

SİNİRSEL BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE HAVZA MODELLEMESİ

Mahmut FIRAT

Ocak, 2007
DENİZLİ

SİNİRSEL BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE HAVZA MODELLEMESİ

Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarafından Kabul Edilen
Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mahmut FIRAT

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mahmud GÜNGÖR

Ocak, 2007
DENİZLİ

DOKTORA TEZİ ONAY FORMU

Mahmut FIRAT tarafından Yrd. Doç. Dr. Mahmud GÜNGÖR yönetiminde hazırlanan " **Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Havza Modellemesi** " başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zekai ŞEN
(BAŞKAN)

Yrd. Doç. Dr. Mahmud GÜNGÖR
(DANIŞMAN)

Doç. Dr. M. Ali YURDUSEV
(Jüri Üyesi)

Yrd. Doç. Dr. Y. Şazi MURAT
(Jüri Üyesi)

Yrd. Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../.....tarih ve .....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL
Müdür

TEŞEKKÜR

Bu Doktora tezimin danışmanlığını üstlenen, teşvik edici yönetimi ve olumlu eleştirileriyle bana yol gösteren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mahmud GÜNGÖR'e öncelikle teşekkür ederim.

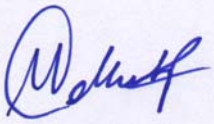
Tez İzleme Komitesindeki hocalarım Sayın Doç. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Yetiş Şazi MURAT'a çalışmalarım sırasında olumlu ve yönlendirici katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca, tez sınav jürisinde yer alan sayın Prof. Dr. Zekai ŞEN ve Yrd.Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ hocalarıma ve çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cem KOÇ hocama katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Öğrenimim süresince, özverili şekilde beni destekleyen aileme minnettarım. Ayrıca, bu tez çalışmam sırasında gösterdiği anlayış ve sabırdan dolayı sevgili eşime de çok teşekkür ederim.

Mahmut FIRAT

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza : 

Öğrenci Adı Soyadı : Mahmut FIRAT

ÖZET

SİNİRSEL BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE HAVZA MODELLEMESİ

FIRAT, Mahmut
Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Mahmud GÜNGÖR

Ocak 2007, 184 Sayfa

Su kaynaklarının doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi, su kaynaklarının yönetimi, planlanması ve geliştirilmesi için oldukça önemlidir. Ayrıca, akarsuda taşınan katı madde miktarı, özellikle, toprak koruma çalışmaları, biriktirme haznelerinin planlaması ve işletilmesi, çevresel kirlenme ve koruma çalışmaları için oldukça önemli bir parametredir. Bu çalışmada, Sinirsel Bulanık Mantık Yönteminin (ANFIS) günlük akarsu akış ve katı madde miktarının tahmin edilmesinde uygulanabilirliliği araştırılmıştır. Bu amaçla, Türkiye'nin batısında yer alan Büyük Menderes havzası uygulama alanı olarak seçilmiştir. ANFIS yöntemi ile Büyük Menderes havzasında, dört akarsu kolu için farklı giriş yapısına sahip akış ve katı madde tahmin modelleri geliştirilmiştir. Daha hassas ve güvenilir bir tahmin için, çapraz geçerlilik (cross validation) yöntemi kullanılarak eğitim/test veri setleri düzenlenmiş ve her bir set için eğitim gerçekleştirilmiştir. Modellerin davranışlarını değerlendirmek için çeşitli ölçütler dikkate alınmıştır. ANFIS sonuçları gözlem verileri ile karşılaştırılmış ve performansları değerlendirilmiştir. Daha güvenilir bir değerlendirme yapmak için, en uygun modeller Yapay Sinir Ağları (YSA) ile de eğitilerek test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ANFIS yönteminin, akış ve katı madde modellenmesinde ve tahmin edilmesinde başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Akış, katı madde, Büyük Menderes havzası, ANFIS,YSA

Prof. Dr. Zekai ŞEN
Doç. Dr. M. Ali YURDUSEV
Yrd. Doç. Dr. Mahmud GÜNGÖR
Yrd. Doç. Dr. Y. Şazi MURAT
Yrd. Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ

ABSTRACT

MODELING OF WATERSHED USING ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM APPROACH

FIRAT, Mahmut
PhD. Thesis in Civil Engineering
Supervisor: Assist Prof. Dr. Mahmud GÜNGÖR

January 2007, 184 Pages

Accurate forecasting of water resources is quite important for sustainable management and planning of water resources. In addition, sediment yield carried in a stream is especially effective parameter for environmental protection and pollution, control and conservation, soil conservation, planning and operation of reservoirs. In this study, applicability and capability of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) was investigated in forecasting of daily river flows and sediment yields. For this purpose, Great Menderes Catchment, located in the west of Turkey, was selected as case study area. The river flow and sediment yield forecasting models having various input structures were developed using ANFIS method. In order to get more accurate and reliable estimation, the training and testing data sets were arranged by cross validation method and training process for each training data sets was implemented. Some criteria of performance evaluation were calculated to evaluate the performances of forecasting models and the results of ANFIS models and field observed values were compared. The best fit models were also trained and tested by Artificial Neural networks (ANN) to get more accurate comparison and the results of ANFIS and ANN models were also compared and evaluated. The results of ANFIS model have shown that ANFIS can be applied successfully and provides high accuracy and reliability for river flow and sediment yield forecasting.

Keywords: River flow, sediment yield, Great Menderes Catchment, ANFIS, ANN

Prof. Dr. Zekai ŞEN
Assoc. Prof. Dr. M. Ali YURDUSEV
Assist Prof. Dr. Mahmud GÜNGÖR
Assist Prof. Dr. Y. Şazi MURAT
Assist Prof. Dr. Fatih DİKBAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Doktora Tezi Onay Formu.....	I
Teşekkür.....	II
Bilimsel Etik Sayfası.....	III
Özet.....	IV
Abstract.....	V
İçindekiler	VI
Şekiller Dizini	X
Tablolar Dizini	XIII
Simgeler Dizini	XVI
1. GİRİŞ……	1
2. LİTERATÜR.....	5
2.1 Yüzeysel Akış ….....	5
2.1.1 Akışın kısımlara ayrılması.....	5
2.1.2 Yağış akış ilişkisi.....	6
2.2 Akarsularda Katı Madde Hareketi…..……	8
2.2.1 Taban hareketinin başlaması.....	9
2.2.2. Askı maddesi……..	11
2.2.3. Süründü maddesi...…….	12
2.2.4. Akarsularda taşınan katı madde miktarının önemi ve etkileri……...	13
2.3 Yapay Zeka Yöntemlerinin Hidrolojide Kullanımı.....	14
2.3.1 Bulanık mantık yöntemi ile yapılmış çalışmalar.....	15
2.3.2 Yapay sinir ağları ile yapılmış çalışmalar.....	16
2.3.3 Sinirsel bulanık mantık yöntemi (ANFIS) ile yapılmış çalışmalar.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1 Bulanık Mantık (BM) Yöntemi	18
3.1.1 Bulanık küme teorisi…….....	18

3.1.1.1 Üyelik fonksiyonu (ÜF)…… 19
3.1.1.2. Kavramsal değişkenler…… 21
3.1.1.3. Bulanık küme işlemleri…….. 22
3.1.1.4. Bulanık kurallar ve kural tabanı…….. 22
3.1.2 Bulanık çıkarım sistemleri…….. 23
3.1.2.1 Mamdani bulanık çıkarım sistemi…… 24
3.1.2.2. Sugeno bulanık çıkarım sistemi…….. 28
3.2 Yapay Sinir Ağları..... 30
3.2.1 İleri beslemeli yapa sinir ağları (İBYSA)..……... 31
3.2.2 Merkezcil tabanlı sinir ağları (MTSA)..…… 33
3.2.3 YSA modellerinin geliştirilmesi……..…….. 35
3.3 Sinirsel Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)..... 36
3.3.1 Sinirsel bulanık mantık sistem yapısı……. 37
4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ..... 41
4.1 Büyük Menderes Havzası..... 41
4.2 Veri..... 42
5. BÜYÜK MENDERES HAVZASI AKIŞ TAHMİN MODELLERİ…… 46
5.1 Yukarı Büyük Menderes Alt Havzası Akış Tahmin Modeli……. 49
5.1.1 YBM alt havzası I. tip akış tahmini..... 50
5.1.2 YBM alt havzası II. tip akış tahmini..... 55
5.2 Banaz Çayı Alt Havzası Akış Tahmini..... 60
5.2.1 Banaz çayı alt havzası I. tip akış tahmini..... 60
5.2.2 Banaz çayı alt havzası II. tip akış tahmini..... 64
5.3 Çine Çayı Alt Havzası Akış Tahmini..... 70
5.3.1 Çine çayı alt havzası I. tip akış tahmini..... 70
5.3.2 Çine çayı alt havzası II. tip akış tahmini..... 74
5.4 BMO Alt Havzası Akış Tahmini..... 80
5.4.1 BMO alt havzası I. tip akış tahmini..... 80
5.4.2 BMO alt havzası II. tip akış tahmini..... 84
5.4.3 BMO alt havzası III. tip akış tahmini..... 89
5.4.4 BMO alt havzası IV. tip akış tahmini..... 94
5.4.5 BMO alt havzası V. tip akış tahmini..... 97
5.4.6 BMO alt havzası VI. tip akış tahmini..... 101

5.5 Akış Tahmin Model Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi... 104
5.5.1 YBM akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması..... 104
5.5.2 Banaz çayı akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması……. 107
5.5.3 Çine çayı akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması…… 108
5.5.4 BMO akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması…….. 110
6. BÜYÜK MENDERES HAVZASI KATI MADDE TAHMİN MODELLERİ… 115
6.1 Yukarı Büyük Menderes Alt Havzası Katı Madde Tahmini……..... 115
6.1.1 YBM alt havzası I. tip katı madde tahmini…..... 115
6.1.2 YBM alt havzası II. tip katı madde tahmini..... 121
6.2 Banaz Çayı Alt Havzası Katı Madde Tahmini..... 124
6.2.1 Banaz çayı alt havzası I. tip katı madde tahmini..... 124
6.2.2 Banaz çayı alt havzası II. tip katı madde tahmini..... 128
6.3 Çine Çayı Alt Havzası Katı Madde Tahmini..... 132
6.3.1 Çine çayı alt havzası I. tip katı madde tahmini..... 132
6.3.2 Çine çayı alt havzası II. tip katı madde tahmini..... 137
6.4 BMO Alt Havzası Katı Madde Tahmini..... 141
6.4.1 BMO alt havzası I. tip katı madde tahmini..... 141
6.4.2 BMO alt havzası II. tip katı madde tahmini..... 145
6.4.3 BMO alt havzası III. tip katı madde tahmini..... 149
6.4.4 BMO alt havzası IV. tip katı madde tahmini..... 153
6.5 Katı Madde Tahmin Model Sonuçlarının Karşılaştırılması…….. 157
6.5.1 YBM katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması……..…….. 157
6.5.2 Banaz çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması……. 158
6.5.3 Çine çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması……... 160
6.5.4 BMO katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması……. 161
7. DUYARLILIK ANALİZİ..... 165
7.1 Eğitim Set Uzunluğunun Akış Tahmin Model Performansına Etkisi..... 165
7.2 ÜF Sayısının Akış Tahmin Model Performansına Etkisi…….. 166
7.3 Öğrenme Algoritmasının Akış Tahmin Model Performansına Etkisi…….... 167
7.4 En uygun Tahmin Modellerinin YSA ile Çözümü……..……. 168
7.4.1 BMO akış tahmin modellerinin YSA ile çözümü..... 168
7.4.2 YBM akış tahmin modellerinin YSA ile çözümü..... 170
7.4.3 BMO katı madde tahmin modellerinin YSA ile Çözümü..... 172

8. SONUÇLAR..... 175
KAYNAKLAR……. 180
ÖZGEÇMİŞ 184

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Havza sisteminin matematik model yapısı…… 7
Şekil 2.2 Akış tahmin modellerinin genel yapısı…….. 8
Şekil 2.3 Tabandaki bir daneye etki eden kuvvetler……. 9
Şekil 3.1 Klasik ve bulanık küme……. 20
Şekil 3.2 Bir ÜF'nun elemanları……...……..……. 20
Şekil 3.3 BM yönteminde kullanılan ÜF'ları……..……...……. 21
Şekil 3.4 BM ÜF ve kavramsal ifadeleri…….…… 21
Şekil 3.5 BM işlemleri……...……... 22
Şekil 3.6 BM çıkarım sisteminin genel yapısı……..…… 24
Şekil 3.7 Değişkenlerin bulanıklaştırılması……..... 25
Şekil 3.8 Mamdani bulanık çıkarım sisteminde bulanık kuralların yazılması…….. 26
Şekil 3.9 Bulanık çıkarım sisteminde kuralların değerlendirilmesi ve toplanması... 27
Şekil 3.10 Durulaştırma işleminde kullanılan yöntemler…….. 28
Şekil 3.11 Sugeno bulanık çıkarım sisteminde bulanık kuralların yazılması...…… 29
Şekil 3.12 Sugeno bulanık çıkarım sisteminde kuralların toplanması……..… 30
Şekil 3.13 İBYSA yapısı……..……. 31
Şekil 3.14 Nöronun matematik modeli……. 32
Şekil 3.15 MTSA yapısı…… 33
Şekil 3.16 Gauss merkezcil taban fonksiyonu…….. 34
Şekil 3.17 İki girişli bir Sugeno BM çıkarım sisteminin yapısı……..…. 37
Şekil 4.1 Büyük Menderes havzasının genel yapısı……..... 41
Şekil 4.2 Büyük Menderes havzasının alt havzaları……. 44
Şekil 4.3 Yağış istasyonlarının havzada yerleşimi…… 45
Şekil 5.1 Akış tahmin modellerinin genel yapısı…….. 46
Şekil 5.2 Katı madde tahmin modellerinin genel yapısı……... 47
Şekil 5.3 YBM R-I M2 akış tahmin modeli ÜF'ları……..…….. 52
Şekil 5.4 YBM R-I M2 akış tahmin modeli bulanık kuralları…….. 53
Şekil 5.5 YBM I. tip akış tahmini için seçilen en uygun model yapısı……. 53
Şekil 5.6 YBM R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…….. 54
Şekil 5.7 YBM PR-I M4 akış tahmin modeli ÜF'ları……...…… 57
Şekil 5.8 YBM PR-I M4 akış tahmin modeli bulanık kuralları……..….. 58
Şekil 5.9 YBM II. tip akış tahmini için seçilen en uygun model yapısı..……. 58
Şekil 5.10 YBM PR-I M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 59
Şekil 5.11 Banaz çayı R-I M2 akış tahmin modeli ÜF'ları……..……..…….. 62
Şekil 5.12 Banaz çayı R-I M2 akış tahmin modeli bulanık kuralları…… 63
Şekil 5.13 Banaz çayı I. tip akış tahmini için en uygun model yapısı…….. 64
Şekil 5.14 Banaz çayı R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması ….. 65
Şekil 5.15 Banaz çayı PR-I M4 akış tahmin modeli ÜF'ları……..……..… 67
Şekil 5.16 Banaz çayı PR-I M4 akış tahmin modeli bulanık kuralları…….. 68
Şekil 5.17 Banaz çayı alt havzası II. tip akış tahmini için en uygun model yapısı 68
Şekil 5.18 Banaz çayı PR-I M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…. 69

Şekil 5.19 Çine çayı R-I M3 akış tahmin modeli ÜF'ları……..……..…. 72
Şekil 5.20 Çine çayı R-I M3 akış tahmin modeli bulanık kuralları…….. 73
Şekil 5.21 Çine çayı I. tip akış tahmini için en uygun model yapısı……. 74
Şekil 5.22 Çine çayı R-I M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması ……. 75
Şekil 5.23 Çine çayı PR-I M1 akış tahmin modeli ÜF'ları……..…….…..... 77
Şekil 5.24 Çine çayı R-I M2 akış tahmin modeli bulanık kuralları…… 77
Şekil 5.25 Çine çayı II. tip akış tahmini için en uygun model yapısı……... 78
Şekil 5.26 Çine çayı PR-I M1 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması….. 79
Şekil 5.27 BMO R-I M2 akış tahmin modeli ÜF'ları……..…….…..... 82
Şekil 5.28 BMO R-I M2 akış tahmin modeli bulanık kuralları…… 83
Şekil 5.29 BMO I. tip akış tahmini için en uygun model yapısı……..…. 84
Şekil 5.30 BMO R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması ……... 85
Şekil 5.31 BMO II. tip akış tahmini için seçilen en uygun model yapısı……. 87
Şekil 5.32 BMO R-II M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…….. 88
Şekil 5.33 BMO R-III M1 akış tahmin modeli ÜF'ları…...…..…… 91
Şekil 5.34 BMO R-III M1 akış tahmin modeli bulanık kuralları……. 91
Şekil 5.35 BMO III. tip akış tahmini için en uygun model yapısı ……..…… 92
Şekil 5.36 BMO R-III M1 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması …… 93
Şekil 5.37 BMO PR-I M4 akış tahmin modeli ÜF'ları…….…. 96
Şekil 5.38 BMO PR-I M4 akış tahmin modeli bulanık kuralları……. 96
Şekil 5.39 BMO IV. tip akış tahmini için en uygun model yapısı…… 97
Şekil 5.40 BMO PR-I M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 98
Şekil 5.41 BMO PR-II M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 100
Şekil 5.42 BMO PR-III M1 akış tahmin modeli ÜF'ları…...…..……..…..…. 103
Şekil 5.43 BMO PR-III M1 akış tahmin modeli bulanık kuralları……... 103
Şekil 5.44 BMO VI. tip akış tahmini için en uygun model yapısı…… 104
Şekil 5.45 BMO PR-III M1 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……... 105
Şekil 5.46 YBM PR-I M4 ve R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…….. 107
Şekil 5.47 Banaz çayı PR-I M4 ve R-I M2 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……... 108
Şekil 5.48 Çine çayı PR-I M1 ve R-I M3 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……... 110
Şekil 5.49 BMO R-I M2, R-II M2, R-III M1 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……... 112
Şekil 5.50 BMO PR-I M4, PR-II M4, PR-III M1 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…… 113
Şekil 5.51 BMO R-III M1ve PR-III M1 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…….. 114
Şekil 6.1 YBM S-I M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları……..……..…. 119
Şekil 6.2 YBM S-I M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları…… 119
Şekil 6.3 YBM I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…….. 120
Şekil 6.4 YBM S-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…….. 120
Şekil 6.5 YBM S-II M4 katı madde tahmin modeli ÜF'ları…….…… 123
Şekil 6.6 YBM S-II M4 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları…….. 123
Şekil 6.7 YBM II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…… 123
Şekil 6.8 YBM S-II M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 124
Şekil 6.9 Banaz çayı S-I M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları…..……..... 126
Şekil 6.10 Banaz çayı S-I M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları……. 127
Şekil 6.11 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…….... 128

Şekil 6.12 Banaz çayı S-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…… 128
Şekil 6.13 Banaz çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli ÜF'ları…….. 131
Şekil 6.14 Banaz çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları…… 131
Şekil 6.15 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…….. 131
Şekil 6.16 Banaz çayı S-II M7 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması….. 132
Şekil 6.17 Çine çayı S-I M3 katı madde tahmin modeli ÜF'ları……..... 135
Şekil 6.18 Çine çayı S-I M3 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları……..…. 135
Şekil 6.19 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…….. 136
Şekil 6.20 Çine çayı S-I M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…..… 136
Şekil 6.21 Çine çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli ÜF'ları……...….. 139
Şekil 6.22 Çine çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları……..… 139
Şekil 6.23 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…..….. 140
Şekil 6.24 Çine çayı S-II M7 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…… 140
Şekil 6.25 BMO S-I M3 akış tahmin modeli ÜF'ları……...… 143
Şekil 6.26 BMO S-I M3 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları……. 144
Şekil 6.27 BMO I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…… 145
Şekil 6.28 BMO S-I M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…… 145
Şekil 6.29 BMO S-II M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları……...… 147
Şekil 6.30 BMO S-II M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları……..……. 148
Şekil 6.31 BMO II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı…….. 149
Şekil 6.32 BMO S-II M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……... 149
Şekil 6.33 BMO S-III M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları…….…… 151
Şekil 6.34 BMO S-III M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları……... 152
Şekil 6.35 BMO III. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı……..… 152
Şekil 6.36 BMO S-III M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 153
Şekil 6.37 BMO S-IV M3 katı madde tahmin modeli ÜF'ları…..……...…… 156
Şekil 6.38 BMO S-IV M3 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları…….. 156
Şekil 6.39 BMO IV. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı……. 156
Şekil 6.40 BMO S-IV M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 157
Şekil 6.41 YBM S-I M2 ve S-II M4 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 158
Şekil 6.42 Banaz çayı S-I M2 ve S-II M7 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması…. 159
Şekil 6.43 Çine çayı S-I M3 ve S-II M7 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması.. 161
Şekil 6.44 BMO S-I M3 ve S-II M2 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması……. 163
Şekil 6.45 BMO S-III M2 ve S-IV M3 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması… 164
Şekil 6.46 BMO S-II M2ve S-III M2 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması….. 164
Şekil 7.1 BMO akış tahmini için faklı uzunlukta eğitim/sınama veri kümeleri….. 165
Şekil 7.2 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA sonuçlarının karşılaştırılması…….. 170
Şekil 7.3 YBM alt havzası ANFIS ve İBYSA sonuçlarının karşılaştırılması…….. 171
Şekil 7.4 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA I. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması……... 173
Şekil 7.5 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA II. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması……... 173
Şekil 7.6 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA III. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması……... 174
Şekil 7.7 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA IV. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması……... 174

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1 Büyük Menderes havzası akım gözlem istasyonları……..….... 42
Tablo 4.2 Akım gözlem istasyonlarına ait akış verilerinin yapısı ……...…. 43
Tablo 4.3 Büyük Menderes havzası katı madde gözlem istasyonları ……..…. 43
Tablo 4.4 Katı madde tahmininde kullanılan verilerin yapısı ……..…. 43
Tablo 4.5 Büyük Menderes havzası yağış gözlem istasyonları ……... 45
Tablo 5.1 Akış tahmini için korelasyonlar……...…. 48
Tablo 5.2 YBM I. tip akış tahmini için kurulan modeller……..... 50
Tablo 5.3 YBM I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri……..…. 50
Tablo 5.4 YBM I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri……..…..... 50
Tablo 5.5 YBM I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı 51
Tablo 5.6 YBM I. tip akış tahmini için model davranışları……...…... 51
Tablo 5.7 YBM I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri..……..….... 52
Tablo 5.8 YBM I. tip akış tahmininde MY4 için model davranışları…….…..….. 53
Tablo 5.9 YBM II. tip akış tahmini için kurulan modeller……..……..... 55
Tablo 5.10 YBM II. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri…… 55
Tablo 5.11 YBM II. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı ... 55
Tablo 5.12 YBM II. tip akış tahmini için model davranışları……...…. 56
Tablo 5.13 YBM II. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri……..... 58
Tablo 5.14 Banaz çayı I. tip akış tahmini için kurulan modeller……..…. 60
Tablo 5.15 Banaz çayı I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri…..... 60
Tablo 5.16 Banaz çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri..…… 60
Tablo 5.17 Banaz çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı.. 61
Tablo 5.18 Banaz çayı I. tip akış tahmini için model davranışları …….……..…. 61
Tablo 5.19 Banaz çayı I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri……..... 63
Tablo 5.20 Banaz çayı I. tip akış tahmininde MY3 için model davranışları…… 63
Tablo 5.21 Banaz çayı II. tip akış tahmini için kurulan modeller……...…….. 64
Tablo 5.22 Banaz çayı II. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri…... 64
Tablo 5.23 Banaz çayı II. tip akış tahmini için model davranışları…….. 66
Tablo 5.24 Banaz çayı I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri……..... 68
Tablo 5.25 Çine çayı I. tip akış tahmini için kurulan modeller…….……..... 70
Tablo 5.26 Çine çayı I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri……... 70
Tablo 5.27 Çine çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…..…..... 70
Tablo 5.28 Çine çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı… 71
Tablo 5.29 Çine çayı I. tip akış tahmini için model davranışları…….……..... 71
Tablo 5.30 Çine çayı I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri……... 73
Tablo 5.31 Çine çayı I. tip akış tahmininde MY2 için model davranışları…….…….. 73
Tablo 5.32 Çine çayı II. tip akış tahmini için kurulan modeller……... 74
Tablo 5.33 Çine çayı II. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri…….. 74
Tablo 5.34 Çine çayı II. tip akış tahmini için model davranışları…….…… 76
Tablo 5.35 Çine çayı II. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri…….. 78
Tablo 5.36 BMO I. tip akış tahmini için kurulan modeller……... 80
Tablo 5.37 BMO I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri……..... 80

Tablo 5.38 BMO I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri..…….. 80
Tablo 5.39 BMO I. tip akış tahmini için eğitim/sınama verilerinin yapısı…..…..... 81
Tablo 5.40 BMO I. tip akış tahmini için model davranışları…….……... 81
Tablo 5.41 BMO I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri……..... 83
Tablo 5.42 BMO I. tip akış tahmininde MY1 kümesi için model davranışları…..... 84
Tablo 5.43 BMO II. tip akış tahmini için kurulan modeller……..... 84
Tablo 5.44 BMO II. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…….. 86
Tablo 5.45 BMO II. tip akış tahmini için model davranışları…….…….. 86
Tablo 5.46 BMO II. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri…… 87
Tablo 5.47 BMO II. tip akış tahmininde MY1 için model davranışları…….…... 87
Tablo 5.48 BMO III. tip akış tahmini için kurulan modeller…… 89
Tablo 5.49 BMO III. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri..…… 89
Tablo 5.50 BMO III. tip akış tahmini için model davranışları……..... 89
Tablo 5.51 BMO III. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri……... 91
Tablo 5.52 BMO III. tip akış tahmini MY1 kümesi için model davranışları...…..... 92
Tablo 5.53 BMO IV. tip akış tahmini için kurulan modeller…… 94
Tablo 5.54 BMO IV. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri..……..... 94
Tablo 5.55 BMO IV. tip akış tahmini için model davranışları……..... 94
Tablo 5.56 BMO IV. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri…….. 96
Tablo 5.57 BMO V. tip akış tahmini için kurulan modeller……..... 97
Tablo 5.58 BMO V. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…….. 97
Tablo 5.59 BMO V. tip akış tahmini için model davranışları …….……. 99
Tablo 5.60 BMO V. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri…… 99
Tablo 5.61 BMO VI. tip akış tahmini için kurulan modeller…… 101
Tablo 5.62 BMO VI. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri..…… 101
Tablo 5.63 BMO VI. tip akış tahmini için model davranışları……..... 101
Tablo 5.64 BMO IV. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri…….. 104
Tablo 5.65 YBM akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri…….. 106
Tablo 5.66 YBM akış tahmin modellerinin davranışları…….. 106
Tablo 5.67 Banaz çayı akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri……. 107
Tablo 5.68 Banaz çayı akış tahmin modellerinin davranışları……. 107
Tablo 5.69 Çine çayı akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri…….. 109
Tablo 5.70 Çine çayı akış tahmin modellerinin davranışları…….. 109
Tablo 5.71 BMO akış tahmin modelleri için seçilen eğitim parametreleri……..... 111
Tablo 5.72 BMO akış tahmin modellerinin davranışları…… 111
Tablo 6.1 Katı madde tahmini için korelasyonlar……..……... 116
Tablo 6.2 YBM I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller……..... 117
Tablo 6.3 YBM I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…...…. 117
Tablo 6.4 YBM I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama verilerinin yapısı….. 117
Tablo 6.5 YBM I. tip katı madde tahmini için model davranışları……... 118
Tablo 6.6 YBM I. tip katı madde tahmini için seçilen eğitim parametreleri…… 119
Tablo 6.7 YBM MY3 için I. tip katı madde tahmin model davranışları ……..... 120
Tablo 6.8 YBM II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller……..…….. 121
Tablo 6.9 YBM II. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…..... 121
Tablo 6.10 YBM II. tip katı madde tahmini için model davranışları…….…... 121
Tablo 6.11 YBM II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri……..... 124
Tablo 6.12 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller……... 125
Tablo 6.13 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri. 125
Tablo 6.14 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için veri kümelerinin yapısı...…. 125
Tablo 6.15 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için model davranışları…… 125

Tablo 6.16 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri…….. 127
Tablo 6.17 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için model davranışları ……... 127
Tablo 6.18 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller…….. 129
Tablo 6.19 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri 129
Tablo 6.20 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için model davranışları…….…. 129
Tablo 6.21 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri…… 132
Tablo 6.22 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller……..... 133
Tablo 6.23 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri… 133
Tablo 6.24 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için veri kümelerinin yapısı…… 133
Tablo 6.25 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için model davranışları…….…….. 133
Tablo 6.26 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri…… 135
Tablo 6.27 Çine çayı I. tip katı madde tahmininde model davranışları…….…... 136
Tablo 6.28 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller…… 137
Tablo 6.29 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için model davranışları…….…..... 137
Tablo 6.30 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri……... 140
Tablo 6.31 BMO I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller……... 141
Tablo 6.32 BMO I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…..... 141
Tablo 6.33 BMO I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama verilerinin yapısı ... 142
Tablo 6.34 BMO I. tip katı madde tahmini için model davranışları……..……... 142
Tablo 6.35 BMO I. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri…….……. 144
Tablo 6.36 BMO I. tip katı madde tahmininde MY3 için model davranışları…..…. 144
Tablo 6.37 BMO II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller…… 146
Tablo 6.38 BMO II. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…... 146
Tablo 6.39 BMO II. tip katı madde tahmini için model davranışları…….……... 146
Tablo 6.40 BMO II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri……..... 148
Tablo 6.41 BMO III. tip katı madde tahmini için kurulan modeller…….…… 150
Tablo 6.42 BMO III. tip katı madde tahmini için model davranışları…….. 150
Tablo 6.43 BMO III. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri…… 152
Tablo 6.44 BMO IV. tip katı madde tahmini için kurulan modeller…… 153
Tablo 6.45 BMO IV. tip katı madde tahmini için model davranışları……..... 154
Tablo 6.46 BMO IV. Tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri…….. 157
Tablo 6.47 YBM katı madde tahmini için seçilen eğitim parametreleri…….. 158
Tablo 6.48 YBM katı madde tahmin modellerinin davranışları. ……..... 158
Tablo 6.49 Banaz çayı katı madde tahmini için eğitim parametreleri……..… 159
Tablo 6.50 Banaz çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması……..... 159
Tablo 6.51 Çine çayı katı madde tahmin modelleri eğitim parametreleri……. 160
Tablo 6.52 Banaz çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması……..... 160
Tablo 6.53 BMO katı madde tahmin modelleri için seçilen eğitim parametreleri… 161
Tablo 6.54 BMO katı madde tahmin modellerinin davranışları…….…….. 161
Tablo 7.1 BMO akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri…….…….. 165
Tablo 7.2 Farklı uzunluktaki eğitim kümeleri için BMO akış model davranışları.. 166
Tablo 7.3 BMO akış tahmin modelleri için seçilen eğitim parametreleri……..... 166
Tablo 7.4 BMO farklı üyelik fonksiyon sayısı için akış model davranışları……..... 167
Tablo 7.5 BMO farklı öğrenme algoritmaları için akış model davranışları……..... 167
Tablo 7.6 BMO akış tahmin modelleri için seçilen İBYSA eğitim parametreleri..... 169
Tablo 7.7 BMO ANFIS ve İBYSA modellerinin davranışları…….…..... 169
Tablo 7.8 YBM akış tahmin modelleri için seçilen İBYSA eğitim parametreleri..... 171
Tablo 7.9 YBM ANFIS ve İBYSA akış tahmin modellerinin davranışları……..... 171
Tablo 7.10 BMO akış tahmin modelleri için seçilen İBYSA eğitim parametreleri….. 172
Tablo 7.11 BMO ANFIS ve İBYSA modellerinin davranışları……..... 173

SİMGELER DİZİNİ

A_i , B_i	Bulanık kümeler
μ_A	Üyelik fonksiyonu
X	Evrensel küme
X_A	X evrensel kümesinde A alt kümesi
$\mu_{A\cap B}(x)$	Bulanık kümede kesişim operatörü
$\mu_{A\cup B}(x)$	Bulanık kümede birleşim operatörü
$\mu_{\bar{A}}(x)$	Bulanık kümede tümleyen operatörü
x, y	Giriş değişkenleri
z	Çıkış değişkeni
w_i	Ateşleme kuvveti
$F_1(x), F_2(y)$	Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları
Y_{out}	Yapay sinir ağının ürettiği sonuç,
$f(Y_{net})$	Transfer fonksiyonu
Y_{net}	Yapay sinir ağı toplam fonksiyonu
Y_i	Yapay sinir ağ nöron girdisi
w_i	Her bir nöron girdisine ait ağırlık katsayısı
w_0	Bias
Jr	Gerçek değer ile ağın ürettiği sonuç arasındaki hata
$Y_{gerçek}$	Gerçek çıkış değeri
X	Radial taban sinir ağı giriş eğitim verisi
c_j	merkez
σ	varyans (genişlik) değeri
$\psi_j(x)$	j. gizli birimin ürettiği sonuç
w_{jk}	(*j*). gizli birim ile (*k*).çıkış birimi arasındaki ağırlık katsayısı
d_{max}	Eğitim verisi arasındaki maksimum mesafe
$\hat{y}_{net}$	Radial tabanlı sinir ağının ürettiği sonuç
p_i, q_i, r_i	Çıkarım sisteminin çıkış parametreleri
$O_{1,i}$	Çıkarım sisteminde düğüm çıkışı
a_i, b_i, c_i	Çıkarım sisteminin giriş parametreleri
$f(x,y)$	Çıkarım sisteminin çıkışı

1. GİRİŞ

Bir havzada, yağış-akış ve katı madde parametreleri, biriktirme haznelerinin planlanması ve işletilmesi, toprak koruma, kuraklık ve taşkın kontrol çalışmalarında, çevresel kirlenme ve koruma alanlarında oldukça önem taşımaktadır. Bu nedenle, akış ve katı madde miktarı gibi doğrusal olmayan yapıya sahip hidrolojik olayların doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Doğal sistemler ile bu parametreler arasındaki ilişki, dinamik yapıya sahip olup, sistemin davranışını ortaya koymaktadır. Bu parametrelerin hesabı, bazı kabullere ve basitleştirmelere göre yapılmaktır. Ancak bu durum, sistemin gerçek davranışını ve yapısını yansıtmamaktadır. Hesaplamalarda, bu parametrelerin özelliklerinin yanı sıra havzanın karakteristik özelliklerinin de doğru bir şekilde tanımlanması ve modellemede göz önüne alınması gerekmektedir. Akarsu akış tahmini ve yağış-akış modellemesi, hidroloji alanında daima en önemli konulardan biri olmuştur. Ayrıca, taşkın tahmini için de oldukça karmaşık yapıya sahip yağış-akış modelleri geliştirilmiştir. Yağış özellikleri ve havzanın fiziksel karakteristikleri, çok geniş alanda ve zamanda değiştiği için, bu parametrelere göre modelleme yaparak yağış-akış ilişkisini açıklamak oldukça zordur. Yağıştan akışa geçiş olayı, yüksek dereceden doğrusal olmayan bir yapıya sahip olup, basit bir modelleme ile kolaylıkla açıklanamayan, zamanla ve konumla değişen, geniş dağılımlı birçok hidrolojik bileşenleri içermektedir. Son yıllarda, bu tür doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yapay zeka teknikleri olarak bilinen yeni yöntemler etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan **B**ulanık **M**antık (**BM**) yöntemi, insanın düşünme ve karar vermesini matematiksel olarak açıklamak için, Zadeh (1963) tarafından önerilmiştir (Şen 2001). Bu yöntem, modellemede diğer geleneksel yöntemler gibi havzanın veya bölgenin fiziksel özelliklerine ihtiyaç duymadan, sadece geçmişte gözlenen giriş-çıkış verilerini kullanarak çözüm üretmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında, Büyük Menderes havzasında, günlük akarsu akış ve taşınan katı madde miktarının sinirsel bulanık mantık yöntemi (ANFIS) ile tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için geçmişte gözlenen yağış, akış ve katı madde verileri kullanılmıştır. Büyük Menderes havzasına ait akım ve katı madde ölçümleri

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'den ve havzaya ait yağış ölçümleri de Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)'den temin edilmiştir. Tez genel olarak, giriş, literatür, materyal ve yöntem, çalışma alanı ve veri, ANFIS ile akış ve katı madde tahmini uygulamaları, duyarlılık analizi, sonuçlar ve öneriler kısmından meydana gelmektedir.

Büyük Menderes havzası, akış ve katı madde tahmin çalışması için, dört alt havzaya bölünmüştür. Bu alt havzalardan birincisi, Büyük Menderes nehrinin ilk doğduğu ve Adıgüzel barajını besleyen ana kolun yer aldığı *Yukarı Büyük Menderes alt havzasıdır (713 nolu Akım Gözlem İstasyonu (AGİ))*. İkinci alt havza, yine Büyük Menderes Havzasının doğu kesiminde yer alan ve Adıgüzel barajını besleyen diğer bir kol olan Banaz çayının bulunduğu *Banaz Çayı alt havzası*dır (735 nolu AGİ). Üçüncü alt havza; Adıgüzel barajının mansabında başlayan, Büyük Menderes Havzasının orta kesiminde yer alan ve Büyük Menderes nehrinin ana kolu ile, Akçay, Çürüksu ve Gökpınar çaylarını içine alan *Büyük Menderes Orta alt havzasıdır (706 nolu AGİ)*. Son alt havza ise, Çine, Topçam ve Karpuzlu barajlarının bulunduğu ve Çine çayının yer aldığı *Çine Çayı havzasıdır(701 nolu AGİ)*.

Büyük Menderes havzasında akış tahmini için, ilk önce sadece akış verilerinin kullanılması ile farklı giriş sayı/yapısına sahip modeller kurulmuştur (I. Tip Akış tahmin modeli). Daha sonra bu modellere, ortalama yağış değişkenin eklenmesi ile yeni modeller kurulmuş (II. Tip Akış tahmin modeli) ve çözülerek sonuçları değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi, zemin nemi akarsu akışı üzerinde oldukça etkilidir. Çünkü yağıştan sonra, zemine düşen yağışın bir kısmı yeraltına sızarken bir kısmı da yüzeysel akışa geçmektedir. Eğer yağıştan önce zemin nemi yüksek değerde ise, yağıştan sonra sızma olayı daha az olacağından yüzeysel akış artacaktır. Bu nedenle akışın belirlenmesinde zemin nemi oldukça önemlidir. Ancak zemin neminin direk ölçümü yapılamamaktadır. Bunun için, yağış-akış modellerinde, yağış değişkenin önceki zamanlara ait değerleri dikkate alınmış ve buna göre modeller kurulmuştur. Böylece, hem yağışın akışa geçme süresi ve hem de zemin nemi etkisi dikkate alınmıştır. Akış tahmini için, modeller kurulmadan önce, giriş değişkenleri ile çıkış değişkeni arasında Pearson ve Spearman korelasyonları hesaplanmış ve bu ölçütlere göre giriş yapısı belirlenmiştir.

Büyük Menderes havzasında katı madde tahmini için, ilk önce sadece akış verilerinin kullanılması ile farklı giriş sayı/yapısına sahip modeller kurulmuştur (I. tip katı madde tahmin modeli). Daha sonra bu modellere, ortalama yağış değişkeninin eklenmesi ile yeni modeller kurulmuş (II. tip katı madde tahmin modeli) ve çözülerek sonuçları değerlendirilmiştir. Akış tahmininde olduğu gibi, katı madde tahmininde de zemin neminin etkisini dikkate almak için, yağış değişkeninin önceki zamanlara ait değerleri dikkate alınmış ve buna göre modeller kurulmuştur. Böylece, hem yağışın akışa geçme süresi ve hem de zemin nemi etkisi dikkate alınmış olunmaktadır. Ayrıca, akış tahmininde olduğu gibi, modeller kurulmadan önce, giriş değişkenleri ile çıkış değişkeni arasında Pearson ve Spearman korelasyonları hesaplanmış ve bu ölçütlere göre giriş yapısı belirlenmiştir.

Akış ve katı madde tahmini için veriler toplanmış, giriş yapıları ve sayıları belirlenerek modeller kurulmuştur. Akış ve katı madde tahmininde giriş sayısı ve yapısı model davranışı üzerinde oldukça etkilidir. Çünkü bulanık kurallar giriş değişken sayısına göre belirlenmekte olup bu da model çıkışını etkilemektedir. Bunun yanında, eğitim ve sınama veri kümesi ve yapısı da model davranışını etkilemektedir. Bu nedenle eğitim veri kümesi tüm veri kümesinin karakteristiğini yansıtmalıdır. Bunun için akış ve katı madde tahmininde bütün alt havzalarda, modellerdeki ve veri kümelerindeki belirsizliği ortadan kaldırmak, daha hassas ve doğru bir modelleme yapmak ve model başarısını arttırmak için *çapraz geçerlilik* (*cross validation*) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde veri kümesi, her birinde (***n***) adet gözlem bulunan (***m***) adet alt kümeye ayrılmıştır. Bu çalışmada tüm alt havzalarda veri kümeleri dört alt kümeye ayrılmıştır. Bu dört alt küme her biri hem eğitimde ve hem de sınama veri kümesinde yer alacak şekilde sistematik bir biçimde düzenlenmiş ve dört ayrı eğitim/sınama veri küme grubu oluşturulmuştur. Yani, sınama veri kümesi rasgele seçilmiş veriler yerine belirli bir düzen içerisinde seçilmiş verilerden oluşmaktadır.

