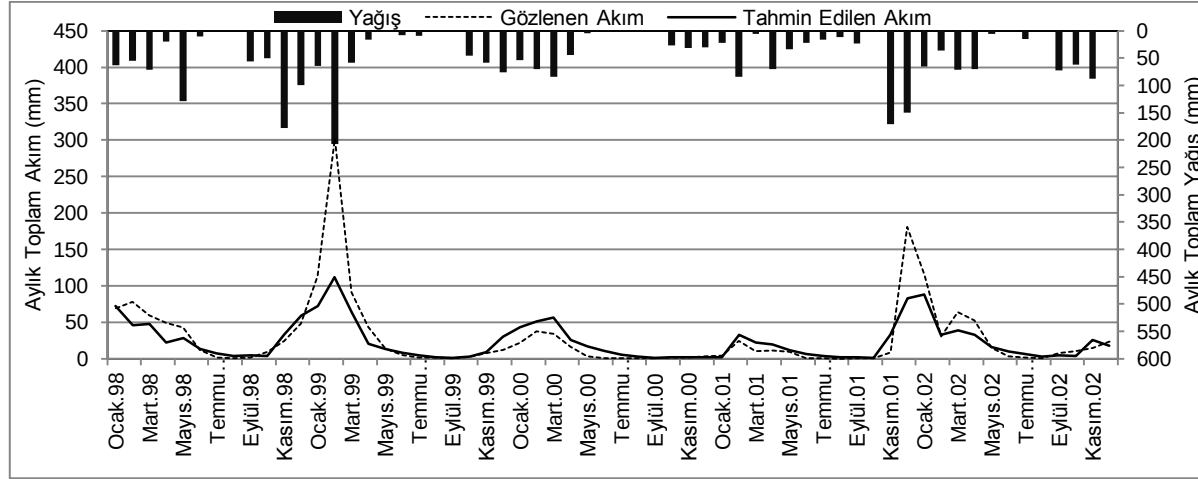
Şekil 8.19 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



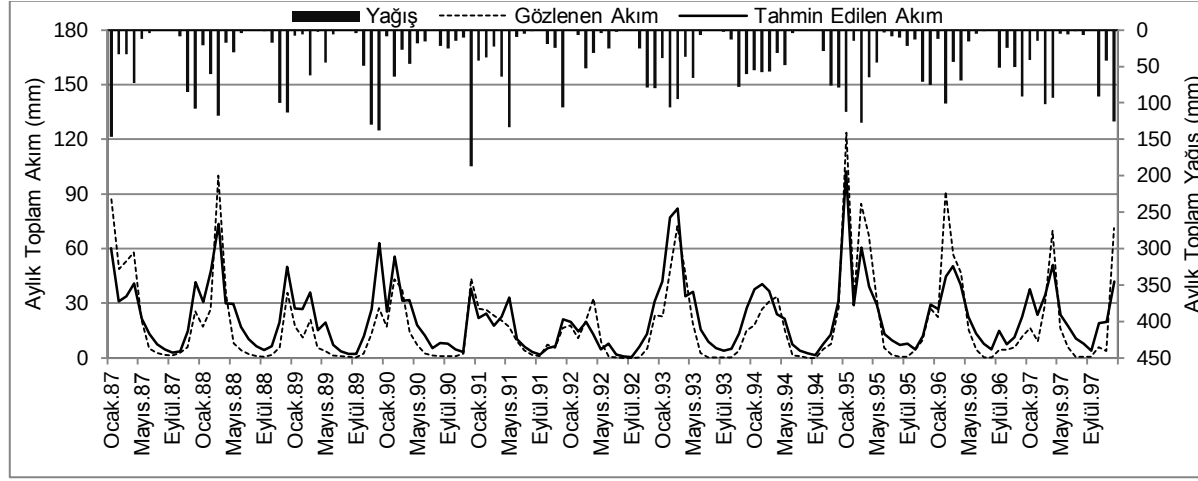
Şekil 8.20 Yiğitler (#525) AGİ B-GR2M Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