Bütün alt havzalarda bu işlem gerçekleştirildikten sonra, kurulan akış ve katı madde tahmin modelleri, bu dört ayrı eğitim veri kümeleri için ayrı ayrı eğitilmiş ve sınama verileri ile sınanmıştır. Bundan sonraki adımda, bütün alt havzalar için, ilk önce en uygun akış ve katı madde model yapısı belirlenmiştir. Bunun için çeşitli başarı değerlendirme ölçütleri hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu şekilde akış ve katı madde tahmini için en uygun model yapısı belirlenmiştir.

Bu çalışmada ayrıca, bütün alt havzalarda en uygun ANFIS akış ve katı madde tahmin modellerinin davranışlarını değerlendirmek ve daha hassas bir karşılaştırma yapmak için, bu model yapıları İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA) ve Merkezcil Tabanlı Sinir Ağları (MTSA) ile çözülmüş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Doğru ve güvenilir bir değerlendirme için, en uygun modeller sadece en uygun eğitim ve sınama veri kümeleri ile eğitilmiş ve sınanmıştır. YSA ve MTSA modelleri için aynı şekilde başarı değerlendirme ölçütleri hesaplanmış ve ANFIS tahmin modelleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca ANFIS tahmin model sonuçları arazi gözlem verileri ile karşılaştırılarak modellerin tahmindeki başarısı değerlendirilmiştir. ANFIS modellerinin çözümünde Matlab 7.0 programı kullanılmıştır. YSA ve MTSA modellerinin eğitiminde ise Matlab 7.0'da yazılan programlar kullanılmış ve çözümler pratik ve sistematik bir şekilde yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, duyarlılık analizi yapmak amacıyla; bütün alt havzalar için, veri küme uzunluğunun model davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için en uygun ANFIS tahmin modelleri farklı uzunluktaki veri kümeleri ile eğitilmiş ve sınama edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek veri kümesi uzunluğunun model başarısı üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. ANFIS ile model kurulurken birçok parametre dikkate alınmakta olup bu parametrelerin model başarısını etkilediği bilinmektedir. Bunun için, giriş üyelik fonksiyonu sayısı ve tipinin (bulanıklaştırmada kullanılan), öğrenme algoritmasının model başarısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR

2.1. Yüzeysel Akış

Son yıllarda, hazne planlama ve işletme çalışmaları, su kaynaklarının planlanması gibi hidrolojik çalışmalarda yağış-akış modelleri oldukça önemli bir konuma gelmiştir. Havzaya düşen yağıştan kayıpların çıkarılmasından sonra geriye kalan kısma yüzeysel akış denir. Bir akarsu havzasında akışın, havzanın karakteristik özellikleri ile hidrolojik özellikler arasındaki ilişkiye bağlı olması beklenir. Havza karakteristikleri; akışını sızmasını ve yeraltı akışını etkileyen zeminin cinsi ve özellikleri, havza yüzeyindeki akış miktarını, hızını etkileyen bitki örtüsü, havza büyüklüğü, havzanın zirve debisini etkileyen havza biçimi, havza eğimi vb. şeklinde yazılabilir (Bayazıt 1995).

2.1.1. Akışın kısımlara ayrılması

Bir akarsu kesitinden geçen toplam akış çeşitli kısımlardan meydana gelmektedir. Havzaya düşen yağışın yüzeysel akışa geçen kısmı ve zemine sızan suyun bir kısmı yüzeye yakın doymamış bölgede ilerleyerek geçirimsiz bir tabakaya rastlayınca yüzeye çıkan su (yüzey altı akış olarak tanımlanır) akarsuyu besleyebilir. Zemine sızan suyun diğer bir kısmı ise, derinlere inerek yeraltı suyuna karışır ve yer altı akışı olarak akarsuyu besler. Bir akarsu kesitinde toplam akış genel olarak "*dolaysız akış*" ve "*taban akışı*" olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Bayazıt 1995). Dolaysız akış, yüzeysel akış ile yüzey altı akışının gecikmesiz (zemine sızdıktan kısa bir süre sonra akarsuya ulaşan) kısmından oluşmakta ancak yağış şiddeti, sızma kapasitesini aştığı durumlarda meydana geleceğinden şiddetli yağışlardan sonra önem taşımaktadır. Taban akışı ise, yeraltı akışı ile yüzey altı akışının gecikmeli kısmından meydana gelmektedir. Ancak, yeraltı akışı, yerin derin bölgelerinde hareket ettiğinden dolayı akarsuya ulaşması zaman almaktadır. Havzaya düşen yağışın kısımlara ayrılmasında, yağış şiddeti ve süresi, yağış havza üzerindeki dağılımı, havzanın ve akarsuyun karakteristik özellikleri, zemin nemi gibi birçok parametre etkilidir. Yağış sırasında ve sonrasında, herhangi bir anda bir akarsu kesitinden geçen suyun önemli bir kısmını yüzeysel akış, küçük bir kısmı ise doğrudan akarsuya düşen yağış olup, yeraltı akış miktarını meydana getirmektedir.

2.1.2. Yağış akış ilişkisi

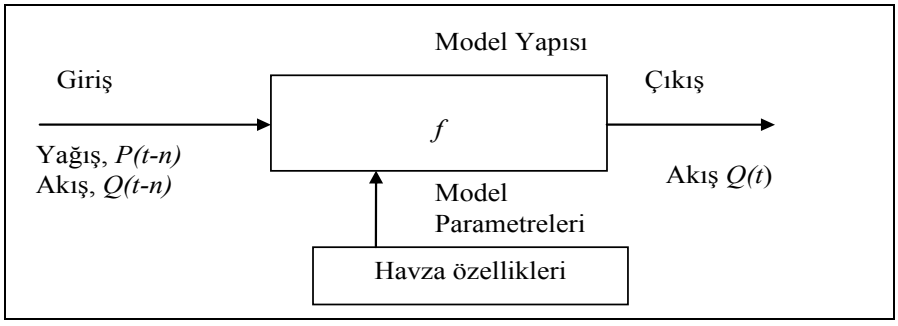
Bir havzada, meydana gelen yağışa karşılık gelecek dolaysız akış yüksekliğini belirlemek için yağış-akış bağıntılarının kurulması gerekmektedir. Geliştirilen bu bağıntılar akım ölçümleri bulunmayan havzalarda akış yüksekliğinin tahmininde kullanılabilir. Yağış ile akış arasında bir bağıntı kurmanın en kolay yolu, çeşitli yağışlara ait akış yüksekliklerini yağış yükseklikleri ile ilişkilendirmek şeklinde olabilir. Bir eksene yağış, diğer eksene akış yüksekliğini yerleştirdiğimizde elde edilen noktalar bir eğri etrafında yoğunlaşır. Eğer eğriden sapmalar çok fazla ise, olayda başka parametrelerin de etkili olduğu söylenebilir. Bu parametrelerin en önemlisi sızma olayını ve dolayısıyla da yüzeysel akışı etkileyen zeminin başlangıç nemidir. Bu nedenle zemin neminin akış tahmin bağıntılarında etkili bir parametre olarak dikkate alınması gerekmektedir. Ancak bu zemin nemi parametresi doğrudan doğruya ölçülemediğinden, göz önüne alınan yağışın önceki zamana ait değerleri kullanılarak bu etki hesaba katılabilir. Yani akış tahmini için, tahmin zamanından önceki zamana ait yağış verileri dikkate alınması daha uygun olacaktır. Yağış-akış modelleri yada akış tahmin modelleri kurulurken, tahmin yapılan zamandan önceki zamana ait akışlar da giriş parametresi olarak kullanılabilir. Yapılan bu çalışmada da, akış tahmin ve yağış-akış modellerinde, zemin neminin etkisini hesaba katmak için, akış ve yağış verilerinin tahmin edilen zamandan önceki zamana ait değerleri kullanılmış ve bunlara göre modeller geliştirilmiştir.

Bir akarsu havzasında maksimum akışların tahmin edilmesi, akarsu yapılarının projelendirilmesindeki en önemli adımlardan biridir. Akarsu havzasına düşen yağışı akışa geçiren bir olayı bir sistem olarak düşünürsek bu sistemi denklem (2.1)'deki gibi ifade edebiliriz.

$$Q(t) = f(X(t)) \tag{2.1}$$

Burada, $Q(t)$ (t) anında bir akarsu kesitinden geçen akışı, $X(t)$, meteorolojik yada fiziksel karakteristikler gibi akışı etkileyen parametrelerin değişik zamanlara ait değerleri şeklinde tanımlanabilir. Denklem (2.1)'de verilen sistemde, akış değeri oldukça fazla parametreye bağlı olduğundan, bu dönüşümün matematiksel olarak ifade edilmesi için bazı basitleştirici kabuller yapılması gerekmektedir. Bir akarsu havzasında

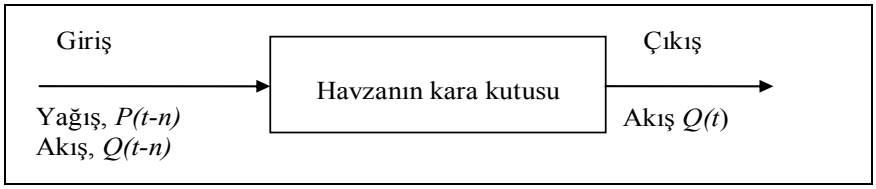
tahmin modeli kurulurken temel olarak iki yol izlenir. Bunlardan birincisi, havzada yağışın akışa dönüşmesi olayı, sızma, yeraltı akışı, yüzey altı akışı gibi çeşitli bileşenlere ayrılarak bunlar arasındaki ilişkiler ifade edilir. Bu ilişki belirlenirken, havzanın yada akarsuyun fiziksel karakteristiği ile ilgili parametreler belirlenerek havzanın parametrik (çok bileşenli) modeli kurulur. Havzada ikinci olarak kara kutu (kapalı kutu) modelleri kurularak tahmin gerçekleştirebilir. Bu yöntemde, olaylar detaylı olarak incelenmeyip, havzada gözlenmiş yağış ve akış kayıtları incelenerek modelleme gerçekleştirilir. En çok kullanılan kara kutu modeli birim hidrograf yöntemidir. Parametrik havza modellerinin kurulması ve parametrelerin belirlenmesi, yağışı akışa dönüştüren havza sisteminin doğrusal bir yapıya sahip olmamasından dolayı pratikte çoğu zaman kapalı kutu modeli kurma yoluna gidilir. Havza sisteminde yağışın akışa dönüşümünün doğrusal olmaması ise şu şekilde açıklanabilir. Herhangi bir $P_1(t)$ yağışına karşılık gelen akış $Q_1(t)$, $P_2(t)$ yağışına karşılık gelen akış $Q_2(t)$ şeklinde ifade edilirse, $P_1(t)+ P_2(t)$ yağışının meydana getireceği akış her zaman $Q_1(t)+ Q_2(t)$ şeklinde ifade edilemez. Yani süperpozisyon prensibi uygulanamaz ve dolayısıyla sistemin doğrusal bir yapıya sahip olduğu söylenemez (Bayazıt 1995). Literatürden konuyla ilgili daha detaylı bilgi elde edilebilir. Havza sisteminin matematik model yapısı genel olarak Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Havza sisteminin matematik model yapısı

Yapılan bu doktora tez çalışmasında, yukarıda verilen durumlar göz önüne alınarak, akarsuyun herhangi bir kesitinde akış tahmini gerçekleştirmek için modeller kurulmuştur. Bu amaçla, ilk önce sadece akış verilerinin önceki zamana ait değerleri kullanılarak modeller geliştirilmiş ve daha sonra ise yağış ve akış parametrelerinin önceki zamanlara ait değerleri kullanılmıştır. Yukarıda da bahsedildiği gibi, yağış ve akış parametrelerinin önceki zamanlara ait değerlerinin kullanılması ile, zemin neminin etkisi göz önüne alınmıştır. Kurulan modellerde, yağış ve akış parametreleri dışında,

havzanın ve akarsuyun karakteristik özellikleri, toprak yapısı vb. fiziksel özellikler dikkate alınmamıştır. Şekil 2.2'de akış tahmini ve yağış-akış modellemesi için geliştirilen modellerin genel yapısı verilmektedir. Tahmin modelinde, giriş parametresi olarak kullanılan yağış ve akışların önceki zamanın hangi değerine kadar gidileceği, aralarındaki korelasyona göre belirlenmektedir.



Şekil 2.2 Akış tahmin modellerinin genel yapısı

2.2. Akarsularda Katı Madde Hareketi

Akarsuda taşınan toplam katı madde miktarı planlama, toprak koruma projelerinin tasarımı ve değerlendirilmesinde, hazne tasarım ve işletilmesinde, çevresel ve su kirlenmesi kontrol ölçümlerinde, kuraklık ve taşkın kontrol programlarında oldukça önemlidir. Bir akarsuda, taşınan toplam katı madde, erozyondan ve akarsu yatağındaki aşınmalardan kaynaklanmaktadır. Toprak erozyonu, zemin parçacıklarının yağış ve yüzeysel akışlar ile zemin yüzeyinden koparak taşınması şeklinde açıklanır ve katı madde ise erozyon işlemi ile doğrudan ilişkilidir. Akarsu yatağındaki aşınmalar o bölgede oyulmaların oluşmasına, akımın gücünün azaldığı bölgelerde ise yığılmalara neden olurlar ve sonuçta akarsu morfolojisinde değişimler meydana getirirler.

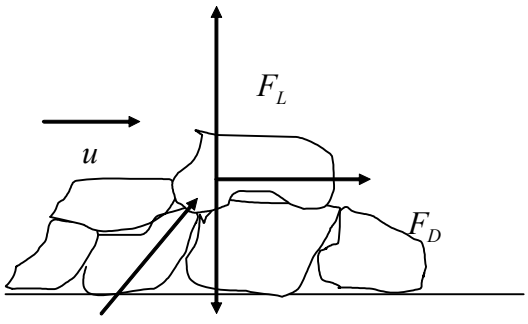
Akarsularda taşınan katı maddeler malzeme kaynağına göre, yıkanmış ve yatak malzemesi şeklinde sınıflandırılabilirler. Yıkanmış malzeme, çoğunluğunu havza erozyonundan gelen malzemeler oluştururken, yatak malzemesi, hareketli tabanı oluşturan malzemedir. Akarsularda taşınan katı madde taşınma şekline göre, suyun içinde askı halinde bulunan askı malzemesi ve akarsu yatağında yuvarlanarak veya kayarak hareket eden sürüntü malzemesi şeklinde iki gruba ayrılabilir (Erkek ve Ağıralioğlu 2002). Katı madde çalışmalarında, taşınma şekillerine göre yapılan sınıflandırma kullanılmakta ve askı ve sürüntü malzemesinin toplamı, toplam katı madde miktarını vermektedir.

Katı madde hareketi ya da katı maddenin üretimi, zemin parçacığının ayrılması, taşınması ve yeniden depolanması gibi birçok faktöre bağlı karmaşık bir işlemdir. Zemin parçacığın ayrılması ve taşınması ise, parçacığın fiziksel ve kimyasal özellikleri, yağış ve akış karakteristikleri, arazinin yapısına ve kullanım biçimi şeklinde birçok parametreye bağlıdır. Oldukça karmaşık bir yapıya ve işleme sahip olan katı madde üretim ve taşınımının iyi ve doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Yani denklem geliştirirken ya da modelle gerçekleştirilirken, alt işlemlerin, havzada toprak özelliklerinin ve kullanım biçimlerinin, yağış ve yüzeysel akış karakteristiklerinin detaylı bir şekilde tanımlanması ve modelleme sırasında dikkate alınması gerekmektedir. Ancak bu kadar detaylı verinin toplanması ve modellemede dikkate alınması oldukça zor bir işlemdir.

2.2.1. Taban hareketinin başlaması

Tabandaki hareketin başlangıcı ile ilgili ilk çalışmayı Shields yapmıştır. Harekete başlama durumu için Reynolds sayısı ile ψ arasındaki bağıntıyı incelemiştir. Bir akarsu tabanında yatak malzemesine bir takım kuvvetler etki etmektedir. Bu tabanın akımla temas eden üst yüzeyindeki bir daneye etkileyen kuvvetler Şekil 2.3'de verilmektedir.

- Ağırlık kuvveti (danenin su altındaki ağırlığı), G'
- Hidrodinamik kaldırma kuvveti, F_L
- Hidrodinamik sürükleme kuvveti, F_D
- Bu daneyle temasta olan diğer danelerin etkisinden doğan reaksiyon kuvvetleri, R



Şekil 2.3 Tabandaki bir daneye etki eden kuvvetler

Hidrodinamik kaldırma kuvveti, Danenin üst tarafında akım çizgilerinin eğriliği sebebiyle basıncın azalmasından ileri gelir. Danenin alt tarafındaki su hemen hemen hareketsiz olduğu için eğriliği dolayısıyla basınç hidrostatik değerin altına düştüğü için

daneye yukarıya yönelmiş (F_L) kaldırma kuvveti etki eder ve bu kuvvet denklem (2.2)'deki gibi ifade edilir.

$$F_L = \frac{\rho.u^2.A.c_L}{2} \tag{2.2}$$

Sürükleme kuvveti, Viskoziteden ve sınır tabakasının ayrılmasından ileri gelir. Taban yakınlarında akım laminer ise bu kuvvet sadece viskoz etkilerden doğar. Deneylerde taban yakınındaki laminer alt tabaka daneleri örtüyorsa bu durum görülür, danelerin arkasında sınır tabakası ayrılmaz. Yüksek Reynolds sayılarında laminer alt tabaka kalınlığı azalınca daneler bu tabakanın dışına çıkar. Dane yakınında akım çizgileri yer değiştirir. Danenin arkasında bir ayrılma bölgesi meydana gelir. Bu bölgenin büyüklüğü dane üzerinde sınır tabakasının ayrılma noktasına bağlı olup bu da danenin ön ve arkasında basınçlar farklı değerler alır, daneyi akım yönünde hareket ettirici bir kuvvet doğar. Sonuç olarak , (F_D) sürükleme kuvveti, denklem (2.3)'de verilen yüzeysel direnç(sürtünme) ve denklem (2.4)'de verilen biçim direnci (basınç) bileşenlerinden meydana gelir.

$$F_D = \frac{\rho.u^2.A.C_D}{2} \tag{2.3}$$

$$F_L = \frac{\rho.u^2.A.C_L}{2} \tag{2.4}$$

Daneyi etkileyen kuvvetlerden ağırlığın akım doğrultusuna dik bileşeni daneyi yerinde tutmaya, kaldırma kuvveti, sürükleme kuvveti ve ağırlığın akım doğrultusundaki bileşeni ise daneyi harekete geçirmeye çalışmaktadır. Herhangi bir değme noktasına göre, alınan bileşke momentin sıfır olduğu anda dane yuvarlanarak harekete geçer. Parçacığa etki eden kuvvetlerin büyüklüğü, parçacığın büyüklüğüne, yatağın pürüzlülüğüne, etrafındaki suyun ortalama hızına bağlıdır. Akarsularda katı madde hareketinde kayma (sürükleme) gerilmesi oldukça önemli bir rol oynamakta olup yapısı denklem (2.5)'de verilmektedir.

$$\tau_0 = \gamma.R.J \tag{2.5}$$

Burada, γ, suyun özgül ağırlığı, R, hidrolik yarıçap, J ise hidrolik eğim olarak ifade edilir. Hareketin başlaması için danenin hızının, kritik hızdan büyük olması gerekir.

Ayrıca kayma gerilmesinin kritik kayma gerilmesinden büyük olması halinde tabanda hareket başlar. Bir akarsuda taşınan katı madde miktarı, özellikle, su alma yerinin ve yapısının seçiminde, su kuvveti tesislerinde, baraj hazne tasarım ve işletme çalışmalarında, akarsuya yerleştirilecek köprü ayaklarının tasarımında taşınan katı madde miktarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Akarsularda taşınan katı madde miktarına etki eden parametreler genel olarak aşağıdaki gibi verilebilir (Erkek ve Ağıralioğlu 2002).

Akışkanın özellikleri : $(\nu\, \rho\, \varepsilon)$

Taban malzemesinin özellikleri : (D, ρ_S, w)

Akımın özellikleri : (Q, h, τ_0)

Yerçekimi ivmesi : (g)

Boyut analiz kullanılarak yukarıda verilen değişkenler arasında bir takım boyutsuz bağıntılar geliştirebilir. Değişken sayısına bakıldığında, katı madde sistemin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

2.2.2. Askı maddesi

Taban malzemesinin askı haline geçişi çeşitli şekillerde olur. Bunlar;

- Sürüntü hareketi yapan danelerden üstte olanlar türbülans çevrilerine kapılarak yukarı fırlarlar. Türbülans nedeniyle yukarı doğru yönelmiş hareket miktarının, aşağıya doğru yönelmiş hareket miktarından fazladır. Bu fazlalık çökelme hızları sebebiyle aşağıya doğru hareket eden daneler tarafından karşılanır ve kesit içerisinde zamanla değişmeyen bir askı maddesi dağılımı meydana gelir.

- Sıçrama hareketi yapan danelerin akımın yukarı bölgelerine çıkmaları,

- Danelerin başka daneler ile çarpışması sonucu yukarı doğru fırlamaları,

- Bir taban dalgasının menba yüzü boyunca hareket eden danelerin dalganın tepesine ulaşınca yukarı doğru hareket etmeleri şeklinde verilebilir. Kısacası askı maddesinin mekanizmasının temelini türbülans hareketi oluşturmaktadır.

Yani katı maddeler tabandan yukarı doğru yükselince, onları taşıyabilecek büyüklük ve şiddette türbülans çevrilerinin bulunduğu bölgeye girmiş olurlar ve bu bölgede danelerin tabana doğru çökelme hızlarını türbülans hızının yukarıya doğru olan bileşeni karşılayarak bir kısım danelerin askı halinde kalmaları sağlanmış olur. Askı malzemesi, kabul edilebilir belli bir zamanda askıda kalır ve bu askıda kalma süresi genel olarak, parçacıığın boyutuna, fiziksel ve kimyasal özelliğine ve akım özelliğine bağlı olarak değişir. Askı hareketi, *konveksiyon,* yani akımın ortalama hızıyla iletim ve *difüzyon*, danelerin, konsantrasyonun büyük olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye doğru hareketi şeklinde olup, bu yolla taşınan daneler için maddenin korunumu prensibi sağlanmalıdır. Pratikte, askı maddesi miktarının hesabı için aşağıda verilen sıra izlenir (Erkek ve Ağıralioğlu 2002);

- Akarsu yatağında ölçme yapılacak kesit için enkesit alanı, hız, pürüzlülük katsayısı, eğim ve debi belirlenir,
- Ölçme kesitinde ölçme yapılacak düşey eksenlerin yeri ve ölçme aletleri belirlenir ve bu düşeylerdeki ölçme noktalarında hız, su derinliği ve tabandan yüksekliği ölçülür,
- Çökelme hızı ve $\alpha = \frac{w}{k.u_*} = \frac{w}{k.\sqrt{ghj}}$ çökelme hızı parametresi belirlenir,
- Daha sonra, $C = C_a.(\frac{h-z}{z}.\frac{a}{h-a})^{\alpha}$ hesaplanır ve düşey eksende aynı noktalarda hız ve konsantrasyon değerleri çarpılır ve bu çarpımların sonucu bütün en kesit boyunca entegre edilerek o kesitten geçen askı madde miktarı belirlenir.

2.2.3. Sürüntü maddesi

Sürüntü maddesinin hesabı için birçok araştırmacı tarafından deneysel bağıntı geliştirilmiş ve önerilmiştir. Bunlar, Du boys metodu, Einstein metodu, Meyer-Peter Müller (MPM) metodu şeklinde verilebilir. Ülkemizde, genellikle Einstein ve MPM metotları kullanılmaktadır. Bu metotlar karşılaştırıldığında aralarında oldukça büyük farkların olduğu görülmektedir. Pratikte, sürüntü maddesinin belirlenmesi için en güvenilir yol, göz önüne alınan akarsu kesitinde mevcut bağıntıları kontrol ve katsayıları bu akarsu kesitine göre düzenlemektir. Ayrıca, katı madde debisiyle, akarsuyun hız, debi yada derinliği arasında sadece o akarsuda geçerli olacak bir ilişkinin kurulması da mümkün olabilir. Bilindiği gibi sürüntü hareketi taban kayma gerilmesi ile

doğrudan ilişkili olup sadece danelerin direncine etkileyen kısmının belirlenmesi oldukça güçtür. Bu nedenle kayma gerilmesi yerine ortalama akım hızı kullanmak daha uygundur. Sürüntü maddesinin belirlenmesi ile ilgili geliştirilen ve önerilen yöntem yada bağıntılar ile ilgili detaylı bilgiye literatürden ulaşılabilir.

2.2.4. Akarsularda taşınan katı madde miktarının önemi ve etkileri

Bir akarsuda taşınan katı madde miktarı, özellikle, biriktirme haznelerinin (ölü hacimlerinin) tasarımı ve işletilmesi, su alma yapısının tipi ve yerinin seçimi, akarsuya yerleştirilen köprü ayakları etrafında meydana gelen oyulma ve yığılmaların belirlenmesinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, su yapılarının projelendirilmesinde ve işletilmesinde, taşınan katı madde miktarının ve zamanla değişiminin göz önüne alınması gerekmektedir. Akarsu üzerinde inşa edilen bir baraj akarsuyun akış rejimini ve katı madde debisini etkilemekte ve dengeyi değiştirmektedir. Yani baraj inşa edildikten sonra akarsuyun akış hızı azalmakta ve taşınan katı maddelerin çoğu suyun kabardığı nehir kısmında ve baraj haznesinde birikmektedir. Bu birikintiler haznenin menbaında yatak seviyesinin yükselmesine ve sonucunda delta oluşmasına sebep olmaktadır. Akarsu yatak seviyesinin yükselmesi, haznede suyun oldukça yüksek seviyelere kabarmasına ve dolayısıyla da taşkın seviyelerinin yükselmesine sebep olabilir. Taşkın yataklarının yükselmesi daha sık sel baskınlarına ve verimli tarım arazilerinin zarar görmesine sebep olabilir. Ayrıca, biriktirme haznelerinin tabanında biriken katı madde, haznenin hacmini azaltacağından barajın ekonomik ömrü azalacaktır. Bu nedenle biriktirme haznelerinin projelendirilmesinde, taşınan katı madde miktarının, oranının ve yığılma miktarlarının oldukça iyi ve doğru bir biçimde belirlenmesi ve göz önüne alınması gerekmektedir. Çünkü baraj tabanında biriken katı madde miktarı zamanla, faydalı hazne hacmini, çıkış yapılarını ve hatta baraj işletme çalışmalarını etkilemektedir.

Literatürde, son yıllarda katı madde miktarının belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmış ve çeşitli yöntem ve deneysel bağıntılar önerilmiştir. Gellis (2003) yaptığı çalışmada, arazi kullanımının askı maddesi taşınımı ve hareketi üzerine etkisini araştırmış ve dört ayrı havza için yağış ve akış değişkenlerini kullanarak uygulama yapmıştır. Bingner (1998) tarafından yapılan çalışmada, bir havzada akış ve katı madde miktarının belirlenmesi için, havza karakteristiklerini ve yağışın zamana ve konuma

bağlı değişimini dikkate alarak bir simulasyon modeli geliştirmiştir. Molnar (2001) yaptığı çalışmada, Rio Puerco havzasının erozyon dinamiğini ortaya koymak için yağış ve akış değişkenlerini dikkate alarak modelleme gerçekleştirmiştir. Çalışmada günlük yağış ve akış değişkenleri önceki zamanlara ait değerleri yardımıyla model geliştirmiştir. Çalışma sonucunda yağış değişkeninin kanal erozyonu üzerinde etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Kumar ve Das (2000) tarafından yapılan çalışmada, günlük yağış-akış ve katı madde hareketi için dinamik bir model geliştirilmiş ve uygulama yapılmıştır. Çalışmada, katı madde miktarının tahmin edilmesi için hem yağış ve hem de akış değişkenleri giriş parametresi olarak dikkate alınmış ve buna göre model kurulmuştur. Model kurulurken bu parametrelerin önceki zamanlara ait değerleri dikkate alınmış ve istatistiksel yöntem kullanılarak geliştirilen bir denklem önerilmiştir.

Holtschlag (2001) yaptığı çalışmada, günlük katı madde miktarının tespit edilmesi için, regresyon yöntemi ile askı maddesi konsantrasyon tahmin modeli geliştirmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda önerilen yöntem ve denklemler incelediğinde, yağış-akış parametrelerinin katı madde tahmininde önemli bir parametre olarak kullanıldığı görülmüştür. Katı madde miktarının belirlenmesi için yapılan gerek istatistiksel ve gerekse de fiziksel tabanlı çalışmalara daha fazla örnek verilebilir. Ancak son yıllarda, katı madde ve akış tahmini gibi oldukça karmaşık yapıya sahip mühendislik problemlerinin çözümünde yapay zeka teknikleri olarak bilinen yeni yöntemler önerilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu yapay zeka teknikleri genel olarak, Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık Mantık, ANFIS, Genetik Algoritma şeklinde verilebilir. Literatürde bu yöntemler birçok alanda uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan bu doktora tez çalışmasında da, ANFIS yöntemi ile katı madde miktarının tahmin edilmesinde, yağış ve akış parametreleri dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin önceki zamanlara ait değerleri kullanılarak modeller geliştirilmiştir.

2.3. Yapay Zekâ Yöntemlerinin Hidrolojide Kullanımı

Son zamanlarda, Bulanık Mantık (BM), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Sinirsel Bulanık Mantık Yöntemi (ANFIS) gibi yapay zeka teknikleri ile inşaat mühendisliği ve özellikle hidroloji alanında bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara bakıldığında, gerek modellemede sağladığı kolaylıklar ve gerekse elde edilen uyumlu sonuçlar, bu yöntemlerin uygulanabileceğini göstermektedir. Bu yöntemler ile modelleme yaparken

diğer geleneksel yöntemler gibi havzanın veya bölgenin fiziksel özelliklerine ihtiyaç duymadan sadece mevcut veriler kullanılmaktadır. Ayrıca, bu yöntemler yaklaşım açısından, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde avantajlı olmaktadır.

2.3.1. Bulanık mantık yöntemi ile yapılmış çalışmalar

Geleneksel yöntemler kullanılarak yapılan hidrolojik çalışmalarda, havzanın fiziksel özellikleri, yağış-akış verisi, topoğrafya, jeolojik yapı, akarsu ağı ve karakteristikleri gibi birçok parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Çoğu zaman da bu veriler elde edilememekte ve modelleme bazı kabullere göre yapılmaktadır. Son zamanlarda bu tür problemlerin çözümünde Bulanık mantık gibi yeni yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bulanık mantık yöntemi, ilk defa Zadeh tarafından insan düşünme ve karar verme özelliğini temel alarak ortaya konmuştur. Literatürde en çok kullanılan iki bulanık çıkarım sistemi mevcuttur. Bunlar, Mamdani bulanık çıkarım sistemi ve Sugeno-Tagaki bulanık çıkarım sistemidir. Bu iki sistemi birbirinden ayıran en önemli özellik çıkış değişkeninin tanımlanmasıdır. Son yıllarda Bulanık mantık yöntemi ile su kaynaklarının planlanması ve tahmin edilmesi, akış tahmini, yağış-akış modellemesi, hazne işletme çalışması ve taşkın kontrolü gibi birçok alanda çalışma yapılmıştır (Mitra vd 1998, Chang vd 2001, Ertunga ve Duckstein 2001, Lester 2003, Jacquin ve Shamseldin 2006).

Liong vd (2000) tarafından önerilen çalışmada, Dhaka (Bangladesh) bölgesinde su seviyesi tahmini için Bulanık mantık yaklaşımının uygulanabilirliliği araştırılmıştır. Bunun için, bulanık kural tabanlı bir taşkın modeli geliştirilmiş ve giriş değişkenleri üzerine bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analizde, giriş değişken sayısı azaltılarak yeni model kurulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile bu bölgede daha önceden yapılan YSA tahmin model sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, daha önceki tahmin modelinden daha az sayıda giriş değişkeni kullanılarak bulanık mantık ile daha etkili ve başarılı bir model geliştirilmiştir. Mahabir vd (2003) tarafından yapılan çalışmada, BM yönteminin mevsimsel akışın tahmin edilmesinde uygulanabileceği araştırılmış ve Lodge Creek ve Middle Creek havzaları için bir uygulama yapılmıştır. Bu çalışmada, Lodge Creek havzası için kural tabanlı bir BM tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu model daha sonra bu havzaya komşu Middle Creek havzası için test edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar, bu havzalar için daha

önceden önerilen istatistiksel tabanlı çalışmalar ile karşılaştırılmış ve BM yönteminin davranışının klasik yöntemlere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Nayak vd (2004a) yaptıkları çalışmada, gerçek zamanlı taşkın modellemesinde, BM yönteminin yağış-akış ilişkisinin tespit edilmesinde uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bunun için, Narmada havzasında (Hindistan) saatlik akış ve yağış değişkenleri kullanılarak akarsu akış tahmin modelleri kurulmuş ve bulanık kural tabanlı taşkın tahmin modeli geliştirilmiştir. Çalışma sonunda, BM yönteminin yağış-akış analizinde başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür.

Şen ve Altunkaynak (2006) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul şehir sınırları içinde kalan drenaj alanı için akış ve akış katsayısının BM yöntemi ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, farklı yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, akış ve akış katsayısının tahmininde BM modelinin kullanılabileceği belirlenmiştir.

2.3.2. Yapay sinir ağları (YSA) ile yapılmış çalışmalar

Yapay zeka tekniklerinden **Y**apay **S**inir **A**ğları (**YSA**), biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiştir. Genel olarak bir YSA, tek katmanlı ya da çok katmanlı sistem ya da matematiksel bir model olarak tanımlanabilir (Şen, 2004). Sistem modellemede YSA, sistemin fiziksel bilgilerine ihtiyaç duymadan sadece giriş ve çıkış değişkenlerini kullanmaktadır. YSA eğitim veri seti ile problemi öğrenmekte ve çıkış değişkenini üretmektedir.

YSA ile son yıllarda hidrolik ve hidroloji alanında birçok çalışma yapılmıştır. Bunlar, yağış tahmini (Bodri ve Cermak 1999, Luk vd 2001), akarsu akış tahmini (Dibike ve Solomatine 2001, Chang vd 2002, Baratti vd 2003, Huang vd 2004), yağış-akış modellemesi (Sajikumar ve Thandaveswara 1999, Riad vd 2004, Lin ve Chen 2004, Rajurkar vd 2004, Kumar vd 2005, Jeong ve Kim 2005, Antar vd 2006), hazne işletme çalışması (Jain vd 1999, Chang vd 2005), katı madde tahmini (Nagy vd 2002, Cığızoğlu 2004, Fırat ve Güngör 2004, Fırat ve Güngör 2005, Sarangi ve Bhattacharya 2005, Zhu vd 2006, Agarwal vd 2006), hidrolojik zaman serilerinin modellenmesi (Jain ve Kumar 2006) şeklinde verilebilir.

2.3.3. Sinirsel bulanık mantık yöntemi (ANFIS) ile yapılmış çalışmalar

YSA ve BM yaklaşımları, problemin çözümünde bireysel olarak etkili bir şekilde uygulanmaktadır. Ancak son yıllarda, bu iki yaklaşımın birleşiminden oluşan, daha güçlü ve etkili bir yöntem olan ANFIS kullanılmaya başlanmıştır. ANFIS, YSA'nın öğrenme yeteneğini kullanarak giriş ve çıkış değişkenlerini ilişkilendirmekte, modelin giriş yapısı tanımlamakta, etkili bir şekilde bulanık kuralları oluşturmaktadır. Bu sayede bulanık yönteminin en önemli problemi ortadan kalkmaktadır. Ayrıca, BM yönteminin, düşünme ve karar verme özelliği ile sonuca ulaşmaktadır. ANFIS son zamanlarda, hidrolojik olayların tahmini, su kaynaklarının planlanması, akış tahmini, yağış-akış modellemesi, sistem tasarımı ve yönetimi gibi birçok alanda başarılı ve etkili bir şekilde uygulanmıştır (Hsu vd 1998, Yılmaz vd 2004, Rangel vd 2005, Tütmez vd 2006, Vernieuwe vd 2005, Da Silva vd 1999, Daoming ve Jie 2006, Fırat ve Güngör 2006a).

Nayak vd (2004b) tarafından önerilen çalışmada, sinirsel BM çıkarım yönteminin hidrolojik zaman serilerinin modellemesinde uygulanışı araştırılmış ve Baitarani nehri (Hindistan) akımının modellemesi için bir uygulama verilmiştir. Çalışmada, akım değerinin önceki zamanlarına ait değerleri kullanılarak farklı giriş sayısına ve yapısına sahip ANFIS model geliştirilmiş ve en uygun giriş yapısına karar verilmiştir. Çalışma sonunda, sinirsel BM yönteminin zaman serilerinin modellenmesinde başarılı ve etkili bir şekilde uygulanabileceği gözlenmiştir. Chen vd (2006) tarafından yapılan bu çalışmada, ANFIS yöntemi ile taşkın tahmin modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, Chohui Nehrinde, taşkın planlaması için ANFIS yöntemiyle bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, tahmin edilen istasyonun geçmiş zamanlara ait değerleri ile membasındaki su seviyesi değerleri ve havzadaki ortalama yağış değerlerinin kullanılması ile ANFIS tahmin modeli geliştirilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, modeller, geri yaymalı sinir ağları kullanılarak çözülmüş ve ANFIS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, taşkın tahmini için geliştirilen ANFIS tahmin modelinin başarısının daha iyi olduğu görülmüştür. Chang vd (2006)'da yaptığı çalışmada, ANFIS yönteminin su kaynaklarının planlamasında uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bunun için, taşkın dönemlerinde hazne su seviye değişiminin tahmini için ANFIS tahmin modelleri kurularak modelleme gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Bulanık Mantık (BM) Yöntemi

BM kavramı ilk olarak Zadeh tarafından, belirsizlik içeren ifadelerin matematiksel olarak ifade edilmesi yoluyla ortaya atılmıştır. Bu yöntem, kesin sınırlarla çizilmiş değerlerin bir çeşit genişletilmesi olarak da düşünülebilir. BM teorisi, problemi kesin sınırlarla ayırmak yerine kümeleme veya sınıflandırma şeklinde değerlendirmektedir. Bulanık kavramlar, genel olarak doğada meydana gelen bulanık olaylardan ortaya çıkmaktadır. İnsanlar doğadaki olayları ifade etmek, tanımlamak, sınıflandırmak ve değerlendirmek için kullandıkları bulanık kavramları kullanmaktadır. Buna, bir örnek verecek olursak, "*yağmur*" doğada meydana gelen genel bir olaydır. Herhangi bir yerde "*yağmur*"un miktarını ve yoğunluğunu tanımlayacak kesin bir ifade bulunmamaktadır. Bundan dolayı "*yağmur*" bulanık bir kavramdır. Benzer şekilde "*sıcaklık*" ya da "*nem*" ifadeleri de bulanık kavramlar olarak düşünülebilir. Bu kavramların kesin sınırları belirsiz olduğundan kişiden kişiye ya da bölgeden bölgeye değişebilir. BM teorisinin işleyişi insanın çıkarım ve karar vermesine benzemektedir. Bir problemdeki uygun bilgiyi kullanarak karar verme işlevini gerçekleştirir. BM yaklaşımı ile problem, doğal olarak ifade edilebildiğinden dolayı birçok mühendislik ve karar verme problemlerinde kolaylıklar sağlamaktadır.

3.1.1. Bulanık küme teorisi

Bulanık küme teorisi, veri kümelerinin sınırlarını kesin bir şekilde ayırmadan bir grup ya da küme şeklinde düşünmektedir. *Klasik bir küme,* ayrık ya da sürekli elemanların bir toplamıdır. Klasik bir evrensel kümede, elemanlar kümeye ya "üyedir" ya da "üye değildir" şeklinde tanımlanmaktadır. Klasik küme teorisinde sınırlar kesin olarak çizilir ve eleman bu iki durumdan herhangi biriyle ile tanımlanır. Ancak bulanık küme teorisinde elemanın kümeye "üye olması" ya da "üye olmaması" tedrici olarak belirlenir. Bunu matematiksel olarak açıklayacak olursak, bir X evrensel kümesinde A alt kümesini (X_A) ile karakterize edersek, bu alt küme denklem (3.1) deki gibi ifade edilir;

$$X_A : X \to \{0,1\} \tag{3.1}$$

Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi (0), üye olmamayı, (1) ise, üye olmayı göstermektedir. Yani, eğer A alt kümesi X evrensel kümesinin üyesi ise (1) değerini almakta, eğer üyesi değilse (0) değerini almaktadır. Buna karşın, bulanık küme teorisine bakacak olursak, klasik küme teorisindeki gibi bir kesinlik bulunmamakta ve elemanların üyelikleri "dereceli" şekilde yapılmaktadır. Yani, "kümeye üye olmaktan" "üye olmamaya" geçiş kesin değil ve tediricidir. Bu tedrici geçiş ise "*üyelik derecesi*"(ÜD) olarak ifade edilebilir ve matematiksel olarak denklem (3.2)'deki gibi yazılabilir.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \tag{3.2}$$

Burada, (μ_A); "*üyelik fonksiyonu*" olarak tanımlanmakta olup, x'in A bulanık kümesindeki üyelik derecesini göstermektedir. Bir bulanık küme üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir.