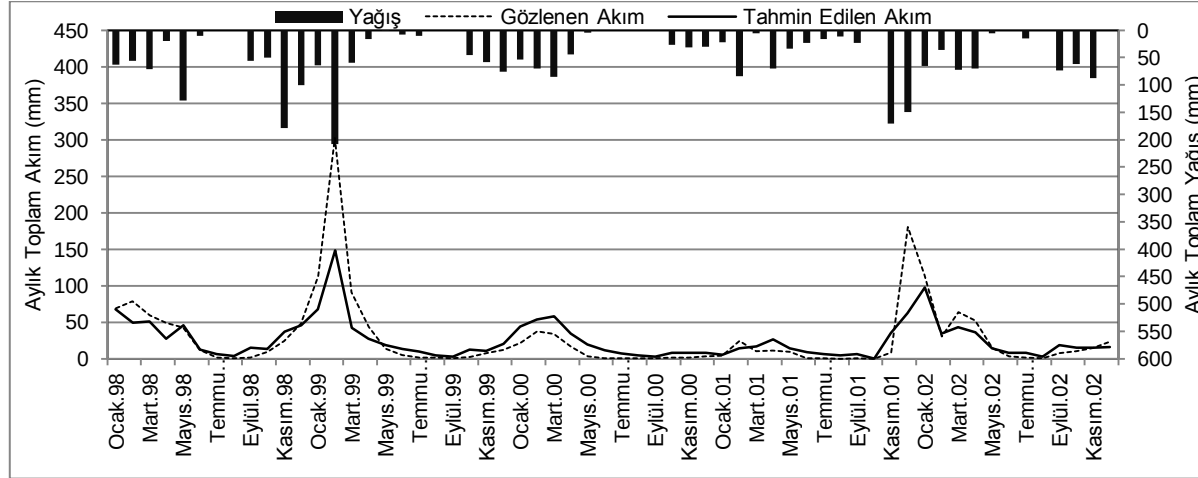
Şekil 8.21 Yiğitler (#525) AĞİ B-TWBM-1 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.22 Yiğitler (#525) AĞİ B-TWBM-1 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.23 Yağıtler (#525) AGİ B-TWBM-2 Kalibrasyon Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri



Şekil 8.24 Yağıtler (#525) AGİ B-TWBM-2 Doğrulama Aşaması Zaman Serisi ve Saçılma Grafikleri

8.6 Bulanıklaştırılmış Hidrolojik Modelleme Sonuçları

B-GR2M, B-TWBM-1, B-TWBM-2 modelleri ile Gediz Havzasında bulunan Kayalıoğlu (#509), Acısu (#523), Sazköy (#524), Yiğitler (#525) akım gözlem istasyonlarının havzaları aylık olarak modellenmiştir.

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.29' da verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin B-GR2M modeline ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.29 Kayalıoğlu (#509) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
B-GR2M	0,86	2,93	0,86	0,90	4,14	0,88
B-TWBM-1	0,90	2,49	0,90	0,88	4,27	0,87
B-TWBM-2	0,86	2,99	0,85	0,86	4,77	0,84

Acısu (#523) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.30' da verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin B-GR2M modeline ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.30 Acısu (#523) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
B-GR2M	0,86	3,50	0,86	0,78	2,67	0,76
B-TWBM-1	0,77	4,61	0,76	0,68	3,62	0,56
B-TWBM-2	0,74	4,80	0,74	0,61	3,61	0,56

Sazköy (#524) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.31' de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin B-GR2M modeline ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.31 Sazköy (#524) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
B-GR2M	0,79	8,37	0,79	0,58	11,00	0,57
B-TWBM-1	0,66	10,91	0,65	0,48	13,16	0,39
B-TWBM-2	0,72	9,83	0,72	0,58	11,22	0,56

Yiğitler (#525) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.32’ de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bu AGİ havzası için kalibrasyon ve doğrulama aşamasında en iyi performans değerlerinin B-GR2M modeline ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.32 Yiğitler (#525) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması			Doğrulama Aşaması		
	R ²	OKHK	E	R ²	OKHK	E
B-GR2M	0,78	11,19	0,77	0,79	23,56	0,77
B-TWBM-1	0,72	12,61	0,71	0,76	30,54	0,62
B-TWBM-2	0,76	12,24	0,73	0,81	28,67	0,67

8.7. Sonuçların Genel Değerlendirilmesi

Bu kısımda Bölümde VI’ da uygulanan kavramsal hidrolojik modeller ile bu bölümde uygulanmış olan bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modellerin performans değerleri karşılaştırılmıştır.

Modellerin bulanıklaştırıldıktan sonraki hallerinin, modellerin orijinallerine göre iyileşme gösterip göstermediği, iyileşme var ise bu iyileşmenin miktarını kabul edilebilir olup olmadığı r^2 ölçütü ile ölçülmüştür.

r^2 ölçütü, Nash ve Sutcliffe (1970) tarafından aynı modelin orijinal ve değiştirilmiş hallerinin performanslarını karşılaştırmak için önerilmiştir. Ölçütün pozitif değer alması modelin yeni durumunda iyileşme sağladığını, negatif değer alması modelin yeni durumunda iyileşme sağlamadığını göstermektedir. Senbeta et al. (1999) ile Perrin et al. (2003) yaptıkları çalışmalarda r^2 değerinin %10’ dan fazla olması durumunda modelin yeni halinin önemli bir iyileşme yaptığını kabul etmişlerdir. Bu ölçüt Denklem 4.4 ile hesaplanmaktadır.

$$r^2 = \frac{E_2 - E_1}{1 - E_1} \quad (8.1)$$

Burada, E_1 modelin ilk halinin, E_2 modelin ikinci halinin verimlilik değerlerinin göstermektedir.

Kayalıoğlu (#509) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.33' te görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bulanıklaştırılmış modellerin performans değerlerinin modellerin ilk hallerine göre artış gösterdiği görülmektedir. Bu AGİ havza için doğrulama aşamasında en iyi performans değerleri B-GR2M modeline aittir. Sonuçlar incelendiğinde, r^2 değerlerinin hepsinin %10 değerini aştığı görülmektedir.

Çizelge 8.33 Kayalıoğlu (#509) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması				Doğrulama Aşaması			
	R^2	OKHK	E	r^2	R^2	OKHK	E	r^2
GR2M	0,82	3,39	0,81	0,26	0,83	5,53	0,79	0,43
B-GR2M	0,86	2,93	0,86		0,90	4,14	0,88	
TWBM-1	0,66	4,87	0,61	0,74	0,59	10,06	0,29	0,82
B-TWBM-1	0,90	2,49	0,90		0,88	4,27	0,87	
TWBM-2	0,67	4,67	0,64	0,58	0,62	9,01	0,43	0,72
B-TWBM-2	0,86	2,99	0,85		0,86	4,77	0,84	

Acısu (#523) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.34' te görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bulanıklaştırılmış modellerin performans değerlerinin modellerin ilk hallerine göre artış gösterdiği görülmektedir. Bu AGİ havza için doğrulama aşamasında en iyi performans değerleri B-GR2M modeline aittir. Sonuçlar incelendiğinde, r^2 değerlerinin hepsinin %10 değerini aştığı görülmektedir.

Çizelge 8.34 Acısu (#523) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması				Doğrulama Aşaması			
	R^2	OKHK	E	r^2	R^2	OKHK	E	r^2
GR2M	0,82	4,16	0,80	0,30	0,80	2,94	0,71	0,17
B-GR2M	0,86	3,50	0,86		0,78	2,67	0,76	
TWBM-1	0,68	5,79	0,62	0,37	0,54	4,01	0,46	0,19
B-TWBM-1	0,77	4,61	0,76		0,68	3,62	0,56	
TWBM-2	0,74	5,13	0,70	0,13	0,53	3,89	0,49	0,14
B-TWBM-2	0,74	4,80	0,74		0,61	3,61	0,56	

Sazköy (#524) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.35' te görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bulanıklaştırılmış modellerin performans değerlerinin modellerin ilk hallerine göre artış gösterdiği görülmektedir. Bu AGİ havza için doğrulama

aşamasında en iyi performans değerleri B-GR2M modeline aittir. Sonuçlar incelendiğinde, r^2 değerlerinin hepsinin %10 değerini aştığı görülmektedir.

Çizelge 8.35 Sazköy (#524) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması				Doğrulama Aşaması			
	R^2	OKHK	E	r^2	R^2	OKHK	E	r^2
GR2M	0,67	10,82	0,65	0,40	0,63	11,79	0,51	0,12
B-GR2M	0,79	8,37	0,79		0,58	11,00	0,57	
TWBM-1	0,50	13,27	0,48	0,33	0,32	14,06	0,30	0,13
B-TWBM-1	0,66	10,91	0,65		0,48	13,16	0,39	
TWBM-2	0,58	12,26	0,56	0,36	0,38	13,36	0,37	0,30
B-TWBM-2	0,72	9,83	0,72		0,58	11,22	0,56	

Yiğitler (#525) AGİ havzasının modelleme sonuçları Çizelge 8.36' da görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bulanıklaştırılmış modellerin performans değerlerinin modellerin ilk hallerine göre artış gösterdiği görülmektedir. Bu AGİ havza için doğrulama aşamasında en iyi performans değerleri B-GR2M modeline aittir. Sonuçlar incelendiğinde, TWBM-1/B-TWBM-1 modellerinin doğrulama aşaması dışındaki r^2 değerlerinin hepsinin %10 değerini aştığı görülmektedir.

Çizelge 8.36 Yiğitler (#525) AGİ Kalibrasyon ve Doğrulama Aşaması Performans Değerleri

Yöntem	Kalibrasyon Aşaması				Doğrulama Aşaması			
	R^2	OKHK	E	r^2	R^2	OKHK	E	r^2
GR2M	0,74	11,99	0,74	0,12	0,81	28,86	0,66	0,32
B-GR2M	0,78	11,19	0,77		0,79	23,56	0,77	
TWBM-1	0,68	13,92	0,64	0,19	0,79	31,73	0,59	0,07
B-TWBM-1	0,72	12,61	0,71		0,76	30,54	0,62	
TWBM-2	0,68	13,93	0,65	0,25	0,79	31,68	0,59	0,20
B-TWBM-2	0,76	12,24	0,73		0,81	28,67	0,67	

Kavramsal modellerde yapılan bulanıklaştırma işleminden sonra, bütün sonuçlar dikkate alındığında B-GR2M yönteminin diğer yöntemlere göre daha iyi performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Modeller arasındaki iyileşme miktarını gösteren r^2 değeri bütün bulanık modeller için pozitif değer olarak iyileşme olduğunu göstermektedir. Model parametrelerinin etkisini incelemek için parametre sabitleme işlemi sonucunda bulanık TWBM modellerinin tutarlı bir davranış göstermediği görülmektedir.