3.1.1.1. Üyelik fonksiyonu (ÜF)

Bir bulanık küme içerisinde bir elemanın derecesi ÜF ile gösterilmektedir. Yani, bir bulanık küme üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir. $X = \{x_1, x_2, ...x_n\}$ sonlu bir küme ve A, bu (X) evrensel kümesinde bulanık bir küme olsun. Bunun için ÜF'larını ve derecelerini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

Eğer küme ayrık ise;

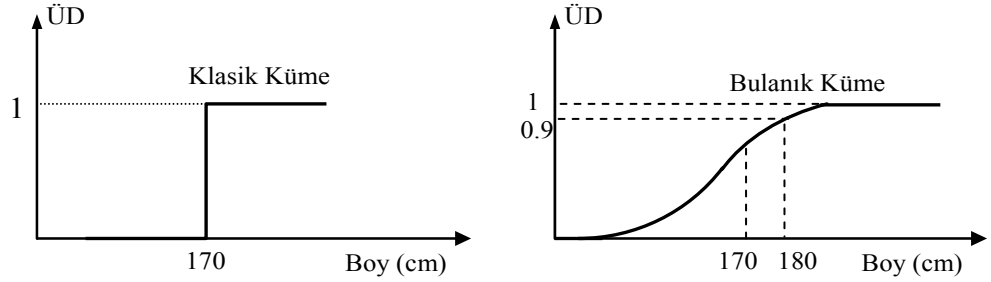
$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \mu_A(x_3)/x_3 ..... \mu_A(x_n)/x_n \tag{3.3}$$

$$A = \sum \mu_A(x_i)/x_i \tag{3.4}$$

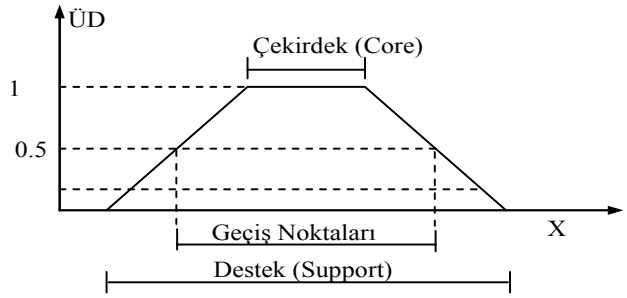
Eğer küme sürekli ise; $A = \int \mu_A(x)/x$ (3.5)

Denklem (3.4) ve(3.5)'de verilen toplam ve integral sembolleri, integral alma ve toplam işlemini göstermemekte sadece elemanların üyelik derecelerini temsil

etmektedir. ÜF' nu ve derecesini örnekle gösterecek olursak, (B) ile ifade edilen "kısa boylu" ve "uzun boylu" kavramlarının üyelik derecelerini bulanık küme teorisine göre gösterimi Şekil 3.1'de verilmektedir. Ayrıca, bulanık kümede bir üyelik fonksiyonunun elemanları Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.1 Klasik ve bulanık küme



Şekil 3.2 Bir ÜF'nun elemanları

Destek (Support): Bir (A) bulanık kümenin desteği, A kümesindeki üyelik derecesi sıfır olmayan bütün noktaların kümesidir.

$$Support(A) = \{x \in X | \mu_A(x) \rangle 0\} \tag{3.6}$$

Çekirdek (Core): Bir (A) bulanık kümenin çekirdeği, A kümesindeki üyelik derecesi 1 olan bütün noktaların oluşturduğu kümedir.

$$Core(A) = \{x \in X | \mu_A(x) = 1\} \tag{3.7}$$

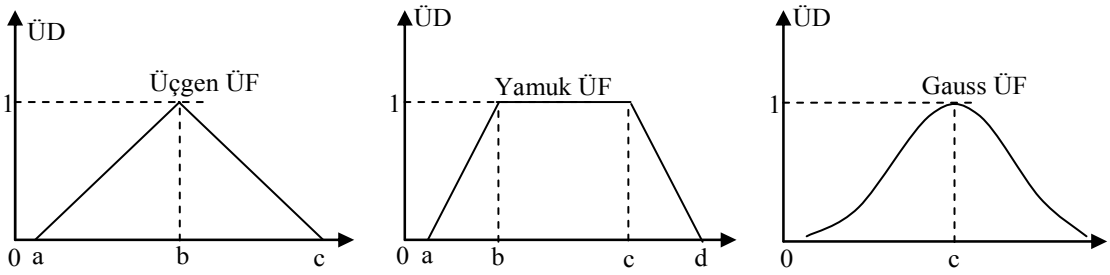
Geçiş Noktaları (Crossover Points): Bir bulanık kümenin geçiş noktası, ÜD $\mu_A(x) = 0.5$ olan noktalardır. ÜF'ları ile verilen bir küme içerisinde elemanların derecelerini belirleyerek "Bulanıklaştırma (fuzzification)" olarak adlandırılan işlem gerçekleştirilir. Yani probleme ait kesin veriler bu ÜF'ları yardımıyla bulanık değerlere

dönüştürülmekte ve bu işlem, BM ile modellemede ilk adımı teşkil etmektedir. Literatürde modelleme için değişik ÜF'ları kullanılmaktadır. Bunlar; üçgen, yamuk ve Gauss ÜF'ları olup matematik yapıları denklem (3.8), (3.9) ve (3.10)'da verilmektedir.

Üçgen ÜF: $\mu_A(x) = \max\left[\min\left\{(x-a)/(b-a);(c-x)/(c-b)\right\};0\right]$ (3.8)

Yamuk ÜF: $\mu_A(x) = \max\left[\min\left\{(x-a)/(b-a);1;(d-x)/(d-c)\right\};0\right]$ (3.9)

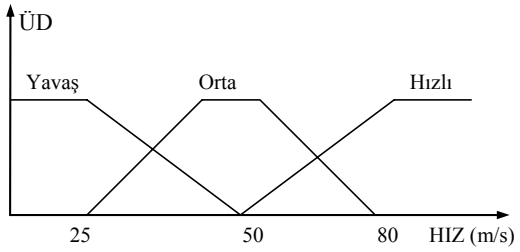
Gauss ÜF: $\mu_A(x) = e^{-((x-c)/\sigma)^2}$ (3.10)



Şekil 3.3 BM yönteminde kullanılan ÜF'ları

3.1.1.2. Kavramsal değişkenler

BM yönteminin diğer klasik yöntemlere göre en büyük faydalarından birisi de sayısal değerler yerine "sözel ifadeler" kullanabilmeleridir. Bu kavramsal değişkenler/ifadeler evrensel kümede elemanın gruplandırılmasını sağlamaktadır. Örneğin "*hız*" ifadesi, günlük yaşamda "*yavaş*", "*hızlı*" ve "*çok hızlı*" gibi ifadeler kullanarak gruplandırma yapılmaktadır. Her bir sözel değişken ÜF ile gösterilmekte olup, bu kavramsal değişkenler kullanılarak bulanık kurallar oluşturulmaktadır. Şekil 3.4'de "hız" ifadesinin ÜF'ları ve kavramsal ifadeleri gösterilmektedir.



Şekil 3.4 BM ÜF ve kavramsal ifadeleri

3.1.1.3. Bulanık küme işlemleri

Bulanık küme, ÜF'ları ile temsil edildiğinden dolayı, bulanık kümenin küme işlemleri, onların ÜF'ları ile tanımlanmaktadır. *(X)* evrensel kümesinde *(A), (B)* ve *(C)* bulanık kümeleri olduğunu düşünürsek, bunların ÜF'ları dereceleri sırasıyla μ_A, μ_B *ve* μ_C şeklindedir. Klasik kümede temel küme işlemleri *(VE), (VEYA)* ve *(DEĞİL)* iken, bulanık kümede bu küme işlemleri "*birleşme (conjunction)*", " *kesişme (disjunction)*" ve *" tümleme (complement)*" olarak adlandırılmaktadır. BM işlemleri Şekil 3.5'de ve bu işlemleri matematik yapıları denklem (3.11), (3.12) ve (3.13)'de gösterilmektedir.

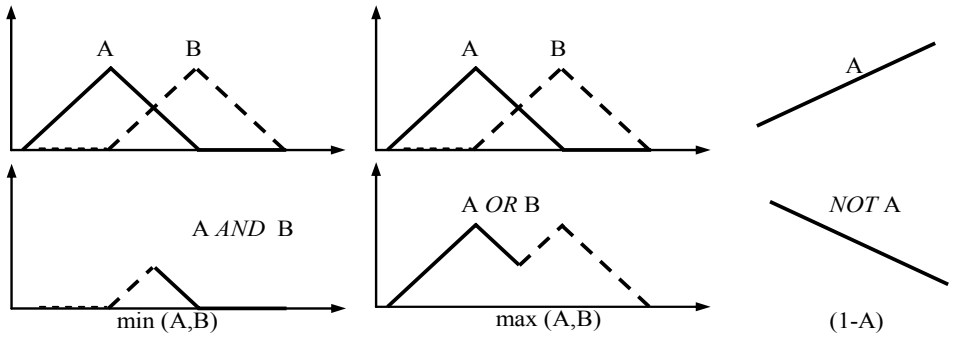
VE (en küçükleme (min)) işlemcisi, kesişim bulanık küme işlemi olup en küçük değeri yansıtır.

$$\mu_{A\cap B}(x) = \min\left[\mu A(x), \mu B(x)\right] \tag{3.11}$$

VEYA (en büyükleme (max)) işlemcisi, birleşim bulanık küme işlemi olup, en büyük değeri yansıtır.

$$\mu_{A\cup B}(x) = \max\left[\mu A(x), \mu B(x)\right] \tag{3.12}$$

DEĞİL (Tümleyen) işlemcisi: $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ (3.13)



Şekil 3.5 BM işlemleri

3.1.1.4. Bulanık kurallar ve kural tabanı

BM ile modelleme yaparken ikinci adım, bulanık kuralların yazılmasıdır. Bulanık kurallar, giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki bağlantı şeklinde tanımlanmaktadır. Bu kurallar giriş ve çıkış değişkenlerinin sözel ifadeleri ile yazılır. Bulanık kural genel

anlamda "*öncül (antecedent)* terimler" ve "*sonuç terimler (consequent)*" şeklinde olup, denklem (3.14) ve (3.15)'teki gibi ifade edilirler.

EĞER (öncül-giriş terimler) **İSE** (sonuç-çıkış terimleri) (3.14)

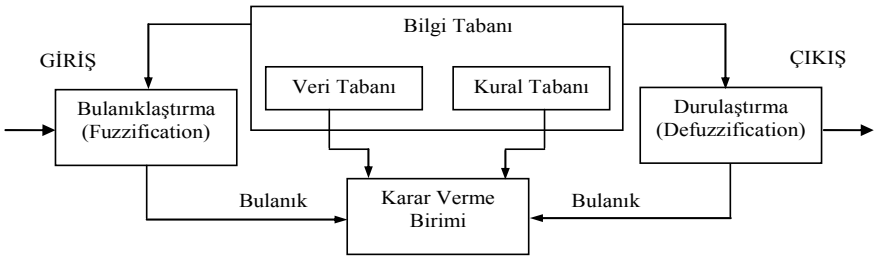
Ya da daha detaylı bir şekilde yazacak olursak;

EĞER $x_1 = A_1$ *VE / VEYA* $x_2 = A_2$ **İSE** $y_1 = B_1$ (3.15)

Şeklinde yazılabilir. Burada, A_1, A_2 ve B_1 ifadeleri giriş ve çıkış değişkenlerini temsil eden bulanık kavramsal ifadelerdir. Bu şekilde kurulan bulanık model *"Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi"* olarak adlandırılmaktadır. Bulanık kurallar hem sistem modellemede ve hem de kontrol amaçlı çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ÜF'larının ve sözel ifadelerin kullanımı ile bulanık modellemede insan düşünme ve çıkarım yapma mekanizması yakalanmış olmaktadır. Kurallar üzerinde, giriş değişkenlerini ve ÜF'larının sayısı oldukça etkilidir. ÜF'nun veya giriş değişkenin sayısı arttıkça, karmaşıklık üstel olarak artmaktadır. Eğer model "***m***" adet girişe ve "***n***" adet ÜF'na sahipse kural sayısı "n^m" kadardır. 3 giriş değişkeni ve her bir girişe ait 3 ÜF ile bütün durumları tanımlamak için "$n^m=3^3=27$" adet kural yazılmalıdır.

3.1.2. Bulanık çıkarım sistemleri

Bulanık çıkarım sistemi, bulanık muhakeme ve bulanık kuralı temel alan ve genel olarak üç kavramsal bileşenden oluşan kural tabanlı sistemdir. Bu kavramsal bileşenler; bulanık EĞER – İSE kurallarının toplamından oluşan *kural tabanı*, ÜD'lerin tanımlanmasında kullanılan *veri tabanı* ve sistem giriş ve çıkışlarından oluşan kuralların toplanması ve uygun sonuçların üretilmesi işlevini gören *çıkarım mekanizması*dır (Şen 2001, Şen 2004a, Nayak vd 2004b, Fırat ve Güngör 2006a). BM ile modellemede işleyiş, problem üzerindeki giriş değişkenlerinin ÜD'lerinin belirlenmesi, bu ÜD'lerinden kuralların yazılması, bu kurallardan çıkış karakteristiklerinin belirlenmesi, çıkış değişkenlerinden çıkış ÜF'larına geçiş ve en son adım olarak bu çıkış ÜF'larından tek değerli sistem çıkışının elde edilmesi şeklindedir. BM çıkarım sisteminin genel yapısı Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6 BM çıkarım sisteminin genel yapısı

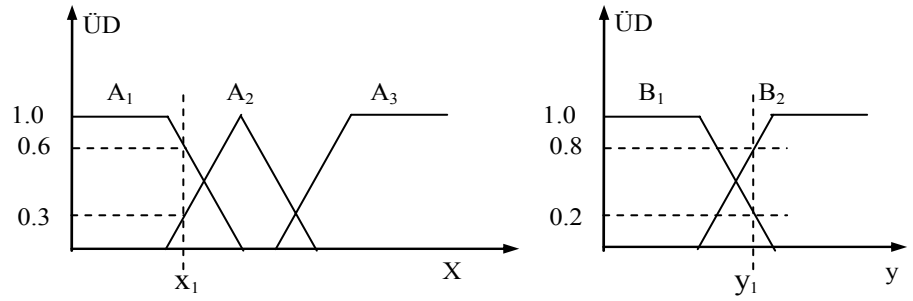
Bulanık çıkarım sisteminde işlem adımları temel olarak; giriş/çıkış değişkenlerinin ÜD'lerinin belirlenmesi ve bulanıklaştırılması (*Fuzzification*), bulanık kuralların yazılması (*Rule Base*), bulanık kuralların değerlendirilmesi (*Implication*), bulanık kuralların toplanması (*aggregation*), durulaştırma (*Defuzzification*) ve sistem çıkışının elde edilmesi şeklinde verilebilir. Bulanık çıkarım sistemi birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu uygulamalar, veri analizi, karar verme, kontrol ve karar verme sistemleri olarak verilebilir. Literatürde bir kaç bulanık çıkarım sistem yapısı önerilmiştir. En çok kullanılanları, Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi ve Sugeno-Tagaki Bulanık Çıkarım Sistemidir. Bu iki çıkarım sistemini birbirinden ayıran en önemli özellik, çıkış değişkenin tanımlanması olarak gösterilebilir.

3.1.2.1. Mamdani bulanık çıkarım sistemi

Mamdani çıkarım sistemi en çok kullanılan ve uygulanan bulanık mantık sistemlerinden biridir. Mamdani yöntemi, Ebrahim Mamdani (1977) tarafından önerilmiş olup, çıkarım sistemi, Zadeh (1963)'in önerdiği bulanık mantık ilkelerini temel alarak geliştirilmiştir (Şen, 2004a). Mamdani tarafından önerilen bu çıkarım sistemi genel olarak aşağıdaki işlem adımlarını içermektedir.

Bulanıklaştırma (Fuzzification); BM ile modellemenin ilk adımı olup, kesin (crisp) değerlerin bulanık değerlere dönüştürülmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Giriş/çıkış değişkenleri ve yapıları BM çıkarım sisteminin temelini meydana getirmektedir. Çünkü seçilen bu giriş yapısı, bulanık kuralları, ağırlıkları, model yapısını ve model sonuçlarını etkilemektedir. Giriş ve çıkış değişkenleri, bulanık küme içerisinde ÜD'lerini belirlemek için [0 1] arasında bulanıklaştırılır. Bunun için, klasik küme teorisinden farklı olarak, BM çıkarım sisteminde ÜF'ları tanımlanır ve her bir değişkenin derecesi belirlenir. Bulanıklaştırma işlemi, denklem (3.8), (3.9) ve (3.10)'da ve Şekil 3.4'de

verilen ÜF'ları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.7'de veri kümelerinin bulanıklaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Değişkenlerin bulanıklaştırılması

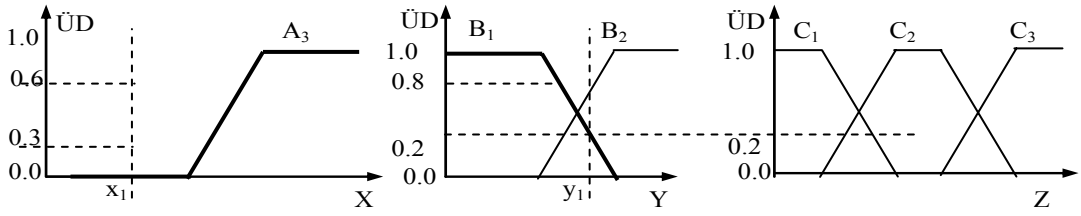
Şekil incelendiğinde, (X ve Y) bulanık kümelerinde (x_1 ve y_1) *crisp* (*kesin*) değerlerine karşılık gelen bulanık değerler yamuk ve üçgen ÜF'ları denklem (3.16) ve (3.17)'deki gibi hesaplanır.

$$\mu_{(x=A_1)} = 0.6 \quad \mu_{(x=A_2)} = 0.3 \tag{3.16}$$

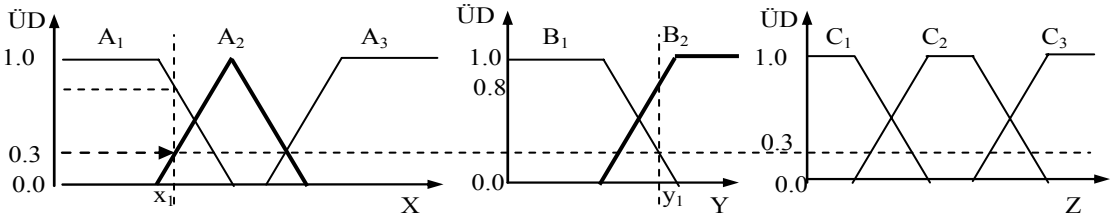
$$\mu_{(y=B_1)} = 0.2 \quad \mu_{(y=B_2)} = 0.8 \tag{3.17}$$

Şeklinde bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Görüldüğü gibi, klasik küme teorisinden farklı olarak değişken [0,1] arasında değer almaktadır. BM ile modellemede en önemli adım, bu ÜD'lerinin sınırlarının ve kullanılacak sözel terimlerin sayısının belirlenmesidir.

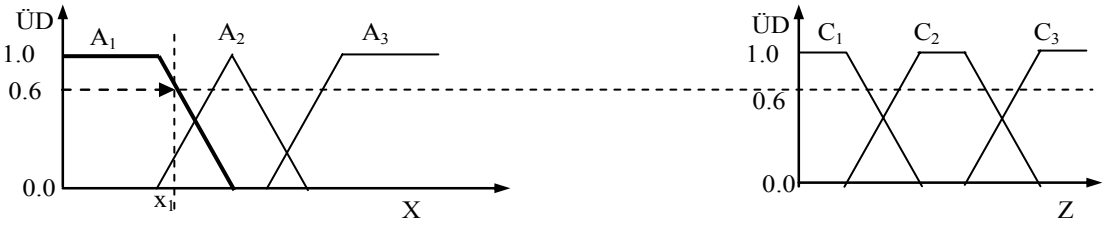
Kural tabanı (rule base), bulanık operatörler yardımıyla bulanık giriş/çıkışlar arasındaki ilişkinin ortaya konulduğu işlem adımıdır. Bulanık mantık ile modellemede ikinci adım kuralların oluşturulması olup, giriş ve çıkış değişkenlerinin ÜF ile ilgili kavramsal terimlerden oluşur. Bu kavramsal terimler, **EĞER-İSE** kural yerleşimi ile birbiriyle ilişkilendirilir. Eğer, bu kurallarda giriş değişkenleri birden çok kısımdan oluşuyorsa bu kurallar bulanık işlem operatörleri yardımıyla birbiriyle ilişkilendirilir. Modellemelerde kullanılan bulanık mantık operatörleri "***VE"*** ve ***"VEYA"*** olup bunlar sırasıyla, "***En küçükleme*****" ve "*****En büyükleme*****"** şeklinde uygulanır. Yukarıda verilen örnekteki parametreleri kullanarak bulanık kural Şekil (3.8)'deki gibi yazılabilir.



Kural 1: EĞER $x_1 = A_3(0.0)$ VEYA $y_1 = B_1(0.2)$ İSE $z_1 = C_1(0.2)$



Kural 2: EĞER $x_1 = A_2(0.3)$ VE $y_1 = B_2(0.8)$ İSE $z_1 = C_2(0.3)$

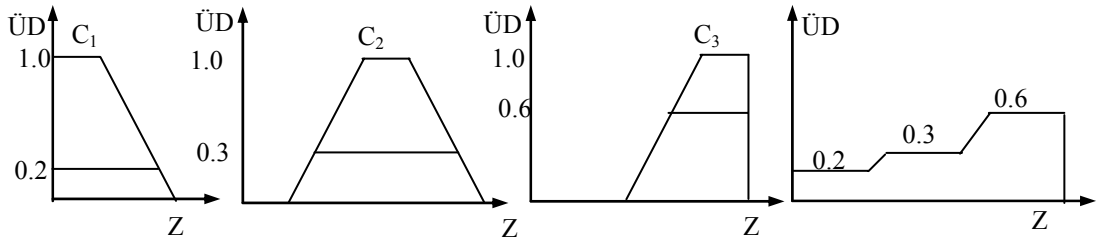


Kural 3: EĞER $x_1 = A_1(0.6)$ İSE $z_1 = C_2(0.6)$

Şekil 3.8 Mamdani bulanık çıkarım sisteminde bulanık kuralların yazılması

Kuralların değerlendirilmesi (implication), **v**erilen giriş ve çıkış parametrelerine bağlı olarak yazılan kurallar yardımıyla sonuç değerini elde etmek için muhakeme-çıkarım işleminin gerçekleştirildiği adımdır. Bu kurallar *çıkarım* (*implication*) olarak bilinen bir adımla ÜF'ların oranlarını değerlendirir. *En küçükleme* ***(****min fonksiyon****)*** ve *çarpım* (*product fonksiyon****)*** olmak üzere iki tür çıkarım yöntemi bulunmaktadır.

Kuralların Toplanması (Aggregation), çıkarım kümeleri, aggregation olarak adlandırılan işlemle tek bir küme olarak birleştirilir. Eğer çıkarım kümeleri birlikte toplanırsa buna *toplama (summation) fonksiyonu****"*** denir. Eğer çıkarım işleminden sonra her bir çıkış ÜF için elde edilen en büyük değerlerin birleşimi şeklinde oluyorsa buna *en büyükleme* (*maximum aggregation) fonksiyonu* denir. Bulanık kuralların değerlendirilmesi ve toplanması Şekil 3.9'da verilmektedir.



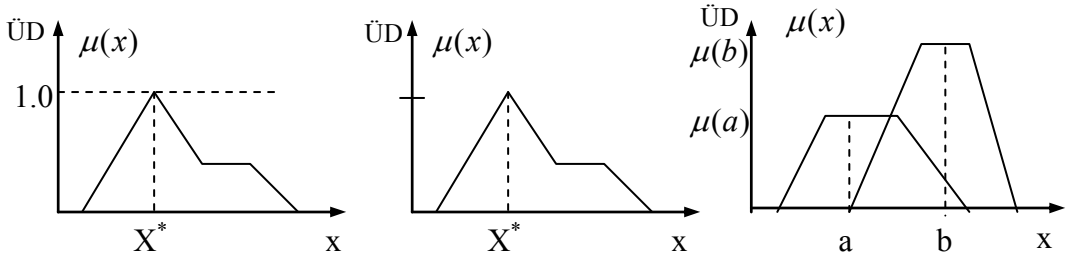
Şekil 3.9: Bulanık çıkarım sisteminde kuralların değerlendirilmesi ve toplanması

Durulaştırma (Defuzzification), BM ile modellemenin en son işlem adımıdır ve çıkarım işleminden sonra elde edilen bulanık sonuçların gerçek-kesin değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için bulanık sonuçlar durulaştırma olarak tanımlanan işlemden geçirilerek kesin değerlere dönüştürülür. Literatürde bir kaç durulaştırma yöntemi önerilmiştir. Ağırlık merkezi yöntemi, en çok kullanılan durulaştırma yöntemidir. Bu yöntem, bulanık çıkış terimlerinin merkezleri ve bu merkezlerdeki üyelik derecelerinin birleşimi olarak ifade edilip yapısı denklem (3.18)'deki gibidir.

$$X^* = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^{N} \mu_A(x_i)} \tag{3.18}$$

Maksimumun merkezi yöntemi, **"***Yükseklik***"** yöntemi olarak da bilinen bu yöntemde kesin çıkış değeri, bulanık çıkışların maksimum ÜD' ne sahip olanın merkezi alınarak hesaplanır. Ağırlıklı ortalama yöntemi, çıkışı oluşturan bulanık kümelerin ÜF'larının her biri kendi ÜD'lerinin en büyüğü ile çarpılarak ağırlıklı ortalama bulunur ve denklem (3.19)'daki gibi ifade edilir. Bu yöntem sadece simetrik olan ÜF'ları için geçerlidir. Durulaştırma işleminde kullanılan yöntemlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 3.10'daki gibi verilebilir.

$$X^* = \frac{\sum_{i=1}^{N} \overline{x_i} . \mu_A(\overline{x_i})}{\sum_{i=1}^{N} \mu_A(\overline{x_i})} \tag{3.19}$$



En büyük Üyelik Derecesi Yöntemi Ağırlık Merkezi Yöntemi Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Şekil 3.10 Durulaştırma işleminde kullanılan yöntemler

3.1.2.2. Sugeno-Tagaki bulanık çıkarım sistemi

Sugeno BM sistemi yada Tagaki-Sugeno-Kang yöntemi 1985 yılında geliştirilmiştir. Bu çıkarım sisteminde, girişlerin bulanıklaştırılması ve işlemcilerin kullanışı Mamdani bulanık çıkarım sistemine benzerdir. Ancak Sugeno yöntemini Mamdani'den ayıran en önemli özellik çıkış ÜF'larının tanımlanması ve kuralların yazılması noktasındadır. Sugeno çıkarım yönteminde çıkış değişkeni ya sabit bir katsayı yada giriş değişkenlerine bağlı bir polinom fonksiyon olarak tanımlanmaktadır (Jang vd 1997, Şen 2004a, Fırat ve Güngör 2006a, Murat 2006). Sugeno çıkarım sisteminde kural sayısı Mamdani çıkarım sistemine göre daha azdır. Bu da özellikle oldukça karmaşık yüksek boyutlu problemlerin çözümünde büyük önem taşımaktadır. Sugeno bulanık çıkarım sistemi kuralı denklem (3.20)'deki gibi yazılabilir.

EĞER $Girdi_1 = x$ VE $Girdi_2 = y$ İSE $z = ax + by + c$ (3.20)

İki tip Sugeno bulanık çıkarım modeli kullanılmaktadır. Eğer çıkış değişkeni bir katsayı şeklinde tanımlanırsa bu tip modele **"0. dereceden Sugeno Model"**, eğer çıkış değişkeni giriş değişkenlerine bağlı bir polinom fonksiyon şeklinde tanımlanırsa bu tip model **"1.dereceden Sugeno Model"** olarak adlandırılır. O halde **0. dereceden Sugeno Model** kuralı denklem (3.21)'deki gibi yazılır;

EĞER $Girdi_1 = x$ VE $Girdi_2 = y$ İSE $z = c$ (3.21)

Bu durumda çıkış ÜF sabit bir değer olarak sunulur. İkinci tip olan **1.dereceden Sugeno Model** için bulanık kural (3.22)'deki gibi yazılır;

EĞER $Girdi_1 = x$ VE $Girdi_2 = y$ İSE $z = ax + by + c$ (3.22)

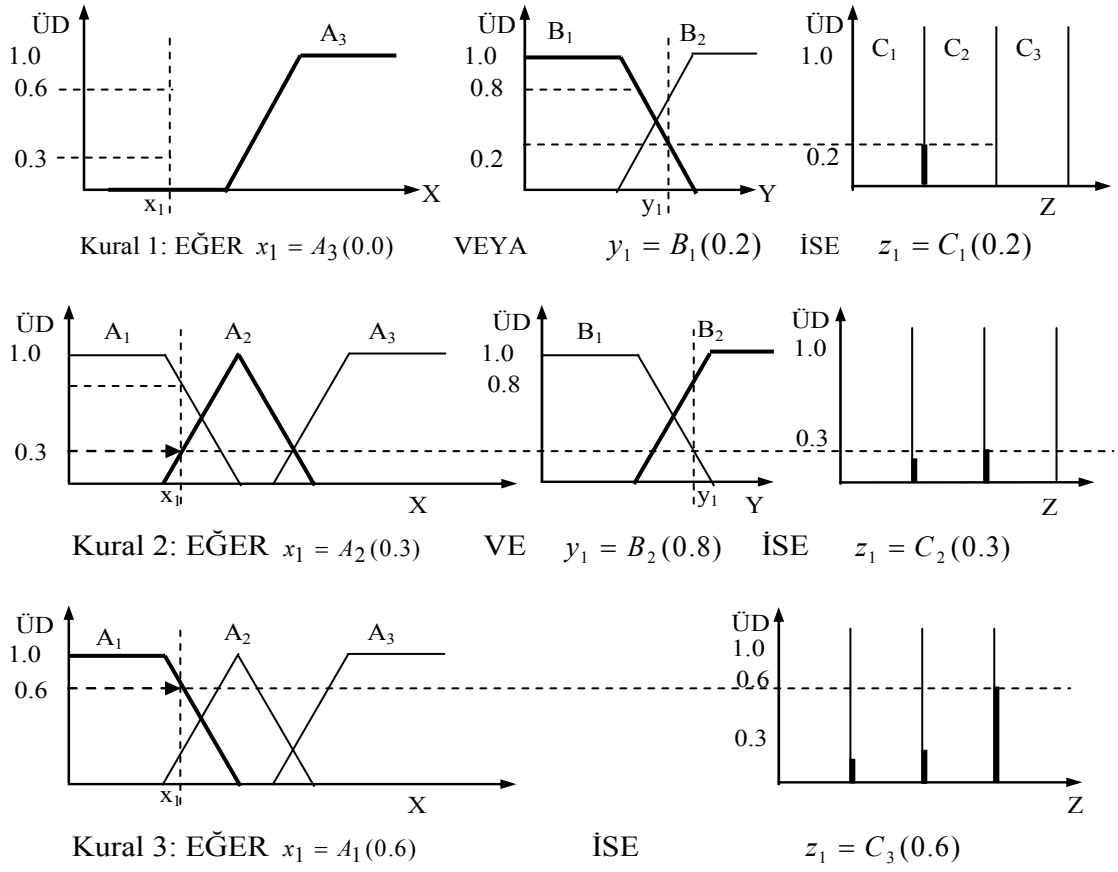
Görüldüğü gibi çıkış değişkeni, giriş değişkenlerinin ÜF'larının bir fonksiyonu şeklindedir. Sugeno bulanık çıkarım sisteminde, modelin ağırlıklı ortalama çıkış değeri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$O = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i . z_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i} \tag{3.23}$$

Burada, w_i; ateşleme kuvveti olarak adlandırılır ve aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

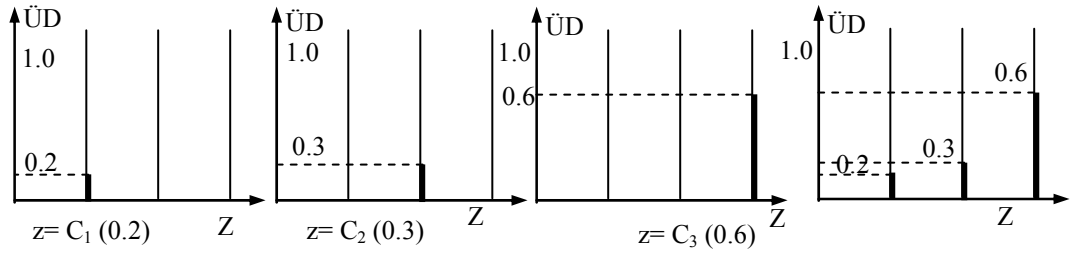
$$w_i = VE(F_1(x), F_2(y)) \tag{3.24}$$

$F_1(x) ve\ F_2(y)$ ise giriş değişkenlerinin ÜF'larını göstermektedir. Sugeno bulanık çıkarım sisteminde giriş ve çıkış değişkenlerinin ÜF'larının tanımlanması ve kuralların oluşturulması Şekil 3.11'de, gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Sugeno bulanık çıkarım sisteminde bulanık kuralların yazılması

Mamdani çıkarım sisteminde olduğu gibi, Sugeno çıkarım sisteminde de giriş değişkenleri bulanıklaştırıldıktan ve kurallar yazılıp değerlendirildikten sonra bu kuralların toplanması gerekmektedir. Kuralların toplanması için önerilen Sugeno kural toplama yapısı Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Sugeno bulanık çıkarım sisteminde kuralların toplanması

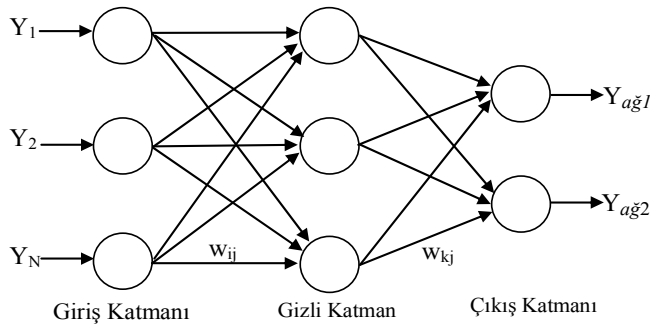
3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyni gibi biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilen ve paralel yapıya sahip matematiksel modelleme yöntemidir. YSA, belirli problemleri çözmek için paralel dağılmış işlem elemanları arasında yüksek sayıda bağlantı oluşturur. Genel olarak YSA, tek katmanlı ya da çok katmanlı olarak düzenlenebilen ve paralel çalışan çok sayıda doğrusal olmayan yapay hücreden meydana gelen bir sistem olarak tanımlanabilir (Şen 2004b, Nagy vd 2002, Fırat 2002). Tanımda verilen açıklamalardan, YSA'nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA'nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal olmadığından, hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur. YSA, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Ayrıca, problemdeki değişikliklere göre ağırlık katsayılarını güncelleştirir ve problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir. YSA, nesne tanıma, sinyal işleme, sistem modelleme ve denetimi gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve problemlerin çözümüne yeni yaklaşımlar getirmiştir. YSA, hidroloji ve hidromekanikte, yağış-akış modelleri, günlük ve aylık yağış, akış, sıcaklık ve kar

erimesi, askı maddesi miktarı gibi değerlerin tahmininde kullanılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları, maksimum taşkın tahmini (Bodri ve Cermak 1999), akış miktarının tahmini (Dibike ve Solomatine 2001, Hsu vd 1998), köprü ayakları etrafında meydana gelen oyulmanın tahmini (Fırat 2002), yağış ve akış modellemesi (Luk vd 2001) askı maddesi konsantrasyonunun tahmin edilmesi (Nagy vd 2002, Fırat ve Güngör 2005) ve askı maddesi ve konsantrasyonun tahmini (Fırat ve Güngör 2004) gibi sıralanabilir.

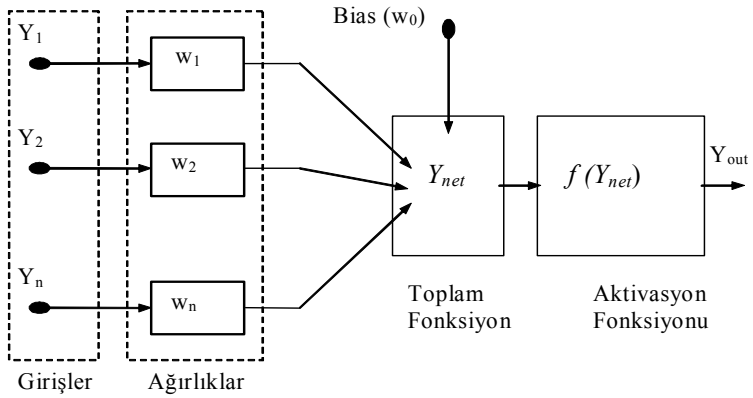
3.2.1. İleri beslemeli yapay sinir ağları (İBYSA)

Literatürde farklı YSA yapıları kullanılmaktadır. Bunlar, ileri beslemeli, geri beslemeli ve merkezcil tabanlı sinir ağlarıdır (Şen 2004b, Luk vd 2001, Fırat 2002). İleri beslemeli YSA'nın (İBYSA) en tipik şekli, nöron modeli oluşturulan katmanların ardışık biçimde bir araya getirilmesi sonucu kurulabilir. İBYSA'da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. İBYSA, giriş, çıkış ve gizli katman olmak üzere en az üç katmandan oluşmakta ve giriş/çıkış katmanlarındaki nöron sayısı, problem üzerindeki etkili parametreler dikkate alınarak belirlenmektedir. Giriş/çıkış katmanlarının arasında gizli katmanlar bulunur ve bu katmanlardaki nöronlar, doğrusal olmayan davranışlarından dolayı, sinir ağının doğrusal olmayan davranışının kaynağını teşkil ederler. Gizli katman sayısı ve nöron sayısı ise deneme yanılma ile belirlenmektedir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir ve veriler bu katmanda işlendikten sonra çıkış katmanında ağ çıkışı üretilir (Şen 2004b, Fırat ve Güngör 2004). Üç katmanlı İBYSA yapısı Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 İBYSA yapısı

Şekil 3.14'de bir yapay nöronun matematik modeli gösterilmektedir. Bu şekilden de görüleceği gibi, nöron girdileri ağırlıklar ile çarpılarak bir toplayıcıya uygulanmakta ve elde edilen toplam, aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkışlar denklem (3.25) ve (3.26) ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.14 Nöronun matematik modeli

$$Y_{net} = \sum_{i=1}^{N} Y_i . w_i + w_0 \tag{3.25}$$

$$Y_{out} = f(Y_{net}) = f(\sum_{i=1}^{N} Y_i . w_i + w_0) \tag{3.26}$$

şeklinde yazılabilir. Burada, Y_{out}: ağın ürettiği sonuç, $f(Y_{net})$: seçilen transfer fonksiyonu, Y_{net}: toplam fonksiyonu, Y_i: nöron girdisi, w_i: her bir nöron girdisine ait ağırlık katsayısı ve w_0: bias'tır.

YSA biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirildiği için insanlar gibi örneklerle eğitilirler ve bir problemin çözümünde eldeki mevcut örneklerden başka bilgiye ihtiyaç duymazlar. Öğrenme genel anlamda, denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme olmak üzere iki şekilde verilebilir. Denetimli öğrenmede, sinir ağına giriş ve çıkış verileri sunulur ve ağdan bu verilere göre ağırlık katsayılarını düzenleyerek problemi çözmesi istenir. Denetimsiz öğrenmede ise, sinir ağına sadece giriş verileri sunulur ve bunlara göre ağırlıkları düzenlemesi istenir (Luk vd 2001, Fırat 2002). Yapılan bu çalışmada, ileri beslemeli sinir ağlarının çözümünde kullanılan denetimli öğrenme tipi seçilmiştir. Bir YSA mimarisi, aktivasyon fonksiyonu ve öğrenme algoritması ile karakterize edilir. Çok tabakalı sinir ağlarının eğitimi için genellikle

kullanılan eğitim algoritması hatayı geriye yayma (Back Propagation) algoritmasıdır. Bu çalışmada, aktivasyon fonksiyonu olarak, denklem (3.27)'te verilen sigmoid tipi aktivasyon fonksiyonu (Dibike ve Solomatine 2001, Huang vd 2004), öğrenme algoritması olarak da, hatayı geriye yayma algoritması kullanılmıştır.

$$Y_{out} = f(Ynet) = \frac{1}{1+e^{-Ynet}} \tag{3.27}$$

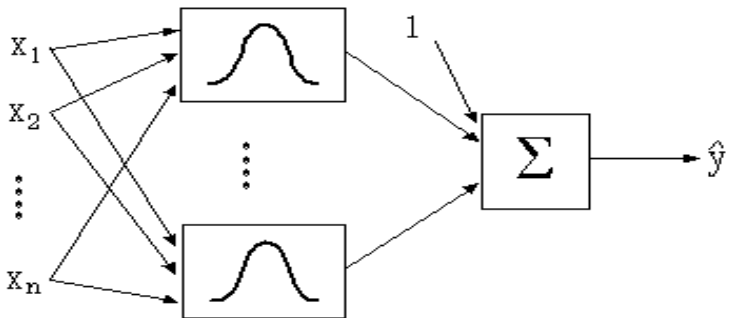
Denklem (3.25) ile hesaplanan toplam fonksiyon, seçilen doğrusal olmayan bir aktivasyon (transfer) fonksiyonundan geçirilerek ağın çıkışı elde edilir. Daha sonra ağın ürettiği sonuç ile gerçek sonuç karşılaştırılarak denklem (3.28) yardımıyla ağ hatası hesaplanır.

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{k} (Y_{gerçek} - Y_{out})^2 \tag{3.28}$$

burada, J_r; Gerçek değer ile ağın ürettiği sonuç arasındaki hata, $Y_{gerçek}$; Gerçek çıkış değeridir. Bu hata kabul edilebilir değere ulaşana kadar eğitime devam edilir.

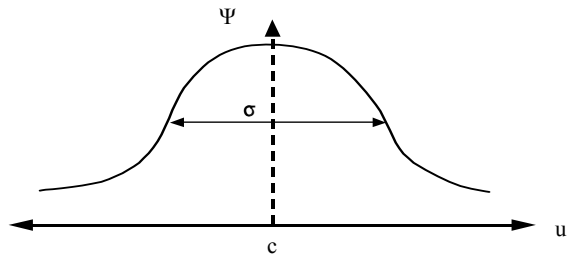
3.2.2. Merkezcil tabanlı sinir ağları (MTSA)

MTSA, denetimli olarak öğrenen ileri beslemeli bir sinir ağ yapısına sahip olup, nesne tanıma (zaman serileri modellemesi) ve daha birçok alanda uygulanmaktadır. Şekil 3.15'de giriş, çıkış ve tek bir gizli katmana sahip bir MTSA yapısı görülmektedir (Şen 2004b, Fırat ve Güngör 2005). Giriş katmanı giriş verisinin uygulandığı katman olup giriş verileri bu katmandan lineer olmayan bir transfer fonksiyonu gizli katmana iletilir. Çıkış katmanı ise en son adım olup ağın ürettiği çıkışların alındığı katmandır.



Şekil 3.15 MTSA yapısı

Ağ yapısının performansı büyük ölçüde seçilecek olan *merkez* değerlerine bağlıdır. Bir MTSA yapısında giriş vektörü gizli katmanda gizli birim elemanlara dönüştürülür. Giriş datasını gizli katmana iletirken değişik aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir (Şen 2004b, Fırat ve Güngör 2006b). Ancak MTSA ile çözüm yapılırken en çok *Gauss aktivasyon fonksiyonu* kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada da Gauss aktivasyon fonksiyonu kullanılmış olup matematik ifadesi denklem (3.29)'da ve yapısı Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16 Gauss merkezcil taban fonksiyonu

$$\psi_j = \exp\left[-\frac{\left\|x - c_j\right\|^2}{2\sigma^2}\right] \tag{3.29}$$

Burada x; giriş eğitim verisi, c_j; merkez ve σ; varyans (genişlik) değerini göstermektedir. Her bir fonksiyonun özelliklerini merkez ve varyans belirlemektedir. Denklem (3.29)'dan da anlaşılacağı gibi varyans arttıkça eğri daha da yayvanlaşmakta ve fonksiyonun sayısal olarak duyarlı olduğu bölge genişlemekledir. Doğrusal olmayan transfer fonksiyonu ile giriş katmanına dönüştürülerek iletilen giriş verileri bu katmanda işlendikten sonra her bir gizli birimin cevapları ağırlık katsayıları ile çıkış katmanına iletilir. Böylece gizli katmandaki her hücrenin 0 ile 1 arasında değişen bir çıktısı elde edilir (Şen 2004b). Ağın ürettiği sonuç denklem (3.30) ile hesaplanmaktadır.

$$\hat{y}_k = w_0 + \sum_{j=1}^{N} w_{jk}.\psi_j(x) \tag{3.30}$$

Burada, $\psi_j(x)$; j. gizli birimin ürettiği sonuç, w_{jk}; *(j)*. birim ile *(k)*. çıkış birimi arasındaki ağırlık katsayısı ve w_0; bias terimini ifade etmektedir. Bir MTSA oluşturulurken, [*l*] adet merkezcil taban fonksiyonu tanımlamak için [*l*] adet giriş vektörü kullanılabilir. MTSA tek bir gizli katmana sahip olup bu katmandaki nöron

(birim) sayısı giriş verisinin sayısına eşit alınır. Bu nedenle MTSA ile problem çözümü için ağ yapısını oluştururken giriş verisinin sayısı ve nöronların yerleşimi ve düzenlenen parametrelerin hesaplanması da önemlidir. MTSA eğitimi için çeşitli öğrenme stratejileri önerilmekte olup, bu çalışmada denetimli öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Ağın eğitimi için giriş/çıkış verileri ağa sunularak gizli katmandaki nöron sayıları belirlenir. Denklem (3.31) yardımıyla varyans değeri hesaplanır. Ağın ürettiği sonuç ile arzu edilen sonuç karşılaştırılarak denklem (3.32) yardımıyla ağın hatası bulunur.

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_{\max}^2}{j+1}} \tag{3.31}$$

$$J_r = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{k} (y_{gerçek} - \hat{y}_{net})^2 \tag{3.32}$$

Denklemde, $d_{\max}$; eğitim verisi arasındaki maksimum mesafe, $\hat{y}_{net}$; ağın ürettiği sonuç, $y_{gerçek}$; arzu edilen katı madde miktarını göstermektedir.

3.2.3. YSA modellerinin geliştirilmesi

YSA hidrolojik süreçlerin modellemesinde en önemli adımlarından birisi uygun giriş/çıkış yapısının belirlenmesidir. Çünkü bu yapı sistemin davranışını, modelin üreteceği sonucu ve model performansını etkilemektedir. Giriş yapısında giriş değişken sayısı modelin karmaşıklılığını ve çözümü etkilediğinden, YSA ile modellemeye başlarken giriş değişken sayısı ve yapısı iyi bir şekilde belirlenmelidir.

Daha önce de söylendiği gibi YSA, giriş, çıkış ve gizli katman olmak üzere en az üç katmandan oluşmaktadır. Giriş ve çıkış değişken sayısı ele alınan probleme göre değişmektedir. Gizli katman sayısı ve bu katmandaki nöron sayısının belirlenmesinde kesin bir yöntem bulunmamaktadır. Bu nedenle gizli katman ve nöron sayısı deneme yanılma yoluyla belirlenmektedir.

YSA ile modelleme yaparken, ağın eğitiminde kullanılan öğrenme derecesi ve momentum katsayıları da yine deneme yanılma yoluyla tespit edilmektedir. Ayrıca sinir ağı eğitildikten sonra her bir giriş değişkenin problem üzerindeki ağırlığını belirleyen ağırlık katsayıları hesaplanır. Bu katsayılar eğitime başlarken rasgele seçilir ve en uygun

sonuç elde edilene kadar güncellenir. En uygun çözüme ulaşıldıktan sonra hesaplanan bu katsayılar sistemde kaydedilir ve daha önceden eğitimde kullanılmayan veri setlerinin tahmininde kullanılır.

Yapılan bu çalışmasında, İBYSA ve MTSA ile çözüm yaparken Matlab 7.0'da yazılan program kullanılarak, eğitim sırasında kullanılan parametreler en uygun sonuç elde edilene kadar deneme yanılma yoluyla kolaylıkla tespit edilmiştir.

3.3. Sinirsel Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

BM ve YSA, mühendislik problemlerinde güçlü ve etkili bir şekilde uygulanan modelleme yöntemleridir. BM yöntemi modellemede, insan düşünme ve karar verme özelliğini kullanan kural tabanlı bir yöntemdir. YSA ise, öğrenme yeteneğini kullanarak problemi öğrenmekte ve daha önceden karşılaşmadığı veri setleri için başarılı bir şekilde sonuca ulaşmaktadır. Modellemede bu yöntemlerin bazı eksik kaldığı ve güçlü olduğu noktalar bulunmaktadır.

Son yıllarda, YSA ve BM yöntemlerinin birleşiminden oluşan Sinirsel Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-ANFIS) bir modelleme yöntemi olarak önerilmekte ve kullanılmaya başlanmaktadır. ANFIS, YSA'nın öğrenme yeteneğini kullanarak, giriş/çıkış değişkenlerinin üyelik derecelerini belirlemektedir. ANFIS ağ yapısı, YSA yapısı ile aynı olup bu ağ yapısı, giriş ve çıkış veri setini, ÜF'ları ve parametreleri ilişkilendirmekte ve giriş/çıkış eşleştirmesi gerçekleştirmektedir.

Bulanık tabanlı modelleme, temel yapısı üç kavramsal bileşenden oluşan kural ya da bilgi tabanlı sistemlerdir. Bunlar; *kural tabanı*; bulanık EĞER-İSE kurallarının toplamından meydana gelir, bir *database**;*** kurallarda kullanılan ÜD'lerini tanımlanmada kullanılır ve *çıkarım mekanizması (inference mechanism)*; sistem giriş ve çıkışlarından kuralların toplanması ve uygun sonuçların üretilmesi işlevini görür (Şen 2001, Nayak vd 2004a, Fırat ve Güngör 2006a, Murat 2006).

BM çıkarım sistemin işlem adımları temel olarak, problem üzerindeki giriş değişkenlerinin ÜD'lerinin belirlenmesi, ÜD'lerinden kuralların yazılması, kurallardan

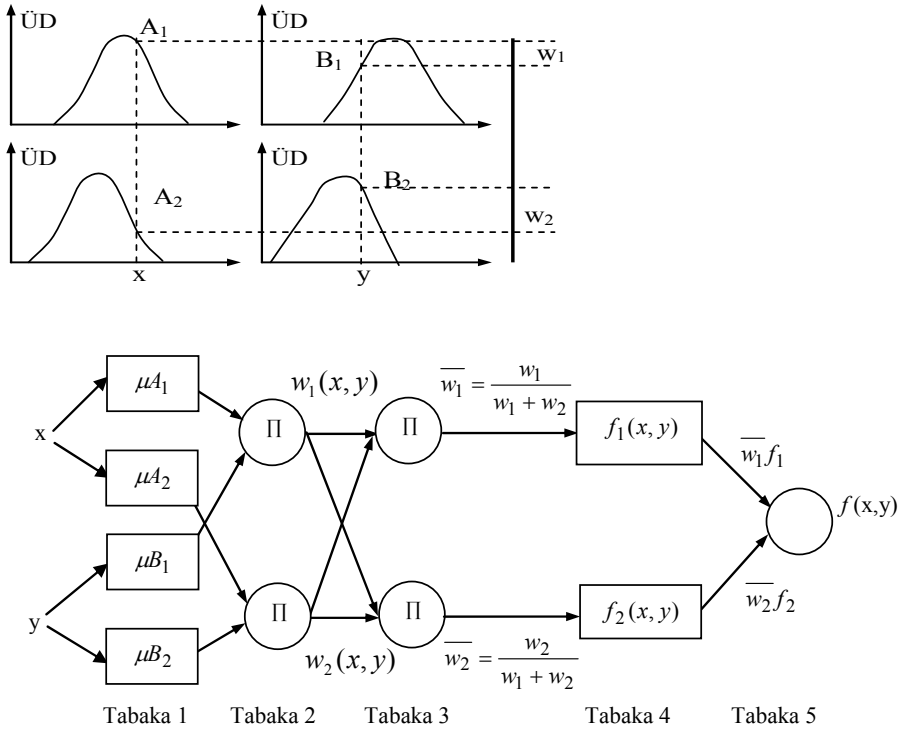
çıkış karakteristiklerinin belirlenmesi, çıkış değişkenlerinden çıkış ÜF'larına geçiş ve en son adım olarak bu çıkış ÜF'larından tek değerli sistem çıkışının elde edilmesi şeklindedir.

BM ile modellemede en önemli adım giriş/çıkış değişkenlerinin ÜD'lerinin belirlenmesi olarak gösterilmektedir. Giriş ve çıkış veri kümesinin ÜF'larının ve ÜD'lerinin belirlenmesi için iki yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi, "*Geriye Yayma Algoritması –Backpropagation Algorithm*", diğeri ise "*hybrid algoritma*" olarak bilinen ve "Eğim düşümü yöntemi ile En Küçük Kareler Yönteminin" birlikte kullanıldığı algoritmadır. Bu algoritmalar yardımıyla, veri kümesinden BM sisteminin öğrenmesi ve modellemenin gerçekleştirilmesi sağlanır. Bu çalışmada çıkarım sisteminin giriş/çıkış parametrelerini belirlemek için "*hybrid algoritma*" kullanılmıştır.

3.3.1. Sinirsel bulanık mantık sistem yapısı

ANFIS, YSA'nın öğrenme yeteneğini kullanarak, eğitim veri kümesinden bulanık küme ve kuralları belirlemekte ve kural tabanlı bir modelleme gerçekleştirmektedir. Sinirsel bulanık çıkarım sistemi üç tabakalı ileri beslemeli bir YSA şeklinde değerlendirilebilir. Bu ağ yapısında, birinci tabaka, giriş değişkenlerinin uygulandığı ve YSA yardımıyla ÜF'larının belirlendiği tabaka, ikinci tabaka bulanık kuralların oluşturulduğu ve çıkarım işleminin gerçekleştirildiği tabaka ve en son tabaka ise çıkarım sistem sonucunun elde edildiği tabakadır.

Literatürde bir kaç BM çıkarım sistemi önerilmiştir (Mamdani ve Sugeno çıkarım sistemi). Şekil 3.6'da bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı verilmektedir. Sugeno bulanık çıkarım sistemi ile BM işleminin gerçekleştirilmesi aşağıda verilmiştir. Bilindiği gibi Sugeno çıkarım sisteminde çıkış değişkeni ya "sabit katsayı" yada giriş değişkenlerine bağlı "bir fonksiyon" şeklinde tanımlanmaktadır. İki girişe sahip bir Sugeno çıkarım sistem yapısı Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 İki girişli bir Sugeno BM çıkarım sisteminin yapısı

İki girişli bir yapı için Sugeno sinirsel BM çıkarım sisteminde bulanık kurallar denklem (3.33) ve (3.34)'deki gibi yazılabilir (Jang vd 1997).

EĞER $x = A_1$ VE $y = B_1$ İSE $z = p_1 x + q_1 y + r_1$ (3.33)

EĞER $x = A_2$ VE $y = B_2$ İSE $z = p_2 x + q_2 y + r_2$ (3.34)

burada, A_i ve B_i bulanık kümelerinin ÜF'ları μ_{Ai} ve μ_{Bi} şeklindedir. p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 *ve* r_2 ise çıkarım sisteminin çıkış parametreleridir.

Tabaka 1 (Giriş Düğümü): bu tabakadaki her bir düğüm, giriş değişkenlerinin ÜF'larını meydana getirir ve her bir düğüm çıkışı O_i^1 denklem (3.35) ve (3.36'daki gibi hesaplanır;;

$$O_i^1 = \mu_A(x) \qquad i = 1, 2 \tag{3.35}$$

$$O_i^1 = \mu_{Bi-2}(y) \qquad i = 3, 4 \tag{3.36}$$

Düğüm çıkışı O_i^1 denklem (3.35) ve (3.36)'da verilen ÜF yardımıyla hesaplanır. Bunun için yamuk, üçgen, Gauss gibi değişik ÜF'ları kullanılabilir. Bu çalışmada, denklem (3.37)'de verilen Gauss ÜF kullanılmıştır.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \tag{3.37}$$

Tabaka 2 (Kural Düğümü): Bu tabakadaki her bir düğüm VE/VEYA işlemcileri kullanılarak Π ile gösterilen giriş sinyalleri çarpılır ve ateşleme kuvveti olarak tanımlanan düğüm çıktısı elde edilir. Çıkış ateşleme kuvveti O_i^2 denklem (3.38)'deki gibi hesaplanır;

$$O_i^2 = w_i = \mu_{Ai}(x)\mu_{Bi}(y), \qquad i = 1,2 \tag{3.38}$$

Tabaka 3 (Ortalama Düğüm): Bu tabakada her bir düğümden elde edilen ateşleme kuvvetleri toplanır ve denklem (3.39) yardımıyla hesaplanır.

$$O_i^3 = \overline{w_i} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \qquad i = 1,2 \tag{3.39}$$

Tabaka 4: Bu tabakada, her bir düğümün model çıktısı üzerindeki katkısı denklem (3.40) yardımıyla hesaplanır.

$$O_{4,i} = \overline{w_i}.f_i = \overline{w_i}.(p_i x + q_i y + r_i) \qquad i = 1,.....4 \tag{3.40}$$

Burada, $\overline{w}$; tabaka 3'ün çıkışını göstermektedir. $\{p_i, q_i, r_i\}$; bulanık çıkarım sisteminin (*consequence parameters*) çıkış parametreleridir.

Tabaka 5 (Çıkış Düğümü): Bu tabaka çıkış tabakası olarak adlandırılır ve sinirsel çıkarım sisteminin son adımını oluşturmaktadır. Bu tabakada, ANFIS'in genel çıkışı hesaplanır ve durulaştırma işlemi ile bulanık değerden kesin değere dönüştürülür.

$$f(x,y) = \frac{w_1(x,y)f_1(x,y) + w_2(x,y)f_2(x,y)}{w_1(x,y) + w_2(x,y)} = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \tag{3.41}$$

Bulanık çıkarım sisteminin çıkış değeri denklem (3.42) yardımıyla elde edilir;

$$Q_i^5 = f(x,y) = \sum_i \overline{w_i}.f_i = \overline{w_1}f_1 + \overline{w_2}f_2 = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \tag{3.42}$$

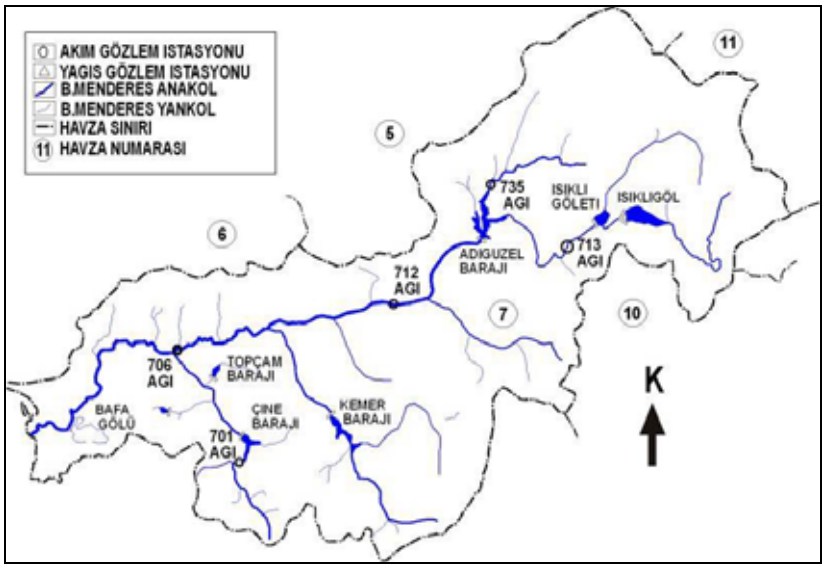
ANFIS'in eğitiminde ileri beslemeli sinir ağı ve denetimli öğrenme kullanılır. Bu fonksiyonlar yardımıyla, yukarıda belirtilen parametrelerin en uygun değerleri belirlenir. Bu çalışmada, "eğim düşümü" yöntemi ve "en küçük kareler" yöntemlerinin birleşiminden oluşan Hybrid öğrenme algoritması kullanılmıştır. Burada, eğim düşümü yöntemi, doğrusal olmayan giriş parametrelerinin düzenlenmesinde, en küçük kareler yöntemi ise doğrusal çıkış parametrelerinin düzenlenmesinde kullanılmaktadır (Chang ve Chang 2006, Fırat ve Güngör 2006a).

Ayrıca, ANFIS'de kuralların oluşturulmasında tabaka 2'deki ÜF parametreleri kullanılmaktadır. Ancak giriş değişkenleri belli aralığa sahip birkaç grupta kümelenmiş olabilir. Bunun için, giriş tabakasında giriş yapısı doğru bir şekilde belirlenmelidir. Sinirsel bulanık çıkarım sisteminde bu problemi çözmek için "*subtractive fuzzy clustering*" fonksiyonu kullanılmakta ve bu sayede modellemede daha az kural ile daha etkili bir çözüm elde edilmektedir (Chen vd 2006, Nayak vd 2004b, Fırat ve Güngör 2006a).

4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

4.1 Büyük Menderes Havzası

Büyük Menderes nehri, Batı Anadolu'nun en büyük akarsuyu olup Büyük Menderes Havzası'nın ana sulama kaynağıdır. Afyon İli Dinar İlçesi yakınlarında Suçıkan Mevkii'nde doğar. Işıklı ve Küf'i Çayları'nı biriktiren Işıklı Barajı'ndan çıkıp Çivril, Çal ve Baklan Ovaları'nı geçer ve Çal'ın doğusundan kuzeye dönerek, Güney İlçesi'ne doğru derin bir yatakta akar. Uşak'tan gelen ve Menderes'in en büyük kollarından olan Banaz Çayı'nı da alarak, Sarayköy Ovası'ndan geçer, Denizli il sınırları içindeki Çürüksu ve Gökpınar Çayları ile beslenir ve batı yönünde ilerler. Nazilli, Aydın ve Söke Ovaları'nı besleyip 560 km uzunluğundaki yolculuğunu Söke İlçesi Dipburun Mevkii'nde Ege Denizi'ne dökülerek tamamlar. Büyük Menderes havzası 24 976 km^2 drenaj alanına ve 3,03 km^3 yıllık ortalama akışa sahiptir. Büyük Menderes havzasının genel yapısı Şekil 4.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Büyük Menderes havzasının genel yapısı

Bu çalışmada, yağış-akış ve katı madde modelleri için, Büyük Menderes havzası temel olarak dört alt havzaya bölünmüştür. Bu alt havzalardan birincisi, Büyük Menderes nehrinin ilk doğduğu kesimde ve Adıgüzel barajını besleyen ana kolun

bulunduğu *Yukarı Büyük Menderes alt havzası*dır. İkinci alt havza, yine Büyük Menderes Havzasının doğu kesiminde yer alan ve Adıgüzel barajını besleyen diğer bir kol olan Banaz çayının bulunduğu *Banaz Çayı alt havzası*dır. Üçüncü alt havza; Adıgüzel barajının mansabında başlayan, Büyük Menderes Havzasının orta kesiminde yer alan ve Büyük Menderes nehrinin ana kolu, Çürüksu çayı, Gökpınar çayı ve Akçay'ı içine alan *Büyük Menderes Orta alt havzası*dır. Dördüncü ve son alt havza ise; Çine, Topçam ve Karpuzlu barajlarının bulunduğu *Çine Çayı alt havzası*dır.

Büyük Menderes Nehri birçok yan kol ve derelerle beslenmektedir. Bu yan kollar üzerinde çeşitli amaçlar için inşa edilmiş barajlar bulunmaktadır. Yukarı Menderes alt havzası Adıgüzel barajını ve Işıklı gölünü kapsamaktadır. Büyük Menderes Orta alt havzasında, Gökpınar çayı üzerinde, içme suyu ve sulama amaçlı inşa edilmiş olan Gökpınar barajı yer almaktadır. Ayrıca, Akçay üzerinde yapılan, Kemer baraj gölü bulunmaktadır. Büyük Menderes havzasının alt kısmında yer alan ve Menderes Nehrinin ana kolunu besleyen Çine çayı üzerinde, Karpuzlu ve Çine baraj gölleri yer almaktadır. Çine çayı ve Büyük Menderes Nehri ana kolu Aydın ili sınırları içerisinde birleşmekte ve Söke ilçesi yakınlarında Ege Denizine dökülmektedir.

4.2. Veri

Büyük Menderes havzasında, Büyük Menderes nehri ana kolu ve bu nehri besleyen yan kolları üzerinde Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından kurulan akım gözlem istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonlarda günlük ortalama akımlar düzenli olarak ölçülmektedir. Ayrıca, EİEİ tarafından kurulan ve işletilen katı madde ölçüm istasyonları da bulunmaktadır. Akış tahmini için kullanılan akarsu akım gözlem istasyonlarına (AGİ) ait bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Büyük Menderes havzası akım gözlem istasyonları

AGİ no ve Adı	Açılma Tarihi	Kapanma Tarihi	Alan (km^2)	Yükselti (m)	Coğrafi Koordinat
701- Çine Çayı Kayırlı	15.07.1937	-	948.00	262	28 07 53D–37 25 19K
706- B. Menderes Aydın Köprü	29.03.1950	-	19595.60	25	27 50 26D–37 47 00K
712- B. Menderes Burhaniye	25.10.1950	-	12798.80	120	28 44 25D–37 56 56K
713- B. Menderes Çıtak Köprü	12.05.1951	-	3945.60	802	29 38 23D–38 09 25K
735-Banaz çayı Dört Değirmen	29.09.1987	01.10.2000	3226.60	467	29 14 19D–38 20 11K

Tablo 4.1'de verilen ve akış tahmin modellerinde kullanılan istasyonlara ait çeşitli istatistiksel ölçütler hesaplanmış ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Akım gözlem istasyonlarına ait akış verilerinin yapısı

AGİ no	Veri Aralığı	Veri Sayısı	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\overline{x}$	s_x	c_{sx}
Q_{701} (m^3/s)	01.10.1967–0.09.2000	12420	0.01	212.00	5.36	11.18	7.16
Q_{706} (m^3/s)	01.10.1985–0.09.2000	5844	0.05	227.01	32.28	25.90	2.42
Q_{712} (m^3/s)	01.10.1985–0.09.2000	5844	0.21	211.90	20.92	11.81	1.79
Q_{713} (m^3/s)	01.10.1972–0.09.2000	10228	0.06	75.80	9.96	9.78	1.12
Q_{735} (m^3/s)	01.10.1989–0.09.2000	4383	1.50	69.90	5.35	4.65	3.82

Büyük menderes havzasında EİEİ tarafından kurulan ve bu çalışmada kullanılan katı madde ölçüm istasyonlarına ait genel bilgiler Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3 Büyük Menderes havzası katı madde gözlem istasyonları

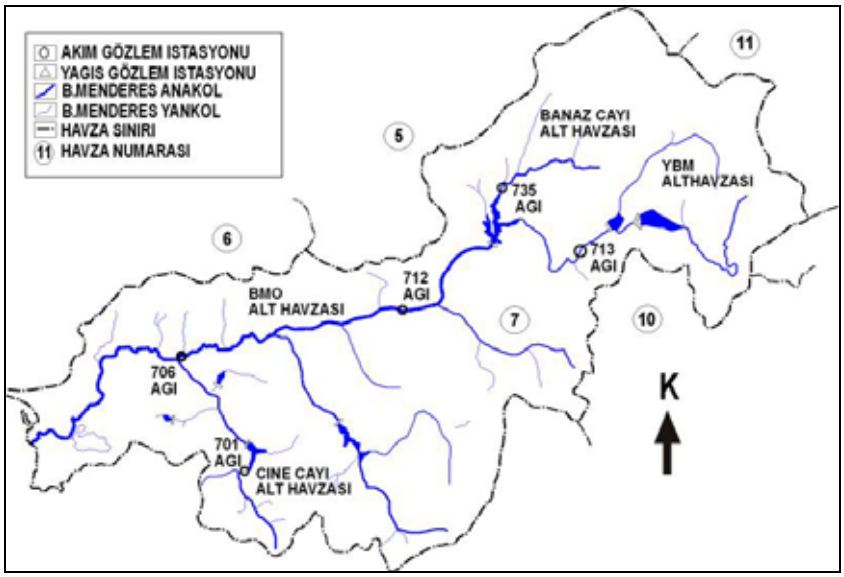
AGİ no ve Adı	Açılma Tarihi	Kapanma Tarihi	Alan (km^2)	Kot (m)	Coğrafi Koordinat
701- Çine Çayı Kayırlı	06.01.1967	-	948.00	262	28 07 53D–37 25 19K
706- B. Menderes Aydın Köprü	18.03.1985	-	19595.60	25	27 50 26D–37 47 00K
713- B. Menderes Çıtak Köprü	18.12.1972	13.02.1985	3945.60	802	29 38 23D–38 09 25K
735-Banaz çayı Dört Değirmen	18.09.1989	20.07.1998	3226.60	467	29 14 19D–38 20 11K

Tablo 4.3'de verilen ve katı madde tahmin modellerinde kullanılan istasyonlara ait çeşitli istatistiksel ölçütler hesaplanmış ve Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Katı madde tahmininde kullanılan verilerin yapısı

AGİ	Parametre	Veri Aralığı	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\overline{x}$	s_x	c_{sx}
701	Akış (m^3/s)	01.10.1967–30.09.2000	0.01	212.00	5.36	11.18	7.16
	Katı Madde (ton/gün)	01.10.1967–30.09.2000	0.20	7009.20	220.53	788.56	5.51
	P (mm)	01.10.1967–30.09.2000	0.00	103.15	2.46	7.57	5.00
706	Akış (m^3/s)	18.03.1985–21.09.2000	0.05	227.01	32.28	25.90	2.42
	Katı Madde (ton/gün)	18.03.1985–21.09.2000	0.322	14857.90	32.45	27.38	2.66
	P (mm)	18.03.1985–21.09.2000	0.00	49.69	1.35	4.02	4.88
712	Akış (m^3/s)	18.03.1985–21.09.2000	0.21	211.90	20.92	11.81	1.79
713	Akış (m^3/s)	18.02.1972–13.02.1985	0.06	75.80	9.96	9.78	1.12
	Katı Madde (ton/gün)	18.02.1972–13.02.1985	0.48	914.28	101.08	141.19	3.22
	P (mm)	18.02.1972–13.02.1985	0.00	31.02	1.028	2.659	4.269
735	Akış (m^3/s)	18.09.1989–20.07.1998	4.80	16.38	1.59	3.17	1.55
	Katı Madde (ton/gün)	18.09.1989–20.07.1998	1.82	571.49	67.27	105.08	2.97
	P (mm)	18.09.1989–20.07.1998	0.00	53.40	1.30	4.26	5.32

Büyük menderes ana kolu ve yan kollar üzerinde bulunan istasyonların yerleşimleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



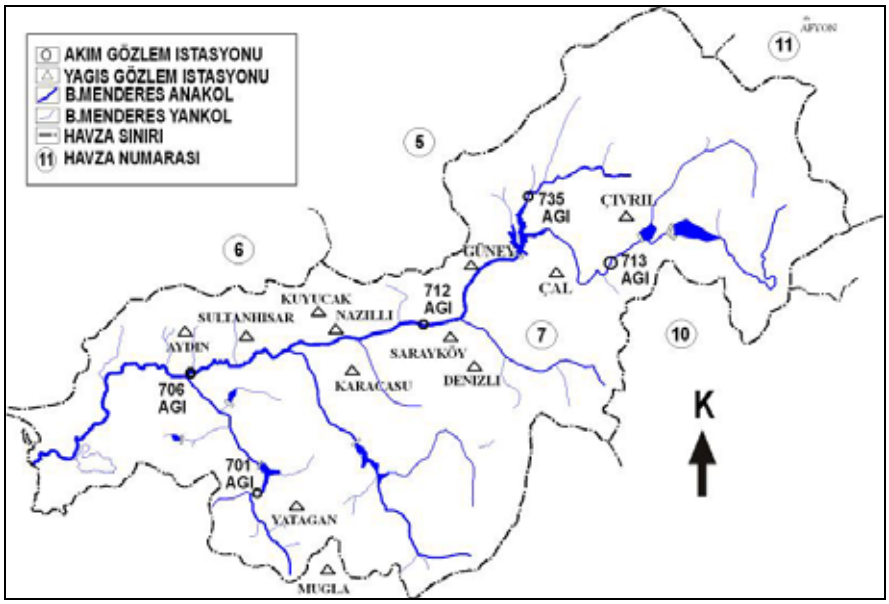
Şekil 4.2 Büyük Menderes havzasının alt havzaları

Büyük Menderes havzasında çeşitli yıllarda Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından kurulmuş birçok yağış gözlem istasyonu (YGİ) bulunmaktadır. Akış ve katı madde tahmini için, bu akım gözlem istasyonlarının menbaında yer alan yağış gözlem istasyonları seçilmiştir.

Çine çayı alt havzası (701 nolu AGİ) akış ve katı madde tahmini için menbaında yer alan Yatağan ve Muğla yağış gözlem istasyonlarında ölçülen veriler kullanılmıştır. Yukarı Büyük Menderes alt havzası (713 nolu AGİ) akış ve katı madde tahmini için Çivril, Çal ve Dinar yağış gözlem istasyonları ölçüm verileri kullanılmıştır.

Banaz çayı alt havzasında (735 nolu AGİ) akış ve katı madde tahmini için Güney ve Çal yağış gözlem istasyonlarının verileri dikkate alınmıştır. Büyük menderes orta alt havzasında (706 nolu AGİ) akış ve katı madde tahmini için Aydın, Nazilli, Sultanhisar, Kuyucak, Karacasu, Güney, Sarayköy ve Denizli yağış gözlem istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan akım ve yağış gözlem istasyonlarının genel yerleşimi Şekil 4.3'de verilmiştir.

Bilindiği gibi giriş değişken sayısı arttıkça modelin karmaşıklılığı artmakta ve çözüm zorlaşmaktadır. Bu nedenle, yağış gözlem istasyonlarından ölçülen yağış verileri tek tek dikkate alınmamış, bunun yerine bu yağışların ortalaması hesaplanarak modellerde kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Yağış istasyonlarının havzada yerleşimi

Akış ve katı madde tahmin modellerinde kullanılan yağış gözlem istasyonları ile ilgili bilgiler Tablo 4.5'de verilmiştir.

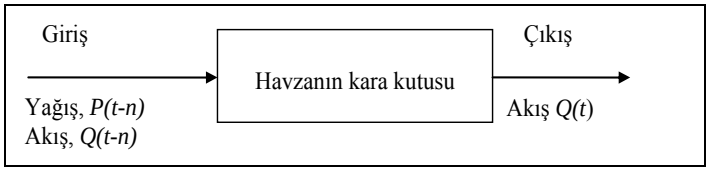
Tablo 4.5 Büyük Menderes havzası yağış gözlem istasyonları

AGİ no	YGİ	Açılma Tarihi	Kapanma Tarihi	Enlem	Boylam	Kot (m)
701	Yatağan	20.01.1950	---	37.21	28.08	365
	Muğla	01.01.1926	---	37.13	28.22	646
706	Aydın	01.01.1931	---	37.51	27.51	56
	Nazilli	01.01.1928	---	37.55	28.19	60
	Kuyucak	01.01.1985	---	37.55	28.28	100
	Sultanhisar	06.02.1954	---	37.54	28.09	73
	Karacasu	01.11.1977	---	37.44	28.36	550
	Denizli	01.01.1929	---	37.47	29.05	426
	Sarayköy	01.01.1963	---	37.55	28.55	169
	Güney	01.01.1938	---	39.09	29.04	804
713	Dinar	01.01.1938	---	38.04	30.10	864
	Çal	01.01.1987	---	38.05	29.24	850
	Çivril	01.01.1968	---	38.18	29.44	840
735	Güney	01.01.1938	---	39.09	29.04	804
	Çal	01.01.1987	---	38.05	29.24	850
	Çivril	01.01.1968	---	38.18	29.44	840

Büyük Menderes havzasında, akış ve katı madde tahmin çalışmaları için, yukarıda verilen yağış-akış ve katı madde verileri düzenlenerek tahmin modelleri kurulmuş ve çözülmüştür.

5. BÜYÜK MENDERES HAVZASI AKIŞ TAHMİN MODELLERİ

Büyük Menderes havzası daha önceden de ayrıntılı bir şekilde verildiği gibi dört alt havzaya bölünmüş ve akış/katı madde tahmini bu dört alt havza için gerçekleştirilmiştir. Büyük Menderes havzasının genel yerleşimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Büyük Menderes havzasında, akış tahmini için, ilk önce sadece akış verilerinin kullanılması ile I. tip akış tahmin modeli olarak tanımlanan farklı giriş sayı/yapısına sahip modeller kurulmuştur. Daha sonra bu modellere, yağış değişkenin eklenmesi ile II. tip akış tahmin modelleri kurulmuştur. Ancak 706 nolu AGİ için tahmin modellerinin kurulması diğer alt havzalardan farklıdır. Bu alt havzada akış tahmini için, 706 ve 712 nolu AGİ'de ölçülen veriler kullanılmıştır. 706 nolu AGİ'de akış tahmini için, ilk önce sadece bu istasyondan alınan akım verilerinin önceki zamanlara ait değerleri kullanılarak modeller geliştirilmiştir (I. tip akış tahmin modeli). İkinci tip akış tahmini için, sadece 712 nolu AGİ'den alınan akış verileri kullanılmış ve farklı yapıya sahip modeller kurulmuştur (II. Tip akış tahmin modeli). Bu alt havzada son olarak, 706 ve 712 nolu AGİ'lerden alınan akım verilerinin birlikte kullanılmasıyla akış tahmin modelleri geliştirilmiştir (III. tip akış tahmin modeli). Daha sonra bu modellere, yağış değişkenin eklenmesi ile yeni modeller kurulmuştur. Akış tahmini için, akış ve yağış parametrelerinin tahmin edilen zamandaki değerlerinin yanı sıra, tahmin öncesine ait değerleri de dikkate alınmış olup tahmin modelinin genel yapısı Şekil 5.1'de verilmiştir.

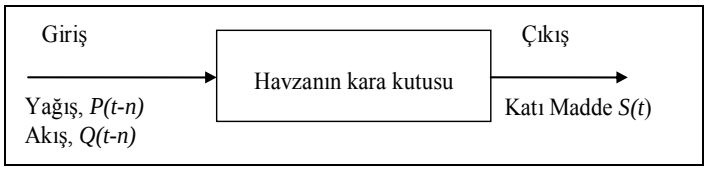


Şekil 5.1 Akış tahmin modellerinin genel yapısı

Katı madde tahmini için, yine benzer şekilde, ilk önce sadece akış verilerinin kullanılması ile I. tip katı madde tahmin modelleri geliştirilmiştir. Daha sonra bu modellere, yağış değişkenin eklenmesi ile II. tip katı madde tahmin modelleri kurulmuştur. Ancak 706 nolu AGİ için tahmin modellerinin kurulması diğer alt havzalardan farklıdır. Bu alt havzada katı madde tahmini için, 706 ve 712 nolu AGİ'de

ölçülen veriler kullanılmıştır. 706 nolu AGİ'de katı madde tahmini için, ilk önce sadece bu istasyonda alınan akım verilerinin önceki zamanlara ait değerleri kullanılarak I. tip katı madde tahmin modelleri geliştirilmiştir. İkinci tip katı madde tahmini için, 706 ve 712 nolu AGİ'den alınan akım verilerinin birlikte kullanılmasıyla II. tip katı madde tahmin modelleri kurulmuştur. Daha sonra bu modellere, ortalama yağış değişkenin eklenmesi ile yeni III. ve IV. tip modeller geliştirilmiştir.

Yağış ve akış parametresinin, katı madde taşınımı üzerinde dinamik bir etkiye sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle katı madde tahmini için, bu parametrelerin sadece tahmin edilen zamandaki değerlerinin yanı sıra, tahmin öncesine ait değerleri de dikkate alınmıştır. Katı madde tahmin modelinin genel yapısı Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 Katı madde tahmin modellerinin genel yapısı

Bütün alt havzalarda akış ve katı madde tahmini için temel olarak aşağıda verilen işlemler gerçekleştirilmiştir. Bütün alt havzalarda, modeller kurulmadan önce, kullanılacak verilerin yapısını ortaya koymak ve değerlendirmek için, *en küçük* $x_{\min}$, *en büyük* $x_{\max}$, *ortalama* $\bar{x}$, *standart sapma* s_x ve *çarpıklık katsayısı* c_{sx} *gibi* istatistiksel ölçütler hesaplanmıştır. Akış veri kümeleri için hesaplanan ölçütler Tablo 4.2'de ve katı madde verileri için hesaplanan ölçütler Tablo 4.4'de verilmiştir.

Giriş ve çıkış değişkenlerinin sayısı/yapısı model davranışı üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle en uygun giriş yapısını belirlemek için, *Pearson ve Spearman korelasyon katsayıları* hesaplanmış ve bu ölçütlere göre modeller kurulmuştur. Bütün alt havzalarda veri kümeleri için hesaplanan korelasyonlar Tablo 5. 1'de gösterilmiştir. Tahmin çalışmalarında, modellerdeki belirsizliği ortadan kaldırmak, daha hassas ve güvenilir bir tahmin gerçekleştirmek için eğitim ve sınama veri küme yapısı iyi bir şekilde belirlenmelidir. Eğitim veri kümesi tüm veri kümesinin karakteristiğini yansıtacak şekilde seçilmelidir.