BÖLÜM IX

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu bölümde çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiş, karşılaşılan zorluklar ifade edilmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Su kaynaklarının geliştirilmesinin önemli bir parçası olan akım tahmini konusu yapılan çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Akım tahmini su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında kullanılacak suya duyulan ihtiyacın miktarını, kullanılabilecek mevcut ve potansiyel su miktarını ve zarar verebilecek su miktarının belirlenmesini sağlar.

Farklı yöntemler ile birçok kez incelenen akım tahmini konusu bu çalışmada kavramsal hidrolojik modeller açısından tekrar ele alınmıştır. Çalışmada mevcut kavramsal hidrolojik modellerin performansını arttıracak, kavramsal hidrolojik modeller ile bulanık sistemlerin entegrasyonu sonucunda elde edilen yeni modellerin otomatik kalibrasyon özelliğine sahip olması amaçlanmaktadır.

Amaç doğrultusunda öncelikle kavramsal hidrolojik modeller araştırılmış ve literatürde bulunan GR2M ile TWBM aylık toplu kavramsal modelleri çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu iki modelin seçilmesindeki sebeplerden ilki modellerin kodlarının ulaşılabilir olmasıdır. GR2M modeli modellenen havzaya ait potansiyel evapotranspirasyon ve aylık toplam yağış yükseklikleri değerlerinden hareketle aylık toplam akım yüksekliği değerlerini hesaplamaktadır. TWBM modeli ise modellenen havzaya ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış yükseklikleri değerlerinden hareketle aylık toplam akım değerlerini hesaplamaktadır.

Aynı şekilde bulanık sistemlere öğrenme veya kendini ayarlama özelliği kazandıracak yöntemlerin araştırılması sonucu genetik algoritma yöntemin kullanılmasına karar verilmiştir. Genetik algoritma yönteminin seçilmesinde genetik algoritma ile bulanık sistemlerin beraber kullanımından doğan genetik bulanık sistemler konusunda oldukça fazla çalışmanın olup yöntemin güvenilirliğini kanıtlamış olması rol oynamıştır. Konu hakkında fazla çalışma olması, bu konuda geliştirilen hangi yöntemin kullanılması gerektiği sorusunu akla getirmiştir. İncelemeler sonucunda algoritma adımları kolay anlaşılır olan Thrift ve GBS-TS yöntemleri seçilmiştir. Seçilen bu yöntemlerin diğer bir özelliği ise bulanık mantık ile yapılan çalışmalarda en çok kullanılan iki farklı çıkarım motoruna ait yöntemler olmalarıdır. Thrift yöntemi Mamdani tipi çıkarım sistemine sahip bulanık sistemler için, GBS-TS yöntemi ise Takagi-Sugeno tipi çıkarım motoruna sahip bulanık sistemler için geliştirilmiş yöntemlerdir.

Yapılan model çalışmalarının son adımında kavramsal hidrolojik modeller ile bulanık mantık entegrasyonu bulunmaktadır. Yapılan bu işlem bu çalışmadan önce Hundedcha et al. (2001) tarafında HBV günlük kavramsal hidrolojik modeli için yapılmış ve bulanıklaştırılmış HBV modeli ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. HBV model ile yapılan çalışmada kavramsal modelin içsel süreçlerini ifade eden bulanık sistemler uzman bilgisi ile elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma kapsamında kavramsal modellerin içsel süreçlerini ifade edecek bulanık sistemlerin otomatik olarak elde edilmesi ve ayarlanması sağlayarak uzman bilgisi kullanımını minimum düzeyde tutup tatmin edici sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada iki adet birbirinden farklı yapıdaki aylık model kullanılarak bulanıklaştırma işleminin diğer günlük modeller dışındaki modeller içinde başarılı sonuçlar verip vermediği araştırılmıştır. Bunların yanında kavramsal model parametrelerinin bulanık sistemler ile bir arada bulunduğu durumlar da incelenmiştir.

Kullanılan modellerin hepsinin uygulaması Gediz Havzasında bulunan akım gözlem istasyonları ve bu akım gözlem istasyonlarının havzalarını temsil eden meteoroloji istasyonlarının verileri kullanılarak yapılmıştır. Akım değerlerinin gerçek süreci yansıtmayı amacıyla doğal akıma sahip yani üzerinde bir biriktirme yapısı olmayan kollardaki akım gözlem istasyonlarının seçimine özen gösterilmiştir. Bu özelliklere sahip istasyonlarda ise veri uzunluğunun yeterli uzunlukta olması gerekmektedir. Bu şartları sağlayan dört istasyon Medar Çayı üzerinde bulunan Kayalıoğlu (#509) AGİ, Gediz Nehri üzerinde bulunan Acısu (#523) AGİ, Murat Çayı üzerinde bulunan Sazköy (#524) AGİ ve Yiğitler deresi üzerinde bulunan Yiğitler (#525) AGİ çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu istasyonların havzaları ise Kayalıoğlu (#509) AGİ havzası Akhisar (#17184) MGI, Acısu (#523) AGİ havzası Uşak (#17188) MGI, Simav (#17748) MGI, Gediz (#17750) MGI, Sazköy (#524) AGİ havzası Gediz (#17750) MGI ve Yiğitler (#525) AGİ havzası Turgutlu (#5615) MGI ile temsil edilmiştir.