Tablo 5.1 Akış tahmini için korelasyonlar

AGİ	Giriş Değişkeni	Pearson	Spearman
		$Q(t)_{713}$	
713	$Q(t-1)_{713}$	0.981	0.984
	$Q(t-2)_{713}$	0.962	0.965
	$Q(t-3)_{713}$	0.944	0.965
	$Q(t-4)_{713}$	0.928	0.932
	$Q(t-5)_{713}$	0.912	0.918
	$Q(t-6)_{713}$	0.897	0.904
	$Q(t-7)_{713}$	0.882	0.890
	$P(t-1)$	-0.065	-0.069
	$P(t-2)$	-0.060	-0.069
	$P(t-3)$	-0.057	-0.067
		$Q(t)_{735}$	
735	$Q(t-1)_{735}$	0.93	0.99
	$Q(t-2)_{735}$	0.86	0.97
	$Q(t-3)_{735}$	0.81	0.96
	$Q(t-4)_{735}$	0.76	0.95
	$Q(t-5)_{735}$	0.72	0.93
	$P(t-1)$	0.109	0.204
	$P(t-2)$	0.136	0.217
	$P(t-3)$	0.107	0.213

AGİ	Giriş Değişkeni	Pearson	Spearman
		$Q(t)_{706}$	
706	$Q(t-1)_{706}$	0.96	0.98
	$Q(t-2)_{706}$	0.93	0.95
	$Q(t-3)_{706}$	0.89	0.92
	$Q(t-4)_{706}$	0.86	0.89
	$Q(t-5)_{706}$	0.83	0.87
	$Q(t-6)_{706}$	0.80	0.84
	$Q(t-7)_{706}$	0.79	0.82
	$Q(t-1)_{712}$	0.66	0.75
	$Q(t-2)_{712}$	0.65	0.74
	$Q(t-3)_{712}$	0.63	0.72
	$Q(t-4)_{712}$	0.61	0.70
	$P(t-1)$	-0.023	0.012
	$P(t-2)$	-0.028	0.008
	$P(t-3)$	-0.026	0.006
		$Q(t)_{701}$	
701	$Q(t-1)_{701}$	0.72	0.97
	$Q(t-2)_{701}$	0.57	0.95
	$Q(t-3)_{701}$	0.50	0.93
	$Q(t-4)_{701}$	0.46	0.92
	$Q(t-5)_{701}$	0.46	0.92
	$P(t-1)$	0.38	0.40
	$P(t-2)$	0.27	0.38
	$P(t-3)$	0.22	0.36

Yapılan tüm tahmin çalışmalarında, daha iyi bir tahmin için, *çapraz geçerlilik* (*cross validation*) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde veri kümesi her birinde **m** adet veri bulunan **n** adet alt kümelere ayrılmakta ve veri kümeleri sistematik bir şekilde her biri hem eğitimde ve hem de sınamada kullanılacak şekilde düzenlenmektedir. Bu sayede, her bir alt küme hem eğitim ve hem de sınama kümesi içerisinde yer almakta ve bu sayede tüm veri kümesinin karakteristiğini yansıtacak en uygun küme yapısı belirlenmektedir. Tüm alt havzalarda bu işlemden sonra her bir eğitim ve sınama veri kümesi için çeşitli istatistiksel ölçütler hesaplanarak, her bir kümesin yapısı değerlendirilmiştir. Modellerin başarısını değerlendirmek için denklem (5.1), (5.2) ve (5.3)'de verilen ortalama karesel hataların karekökü (KHOK), verimlilik (E), ortalama rölatif hata (ORH) ve korelasyon katsayısı (R) gibi ölçütler hesaplanmıştır.

$$\text{Ortalama Rölatif Hata (ORH)};\ ORH\ (\%) = \frac{1}{N}.\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{Q_{Di}-Q_{Yi}}{Q_{Di}}\right| * 100 \qquad (5.1)$$

$$\text{Korelasyon Katsayısı (R)};\ R = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{Di}-\overline{Q_D}).(Q_{Yi}-\overline{Q_Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(Q_{Di}-\overline{Q_D})^2.(Q_{Yi}-\overline{Q_Y})^2}} \qquad (5.2)$$

$$\text{Verimlilik (E)};\quad E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \qquad E_1 = \sum_{i=1}^{N}(Q_{Di}-\overline{Q_D})^2,\ E_2 = \sum_{t=1}^{N}(Q_{Yi}-Q_D)^2 \qquad (5.3)$$

Burada, Q_Y, tahmin edilen akış, Q_D, gözlem ile elde edilen akış, $\overline{Q_y}$ tahmin edilen akışların ortalaması, $\overline{Q_D}$ gözlem ile elde edilen akışların ortalamasını göstermektedir. Hesaplanan bu ölçütlere göre, en uygun model yapısı ve çapraz geçerlilik eğitim ve sınama veri küme yapısı belirlenmiştir. En son adımda en uygun model sonuçları ile gözlem sonuçları karşılaştırılmış ve model davranışı değerlendirilmiştir. Modellerin çözümünde Matlab 7.0 programı kullanılmıştır.

5.1. Yukarı Büyük Menderes Alt Havzası Akış Tahmin Modeli

YBM alt havzasında akış tahmini için, Büyük Menderes nehrinin ana kolu üzerinde yer alan *713 nolu* AGİ kullanılmış olup istasyonda 1951 yılından beri düzenli olarak akım ölçümü yapılmaktadır. Bu çalışmada, 1972–2000 yılları arasında ölçülmüş akış değerleri kullanılmış olup alt havzasının genel yerleşimi Şekil 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

5.1.1. YBM alt havzası I. tip akış tahmini

Akış tahmin modellerinde kullanılan veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.1'de ve korelasyon katsayıları Tablo 5.1'de verilmiştir. YBM I. tip akış tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (5.4)'de ve kurulan modeller Tablo 5.2'de verilmektedir

$$Q(t)_{713} = f(Q(t-1)_{713}, Q(t-2)_{713}, ...Q(t-n)_{713}) \quad (5.4)$$

Tablo 5.2 YBM I. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Çıkış
R-I M1	$Q(t-1)_{713}$	$Q(t)_{713}$
R-I M2	$Q(t-1)_{713}$ $Q(t-2)_{713}$	$Q(t)_{713}$
R-I M3	$Q(t-1)_{713}$ $Q(t-2)_{713}$ $Q(t-3)_{713}$	$Q(t)_{713}$
R-I M4	$Q(t-1)_{713}$ $Q(t-2)_{713}$ $Q(t-3)_{713}$ $Q(t-4)_{713}$	$Q(t)_{713}$
R-I M5	$Q(t-1)_{713}$ $Q(t-2)_{713}$ $Q(t-3)_{713}$ $Q(t-4)_{713}$ $Q(t-5)_{713}$	$Q(t)_{713}$
R-I M6	$Q(t-1)_{713}$ $Q(t-2)_{713}$ $Q(t-3)_{713}$ $Q(t-4)_{713}$ $Q(t-5)_{713}$ $Q(t-6)_{713}$	$Q(t)_{713}$
R-I M7	$Q(t-1)_{713}$ $Q(t-2)_{713}$ $Q(t-3)_{713}$ $Q(t-4)_{713}$ $Q(t-5)_{713}$ $Q(t-6)_{713}$ $Q(t-7)_{713}$	$Q(t)_{713}$

I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik yöntemi ile verilerin kümelere ayrılmış yapısı Tablo 5.3'de ve veri kümelerinin yapısı da Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.3 YBM I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri

Veri Kümesi	Veri Zaman Aralığı		Veri Sayısı
m_1	01.10.1972 – 30.09.1979	(7 yıl)	2557
m_2	01.10.1979 – 30.09.1986	(7 yıl)	2557
m_3	01.10.1986 – 30.09.1993	(7 yıl)	2557
m_4	01.10.1993 – 30.09.2000	(7 yıl)	2557

Tablo 5.4 YBM I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1979 – 2000	7670	1972 – 1979	2557
MY_2	1972 – 1979 ve 1986 – 2000	7670	1979 – 1986	2557
MY_3	1972 – 1986 ve 1993 – 2000	7670	1986 – 1993	2557
MY_4	1972 – 1993	7670	1993 – 2000	2557

Eğitim/sınama veri kümeleri için, istatistik ölçütler hesaplanarak veri kümelerinin yapısı ortaya konmuş ve Tablo 5.5'de verilmiştir. Bütün modeller için davranış değerlendirme ölçütleri hesaplanmış ve en uygun model belirlenmiştir (Tablo 5.6).

Tablo 5.5 YBM I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı

Veri Kümesi		$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\overline{x}$	s_x	c_{sx}
MY$_1$	Eğitim Veri Kümesi	0.056	75.80	9.73	9.82	1.14
	Sınama Veri Kümesi	1.16	45.90	10.60	9.84	1.08
MY$_2$	Eğitim Veri Kümesi	0.06	45.90	8.41	9.10	1.30
	Sınama Veri Kümesi	1.76	75.80	14.57	10.49	0.74
MY$_3$	Eğitim Veri Kümesi	0.13	75.80	10.90	9.66	1.04
	Sınama Veri Kümesi	0.056	39.80	7.09	9.79	1.58
MY$_4$	Eğitim Veri Kümesi	0.06	75.80	10.75	10.50	1.02
	Sınama Veri Kümesi	0.13	29.50	7.53	6.95	0.88

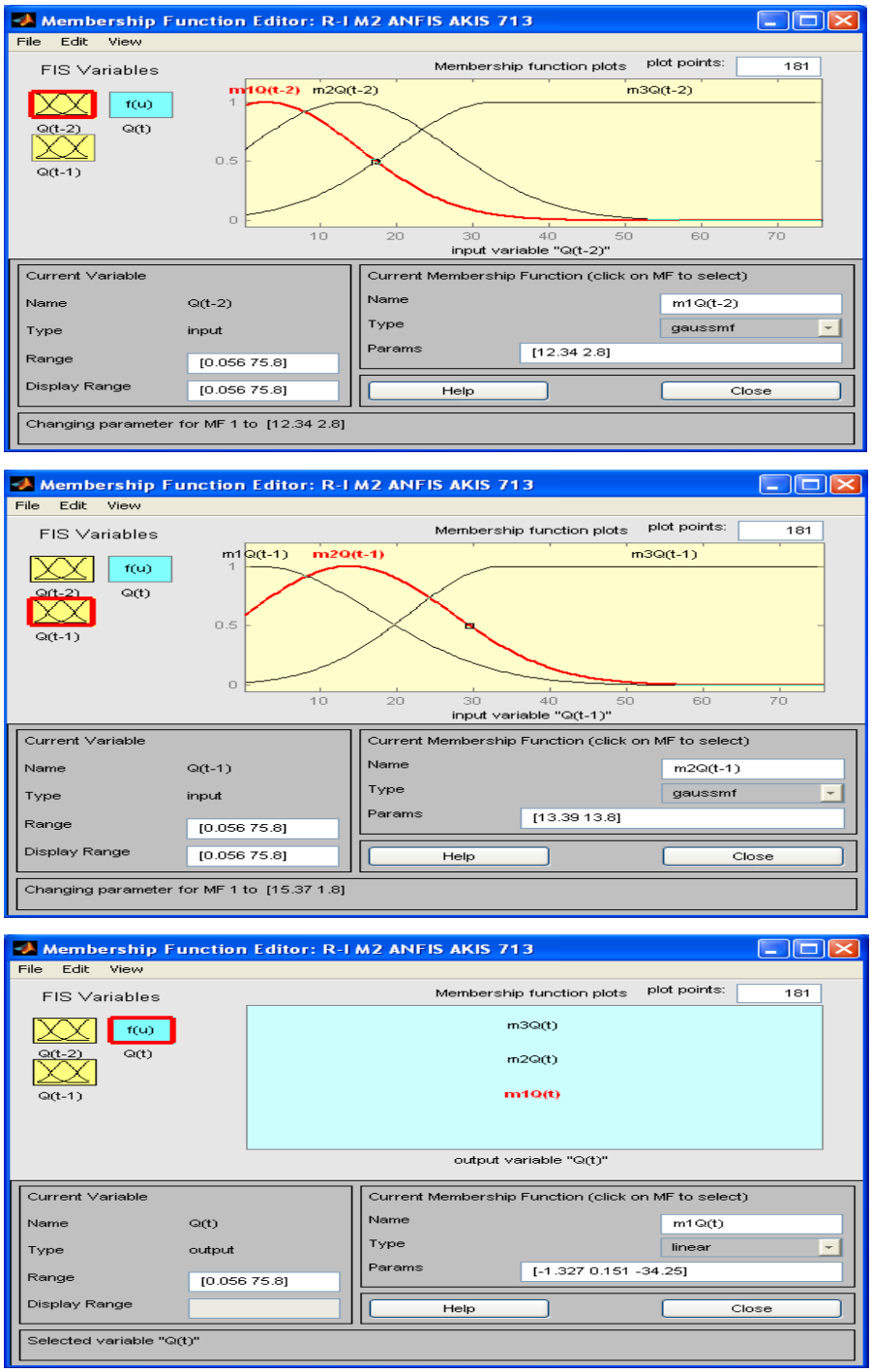
Tablo 5.6 YBM I. tip akış tahmini için model davranışları

	Sınama Veri Kümesi	R-I M1	**R-I M2**	R-I M3	R-I M4	R-I M5	R-I M6	R-I M7
KHOK	1972 – 1979	1.921	1.934	1.898	1.910	1.910	1.910	1.920
	1979 – 1986	2.503	2.264	2.220	2.478	2.507	2.498	2.492
	1986 – 1993	1.695	1.690	1.702	1.730	1.720	1.720	1.720
	1993 – 2000	1.403	**1.382**	1.389	1.392	1.384	1.404	1.410
E	1972 – 1979	0.960	0.960	0.959	0.960	0.958	0.958	0.959
	1979 – 1986	0.943	0.956	0.955	0.944	0.942	0.943	0.943
	1986 – 1993	0.950	0.955	0.953	0.940	0.953	0.951	0.951
	1993 – 2000	0.960	**0.961**	0.960	0.959	0.960	0.959	0.959
ORH	1972 – 1979	0.060	0.059	0.065	0.065	0.065	0.067	0.066
	1979 – 1986	0.067	0.062	0.063	0.065	0.0654	0.067	0.066
	1986 – 1993	0.240	0.250	0.250	0.260	0.240	0.240	0.239
	1993 – 2000	0.128	**0.125**	0.126	0.123	0.118	0.120	0.140
R	1972 – 1979	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980
	1979 – 1986	0.971	0.977	0.976	0.972	0.971	0.971	0.971
	1986 – 1993	0.960	0.970	0.970	0.960	0.970	0.970	0.970
	1993 – 2000	0.980	0.981	0.981	0.979	0.980	0.979	0.979

Tablodan da görüldüğü gibi, her bir modelin davranışı değerlendirilmiş ve bütün modeller için KHOK ve ORH ölçütleri küçük, E ve R değerleri 1'e yakın, KHOK'nın en düşük değeri R-I M2'den 1.382, en yüksek değer ise, R-I M5'den 2.507 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer R-I M2'de 0.961, en düşük değer R-I M4'de 0.940 hesaplanmıştır. ORH değerleri karşılaştırıldığında, en düşük değer R-I M2'den % 5.9, en yüksek değer ise, R-I M4'den % 24.00 olarak elde edilmiştir. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, R-I M2'de 0.981, en düşük değerin de, R-I M1 ve R-I M4'de 0.960 olduğu görülmektedir. Tablo 5.6'ya göre, en uygun model **R-I M2** seçilmiş ve yapısı denklem (5.5)'de verilmiştir.

$$Q(t)_{713} = f(Q(t-1)_{713},\ Q(t-2)_{713}) \tag{5.5}$$

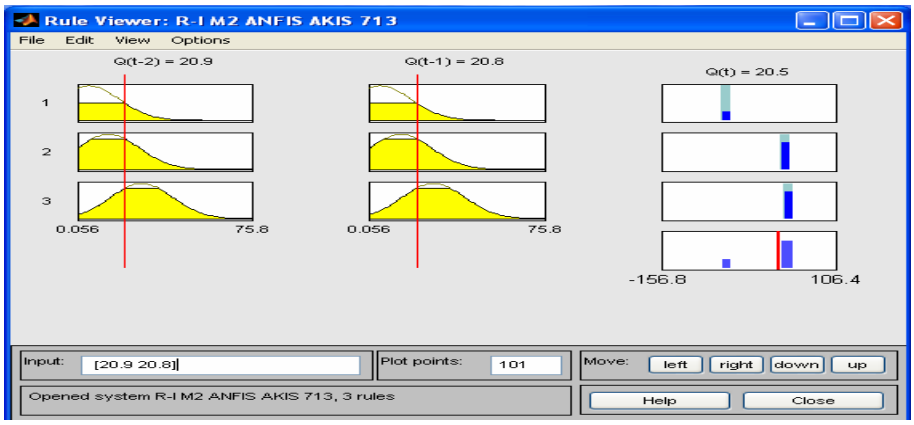
R-I M2 tahmin modelinin ÜF'larının yapısı Şekil 5.3'de, ve tahmin modelinin eğitim parametreleri Tablo 5.7'de verilmiştir. Ayrıca, R-I M2 ANFIS tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 5.4 ve denklem (5.7)'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 YBM R-I M2 akış tahmin modeli ÜF'ları

Tablo 5.7 YBM I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
3	20	Gauss – 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama



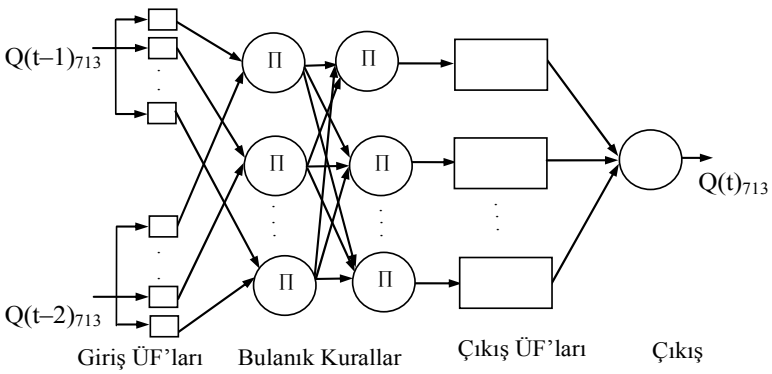
Şekil 5.4 YBM R-I M2 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$\begin{aligned}
&\text{EĞER } Q(t-2)=m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m1Q(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m2Q(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m3Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m3Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m3Q(t)
\end{aligned} \tag{5.6}$$

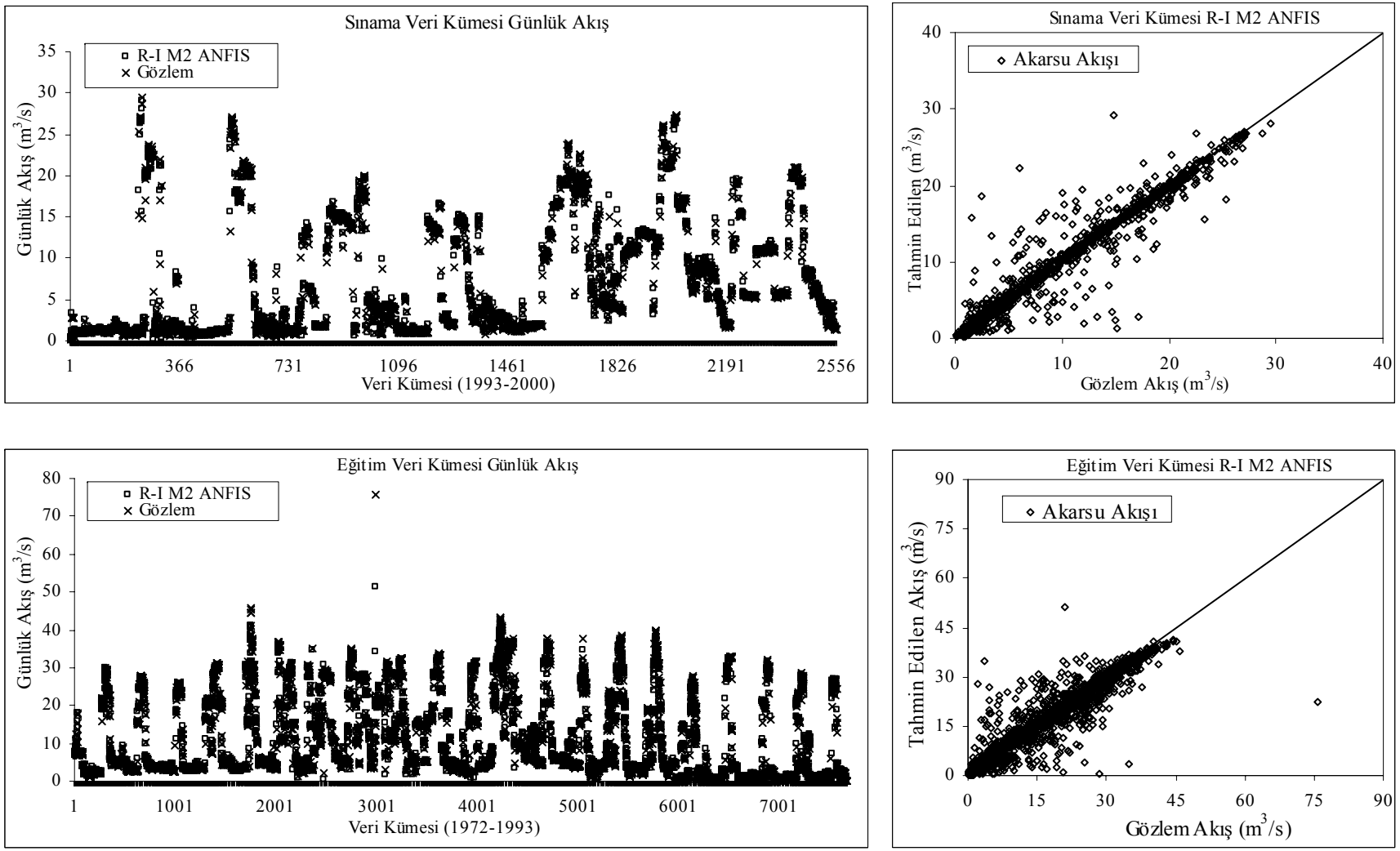
Tablo 5.6'daki ölçütlere göre, en uygun model yapısı belirlendikten sonra, yine bu tabloya göre en uygun veri kümesi belirlenmiştir. Tablo 5.6'daki ölçütlere göre, YBM I. tip akış tahmininde, en uygun model **R-I M2** ve en uygun veri kümesi **MY4** seçilmiştir. MY4 veri kümesi için modellerin eğitim/sınama davranışları Tablo 5.8'de verilmiştir. Ayrıca, R-I M2'nin yapısı Şekil 5.5'de ve R-I M2 modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılması Şekil 5.6 'de verilmiştir.

Tablo 5.8 YBM I. tip akış tahmininde MY4 için model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	R-I M1	R-I M2	R-I M3	R-I M4	R-I M5	R-I M6	R-I M7
KHOK	Eğitim	1.97	2.01	1.85	2.02	2.00	2.03	2.01
	Sınama	1.40	1.382	1.389	1.39	1.38	1.40	1.40
E	Eğitim	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Sınama	0.960	0.963	0.961	0.960	0.96	0.96	0.96
ORH	Eğitim	11.32	14.69	16.55	11.40	12.04	11.41	11.84
	Sınama	12.10	12.5	12.60	12.30	11.80	0.120	14.00
R	Eğitim	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
	Sınama	0.98	0.981	0.981	0.98	0.98	0.98	0.98



Şekil 5.5 YBM I. tip akış tahmini için seçilen en uygun model yapısı



Şekil 5.6 YBM R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.1.2. YBM alt havzası II. tip akış tahmini

YBM II. tip akış tahmini, Büyük Menderes nehri üzerinde kurulan *713 nolu* AGİ'den alınan akım verileri ile yağış istasyonlarından alınan yağış verileri kullanılmıştır. II. tip akış tahmini için kurulan modellerin genel yapısı denklem (5.7)'de ve kurulan modeller Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

$$Q(t)_{713} = f(Q(t-1)_{713}, P(t-1), \ldots\ldots\ldots Q(t-n)_{713},\ P(t-n)) \tag{5.7}$$

Tablo 5.9 YBM II. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
PR-I M1	$Q(t-1)_{713}\ P(t-1)$	2	$Q(t)_{713}$
PR-I M2	$Q(t-1)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$Q(t)_{713}$
PR-I M3	$Q(t-1)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$Q(t)_{713}$
PR-I M4	$Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ P(t-1)$	3	$Q(t)_{713}$
PR-I M5	$Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$Q(t)_{713}$
PR-I M6	$Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$Q(t)_{713}$
PR-I M7	$Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ Q(t-3)_{713}\ P(t-1)$	4	$Q(t)_{713}$
PR-I M8	$Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ Q(t-3)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$Q(t)_{713}$
PR-I M9	$Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ Q(t-3)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$Q(t)_{713}$

YBM II. tip akış tahmini için, I. tip akış tahmininde en iyi sonucu veren **MY4** veri kümesi kullanılmış ve verilerin kümelere ayrılmış yapısı Tablo 5.10'da verilmiştir. Ayrıca, MY4 Kümesi için, hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.10 YBM II. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri

Veri Kümesi		Veri Zaman Aralığı		Veri Sayısı
Eğitim Veri Kümesi	m_1	01.10.1972 – 30.09.1979	(7 yıl)	2556
	m_2	01.10.1979 – 30.09.1986	(7 yıl)	2557
	m_3	01.10.1986 – 30.09.1993	(7 yıl)	2557
Sınama Veri Kümesi	**m_4**	**01.10.1993 – 30.09.2000**	**(7 yıl)**	**2557**

Tablo 5.11 YBM II. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı

Veri Kümesi			x_{min}	x_{max}	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
Yağış	**MY_4**	Eğitim Kümesi	0.00	31.02	1.045	2.076	4.37
		Sınama Kümesi	0.00	24.16	0.980	2.514	3.85
Akış		Eğitim Kümesi	0.06	75.80	10.75	10.50	1.02
		Sınama Kümesi	0.13	29.50	7.53	6.95	0.88

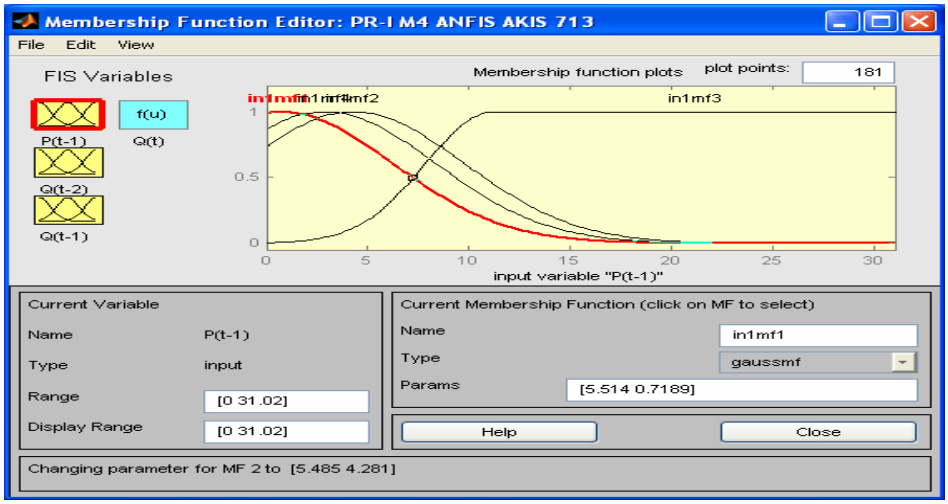
Tablo 5.10'de verilen modeller, MY4 veri kümesi için çözülerek çeşitli ölçütler hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.12'de verilmiştir.

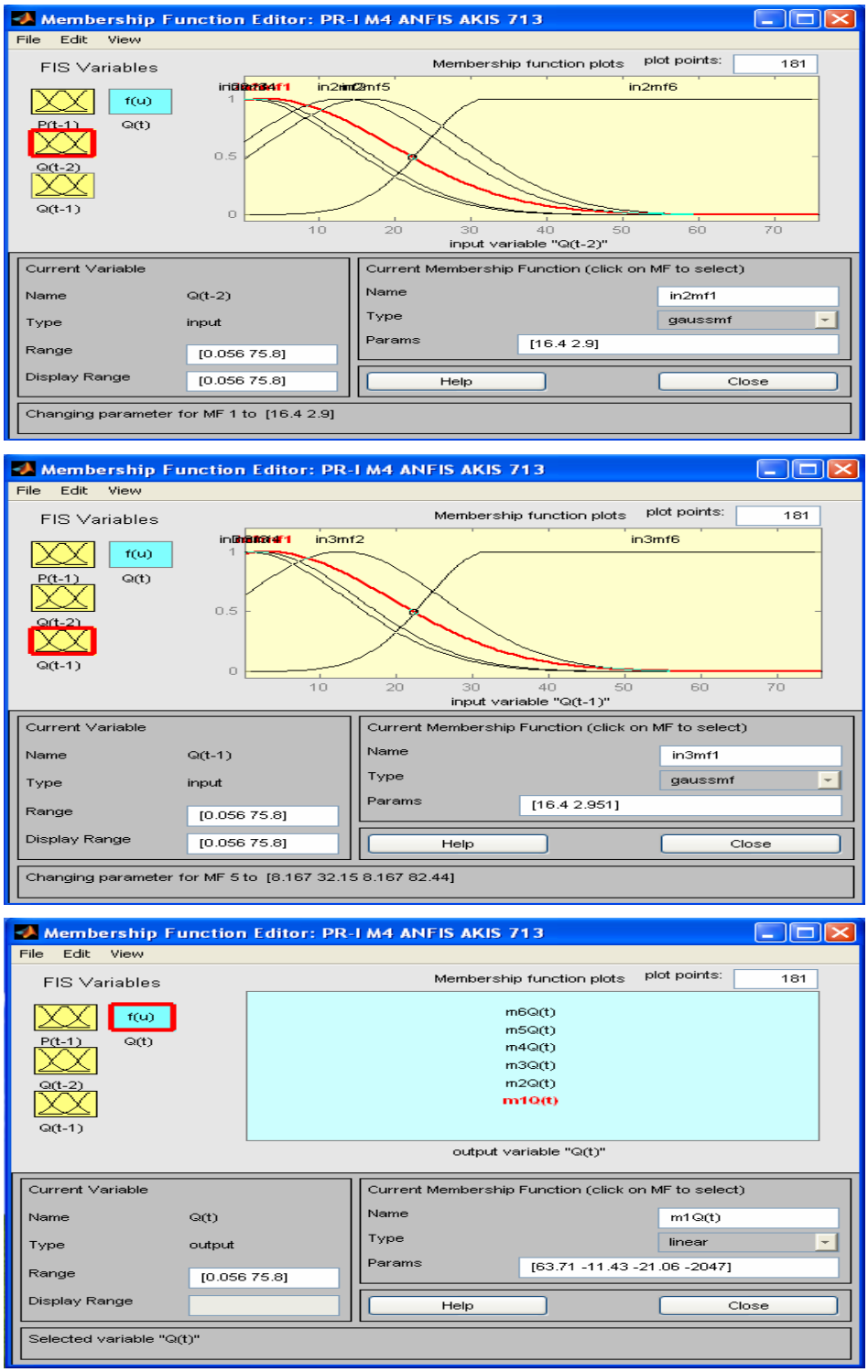
Tablo 5.12 YBM II. tip akış tahmini için model davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
PR-I M1	1.402	0.959	0.121	0.979	1.963	0.965	0.114	0.982
PR-I M2	1.429	0.957	0.138	0.979	1.957	0.965	0.149	0.982
PR-I M3	1.456	0.956	0.134	0.978	1.942	0.966	0.132	0.983
PR-I M4	**1.369**	**0.961**	**0.112**	**0.981**	**1.934**	**0.966**	**0.116**	**0.983**
PR-I M5	1.401	0.959	0.142	0.979	1.994	0.964	0.162	0.982
PR-I M6	1.391	0.959	0.130	0.980	1.993	0.964	0.146	0.982
PR-I M7	1.378	0.960	0.118	0.980	2.016	0.963	0.119	0.981
PR-I M8	1.384	0.960	0.121	0.980	2.016	0.963	0.124	0.981
PR-I M9	1.381	0.960	0.125	0.980	2.000	0.964	0.132	0.982

Tablo 5.12'incelendiğinde, KHOK'nın en düşük değeri PR-I M4'den 1.369, en yüksek değer ise, PR-I M3'den 1.456 elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer 0.961 ile PR-I M4'de, en düşük değer 0.956 ile PR-I M3'de hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer PR-I M1'den % 12.1, en yüksek değer ise, PR-I M5'ten % 14.20 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, PR-I M4'de 0.981, en düşük değerin de, PR-I M3'de 0.978 olduğu görülmektedir. Tablo 5.12'ye göre, en uygun model **PR-I M4** seçilmiş ve yapısı denklem (5.8)'de verilmiştir. Ayrıca, PR-I M4 akış tahmin modeline ait ÜF'lar Şekil 5.7'de verilmiştir.

$$Q(t)_{713} = f(Q(t-1)_{713},\ Q(t-2)_{713},\ P(t-1)) \tag{5.8}$$



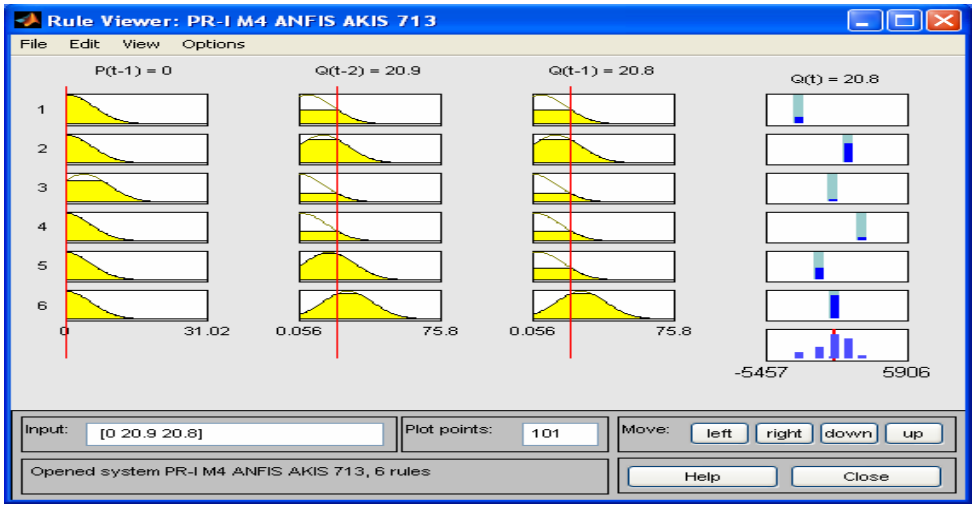


Şekil 5.7 YBM PR-I M4 akış tahmin modeli ÜF'ları

PR-I M4 modelinin eğitim parametreleri Tablo 5.13'de, yazılan kurallar Şekil 5.8 ve denklem (5.9)'da verilmiştir.

Tablo 5.13 YBM II. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

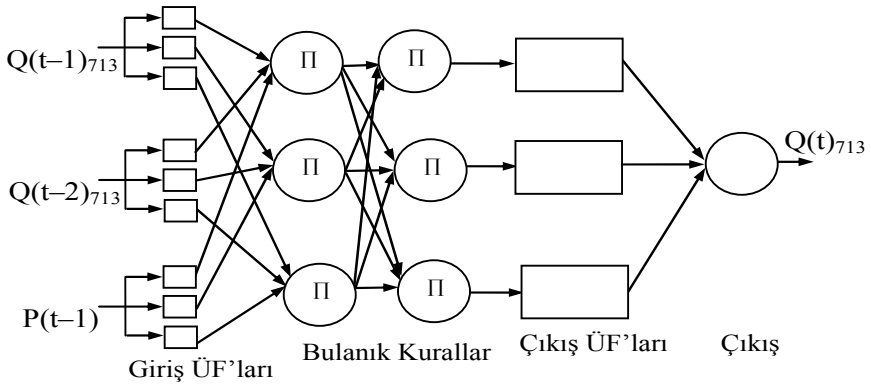
Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
6	20	Gauss – 6	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama



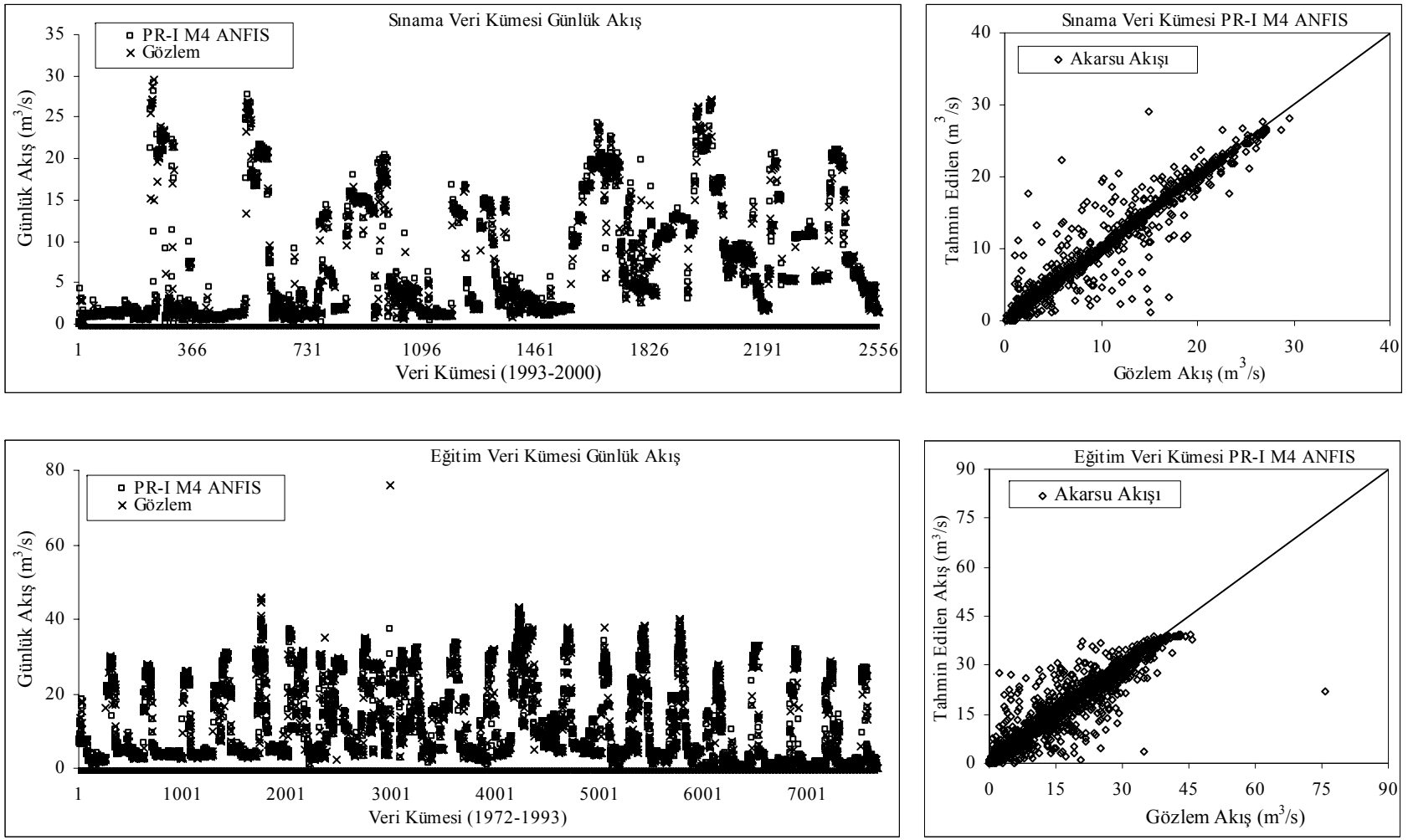
Şekil 5.8 YBM PR-I M4 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$
\begin{aligned}
&\text{EĞER } P(t-1)=m1P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)= m1\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m2P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)= m2\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m3P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m3Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m3Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)= m3\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m4P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m4Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m4Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)= m4\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m5P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m5Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m5Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)= m5\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m6P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m6Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m6Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)= m6
\end{aligned}
\tag{5.9}
$$

YBM PR-I M4 ANFIS tahmin modelinin yapısı Şekil 5.9'da ve eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılması Şekil 5.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 YBM II. tip akış tahmini için seçilen en uygun model yapısı



Şekil 5.10 YBM PR-I M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.2. Banaz Çayı Alt Havzası Akış Tahmini

Banaz çayı akış tahmini için, 735 *nolu* AGİ'den alınan veriler kullanılmış olup, alt havzanın genel yerleşimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

5.2.1. Banaz çayı alt havzası I. tip akış tahmini

Banaz çayı I. tip akış tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (5.10)'da ve kurulan modeller Tablo 5.14'de verilmektedir.

$$Q(t)_{735} = f(Q(t-1)_{735},\ Q(t-2)_{735},.....Q(t-n)_{735}) \tag{5.10}$$

Tablo 5.14 Banaz çayı I. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
R-I M1	$Q(t-1)_{735}$	1	$Q(t)_{735}$
R-I M2	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}$	2	$Q(t)_{735}$
R-I M3	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}$	3	$Q(t)_{735}$
R-I M4	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}\ Q(t-4)_{735}$	4	$Q(t)_{735}$
R-I M5	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}\ Q(t-4)_{735}\ Q(t-5)_{735}$	5	$Q(t)_{735}$

Banaz çayı I. tip akış tahmini için verilerin kümelere ayrılmış yapısı Tablo 5.15'de ve veri kümelerinin yapısı Tablo 5.16 'da verilmiştir.

Tablo 5.15 Banaz çayı I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri

	Veri Zaman Aralığı	Veri Sayısı
m_1	01.10.1988 – 30.09.1991	1096
m_2	01.10.1991 – 30.09.1994	1096
m_3	01.10. 1994 – 30.09.1997	1096
m_4	01.10. 1997 – 30.09.2000	1096

Tablo 5.16 Banaz çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1991 – 2000	3288	1989 – 1991	1096
MY_2	1989 – 1991 ve 1994 – 2000	3288	1991 – 1994	1096
MY_3	1989 – 1994 ve 1997 – 2000	3288	1994 – 1997	1096
MY_4	1989 – 1997	3288	1997 – 2000	1096

Sistematik bir şekilde gruplara ayrılmış eğitim/sınama veri kümeleri için, istatistiksel ölçütler hesaplanarak Tablo 5.17'de gösterilmiştir.

Tablo 5.17 Banaz çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı

	Veri Kümesi	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
MY_1	Eğitim Veri Kümesi	1.50	69.90	5.53	5.16	3.59
	Sınama Veri Kümesi	1.73	24.30	4.81	2.54	1.88
MY_2	Eğitim Veri Kümesi	1.50	69.90	5.75	5.09	3.60
	Sınama Veri Kümesi	1.61	28.40	4.15	2.63	2.63
MY_3	Eğitim Veri Kümesi	1.61	69.90	5.42	4.86	4.09
	Sınama Veri Kümesi	1.5	34.70	5.13	3.96	2.07
MY_4	Eğitim Veri Kümesi	1.5	34.70	4.69	3.14	2.35
	Sınama Veri Kümesi	1.77	69.90	7.31	7.21	2.85

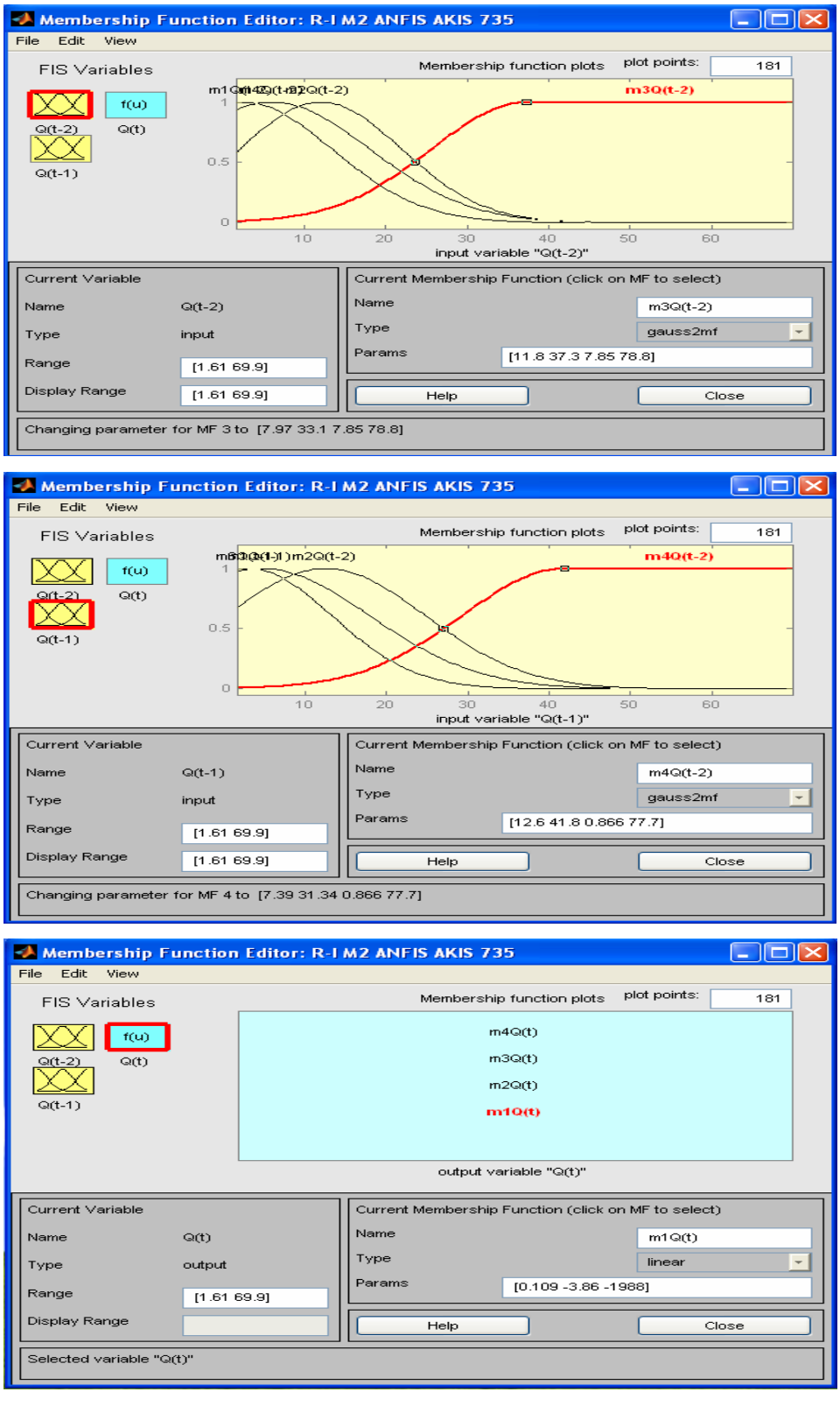
Tablo 5.14'de verilen modeller, veri kümeleri için çözülmüş ve davranış değerlendirme ölçütleri hesaplanarak en uygun model belirlenmiştir (Tablo 5.18).

Tablo 5.18 Banaz çayı I. tip akış tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	R-I M1	**R-I M2**	R-I M3	R-I M4	R-I M5
KHOK	1989 – 1991	0.937	0.993	1.000	0.980	0.970
	1991 – 1994	0.960	0.980	1.000	0.980	0.984
	1994 – 1997	0.840	**0.830**	0.832	0.838	0.868
	1997 – 2000	2.140	2.020	2.060	2.310	2.050
E	1989 – 1991	0.863	0.858	0.853	0.859	0.861
	1991 – 1994	0.864	0.863	0.863	0.864	0.865
	1994 – 1997	0.940	**0.954**	0.950	0.950	0.950
	1997 – 2000	0.880	0.860	0.880	0.836	0.880
ORH	1989 – 1991	0.044	0.047	0.047	0.047	0.047
	1991 – 1994	0.053	0.054	0.057	0.057	0.059
	1994 – 1997	0.051	**0.048**	0.051	0.052	0.048
	1997 – 2000	0.050	0.051	0.050	0.054	0.055
R	1989 – 1991	0.931	0.927	0.926	0.929	0.929
	1991 – 1994	0.932	0.930	0.930	0.930	0.931
	1994 – 1997	0.971	**0.974**	0.972	0.970	0.970
	1997 – 2000	0.961	0.968	0.970	0.965	0.966

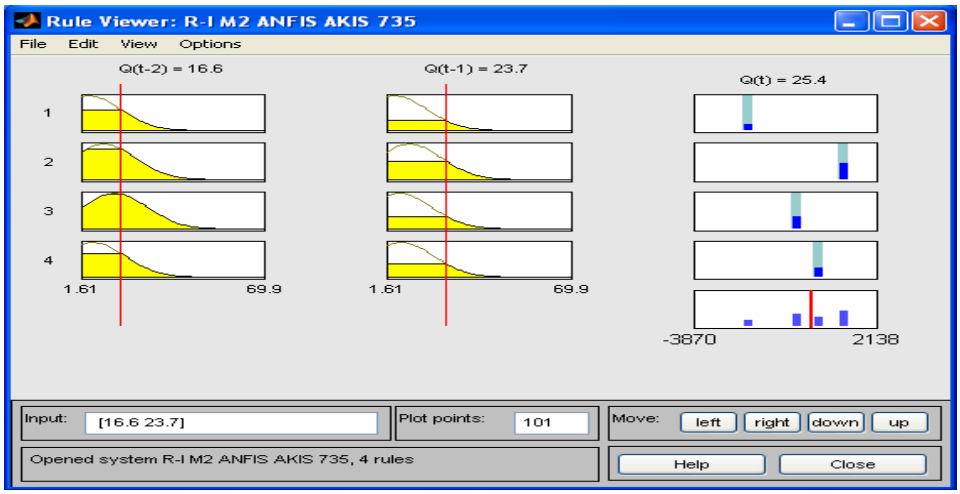
Tablo 5.18 incelendiğinde, KHOK'nın en düşük değeri R-I M2'den 0.830, en yüksek değer ise, R-I M1'den 2.14 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer R-I M2'den 0.954, en düşük değer R-I M3'den 0.853 olarak hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer R-I M2'den % 4.80, en yüksek değer ise, R-I M5'den % 5.9 olarak elde edilmiştir. Tablodan, R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, R-I M2'de 0.974, en düşük değerin de, R-I M3'de 0.926 olduğu görülmektedir. Tablo 5.18'e göre, en uygun model **R-I M2** seçilmiş olup yapısı denklem (5.11)'de verilmiştir. Ayrıca, R-I M2 ANFIS akış tahmin modeline ait ÜF'lar Şekil 5.11'de verilmiştir

$$Q(t)_{735} = f(Q(t-1)_{735},\ Q(t-2)_{735}) \tag{5.11}$$



Şekil 5.11 Banaz çayı R-I M2 akış tahmin modeli ÜF'ları

Banaz çayı R-I M2 ANFIS akış tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 5.12 ve denklem (5.12)'de ve eğitim parametreleri Tablo 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.12 Banaz çayı R-I M2 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$\begin{aligned}
&\text{EĞER } Q(t-2) = m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1) = m1Q(t-1) \text{ İSE } Q(t) = m1 \\
&\text{EĞER } Q(t-2) = m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1) = m2Q(t-1) \text{ İSE } Q(t) = m2 \\
&\text{EĞER } Q(t-2) = m3Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1) = m3Q(t-1) \text{ İSE } Q(t) = m3 \\
&\text{EĞER } Q(t-2) = m4Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1) = m4Q(t-1) \text{ İSE } Q(t) = m4
\end{aligned} \tag{5.12}$$

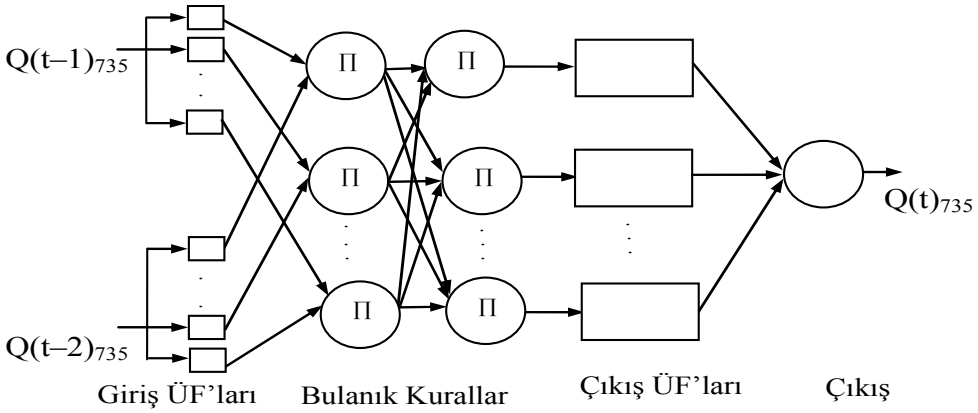
Tablo 5.19 Banaz çayı I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
4	35	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

En uygun eğitim/sınama küme yapısını belirlemek için Tablo 5.18'de verilen ölçütler kullanılmıştır. R-I M2 için en düşük KHOK 0.830 olarak MY3 kümesinden elde edilmiştir. Ayrıca, bu veri kümesi, ORH; % 4.84, E; 0.954 ve R; 0.974 değerleri ile diğer kümelere göre, en iyi davranışı göstermiştir. Banaz çayı I. Tip akış tahmini için en uygun model **R-I M2** ve en uygun veri kümesi olarak da **MY3** seçilmiştir. MY4 kümesi için modellerin davranışları Tablo 5.20'de ve R-I M2 modelinin yapısı Şekil 5.13'de verilmiştir. Ayrıca, R-I M2 tahmin model sonuçları ile gözlem verilerinin karşılaştırılması Şekil 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.20 Banaz çayı I. tip akış tahmininde MY3 kümesi için model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	R-I M1	**R-I M2**	R-I M3	R-I M4	R-I M5
KHOK	Eğitim	1.890	1.850	1.880	1.890	1.890
	Sınama	0.840	**0.830**	0.832	0.838	0.868
E	Eğitim	0.962	0.963	0.962	0.962	0.961
	Sınama	0.940	**0.954**	0.950	0.950	0.950
ORH	Eğitim	0.229	0.165	0.146	0.143	0.140
	Sınama	0.051	**0.048**	0.051	0.052	0.048
R	Eğitim	0.981	0.982	0.980	0.981	0.981
	Sınama	0.971	**0.974**	0.972	0.970	0.970



Şekil 5.13 Banaz çayı I. tip akış tahmini için en uygun model yapısı

5.2.2. Banaz çayı alt havzası II. tip akış tahmini

Banaz çayı II. tip akış tahmin modellerinin genel yapısı denklem (5.13)'de ve kurulan modeller Tablo 5.21'de verilmektedir.

$$Q(t)_{735} = f(Q(t-1)_{735},\ P(t-1),.....Q(t-n),\ P(t-n)) \tag{5.13}$$

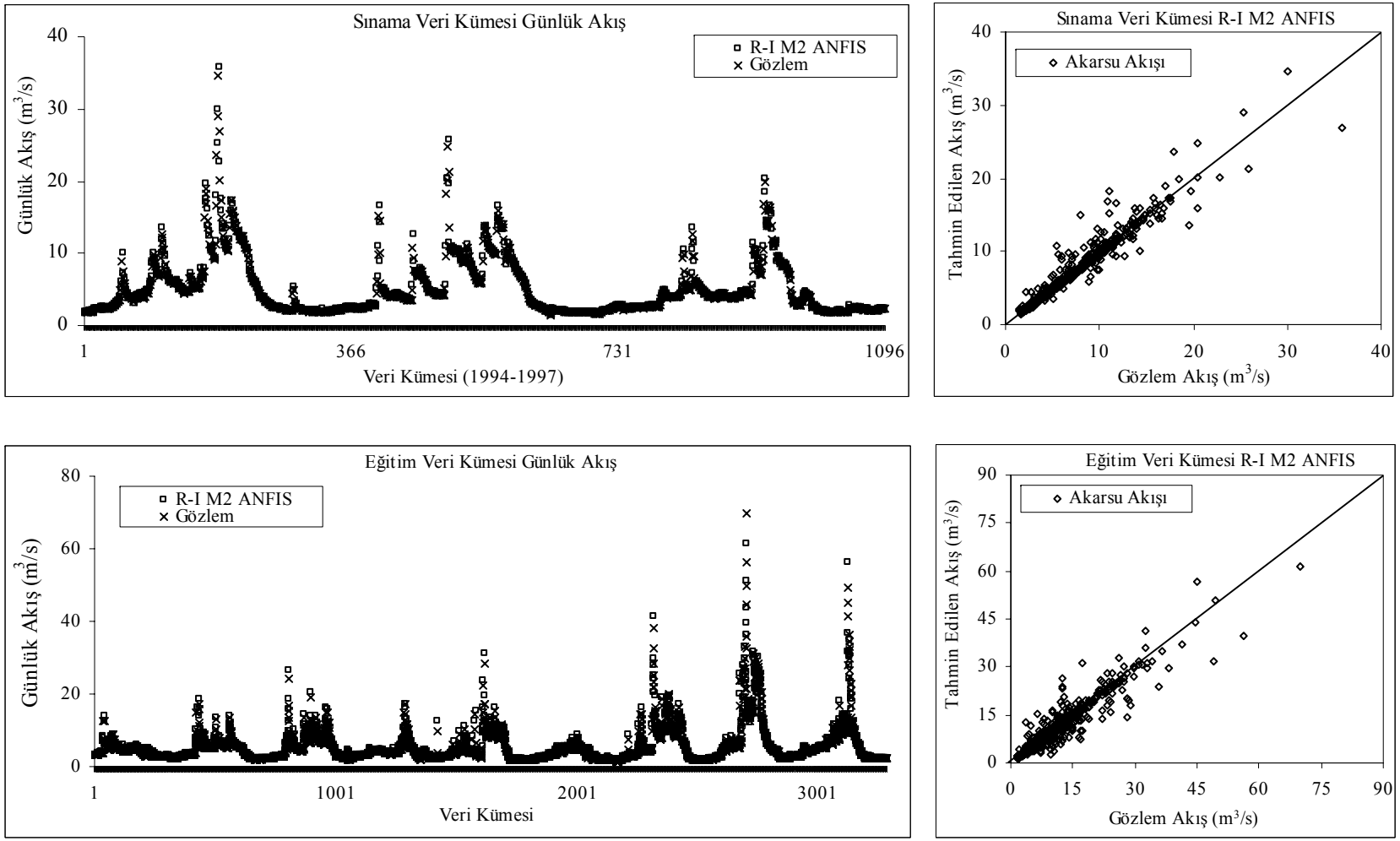
Tablo 5.21 Banaz çayı II. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
PR-I M1	$Q(t-1)_{735}\ P(t-1)$	2	$Q(t)_{735}$
PR-I M2	$Q(t-1)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$Q(t)_{735}$
PR-I M3	$Q(t-1)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$Q(t)_{735}$
PR-I M4	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ P(t-1)$	3	$Q(t)_{735}$
PR-I M5	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$Q(t)_{735}$
PR-I M6	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$Q(t)_{735}$
PR-I M7	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}\ P(t-1)$	4	$Q(t)_{735}$
PR-I M8	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$Q(t)_{735}$
PR-I M9	$Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$Q(t)_{735}$

II. tip akış tahmini için, I. tip akış tahmininde en iyi sonucu veren MY3 kümesi kullanılmış ve bu kümesin yapısı Tablo 5.22'de verilmiştir.

Tablo 5.22 Banaz çayı II. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri

Veri Kümesi		Veri Zaman Aralığı		Veri Sayısı
Eğitim Veri Kümesi	m_1	01.10.1988 – 30.09.1991	(3 yıl)	1096
	m_2	01.10.1991 – 30.09.1994	(3 yıl)	1096
	m_4	01.10. 1997 – 30.09.2000	(3 yıl)	1096
Sınama Veri Kümesi	**m_3**	01.10. 1994 – 30.09.1997	**(3 yıl)**	1096



Şekil 5.14 Banaz çayı R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

Bundan sonraki adımda, Tablo 5.21'de verilen modeller, MY2 veri kümesi için eğitilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir (Tablo 5.23).

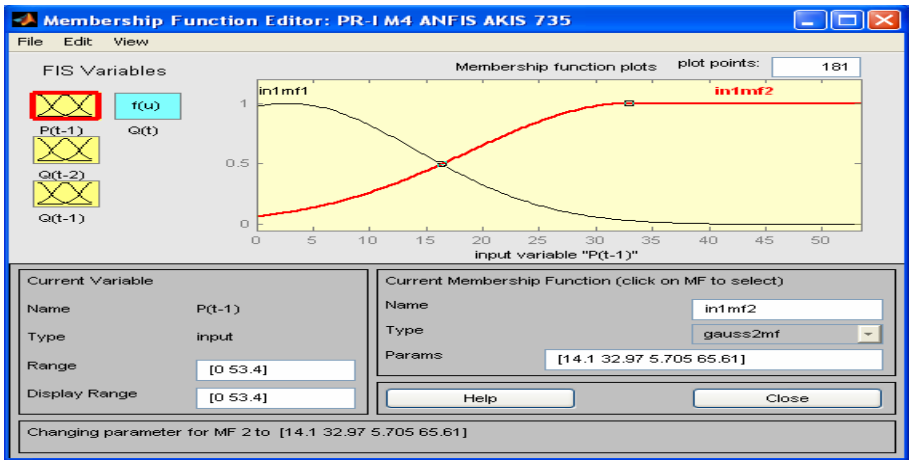
Tablo 5.23 Banaz çayı II. tip akış tahmini için model davranışları

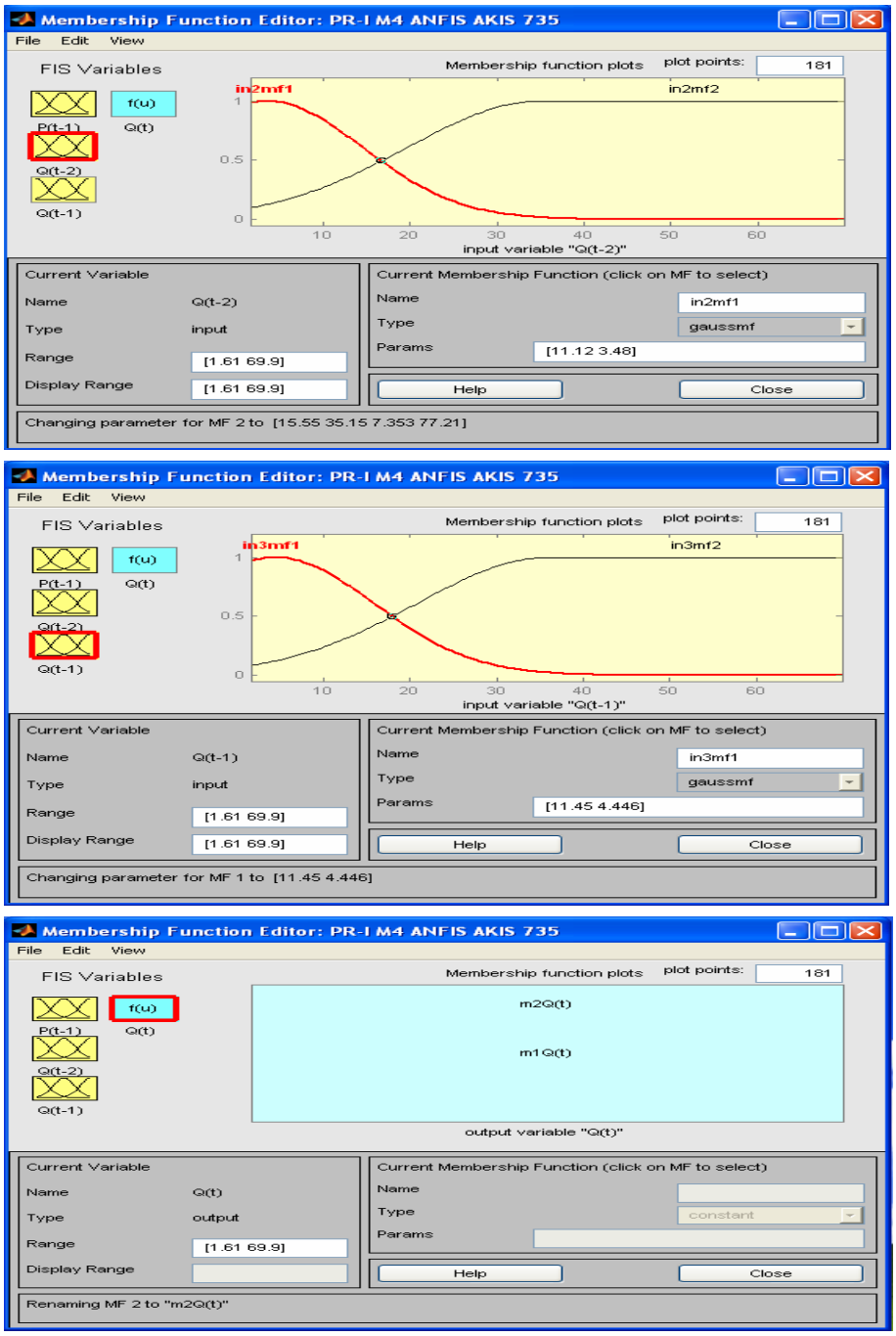
Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
PR –I M1	0.879	0.950	0.0509	0.975	1.210	0.938	0.048	0.968
PR –I M2	0.870	0.951	0.0504	0.976	1.192	0.940	0.048	0.969
PR –I M3	0.886	0.950	0.0582	0.975	1.182	0.940	0.052	0.970
PR –I M4	**0.813**	**0.956**	**0.0510**	**0.978**	**1.186**	**0.940**	**0.049**	**0.970**
PR –I M5	0.815	0.956	0.0540	0.978	1.164	0.940	0.050	0.970
PR –I M6	0.816	0.956	0.0539	0.978	1.158	0.942	0.049	0.971
PR –I M7	0.879	0.926	0.0621	0.965	1.162	0.935	0.051	0.960
PR –I M8	0.903	0.912	0.0626	0.960	1.165	0.930	0.050	0.958
PR –I M9	0.915	0.905	0.0632	0.945	1.164	0.928	0.049	0.960

Tablo 5.23 incelendiğinde, KHOK'nin en düşük değeri PR-I M4'den 0.813, en yüksek değer ise, PR-I M3'den 0.915 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer 0.956 ile PR-I M4'den, en düşük değer 0.905 ile PR-I M9'dan hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer PR-I M2'den % 5.04, en yüksek değer ise, PR-I M9'dan % 6.32 olarak elde edilmiştir. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, PR-I M4'de 0.978, en düşük değerin ise, PR-I M9'da 0.945 olduğu görülmektedir. Tablo 5.23'e göre, II. tip akış tahmini için en uygun model PR-I M4 seçilmiş ve genel yapısı denklem (5.14)'de verilmiştir.

$$Q(t)_{735} = f(Q(t-1)_{735},\ Q(t-2)_{735},\ P(t-1)) \tag{5.14}$$

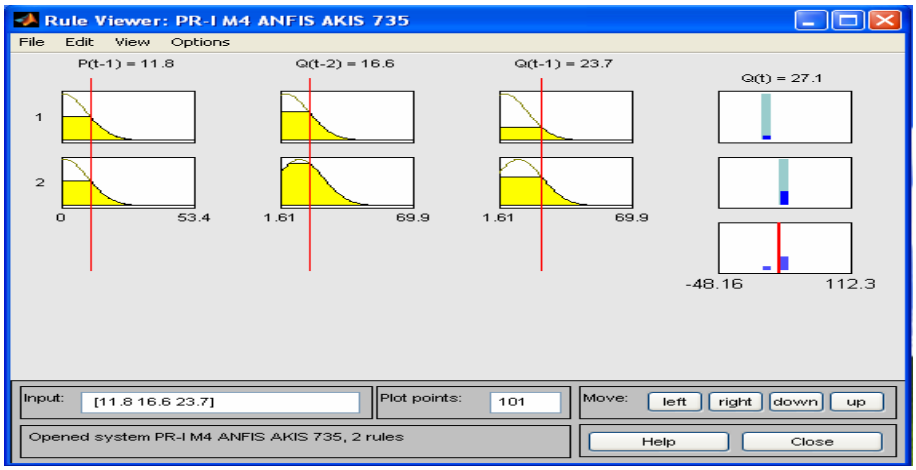
Banaz çayı PR-I M4 ANFIS akış tahmin modeline ait giriş ve çıkış ÜF'larının yapısı Şekil 5.15'de verilmiştir.





Şekil 5.15 Banaz çayı PR-I M4 akış tahmin modeli ÜF'ları

PR-I M4 ANFIS modeli için yazılan kurallar Şekil 5.16 ve denklem (5.15)'de verilmektedir. Ayrıca, PR-I M4 ANFIS modelinin yapısı Şekil 5.17'de verilmiştir. Banaz çayı PR- I M4 modelinin eğitim parametreleri Tablo 5.24'de gösterilmiştir.

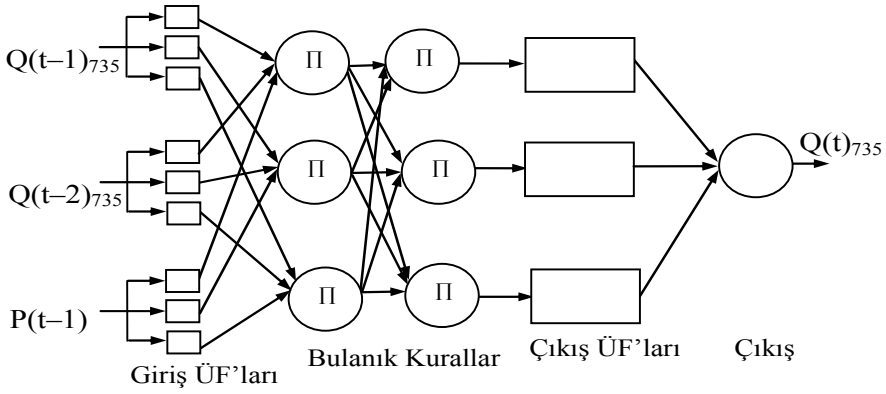


Şekil 5.16 Banaz çayı PR-I M4 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$\text{EĞER } P(t-1)=m1P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m1$$
$$\text{EĞER } P(t-1)=m2P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m2 \quad (5.15)$$

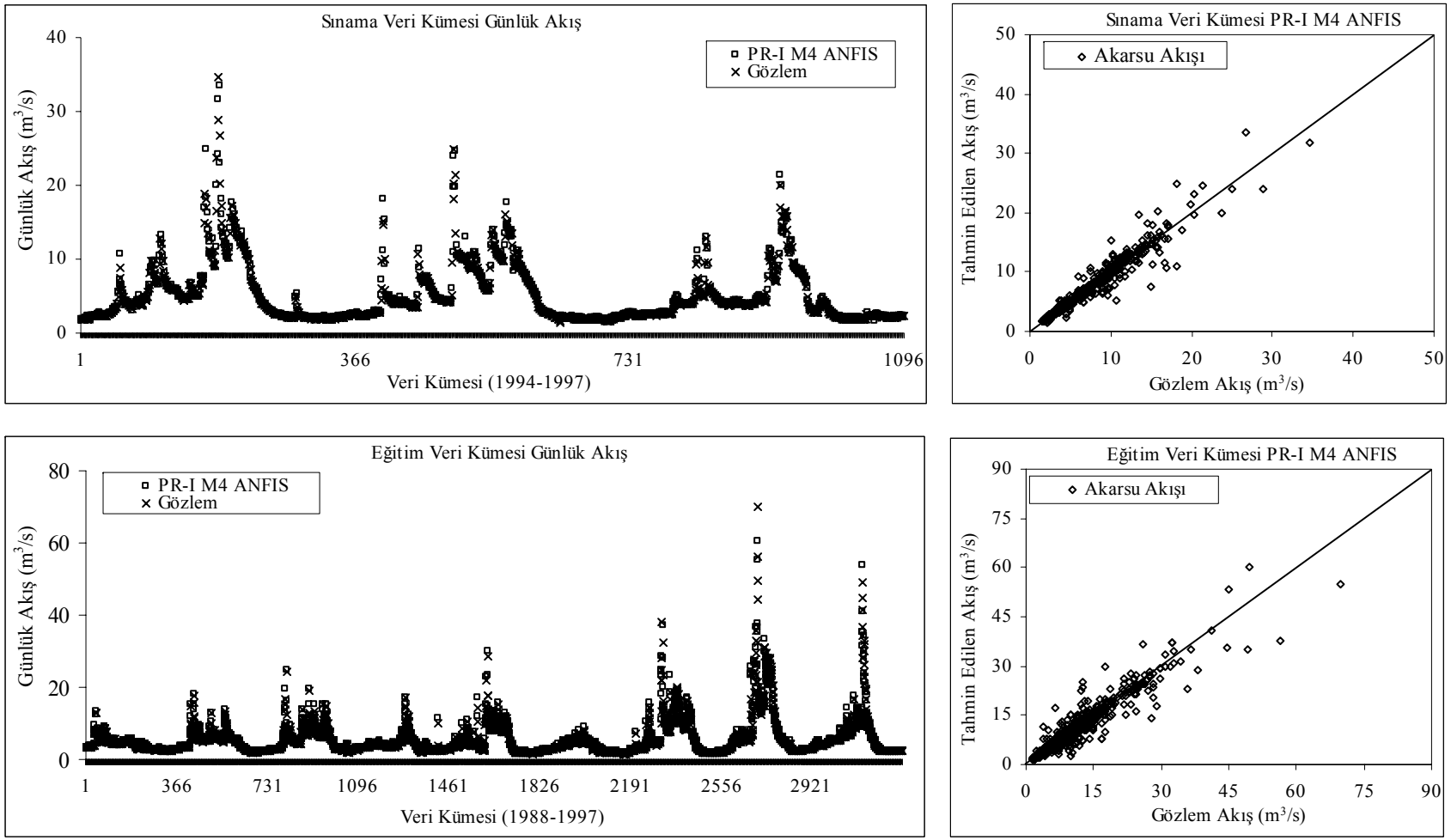
Tablo 5.24 Banaz çayı II. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
2	20	Gauss – 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama



Şekil 5.17 Banaz çayı II. tip akış tahmini için en uygun model yapısı

PR-I M4 ANFIS tahmin modelinin başarısını değerlendirmek için, eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18 Banaz çayı PR-I M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.3. Çine Çayı Alt Havzası Akış Tahmini

Çine çayı akış tahmini için, Çine çayı üzerinde kurulan 701 *nolu* AGİ'den alınan veriler kullanılmış olup, alt havzanın genel yerleşimi Şekil 4.1'de verilmiştir.

5.3.1. Çine çayı alt havzası I. tip akış tahmini

Çine çayı I. tip akış tahmini için akış tahmin modelleri kurulmadan önce hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.2'de verilmiştir. I. tip akış tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (5.16)'da ve kurulan modeller Tablo 5.25'de verilmektedir.

$$Q(t)_{701} = f(Q(t-1)_{701},\ Q(t-2)_{701},.....Q(t-n)_{701}) \tag{5.16}$$

Tablo 5.25 Çine çayı I. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
R-I M1	$Q(t-1)_{701}$	1	$Q(t)_{701}$
R-I M2	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}$	2	$Q(t)_{701}$
R-I M3	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}$	3	$Q(t)_{701}$
R-I M4	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ Q(t-4)_{701}$	4	$Q(t)_{701}$
R-I M5	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ Q(t-4)_{701}\ Q(t-5)_{701}$	5	$Q(t)_{701}$

I. tip akış tahmini için verilerin kümelere ayrılmış yapısı Tablo 5.26'da ve veri kümelerinin yapısı Tablo 5.27'da verilmiştir.

Tablo 5.26 Çine çayı I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri

	Veri Zaman Aralığı	Veri Sayısı
m_1	01.10.1966 – 30.09.1974	2922
m_2	01.10.1974 – 30.09.1983	3287
m_3	01.10. 1983 – 30.09.1992	3285
m_4	01.10. 1992 – 30.09.2000	2923

Tablo 5.27 Çine çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1974 – 2000	9498	1966 – 1974	2922
MY_2	1966 – 1974 1983 – 2000	9133	1974 – 1983	3287
MY_3	1966 – 1983 1992 – 2000	9132	1983 – 1992	3288
MY_4	1966 – 1992	9497	1992 – 2000	2923

Sistematik bir şekilde gruplara ayrılmış eğitim/sınama veri kümeleri için, istatistik ölçütler hesaplanarak Tablo 5.28'de verilmiştir.

Tablo 5.28 Çine çayı I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı

Veri Kümesi		$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
MY_1	Eğitim Veri Kümesi	0.01	108.00	4.67	8.32	4.95
	Sınama Veri Kümesi	0.30	101.00	6.24	10.10	4.28
MY_2	Eğitim Veri Kümesi	0.01	108.00	4.77	9.01	5.11
	Sınama Veri Kümesi	0.55	73.00	5.79	8.13	3.53
MY_3	Eğitim Veri Kümesi	0.09	102.00	5.48	9.04	4.50
	Sınama Veri Kümesi	0.01	108.00	3.81	7.97	5.87
MY_4	Eğitim Veri Kümesi	0.01	108.00	5.24	8.79	4.52
	Sınama Veri Kümesi	0.09	102.00	4.38	8.77	5.61

Kurulan modellerin eğitim ve sınama işleminden sonra, davranış değerlendirme parametreleri hesaplanmış ve Tablo 5.29'da gösterilmiştir.

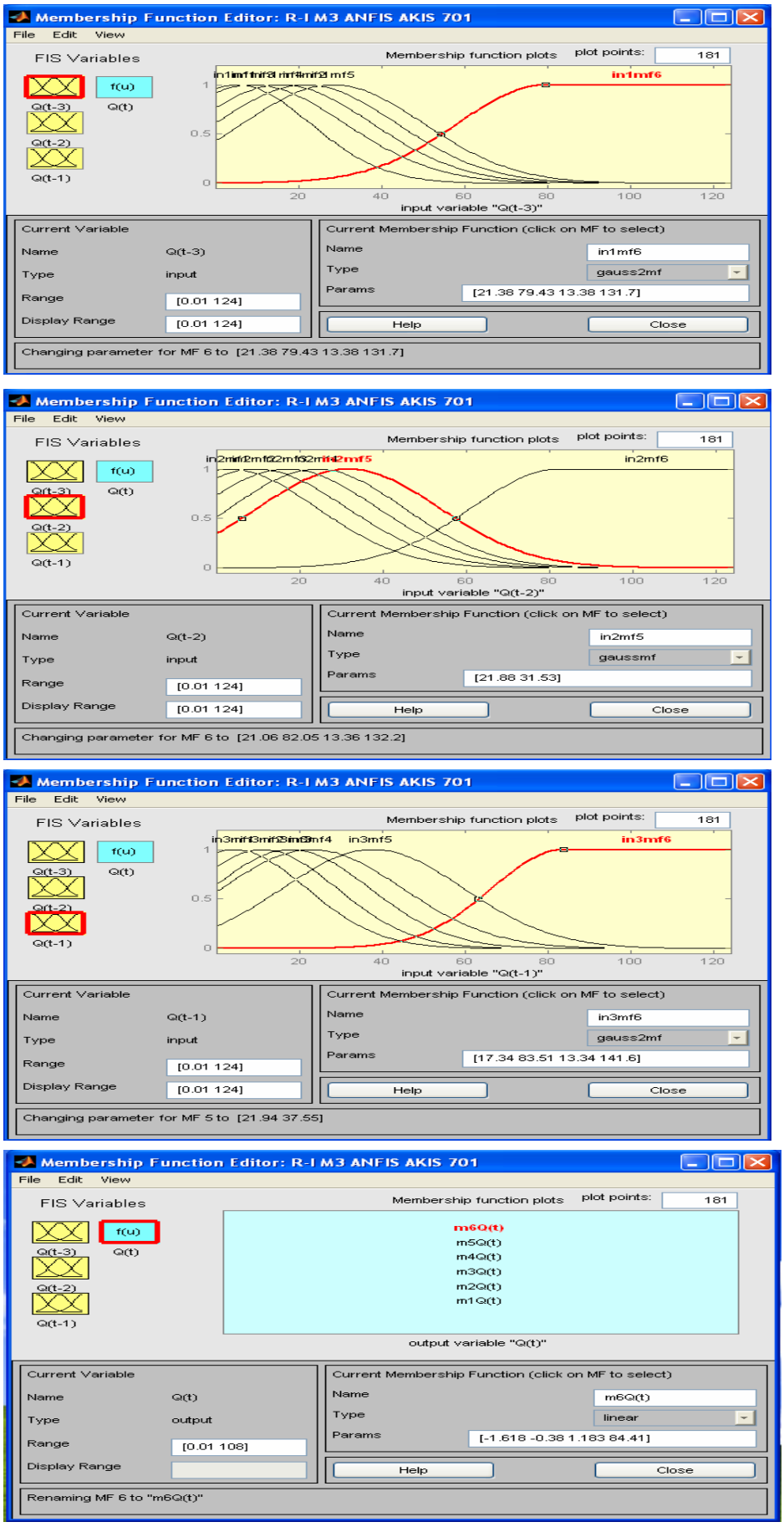
Tablo 5.29 Çine çayı I. tip akış tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	R-I M1	R-I M2	**R-I M3**	R-I M4	R-I M5
KHOK	1966 – 1974	6.563	6.580	6.592	6.523	6.602
	1974 – 1983	4.873	4.928	**4.834**	4.890	4.890
	1983 – 1992	4.975	4.977	4.923	4.985	4.991
	1992 – 2000	5.660	5.652	5.674	0.563	5.637
E	1966 – 1974	0.578	0.576	0.574	0.583	0.573
	1974 – 1983	0.640	0.632	**0.645**	0.637	0.638
	1983 – 1992	0.610	0.609	0.618	0.610	0.607
	1992 – 2000	0.531	0.545	0.539	0.537	0.535
R	1966 – 1974	0.761	0.759	0.758	0.764	0.757
	1974 – 1983	0.801	0.796	**0.805**	0.801	0.801
	1983 – 1992	0.781	0.781	0.787	0.780	0.779
	1992 – 2000	0.729	0.730	0.730	0.734	0.732
ORH	1966 – 1974	0.264	0.273	0.281	0.272	0.285
	1974 – 1983	0.247	0.244	**0.244**	0.248	0.249
	1983 – 1992	0.350	0.420	0.282	0.354	0.550
	1992 – 2000	0.259	0.212	0.290	0.260	0.270

Tablo 5.29'a göre, KHOK'nın en düşük değeri R-I M3'den 4.834, en yüksek değer ise, R-I M5'den 6.602 olarak elde edilmiştir. Tabloda, en yüksek E değeri R-I M3'de 0.645, en düşük E değeri R-I M1'de 0.531 olduğu görülmektedir.