Yapılan çalışmada üç adet uygulama bölümü bulunmaktadır. Her bölüm farklı bir amaca hizmet etmektedir. İlk uygulama bölümünde kavramsal hidrolojik modellerin seçilen dört akım gözlem istasyonunun havzası modellenmiştir. GR2M, TWBM-1 ve TWBM-2 modellerinin performans değerleri hesaplanmıştır. GR2M modelinin uygulaması yapılan bütün havzalarda en iyi performans sonuçlarına sahip olduğu görülmektedir. TWBM modellerinde ise TWBM-1 modelinin TWBM-2 modeline göre biraz daha düşük performans değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca TWBM modellerinde verimlilik katsayılarının kalibrasyon aşamalarına göre doğrulama aşamalarında oldukça düşük değerlere sahip olduğu dikkat çekmektedir. Bu bölümde elde edilen sonuçlar bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modellerin sonuçları ile karşılaştırılmak üzere elde edilmiştir.

İkinci uygulama bölümünde kara kutu modelleme tekniği ile Gediz Havasındaki dört akım gözlem istasyonunun akımları aylık olarak modellenmiştir. Kavramsal hidrolojik modellere paralellik göstermesi açısından sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon değerlerini kullanılarak dört farklı girdi yapısı oluşturulmuştur. Modelleme yöntemi olarak WM, Thrift, ANFIS ve GBS-TS yöntemleri kullanılmıştır. Bütün akım gözlem istasyonları bu dört girdi yapısı ve dört yöntem ile modellenmiştir. Bu uygulama ile bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modellere entegre olacak genetik bulanık sistemin seçilmesi ve aynı zamanda genetik bulanık sistemlerin hidrolojik modellemedeki performansının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Uygulama sonuçlarına göre genetik bulanık sistemler, genetik olmayan yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar göstermişlerdir. İki genetik bulanık sistemden ise GBS-TS yöntemi bütün havzalarda daha iyi performans değerine sahip sonuçlar vermiştir. Girdi yapılarına göre yapılan değerlendirmede Model-2 ve Model-4 girdi yapılarında birbirine yakın ve diğer girdi yapılarına göre daha iyi performans değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların bir önceki bölüm sonuçları ile karşılaştırılmasında bir önceki en iyi performans değerlerine sahip GR2M modelinin performans değerlerinin, genel olarak bu bölümdeki en iyi performans değerleri sahip GBS-TS yönteminin performans değerlerinden daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak iki uygulamada farklı veri aralıkları ile modelleme yapıldığı unutulmamalıdır. Bu bölümün sonuçlarından elde edilen bilgiler ışığında GBS-TS yönteminin bulanıklaştırılmış hidrolojik modellerde kullanılmasına karar verilmiştir.

Son uygulama bölümünde bulanıklaştırılmış kavramsal modeller ile Gediz Havzasındaki dört akım gözlem istasyonu havzasının aylık modellemesi yapılmıştır. Bu bölüm, yapılan çalışmanın amacına ulaşip ulaşmadığını göstermesi açısından önem taşımaktadır. GR2M, TWBM-1 ve TWBM-2 aylık toplu kavramsal hidrolojik modellerin içsel süreçlerinin bulanık sistemler ile ifade edilmesi sonucunda bu modellerin bulanıklaştırılmış halleri olan B-GR2M, B-TWBM-1 ve B-TWBM-2 modelleri elde edilmiştir. Bulanıklaştırılmış kavramsal hidrolojik modeller ile kavramsal hidrolojik modellerin uygulamasının yapıldığı veriler kullanılarak bu modellerin performans değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bulanıklaştırılmış hidrolojik modellerin performans değerlerinin modellerin orijinal durumuna göre daha iyi oldukları gözlemlenmiştir. İyileşme miktarları literatürde bu amaç için önerilen r^2 değerleri hesaplanarak bulunmuştur. Bu değer 10% büyük olması uygulanan iyileştirme yönteminin başarılı olduğu anlamına gelmektedir. r^2 değerleri yapılan uygulamalarda, bir bulanıklaştırılmış modelin bir istasyon havzasının modellenmesi sırasında doğrulama aşamasında aldığı düşük ama pozitif değer dışında bu şartı sağlamıştır. Sonuçlar modeller açısından incelendiğinde GR2M modelinin ilk uygulama bölümündeki başarısına paralel olarak bu bölümdeki bulanıklaştırılmış hali olan B-GR2M modeli en iyi performans değerlerine sahip model olarak göze çapmaktadır. Bulanıklaştırma işlemi sonucunda TWBM modelinde yaşanan kalibrasyon ve doğrulama

aşaması performans değerleri farkı kapanarak iki aşamada da yakın performans değerleri elde edilmiştir. Model parametrelerinin bulanıklaştırılmış kavramsal modellerin performansına etkisi az miktarda olsa da iyi yönde bulunmaktadır.