Ayrıca, ORH'ın en düşük değeri R-I M2 ve R-I M3'den 0.244, en yüksek değeri ise R-I M5'den 0.550 olarak hesaplanmıştır. Son olarak, en yüksek R değerinin R-I M3'de 0.805, en düşük değerin de, R-I M1'de 0.729 olduğu görülmektedir. Tablo 5.29'e göre, en uygun model **R-I M3** seçilmiş olup, yapısı denklem (5.17)'de ve ÜF'ları Şekil 5.19'da verilmiştir.

$$Q(t)_{701} = f(Q(t-1)_{701},\ Q(t-2)_{701},\ Q(t-3)_{701}) \tag{5.17}$$

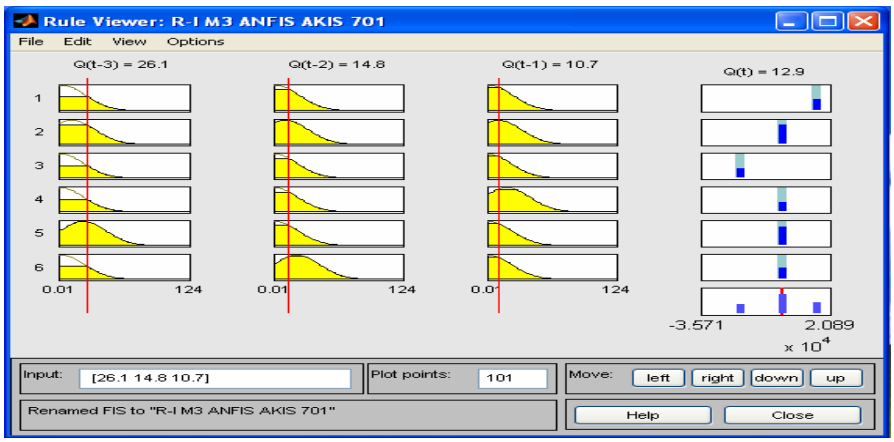


Şekil 5.19 Çine çayı R-I M3 akış tahmin modeli ÜF'ları

Çine çayı R-I M3 ANFIS akış tahmin modelinin eğitim parametreleri Tablo 5.30'de ve yazılan kurallar Şekil 5.20 ve denklem (5.18)'de verilmektedir.

Tablo 5.30 Çine çayı I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
6	50	Gauss – 6	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama



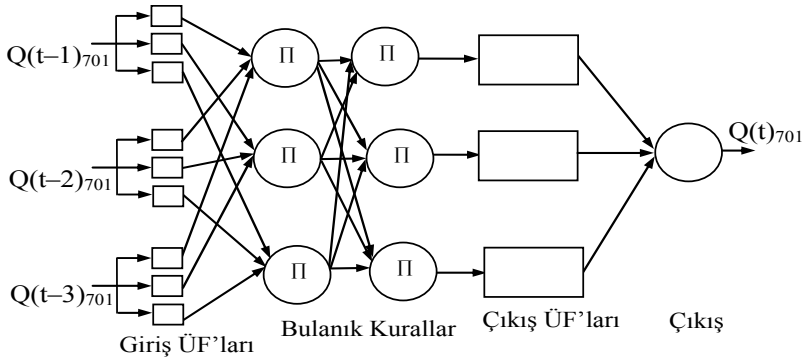
Şekil 5.20 Çine çayı R-I M3 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$
\begin{aligned}
&\text{EĞER } Q(t-3)=m1Q(t-3) \text{ VE } Q(t-2)=m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m1\\
&\text{EĞER } Q(t-3)=m2Q(t-3) \text{ VE } Q(t-2)=m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m2\\
&\text{EĞER } Q(t-3)=m_3Q(t-3) \text{ VE } Q(t-2)=m_3Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m_3Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m_3\\
&\text{EĞER } Q(t-3)=m4Q(t-3) \text{ VE } Q(t-2)=m4Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m4Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m4\\
&\text{EĞER } Q(t-3)=m5Q(t-3) \text{ VE } Q(t-2)=m5Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m5Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m5\\
&\text{EĞER } Q(t-3)=m6Q(t-3) \text{ VE } Q(t-2)=m6Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m6Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m6
\end{aligned}
\qquad (5.18)
$$

Tablo 5.29'a göre en uygun veri kümesi belirlenmiş olup, R-I M3 için, en düşük KHOK ve ORH, en büyük E ve R değeri MY2 kümesinden elde edilmiştir. MY2 veri kümesi için modellerin davranışları Tablo 5.31'de R-I M3 modelinin yapısı Şekil 5.21'de verilmiştir. Ayrıca, R-I M3 tahmin modelinin gözlem değerleri ile karşılaştırılması Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

Tablo 5.31 Çine çayı I. tip akış tahmininde MY2 için model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	R-I M1	R-I M2	R-I M3	R-I M4	R-I M5
KHOK	Eğitim	5.80	5.78	5.670	5.75	0.574
	Sınama	4.873	4.928	4.834	4.890	4.890
E	Eğitim	0.580	0.588	0.604	0.593	0.594
	Sınama	0.640	0.632	0.645	0.637	0.638
R	Eğitim	0.762	0.767	0.777	0.770	0.771
	Sınama	0.801	0.796	0.805	0.801	0.801



Şekil 5.21 Çine çayı I. tip akış tahmini için en uygun model yapısı.

5.3.2. Çine çayı alt havzası II. tip akış tahmini

Çine çayı II. tip akış tahmini için, modellerin genel yapısı denklem (5.19)'da ve modeller Tablo 5.32'de verilmektedir.

$$Q(t)_{701} = f(Q(t-1)_{701},\ P(t-1),.....Q(t-n)_{701},\ P(t-n)) \tag{5.19}$$

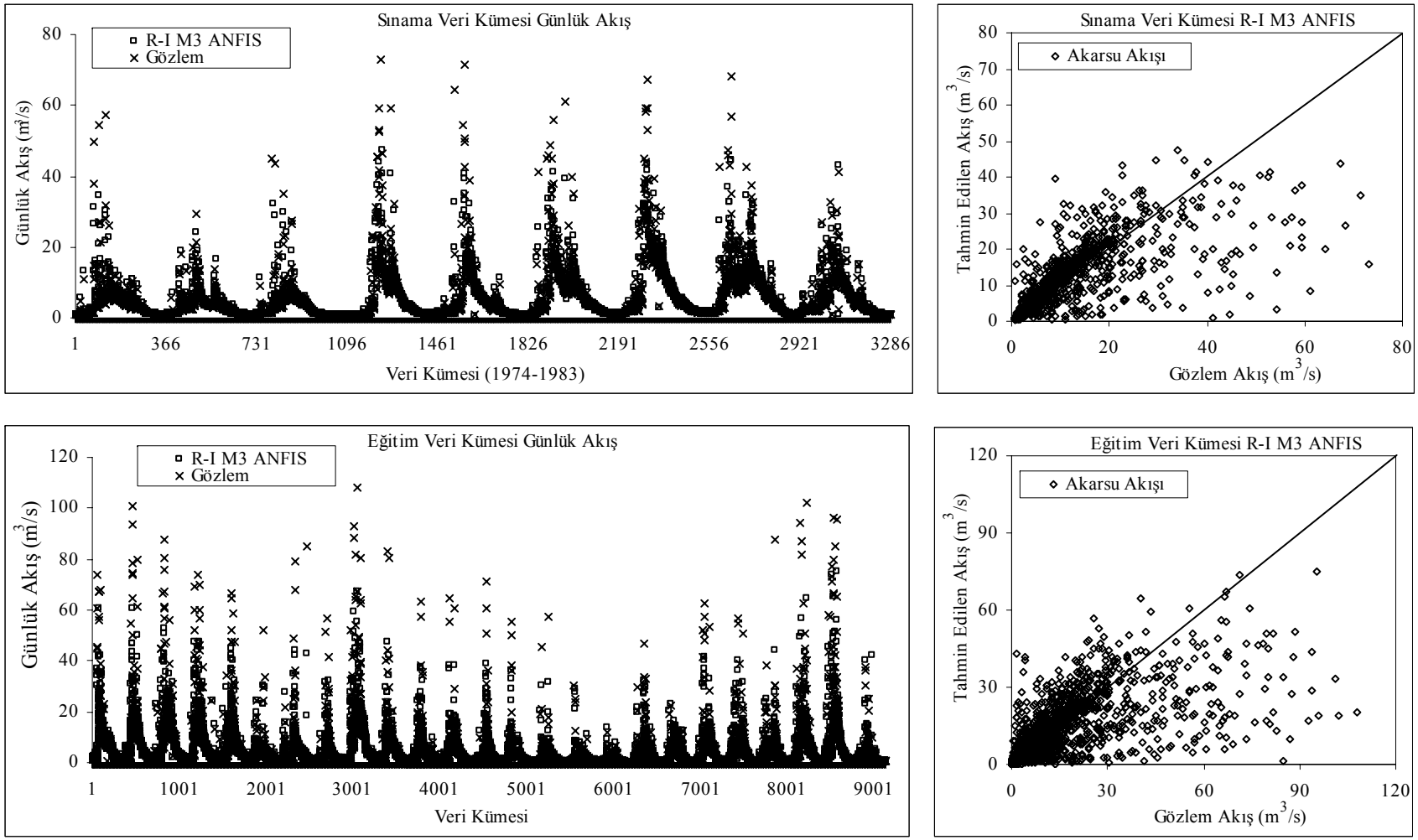
Tablo 5.32 Çine çayı II. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
PR-I M1	$Q(t-1)_{701}\ P(t-1)$	2	$Q(t)_{701}$
PR-I M2	$Q(t-1)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$Q(t)_{701}$
PR-I M3	$Q(t-1)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$Q(t)_{701}$
PR-I M4	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ P(t-1)$	3	$Q(t)_{701}$
PR-I M5	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$Q(t)_{701}$
PR-I M6	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$Q(t)_{701}$
PR-I M7	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ P(t-1)$	4	$Q(t)_{701}$
PR-I M8	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$Q(t)_{701}$
PR-I M9	$Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$Q(t)_{701}$

II. tip akış tahmininde tekrar çapraz geçerlilik yapmak yerine, I. tip akış tahmininde en iyi sonucu veren MY2 kümesi kullanılmış olup yapısı Tablo 5.33'de verilmiştir.

Tablo 5.33 Çine çayı II. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri

Çapraz geçerlilik		Veri Zaman Aralığı		Veri Sayısı
Eğitim Veri Kümesi	m_1	01.10.1966 – 30.09.1974	(8 yıl)	2922
	m_3	01.10. 1983 – 30.09.1992	(9 yıl)	3285
	m_4	01.10. 1992 – 30.09.2000	(8 yıl)	2923
Sınama Veri Kümesi	**m_2**	01.10.1974 – 30.09.1983	**(9 yıl)**	3287



Şekil 5.22 Çine çayı R-I M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

Bundan sonraki adımda, Tablo 5.32'de verilen modeller, MY2 veri kümesi için eğitilmiş ve davranış değerlendirilerek Tablo 5.34'de verilmiştir.

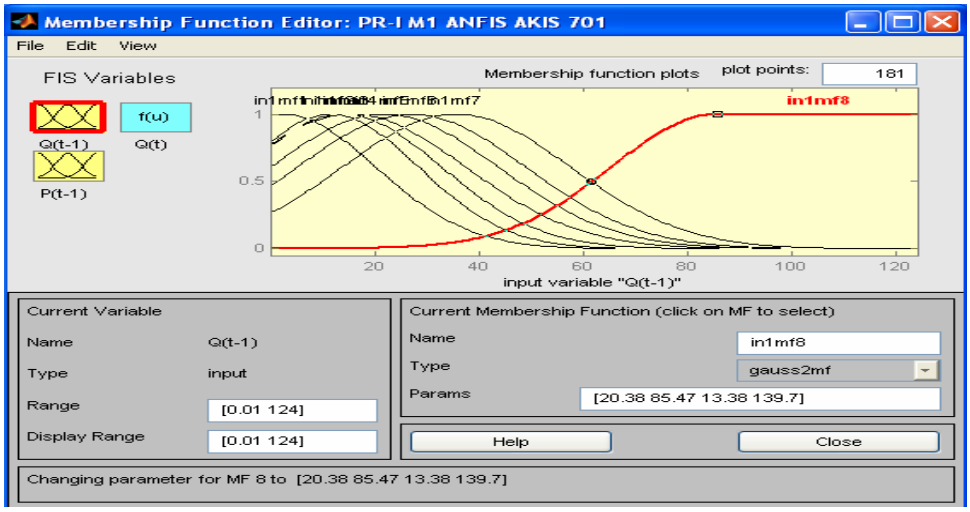
Tablo 5.34 Çine çayı II. tip akış tahmini için model davranışları

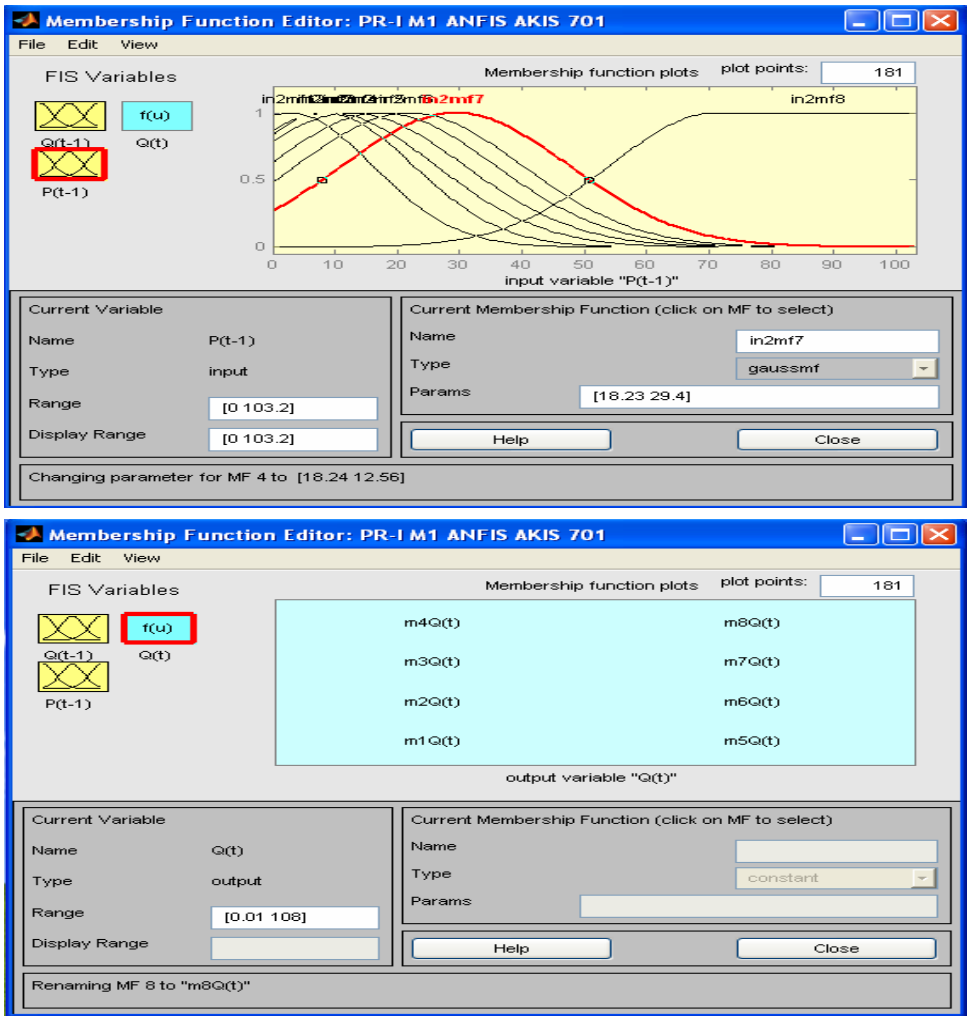
Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
PR-I M1	**4.826**	**0.647**	**0.228**	**0.805**	5.542	0.621	0.325	0.788
PR-I M2	4.984	0.624	0.239	0.791	5.727	0.596	0.352	0.772
PR-I M3	5.066	0.614	0.246	0.783	5.720	0.597	0.390	0.773
PR-I M4	4.889	0.638	0.242	0.799	5.742	0.594	0.408	0.772
PR-I M5	4.970	0.626	0.237	0.792	5.722	0.597	0.304	0.772
PR-I M6	4.994	0.622	0.253	0.790	5.722	0.597	0.461	0.772
PR-I M7	4.942	0.630	0.235	0.802	5.528	0.623	0.335	0.790
PR-I M8	4.865	0.641	0.238	0.802	5.710	0.598	0.345	0.773
PR-I M9	4.923	0.632	0.245	0.798	5.683	0.602	0.378	0.776

Tablo 5.34'e göre, KHOK'nın en düşük değeri PR-I M1'den 4.826, en yüksek değer ise, PR-I M3'den 5.066 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer PR-I M1'den 0.647, en düşük değer PR-I M3'den 0.614 olarak hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değerinde 0.228 ile PR-I M1'den, en yüksek değerin ise 0.253 ile PR-I M6'dan elde edildiği görülmektedir. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, PR-I M1'de 0.805, en düşük değerin, PR-I M3'de 0.783 olduğu görülmektedir. Tablo 5.34'e göre, en uygun model PR-I M1 seçilmiş olup yapısı denklem (5.20)'de verilmiştir.

$$Q(t)_{701} = f(Q(t-1)_{701},\ P(t-1)) \tag{5.20}$$

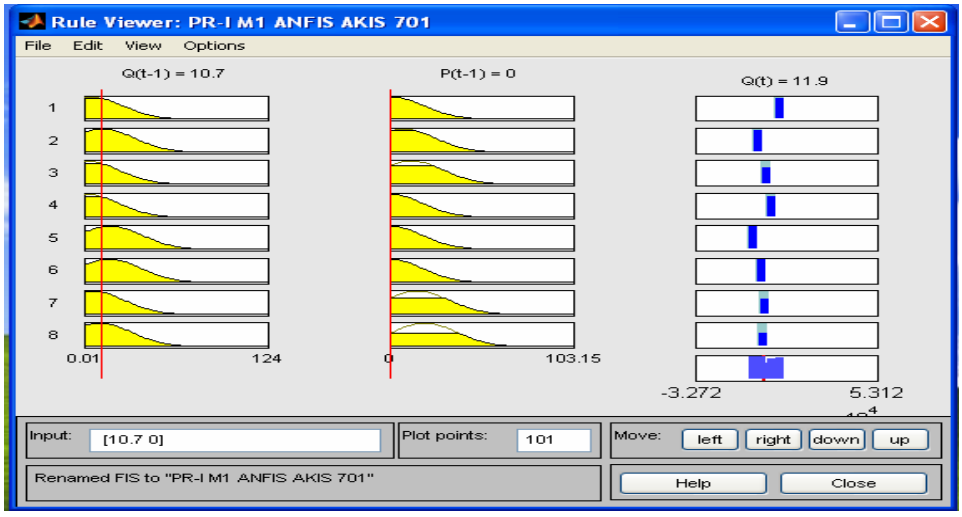
Çine çayı PR-I M1 ANFIS akış tahmin modeline ait giriş ve çıkış ÜF'larının yapısı Şekil 5.23'de verilmiştir.





Şekil 5.23 Çine çayı PR-I M1 akış tahmin modeli ÜF'ları

Çine çayı PR-I M1 modeli için yazılan kurallar Şekil 5.24 ve denklem (5.21)'de ve eğitim parametreleri Tablo 5.35'de gösterilmiştir.



Şekil 5.24 Çine çayı PR-I M1 akış tahmin modeli bulanık kuralları

EĞER $Q(t-1) = m1 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m1 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m1$

EĞER $Q(t-1) = m2 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m2 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m2$

EĞER $Q(t-1) = m3 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m3 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m3$

EĞER $Q(t-1) = m4 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m4 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m4$ (5.21)

EĞER $Q(t-1) = m5 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m5 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m5$

EĞER $Q(t-1) = m6 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m6 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m6$

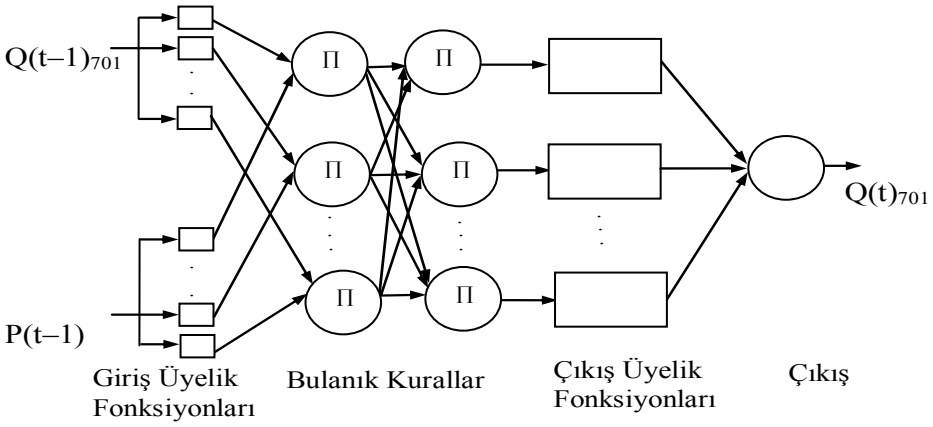
EĞER $Q(t-1) = m7 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m7 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m7$

EĞER $Q(t-1) = m8 Q(t-1)$ VE $P(t-1) = m8 P(t-1)$ İSE $Q(t) = m8$

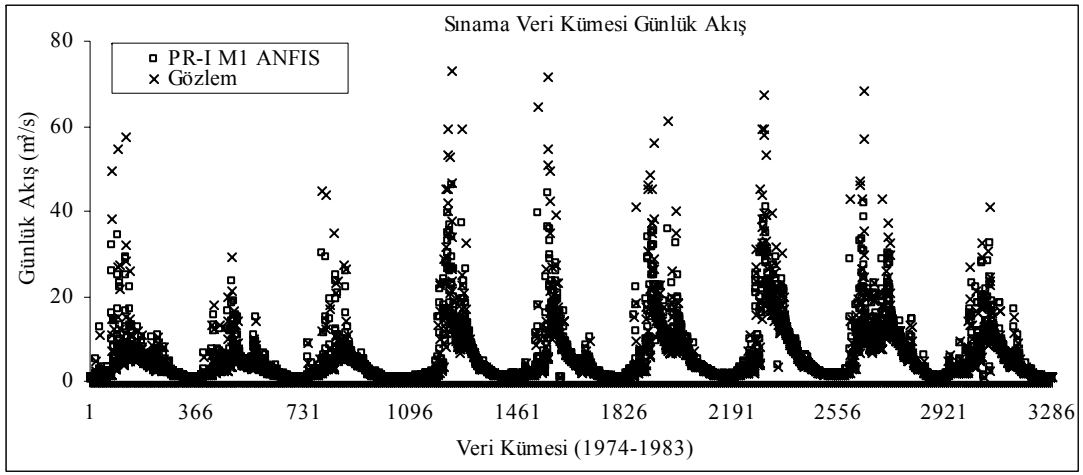
Tablo 5.35 Çine çayı II. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

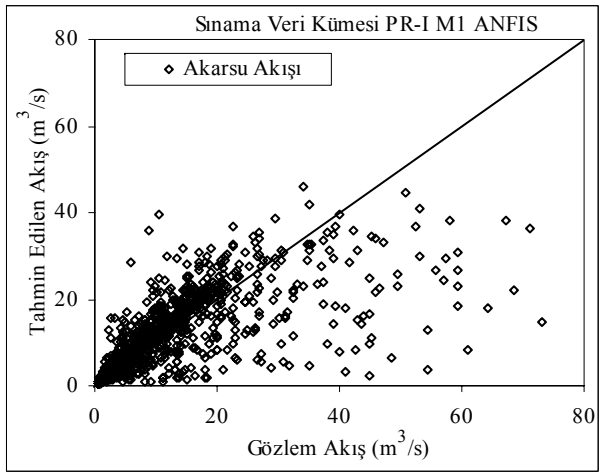
Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
8	20	Gauss – 8	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

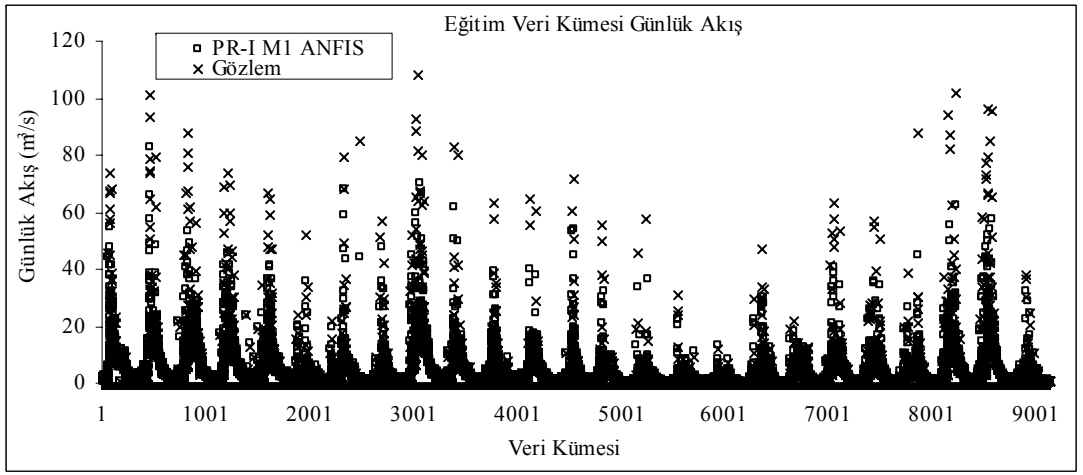
Ayrıca, PR-I M1 akış tahmin modelinin yapısı Şekil 5.25'de ve tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçlarının gözlem değerleri ile karşılaştırılması Şekil 5.26'da verilmiştir.

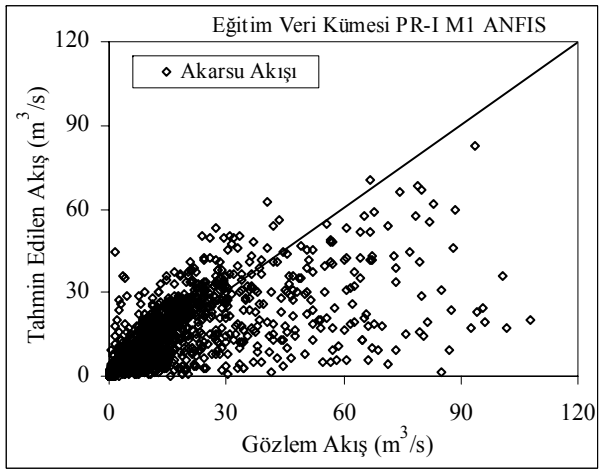


Şekil 5.25 Çine çayı II. tip akış tahmini için en uygun model yapısı









Şekil 5.26 Çine çayı PR-I M1 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.4. BMO Alt Havzası Akış Tahmini

BMO akış tahmini için, *706 ve 712 nolu* AGİ'den akışlar ile YGİ'den alınan yağış verileri kullanılmış olup havzanın genel yerleşimi Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir.

5.4.1. BMO alt havzası I. tip akış tahmini

BMO I. tip akış tahmini için, modellerin genel yapısı denklem (5.22)'de ve kurulan modeller Tablo 5.36'da verilmektedir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706}, Q(t-2)_{706}, ...Q(t-n)_{706}) \quad (5.22)$$

Tablo 5.36 BMO I. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Çıkış
R-I M1	$Q(t-1)_{706}$	$Q(t)_{706}$
R-I M2	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}$	$Q(t)_{706}$
R-I M3	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}$	$Q(t)_{706}$
R-I M4	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-4)_{706}$	$Q(t)_{706}$
R-I M5	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-4)_{706}\ Q(t-5)_{706}$	$Q(t)_{706}$
R-I M6	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-4)_{706}\ \ Q(t-5)_{706}\ Q(t-6)_{706}$	$Q(t)_{706}$
R-I M6	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-4)_{706}\ Q(t-5)_{706}\ Q(t-6)_{706}\ Q(t-7)_{706}$	$Q(t)_{706}$

I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik yöntemi kullanılarak verilerin kümelere ayrılmış yapısı Tablo 5.37'de ve veri kümelerinin yapısı da Tablo 5.38'de verilmiştir. Ayrıca, veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 5.39'da gösterilmiştir.

Tablo 5.37 BMO I. tip akış tahmini için çapraz geçerlilik veri kümeleri

Veri Kümesi	Veri Zaman Aralığı	Veri Sayısı
m_1	01.10.1984 – 30.09.1988	1461
m_2	01.10.1988 – 30.09.1992	1461
m_3	01.10. 1993 – 30.09.1996	1461
m_4	01.10. 1996 – 30.09.2000	1461

Tablo 5.38 BMO I. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	4383	1984 – 1988	1461
MY_2	1984 – 1988 1992 – 2000	4383	1988 – 1992	1461
MY_3	1984 – 1992 1996 – 2000	4383	1992 – 1996	1461
MY_4	1984 – 1996	4383	1996 – 2000	1461

Tablo 5.39 BMO I. tip akış tahmini için eğitim/sınama verilerinin yapısı

	Veri Kümesi	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
MY_1	Eğitim Veri Kümesi	0.05	227.01	27.17	23.31	3.14
	Sınama Veri Kümesi	4.32	200.00	47.60	27.22	1.83
MY_2	Eğitim Veri Kümesi	0.05	227.01	35.93	27.70	2.32
	Sınama Veri Kümesi	0.22	94.60	21.31	14.87	1.07
MY_3	Eğitim Veri Kümesi	0.22	227.01	35.19	27.56	2.35
	Sınama Veri Kümesi	0.05	138.00	23.55	17.40	1.84
MY_4	Eğitim Veri Kümesi	0.05	200.00	30.82	23.73	1.94
	Sınama Veri Kümesi	2.52	227.01	36.65	31.14	2.83

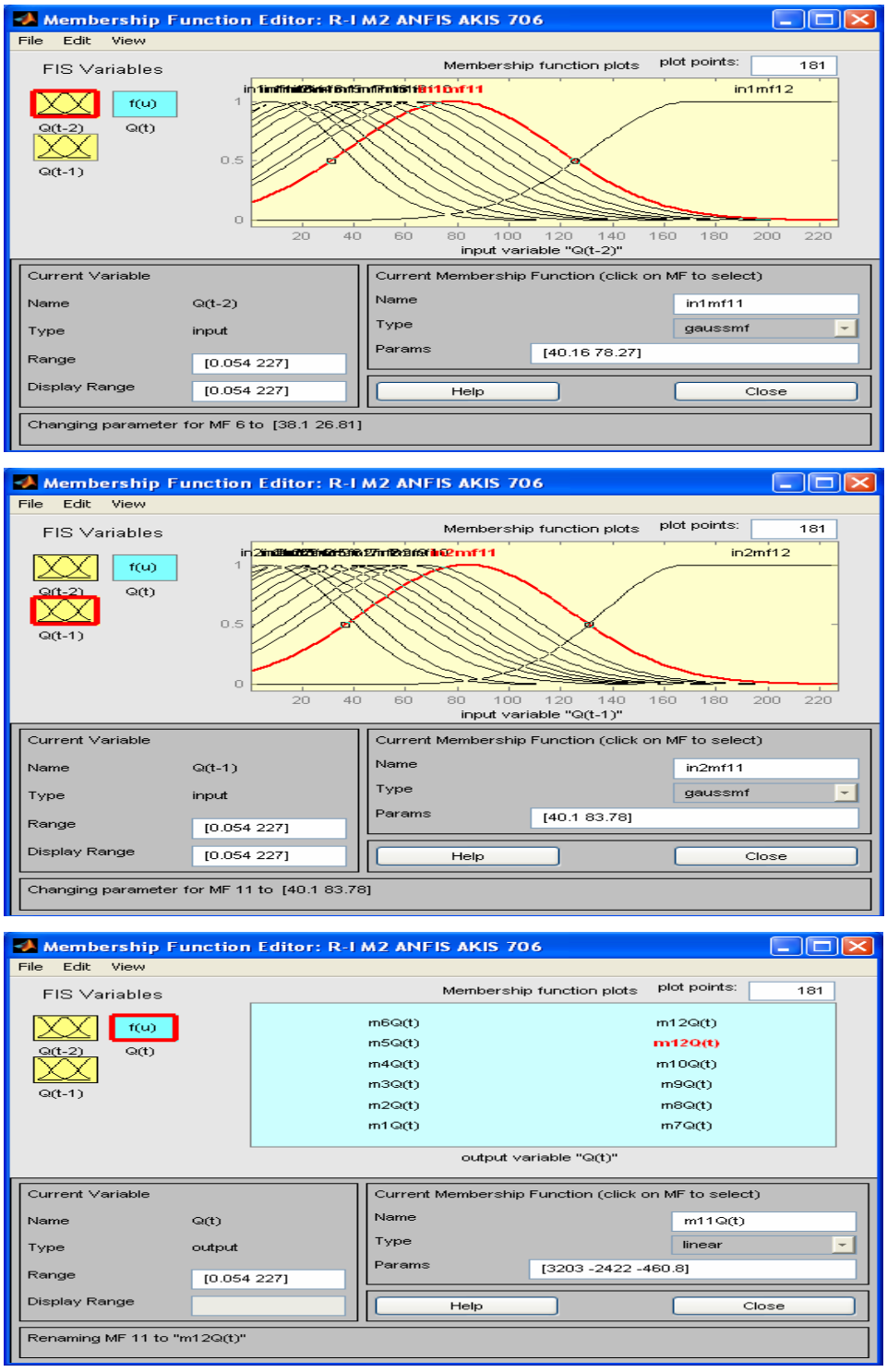
Tablo 5.36'daki modeller için eğitim ve sınama işlemi gerçekleştirilmiş ve davranış değerlendirme parametreleri hesaplanarak sonuçlar Tablo 5.40'da gösterilmiştir.

Tablo 5.40 BMO I. tip akış tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	R-I M1	**R-I M2**	R-I M3	R-I M4	R-I M5	R-I M6	R-I M7
KHOK	1984–1988	7.153	**7.100**	7.150	7.430	6.930	7.050	7.07
	1989–1992	4.040	3.910	3.930	3.940	3.970	3.960	4.030
	1993–1996	6.400	6.130	6.300	6.720	6.290	6.290	6.30
	1996–2000	8.940	9.210	9.200	9.03	14.17	9.030	10.71
E	1984–1988	0.920	**0.926**	0.925	0.920	0.920	0.920	0.920
	1989–1992	0.920	0.923	0.923	0.920	0.920	0.920	0.922
	1993–1996	0.860	0.862	0.864	0.843	0.862	0.861	0.860
	1996–2000	0.900	0.903	0.903	0.900	0.796	0.900	0.869
ORH	1984–1988	0.073	**0.073**	0.073	0.074	0.074	0.074	0.075
	1989–1992	0.120	0.120	0.115	0.116	0.115	0.117	0.127
	1993–1996	0.190	0.229	0.321	0.184	0.22	0.242	0.195
	1996–2000	0.102	0.100	0.103	0.102	0.122	0.102	0.112
R	1984–1988	0.960	**0.964**	0.962	0.962	0.960	0.960	0.960
	1989–1992	0.960	0.961	0.961	0.960	0.960	0.960	0.960
	1993–1996	0.931	0.933	0.933	0.923	0.933	0.933	0.931
	1996–2000	0.955	0.955	0.955	0.950	0.897	0.950	0.939

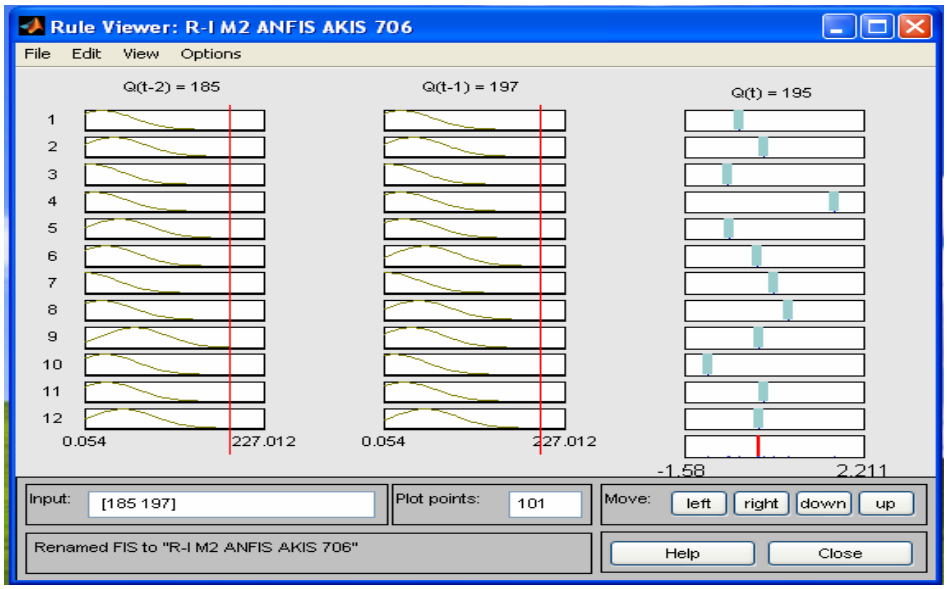
Tablo 5.40 incelendiğinde, KHOK'nın en düşük değerin R-I M2'den 3.91, en yüksek değerin ise, R-I M5'den 14.17 olduğu görülmektedir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer R-I M2'den 0.926, en düşük değer R-I M5'den 0.796 olarak hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer R-I M1, 2 ve 3'den % 7.03, en yüksek değer ise, R-I M3'den % 32.10 olarak elde edilmiştir. Tablodan R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, R-I M2'de 0.964, en düşük değerin de, R-I M5'de 0.897 olduğu görülmektedir. Tablo 5.40'a göre en uygun model **R-I M2** seçilmiş olup yapısı denklem (5.23)'de ve ÜF'ları Şekil 5.27'de verilmiştir

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ Q(t-2)_{706}) \tag{5.23}$$



Şekil 5.27 BMO R-I M2 akış tahmin modeli ÜF'ları

BMO R-I M2 ANFIS akış tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 5.28 ve denklem (5.24)'de ve bu modelin eğitim parametreleri Tablo 5.41'de verilmektedir.



Şekil 5.28 BMO R-I M2 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$
\begin{aligned}
&\text{EĞER } Q(t-2)=m1Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m1Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m1\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m2Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m2Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m2\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m3Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m3Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m3\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m4Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m4Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m4\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m5Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m5Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m5\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m6Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m6Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m6\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m7Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m7Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m7\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m8Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m8Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m8\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m9Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m9Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m9\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m10Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m10Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m10\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m11Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m11Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m11\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m12Q(t-2)\text{ VE }Q(t-1)=m12Q(t-1)\text{ İSE }Q(t)=m12
\end{aligned}
\qquad (5.24)
$$

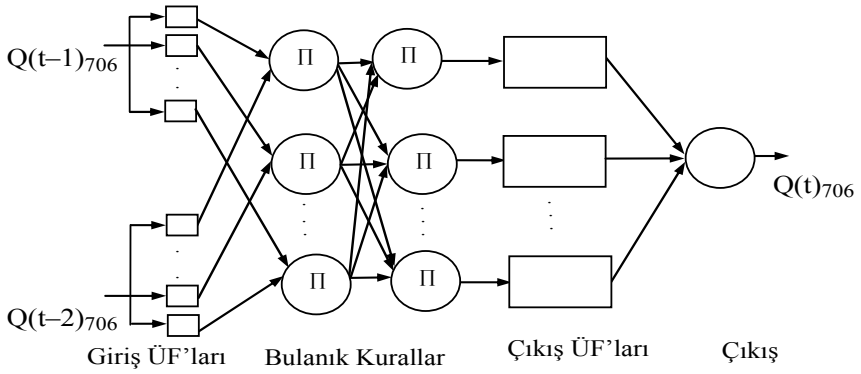
Tablo 5.41 BMO I. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
12	10	Gauss – 12	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 5.40'a göre R-I M2 için en düşük KHOK (3.910) MY2 kümesinden, en düşük ORH (% 7.3), en yüksek E (0.926) ve R (0.964) değerleri MY1 kümesinden elde edilmiş olup bu sonuçlara göre en uygun küme MY1 seçilmiştir. R-I M2 modelinin yapısı Şekil 5.29'da, MY1 kümesi için modellerin davranışları Tablo 5.42'de ve R-I M2 sonuçları ile gözlem verilerinin karşılaştırılması Şekil 5.30'da verilmiştir.