Bütün uygulamalar için sonuçlar havzalar açısından değerlendirildiğinde ise dört havza için de bütün modelleme seçeneklerinde en düşük performans değerlerinin Sazköy (#524) AGİ havzasında elde edildiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak bu istasyon havzasının temsili için seçilen MGİ istasyonunun akım gözlem istasyonu ile membamansap ilişkisine sahip olmadığından meteorolojik olarak havzayı temsil etmekte yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Bu sonuç, hidrolojik modelleme çalışmalarında veri temini olgusunun önemini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışma genel olarak değerlendirildiğinde çalışma amacına ulaşmıştır. Çalışmanın sonucunda otomatik olarak kalibre edilebilen iki farklı aylık kavramsal model elde edilmiştir. Yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçlar literatür ile paralellik göstermekte olup bulanıklaştırma yöntemi literatürde denenmemiş farklı modellerde de denenerek daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Bu çalışmadan sonra, günlük modeller içinde otomatik kalibrasyon özelliğine sahip modeller geliştirilebilir. Kavramsal modellerde hangi içsel süreçlerin bulanıklaştırılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği araştırabilecek konular arasındadır.

KAYNAKLAR

1. Abbott, M.B., and Refsgaard, J.C. (Eds.), 1996. Distributed hydrological modeling, Springer, Vol:22.
2. Ardoin-Bardin, S., Dezetter, A., Servat, E., Paturel, J.E., Mahe, G., Niel, H., and Dieulin, C., 2009. Using general circulation model outputs to assess impacts of climate change on runoff for large, hydrological catchments in West Africa. *Hydrological sciences journal*, 54(1), 77-89.
3. ARİS, 2012. 21.12.2012. <http://aris.cob.gov.tr/index.php?q=tr/su/havza>.
4. Bakundukize, C., Van Camp, M., and Walraevens, K., 2011. Estimation of groundwater recharge in Bugesera region (Burundi) using soil moisture budget approach. *Geologica Belgica*, 14(1-2), 85-102.
5. Becker, A., 1992. Criteria for a hydrologically sound structuring of large scale land surface process models. In J.P. O'Kane, (Ed.), *Advances in Theoretical Hydrology*, Amsterdam: Elsevier, 97-111.
6. Beven, K.J., 2001. *Rainfall-runoff modelling: the primer*. Chichester: Wiley.
7. Casimiro, L., Sven, W., Labat, D., Guyot, J.L., and Ardoin-Bardin, S., 2011. Assessment of climate change impacts on the hydrology of the Peruvian Amazon–Andes basin. *Hydrological Processes*, 25(24), 3721-3734.
8. Chang, F.J., and Chen, L., 1998. Real-coded genetic algorithm for rule-based flood control reservoir management. *Water Resources Management*, 12(3), 185-198.
9. Chen, L., 2003. Real coded genetic algorithm optimization of long term reservoir operation1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1157-1165.
10. Chen, J., and Adams, B.J., 2006. Integration of artificial neural networks with conceptual models in rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 318(1), 232-249.
11. Cheng, C.T., Zhao, M.Y., Chau, K.W., and Wu, X.Y., 2006. Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure. *Journal of hydrology*, 316(1), 129-140.
12. ÇOB, 2008. Gediz Havzası Koruma Eylem Planı Çalışması, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Su ve Toprak Yönetimi Dairesi, Ankara, 2008. <http://gediz.ormansu.gov.tr/gediz/AnaSayfa.aspx?sflang=tr>
13. Cordon, O., and Herrera, F., 1997. Evolutionary design of TSK fuzzy rule-based systems using (μ , λ)-evolution strategies. *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference*, 1, 509-514.
14. Cordon, O., and Herrera, F., 1999. A two-stage evolutionary process for designing TSK fuzzy rule-based systems. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 29(6), 703-715.

15. Cordon, O., Herrera, F., Hofmann, F., Magdalena, L., 2001. Genetic Fuzzy Systems—Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases, World Scientific, Singapore.
16. Corzo, G. A., Solomatine, D. P., Wit, M. D., Werner, M., Uhlenbrook, S., and Price, R. K., 2009. Combining semi-distributed process-based and data-driven models in flow simulation: a case study of the Meuse river basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(9), 1619-1634.
17. Dandy, G.C., Simpson, A.R., and Murphy, L.J., 1996. An improved genetic algorithm for pipe network optimization. *Water Resources Research*, 32(2), 449-458.
18. Das, T., Bárdossy, A., Zehe, E. and He, Y., 2008. Comparison of conceptual model performance using different representations of spatial variability. *Journal of Hydrology*, 356(1), 106-118.
19. Davie, T., 2008. *Fundamentals of hydrology* (2nd ed.). London: Routledge.
20. DSİ, 2012. 2011 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara.
21. DSİ, 2005, Gediz Havzası Çevre Master Planı, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, İzmir, 149s.
22. Emel, G.G. ve Taşkın, Ç., 2002. Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi, İktisadi. ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21, 1, 129–152.
23. Firat, M. ve Güngör, M., 2008. Hydrological time-series modelling using an adaptive neuro-fuzzy inference system. *Hydrological processes*, 22(13), 2122-2132.
24. Firat, M., ve Turan, M.E., 2009. Monthly river flow forecasting by an adaptive neuro-fuzzy inference system. *Water and Environment Journal*, 24(2), 116-125.
25. Firat, M., Turan, M.E. ve Yurdusev, M.A., 2010. Comparative analysis of neural network techniques for predicting water consumption time series. *Journal of Hydrology*, 384(1), 46-51.
26. Franchini, M., and Galeati, G., 1997. Comparing several genetic algorithm schemes for the calibration of conceptual rainfall-runoff models. *Hydrological sciences journal*, 42(3), 357-379.
27. Gass, S.I. (2000), Making Decisions with Precision, *Business Week* October 30, 2000 (http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B3705139), son erişim tarihi: 15 Ocak 2013.
28. Haghighi, A., and Bakhshipour, A.E., 2012. Optimization of sewer networks using an adaptive genetic algorithm. *Water Resources Management*, 1-16.
29. Hamon W.R., 1961. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 871, 107–120.
30. Hay, L.E., and McCabe, G.J., 2010. Hydrologic effects of climate change in the Yukon River Basin. *Climatic change*, 100(3), 509-523.
31. Herrera, F., 2008. Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects. *Evolutionary Intelligence*, 1(1), 27-46.

32. Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
33. Horton, R.E., 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle, *Transactions of the American Geophysical Union*, 14, 446-460.
34. Huard, D., and Mailhot, A., 2008. Calibration of hydrological model GR2M using Bayesian uncertainty analysis. *Water Resources Research*, 44(2), W02424.
35. Hundecha, Y., Bardossy, A., and WERNER, H.W., 2001. Development of a fuzzy logic-based rainfall-runoff model. *Hydrological Sciences Journal*, 46(3), 363-376.
36. Jang, J.S., 1993. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 23(3), 665-685.
37. Jang, J.S.R., Sun C.T., and Mizutani, E., 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing. A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice Hall, Inc., Simon & Schuster/A Viacom Company, Upper Saddle River, NJ, 7458, 23.
38. Jothiprakash, V., and Shanthi, G., 2006. Single reservoir operating policies using genetic algorithm. *Water resources management*, 20(6), 917-929.
39. Karr, C. (1991). Genetic algorithms for fuzzy controllers. *AI Expert* 6(2), 26-33.
40. Klemeš, V., 1986. Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 31(1), 13-24.
41. Kouassi, A.M., Bi, T.M.N., Kouamé, K.F., Kouamé, K.A., Okaingni, J.-., and Biemi, J., 2012. Application of the crossed simulations method to the analysis of trends in the rainfall-runoff relation by using the GR2M model: Case of the N'zi-bandama watershed (ivory coast). [Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle GR2M : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire)] *Comptes Rendus - Geoscience*, 344(5), 288-296.
42. Kumanlioğlu, A. ve Fıstıkoğlu, O., 2011. Kavramsal bir hidrolojik modele yapay zeka entegrasyonu ve model performanslarının gediz nehri havzasında irdelenmesi. *DSİ Teknik Bülten*. 111, 25- 43.
43. Lacombe, G., Pierret, A., Hoanh, C.T., Sengtaheuanghoung, O., and Noble, A.D., 2010. Conflict, migration and land-cover changes in Indochina: a hydrological assessment. *Ecohydrology*, 3(4), 382-391.
44. Linsley, R.K., Kohler, M A., and Paulhus, J.L.H., 1958. *Hydrology for Engineering*. New York: McGraw-Hill.
45. Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C.N., Yong, B., Shafer, M.A., Riley, R., and Hocker, J.E., 2012. Hydro-Climatological Drought Analyses and Projections Using Meteorological and Hydrological Drought Indices: A Case Study in Blue River Basin, Oklahoma. *Water resources management*, 1-19.

46. Loucks, D. P., Van Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P., and Villars, M.T., 2005. Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications. Paris: UNESCO.
47. Madadgar, S., and Moradkhani, H., 2011. Drought Analysis under Climate Change Using Copula. *Journal of Hydrologic Engineering*.
48. Mamdani, E.H., and Assilian, S., 1975. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
49. McCabe, G.J., and Wolock, D.M., 1999. Future snowpack conditions in the western United States derived from general circulation model climate simulations. *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 1473-1484.
50. McCabe, G.J., and Markstrom, S.L., 2007. A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. US Geological Survey Open-File report 2007-1088.
51. McCabe, G.J., and Wolock, D.M., 2008. Joint variability of global runoff and global sea surface temperatures. *Journal of Hydrometeorology*, 9(4), 816-824.
52. McCabe, G.J., and Wolock, D.M., 2011a. Century-scale variability in global annual runoff examined using a water balance model. *International Journal of Climatology*, 31(12), 1739-1748.
53. McCabe, G.J., and Wolock, D.M., 2011b. Independent effects of temperature and precipitation on modeled runoff in the conterminous United States. *Water Resources Research*, 47(11), W11522.
54. McKinney, D.C., and Lin, M.D., 1994. Genetic algorithm solution of groundwater management models. *Water Resources Research*, 30(6), 1897-1906.
55. Mendel, J.M., 1995. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3), 345-377.
56. Moghaddamnia, A., Ghafari Gousheh, M., Piri, J., Amin, S., and Han, D., 2009. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Advances in Water Resources*, 32(1), 88-97.
57. Mouelhi, C., 2003. Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse, École nationale du génie rural des eaux et forêts de Paris, France, 274p.
58. Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C., and Andréassian, V., 2006. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318(1-4), 200-214.
59. Morton, F.I., 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, 66(1), 1-76.
60. Nash, J., and Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.

61. Perrin, C., Michel, C., and Andréassian, V., 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279(1), 275-289.
62. Pham, D.T. and Karaboga D., 1991. Optimum design of fuzzy logic controllers using genetic algorithms. *Journal of Systems Engineering*. 1, 114-118.
63. Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., and Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of hydrology*, 303(1), 290-306.
64. Seibert, J., 2000. Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using a genetic algorithm. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4(2), 215-224.
65. Senbeta, D.A., Shamseldin, A.Y., and O'Connor, K.M., 1999. Modification of the probability-distributed interacting storage capacity model. *Journal of Hydrology*, 224(3), 149-168.
66. Simpson, A.R., Dandy, G.C., and Murphy, L.J., 1994. Genetic algorithms compared to other techniques for pipe optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(4), 423-443.
67. Singh, V.P., 1995. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications.
68. Sivanandam, S.N., and Deepa, S.N., 2007. *Introduction to genetic algorithms*. Springer Publishing Company, Incorporated.
69. Sreekanth, P.D., Sreedevi, P.D., Ahmed, S., and Geethanjali, N., 2011. Comparison of FFNN and ANFIS models for estimating groundwater level. *Environmental Earth Sciences*, 62(6), 1301-1310.
70. Şen, Z., 2001. *Bulanık mantık ile modelleme ilkeleri*, Bilge Kültür Sanat yayınevi. İstanbul.
71. Tabari, H., Kisi, O., Ezani, A., and Hosseinzadeh Talaee, P., 2012. SVM, ANFIS, regression and climate based models for reference evapotranspiration modeling using limited climatic data in a semi-arid highland environment. *Journal of Hydrology*.
72. Takagi, T., and Sugeno, M., 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 1, 116-132.
73. Talei, A., Chua, L.H.C., and Wong, T.S., 2010. Evaluation of rainfall and discharge inputs used by Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) in rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 391(3), 248-262.
74. Terzi, Ö., Keskin, M.E., ve Taylan, E.D., 2006. Estimating evaporation using ANFIS. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 132(5), 503-507.
75. Thrift, P., 1991. "Fuzzy logic synthesis with genetic algorithms," in *Proc. 4th Int. Conf. Genetic Algorithms*, R. K. Belew and L. B. Booker, Eds., San Mateo, CA, pp. 509–513.

76. Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
77. Turan, M.E., ve Yurdusev, M.A., 2009. River flow estimation from upstream flow records by artificial intelligence methods. *Journal of Hydrology*, 369(1), 71-77.
78. Valenzuela-Rendon, M., 1991. The fuzzy classifier system: A classifier system for continuously varying variables. In *Proc. Fourth International Conference on Genetic Algorithms (ICGA '91)*, San Diego, USA, pp. 346-353. Morgan Kaufmann.
79. Wagener, T., Wheater, H., and Gupta, H.V., 2004. *Rainfall-runoff modelling in gauged and ungauged catchments*. Singapore: World Scientific Publishing Company.
80. Wang, Q.J., 1991. The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 27(9), 2467-2471.
81. Wang, L.X., and Mendel, J.M., 1992. Generating fuzzy rules by learning from examples. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 22(6), 1414-1427.
82. Wheater, H.S., 2008. Modelling hydrological processes in arid and semi-arid areas: an introduction to the workshop. In Wheater, H., Sorooshian, S., & Sharma, K. D. (Eds.). *Hydrological modelling in arid and semi-arid areas* (1-20). Cambridge University Press.
83. Wheater, H.S., Jakeman, A.J., and Beven, K.J., 1993. Progress and directions in rainfall-runoff modelling. In Jakeman, A. J., Beck, M. B. & McAleer, M.J. (Eds.). *Modelling change in environmental systems*, (101-132). Chichester: Wiley.
84. Yao, H., Scott, L., Guay, C., and Dillon, P., 2009. Hydrological impacts of climate change predicted for an inland lake catchment in Ontario by using monthly water balance analyses. *Hydrological Processes*, 23(16), 2368-2382.
85. Zhang, G., 2007. *Modelling Hydrological Response at the Catchment Scale*. Eburon Uitgeverij BV.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mustafa Erkan TURAN

Doğum Tarihi: 1982

Doğum Yeri: Erzurum

Eğitim

Lise: Mustafa Kemal Lisesi, İZMİR 1996-1999

Lisans: Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
2000-2004

Yüksek Lisans: Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği
Bölümü 2004-2007

Doktora: Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü
2007-2013