Tablo 5.42 BMO I. tip akış tahmininde MY1 kümesi için model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	R-I M1	**R-I M2**	R-I M3	R-I M4	R-I M5	R-I M6	R-I M7
KHOK	Eğitim	6.71	5.95	6.06	6.12	6.13	6.03	6.04
	Sınama	7.15	7.100	7.05	7.43	6.93	7.05	7.07
E	Eğitim	0.910	0.930	0.930	0.920	0.920	0.920	0.920
	Sınama	0.920	0.930	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920
ORH	Eğitim	0.155	0.138	0.145	0.194	0.147	0.140	0.146
	Sınama	0.073	0.073	0.073	0.074	0.074	0.074	0.075
R	Eğitim	0.960	0.970	0.970	0.960	0.960	0.960	0.960
	Sınama	0.960	0.964	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960



Şekil 5.29 BMO I. tip akış tahmini için en uygun model yapısı

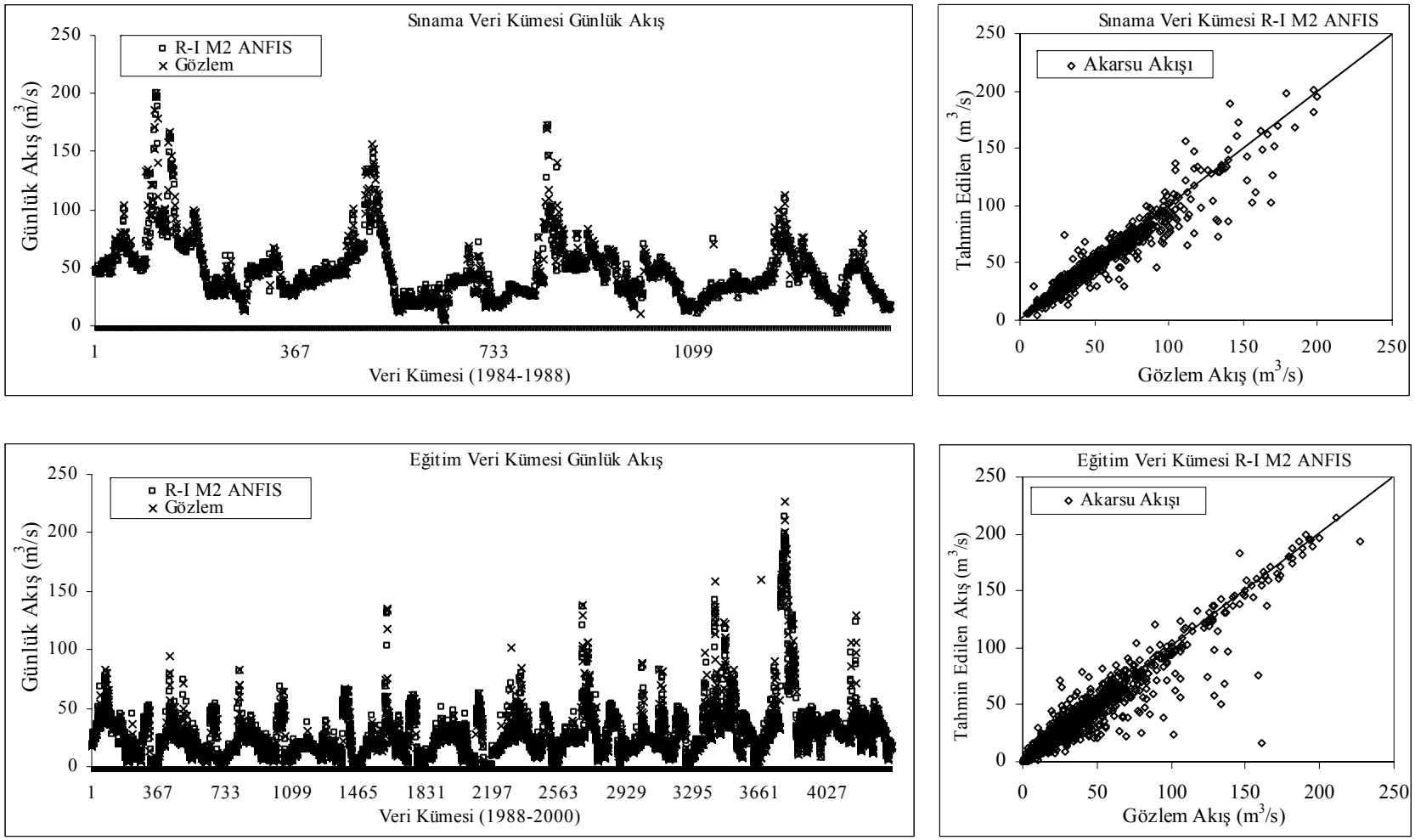
5.4.2. BMO alt havzası II. tip akış tahmini

BMO alt havzasında ikinci olarak, sadece 712 nolu AGİ' ye ait veriler kullanılarak II. tip akış tahminin modelleri kurulmuş ve veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.2'de verilmiştir. BMO II. tip akış tahmini için, modellerin genel yapısı denklem (5.25)'de ve kurulan modeller Tablo 5.43'de verilmektedir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{712},\ Q(t-2)_{712},.....Q(t-n)_{712}) \qquad (5.25)$$

Tablo 5.43 BMO II. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
R-II M1	$Q(t-1)_{712}$	2	$Q(t)_{706}$
R-II M2	$Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	3	$Q(t)_{706}$
R-II M3	$Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ Q(t-3)_{712}$	4	$Q(t)_{706}$
R-II M4	$Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ Q(t-3)_{712}\ Q(t-4)_{712}$	3	$Q(t)_{706}$



Şekil 5.30 BMO R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

BMO II. tip akış tahmini için yine *çapraz geçerlilik* yöntemi kullanılmış ve kümelerin yapısı Tablo 5.44'de verilmiştir. Kurulan modellerin sonuçları değerlendirmek için hesaplanan ölçütler Tablo 5.45'de verilmiştir

Tablo 5.44 BMO II. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	4383	1984 – 1988	1461
MY_2	1984 – 1988 1992 – 2000	4383	1988 – 1992	1461
MY_3	1984 – 1992 1996 – 2000	4383	1992 – 1996	1461
MY_4	1984 – 1996	4383	1996 – 2000	1461

Tablo 5.45 BMO II. tip akış tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	R-II M1	**R-II M2**	R-II M3	R-II M4
KHOK	**1984–1988**	10.55	10.45	11.92	12.02
	1989–1992	12.09	11.99	11.91	11.98
	1993–1996	14.92	14.91	14.89	14.89
	1996–2000	29.48	29.40	29.38	29.39
E	**1984–1988**	0.72	**0.73**	0.71	0.73
	1989–1992	0.48	0.50	0.50	0.50
	1993–1996	0.45	0.46	0.44	0.50
	1996–2000	0.73	0.73	0.73	0.73
ORH	**1984–1988**	0.27	**0.27**	0.27	0.28
	1989–1992	1.16	1.14	1.12	1.12
	1993–1996	2.83	2.02	2.79	4.30
	1996–2000	0.53	0.54	0.53	0.53
R	**1984–1988**	0.70	**0.70**	0.70	0.70
	1989–1992	0.68	0.69	0.69	0.69
	1993–1996	0.54	0.54	0.54	0.54
	1996–2000	0.38	0.39	0.39	0.39

Tablo 5.45'e göre, KHOK'nın en düşük değeri R-II M2'den 10.45, en yüksek değer ise, R-II M1'den 29.48 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer R-II M2'de 0.730, en düşük değer R-II M3'de 0.44 olarak hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer R-II M1, 2 ve 3'den 0.27 olarak, en yüksek değer ise, R-II M4'den 4.30 olarak elde edilmiştir.

R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer R-II M2'de 0.70, en düşük değer R-II M1'de 0.38 olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.45'e göre en uygun model **R-II M2** seçilmiş olup eğitim parametreleri Tablo 5.46'da ve yapısı denklem (5.26)'da verilmiştir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{712},\ Q(t-2)_{712}) \tag{5.26}$$

Tablo 5.46 BMO II. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

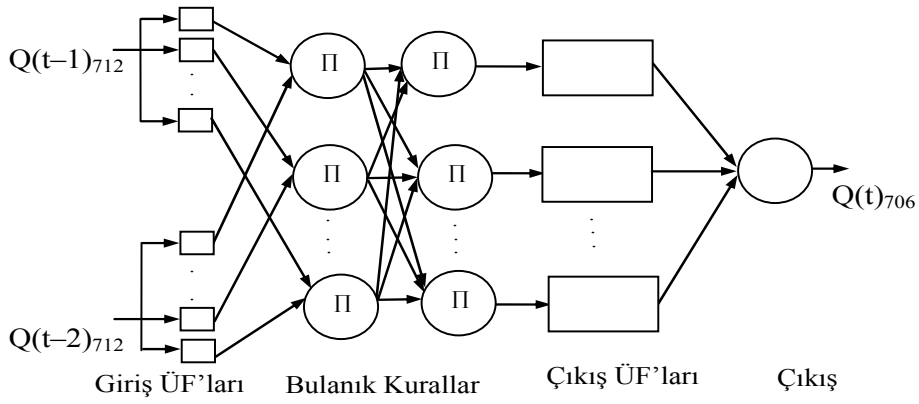
Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
3	30	Gauss – 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 5.45'e göre, R-II M2 için en düşük KHOK 10.45 olarak MY1 kümesinden elde edilmiştir. Ayrıca, ORH'nin en düşük değeri; % 0.27, E'nin en yüksek değeri; 0.730 ve R'nin en yüksek değeri; 0.70 ile yine MY1 veri kümesinden elde edilmiştir.

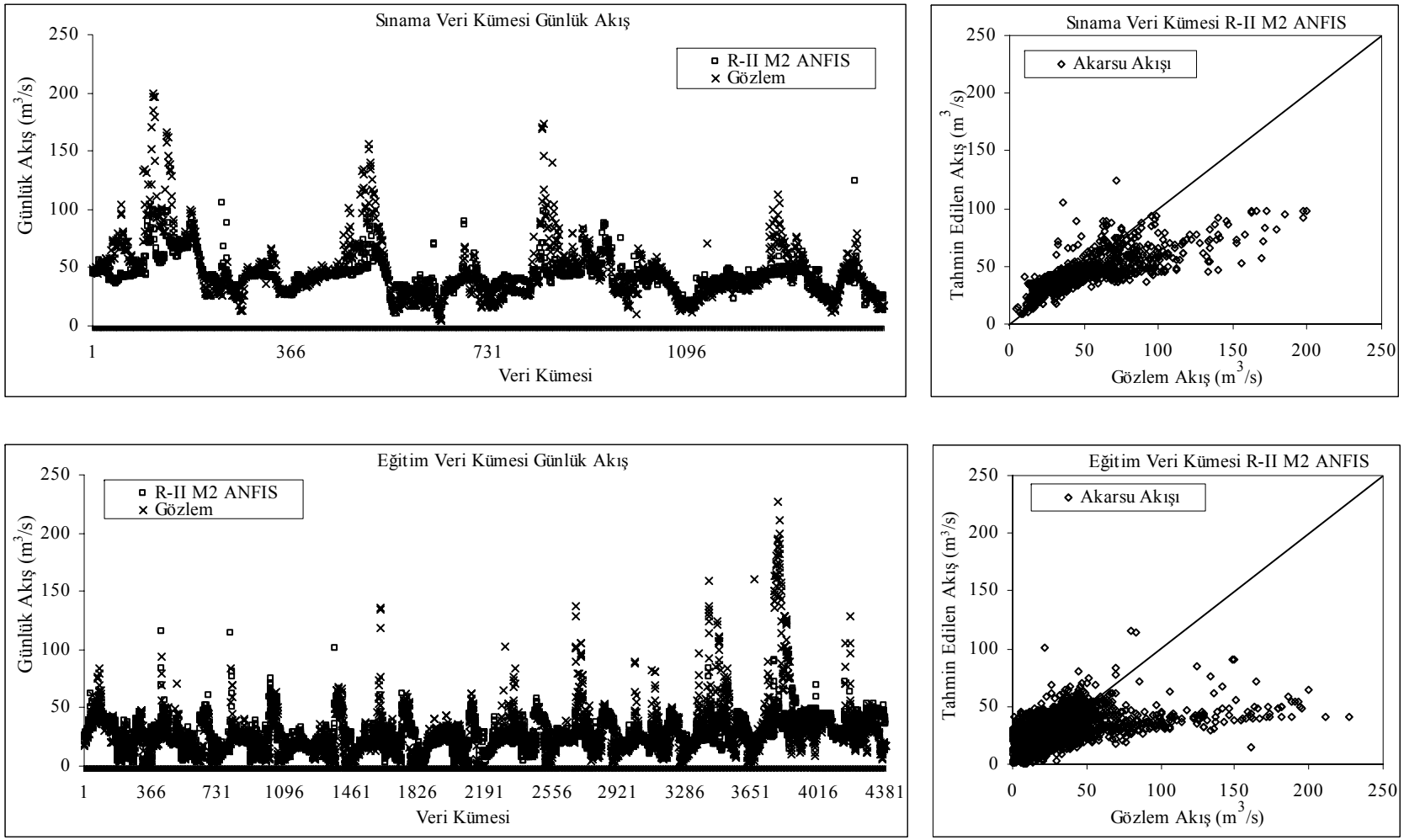
BMO II. tip akış tahmini için en uygun model R-II M2 ve en uygun veri kümesi olarak ta **MY1** seçilmiştir. BMO R-II M2 tahmin modelinin yapısı Şekil 5.31'de ve MY1 kümesi için modellerin davranışları Tablo 5.47'de gösterilmiştir. R-II M2 model sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılması Şekil 5.32'de verilmiştir.

Tablo 5.47 BMO II. tip akış tahmininde MY1 için model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	R-I M1	**R-I M2**	R-I M3	R-I M4
KHOK	Eğitim	19.61	19.51	19.59	19.55
	Sınama	10.55	10.45	11.92	12.02
E	Eğitim	0.588	0.573	0.57	0.579
	Sınama	0.720	0.73	0.71	0.73
ORH	Eğitim	1.980	2.210	1.58	1.59
	Sınama	0.27	0.27	0.27	0.28
R	Eğitim	0.540	0.550	0.540	0.540
	Sınama	0.70	0.70	0.70	0.70



Şekil 5.31 BMO II. tip akış tahmini için seçilen en uygun model yapısı



Şekil 5.32 BMO R-II M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.4.3. BMO alt havzası III. tip akış tahmini

III. tip akış tahmin modellerin yapısı denklem (5.27)'de ve Tablo 5.48'de verilmiştir. Ayrıca, eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı Tablo 5.49'da gösterilmiştir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ Q(t-1)_{712},.....Q(t-n)_{706},\ Q(t-n)_{712}) \qquad (5.27)$$

Tablo 5.48 BMO III. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
R-III M1	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}$	2	$Q(t)_{706}$
R-III M2	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	3	$Q(t)_{706}$
R-III M3	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ Q(t-3)_{712}$	4	$Q(t)_{706}$
R-III M4	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}$	3	$Q(t)_{706}$
R-III M5	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	4	$Q(t)_{706}$
R-III M6	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ Q(t-3)_{712}$	5	$Q(t)_{706}$
R-III M7	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}$	4	$Q(t)_{706}$
R-III M8	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	5	$Q(t)_{706}$
R-III M9	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ Q(t-3)_{712}$	6	$Q(t)_{706}$

Tablo 5.49 BMO III. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	4383	1984 – 1988	1461
MY_2	1984 – 1988 1992 – 2000	4383	1988 – 1992	1461
MY_3	1984 – 1992 1996 – 2000	4383	1992 – 1996	1461
MY_4	1984 – 1996	4383	1996 – 2000	1461

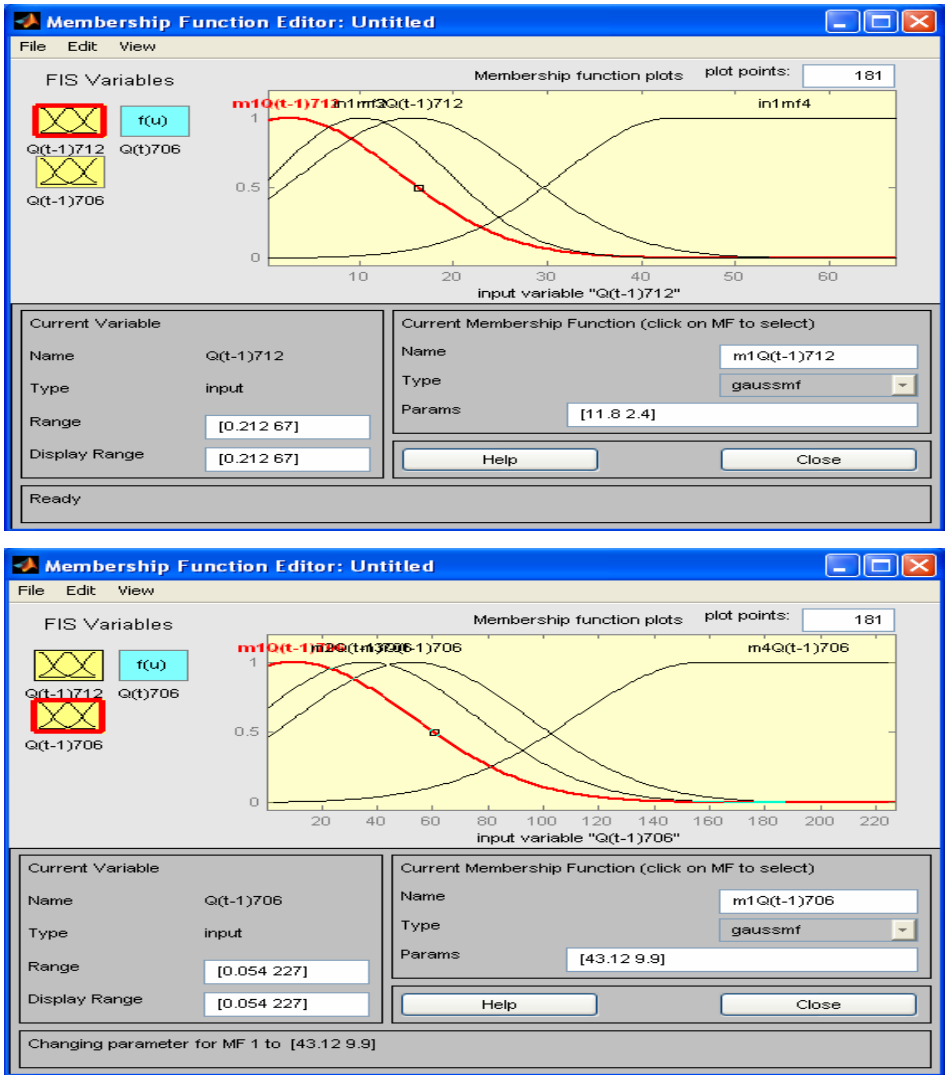
Tablo 5.48'de verilen modellerin davranışlarını değerlendirmek ve en uygun model yapısını belirlemek için hesaplanan ölçütler Tablo 5.50'de verilmiştir.

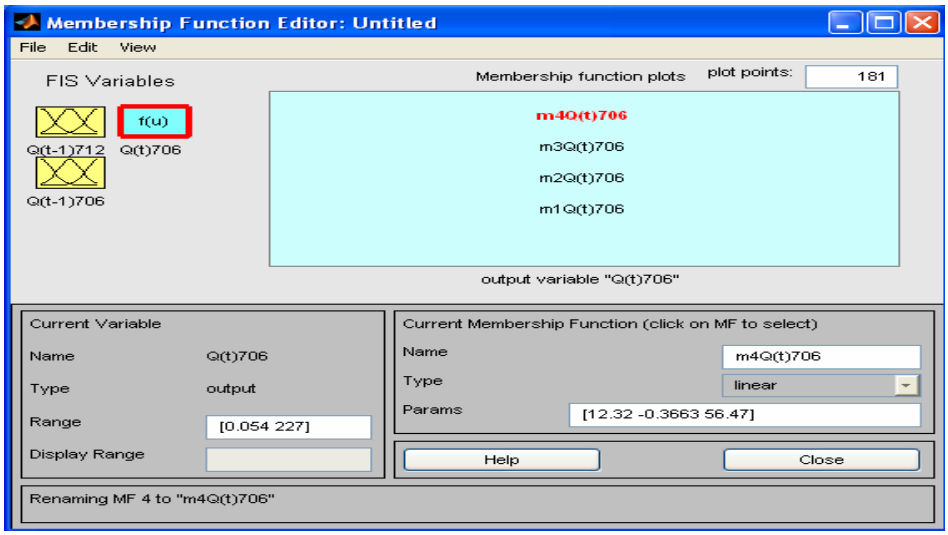
Tablo 5.50 BMO III. tip akış tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	**R-III M1**	R-III M2	R-III M3	R-III M4	R-III M5	R-III M6	R-III M7	R-III M8	R-III M9
KHOK	**1984–1988**	**6.03**	6.89	6.76	6.85	6.85	7.48	7.04	7.06	7.09
	1989–1992	6.98	6.94	6.90	6.94	6.87	6.72	6.69	6.65	6.72
	1993–1996	6.34	6.35	6.39	6.21	6.28	6.08	6.21	6.42	6.37
	1996–2000	9.05	9.88	9.78	9.20	9.29	9.06	9.07	9.12	9.12
E	**1984–1988**	**0.934**	0.929	0.930	0.933	0.930	0.922	0.932	0.928	0.927
	1989–1992	0.924	0.922	0.928	0.931	0.931	0.930	0.935	0.930	0.930
	1993–1996	0.858	0.854	0.851	0.864	0.861	0.870	0.863	0.857	0.861
	1996–2000	0.900	0.900	0.900	0.900	0.891	0.900	0.897	0.898	0.888
ORH	**1984–1988**	**0.073**	0.075	0.074	0.073	0.075	0.074	0.073	0.078	0.074
	1989–1992	0.124	0.117	0.113	0.110	0.113	0.119	0.108	0.125	0.106
	1993–1996	0.271	0.208	0.465	0.254	0.448	0.323	0.444	0.201	0.485
	1996–2000	0.103	0.100	0.095	0.100	0.102	0.098	0.096	0.100	0.098
R	1984–1988	**0.968**	0.960	0.963	0.968	0.967	0.961	0.963	0.965	0.964
	1989–1992	0.964	0.960	0.962	0.966	0.966	0.964	0.966	0.962	0.962
	1993–1996	0.933	0.930	0.932	0.933	0.934	0.937	0.935	0.930	0.932
	1996–2000	0.960	0.960	0.960	0.960	0.955	0.957	0.957	0.957	0.963

Tablo 5.50'ye bakıldığında, KHOK'nın en düşük değeri R-III M1'den 6.03, en yüksek değer ise, R-III M2'den 9.88 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer R-III M1'den 0.934, en düşük değer R-III M3'den 0.851 olarak hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer R-III M1'den % 7.03, en yüksek değer ise, R-III M9'den % 48.50 olarak elde edilmiştir. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer R-III M1 ve R-III M4'de 0.968, en düşük değer R-III M2 ve R-III M8'de 0.930 olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.50'ye göre en uygun model **R-III M1** seçilmiş olup yapısı denklem (5.28)'de verilmiştir. Ayrıca, R-III M1 akış tahmin modeline ait ÜF'ların yapısı Şekil 5.33'de gösterilmiştir.

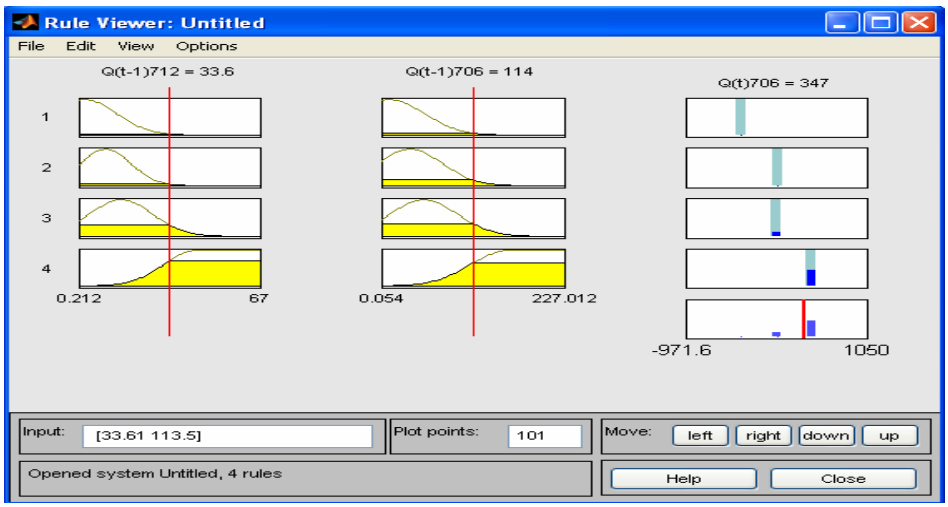
$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706}, Q(t-1)_{712}) \tag{5.28}$$





Şekil 5.33 BMO R-III M1 akış tahmin modeli ÜF'ları

BMO R-III M1 ANFIS akış tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 5.34 ve denklem (5.29)'da ve eğitim parametreleri Tablo 5.51'de verilmektedir.



Şekil 5.34 BMO R-III M1 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$\text{EĞER } Q(t-1)_{712} = m1Q(t-1)_{712} \text{ VE } Q(t-1)_{706} = m1Q(t-1)_{706} \text{ İSE } Q(t)_{706} = m1$$
$$\text{EĞER } Q(t-1)_{712} = m2Q(t-1)_{712} \text{ VE } Q(t-1)_{706} = m2Q(t-1)_{706} \text{ İSE } Q(t)_{706} = m2 \qquad (5.29)$$

Tablo 5.51 BMO III. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

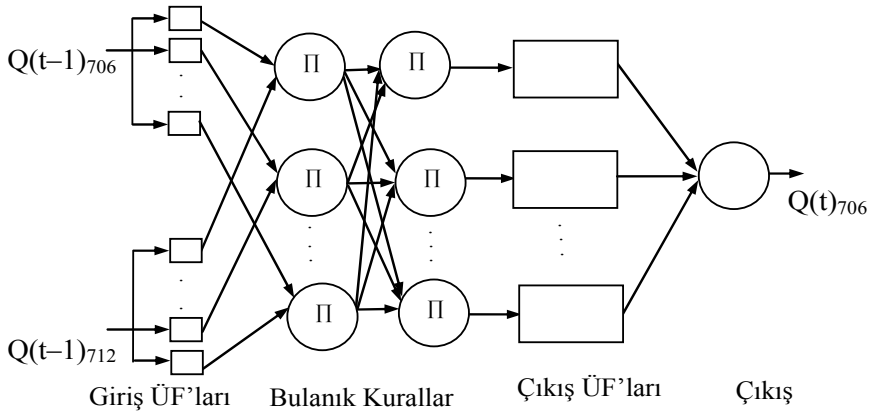
Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
2	30	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 5.50'deki ölçütlere göre en uygun giriş yapısına karar verdikten sonra, yine bu tabloya göre en uygun eğitim/sınama veri kümesi belirlenmiştir. R-III M1 için en düşük KHOK 6.03 olarak MY1 veri kümesinden elde edilmiştir. Ayrıca, ORH'nin en düşük değeri; % 7.3, E'nin en yüksek değeri; 0.934 ve R'nin en yüksek değeri; 0.968 ile MY1 veri kümesinden elde edilmiştir.

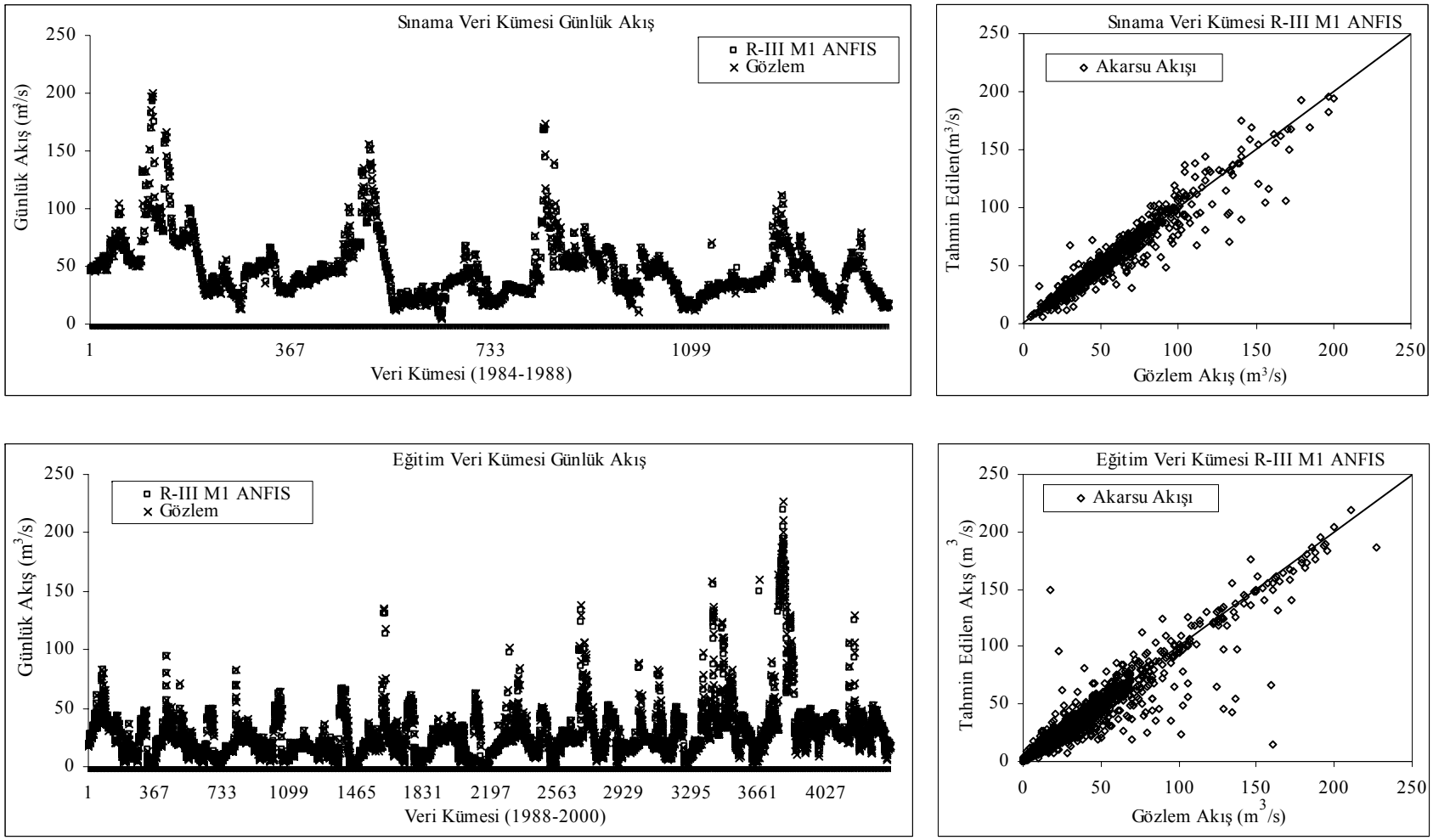
Sonuç olarak, BMO III. tip akış tahmini için en uygun model R-III M1 ve en uygun veri kümesi olarak ta **MY1** seçilmiştir. BMO R-III M1 tahmin modelinin yapısı Şekil 5.35'de ve MY1 kümesi için modellerin davranışları Tablo 5.52'de verilmiştir. R-III M1 ANFIS tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 5.36'da gösterilmiştir.

Tablo 5.52 BMO III. tip akış tahmini MY1 kümesi için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	R-III M1	R-III M2	R-III M3	R-III M4	R-III M5	R-III M6	R-III M7	R-III M8	R-III M9
KHOK	Eğitim	6.71	6.07	5.95	6.71	6.52	6.58	6.10	6.47	6.20
	Sınama	**6.03**	6.89	6.76	6.85	6.85	7.48	7.04	7.06	7.09
E	Eğitim	0.910	0.927	0.930	0.910	0.910	0.913	0.926	0.916	0.924
	Sınama	**0.934**	0.929	0.930	0.934	0.930	0.922	0.932	0.928	0.927
ORH	Eğitim	0.220	0.200	0.177	0.2728	0.298	0.297	0.219	0.182	0.211
	Sınama	**0.073**	0.075	0.074	0.073	0.075	0.074	0.073	0.078	0.074
R	Eğitim	0.958	0.965	0.967	0.958	0.960	0.960	0.965	0.961	0.964
	Sınama	**0.968**	0.960	0.963	0.968	0.967	0.961	0.963	0.965	0.964



Şekil 5.35 BMO III. tip akış tahmini için en uygun model yapısı



Şekil 5.36 BMO R-III M1 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.4.4. BMO alt havzası IV. tip akış tahmini

BMO IV. tip akış tahmininde veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.2'de verilmiştir. IV. tip akış tahmini için, modellerin genel yapısı denklem (5.30)'da ve kurulan modeller Tablo 5.53'de gösterilmiştir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ P(t-1),.....Q(t-n)_{706},\ P(t-n)) \tag{5.30}$$

Tablo 5.53 BMO IV. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
PR-I M1	$Q(t-1)_{706}\ P(t-1)$	2	$Q(t)_{706}$
PR-I M2	$Q(t-1)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$Q(t)_{706}$
PR-I M3	$Q(t-1)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$Q(t)_{706}$
PR-I M4	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ P(t-1)$	3	$Q(t)_{706}$
PR-I M5	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$Q(t)_{706}$
PR-I M6	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$Q(t)_{706}$
PR-I M7	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ P(t-1)$	4	$Q(t)_{706}$
PR-I M8	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$Q(t)_{706}$
PR-I M9	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$Q(t)_{706}$

IV. tip akış tahmini için, I. tip akış tahmininde en iyi sonucu veren MY1 kümesi kullanılmış olup yapısı Tablo 5.54'de verilmiştir.

Tablo 5.54 BMO IV. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	4383	1984 – 1988	1461
MY_2	1984 – 1988 1992 – 2000	4383	1988 – 1992	1461
MY_3	1984 – 1992 1996 – 2000	4383	1992 – 1996	1461
MY_4	1984 – 1996	4383	1996 – 2000	1461

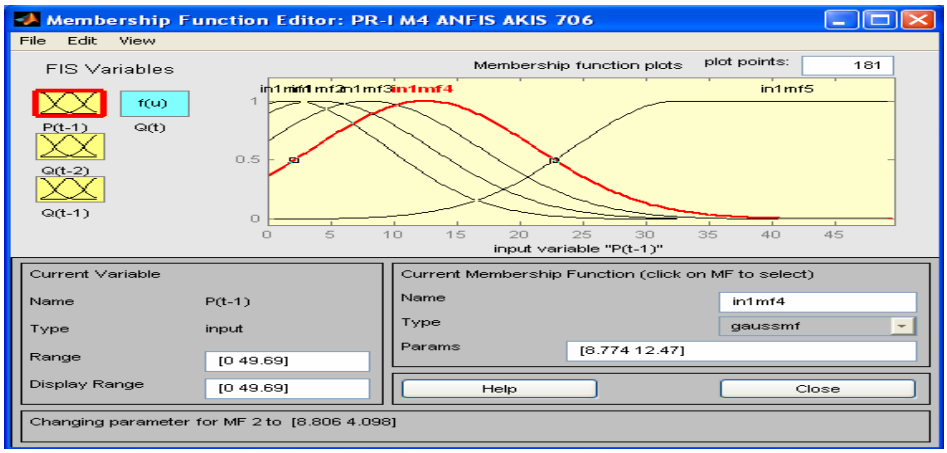
Tablo 5.53'de verilen modeller, MY1 veri küme ile eğitilmiş ve davranış değerlendirme parametreleri hesaplanarak Tablo 5.55'de verilmiştir.

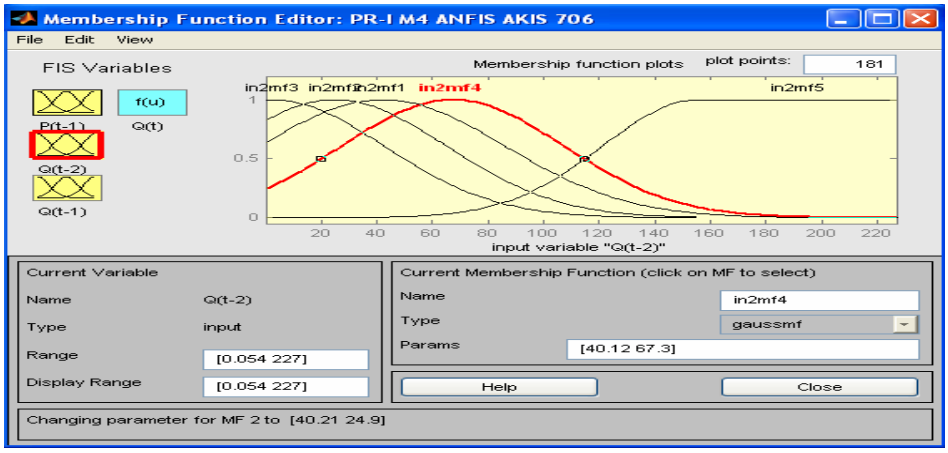
Tablo 5.55 BMO IV. tip akış tahmini için model davranışları

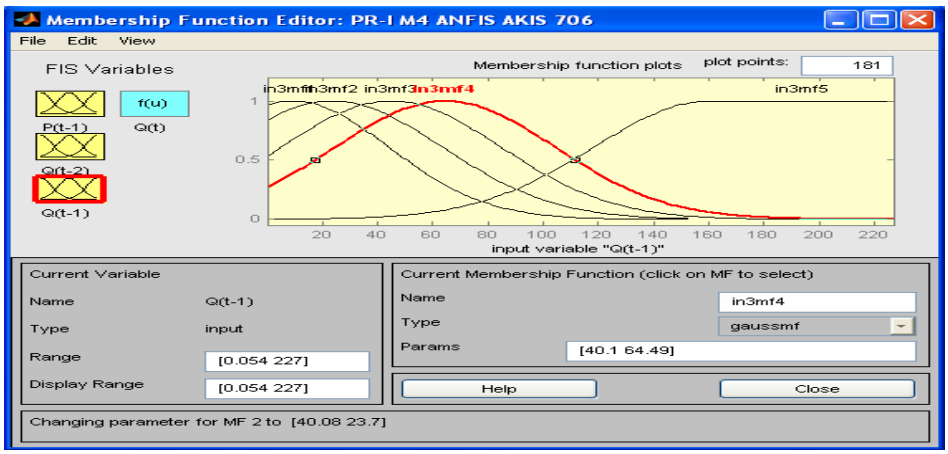
Modeller	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
PR-I M1	7.08	0.932	0.074	0.966	6.70	0.917	0.134	0.958
PR-I M2	7.07	0.932	0.074	0.966	6.70	0.917	0.130	0.958
PR-I M3	7.11	0.931	0.076	0.966	6.68	0.917	0.143	0.958
PR-I M4	6.97	0.934	0.073	0.967	6.20	0.929	0.198	0.964
PR-I M5	7.67	0.921	0.076	0.962	6.49	0.922	0.174	0.960
PR-I M6	7.54	0.923	0.075	0.963	6.50	0.922	0.134	0.960
PR-I M7	7.01	0.932	0.075	0.967	6.34	0.921	0.251	0.962
PR-I M8	7.31	0.927	0.076	0.965	6.52	0.922	0.229	0.960
PR-I M9	7.50	0.924	0.078	0.963	6.48	0.923	0.200	0.960

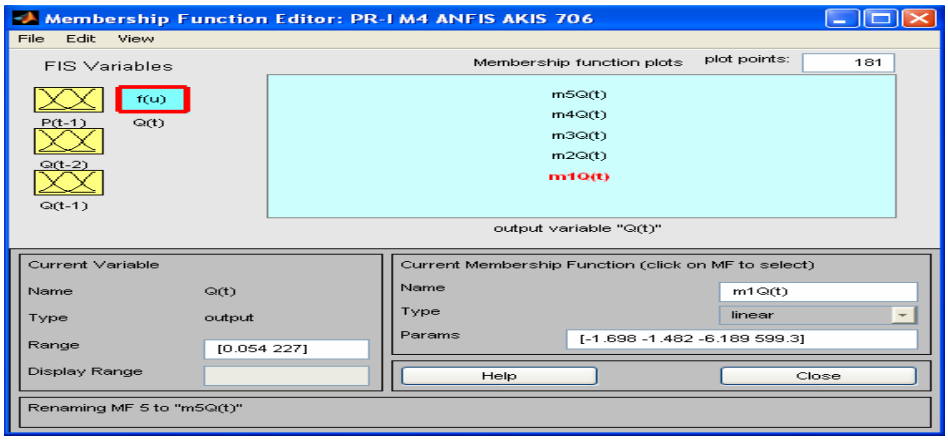
Tablo 5.55'e göre, KHOK'nın en düşük değeri PR –I M4'den 6.97, en yüksek değer ise, PR–I M5'den 7.67 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer 0.934 ile PR –I M4'den, en düşük değer 0.921 ile PR –I M5'den hesaplanmıştır. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, PR –I M4 ve PR-I M7'den 0.967, en düşük değerin, PR –I M5'den 0.962 olduğu görülmektedir. Tablo 5.55'e göre en uygun model **PR-I M4** seçilmiş olup yapısı denklem (5.31)'de ve ÜF'ları Şekil 5.37'de gösterilmiştir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706}, Q(t-2)_{706}, P(t-1)) \tag{5.31}$$



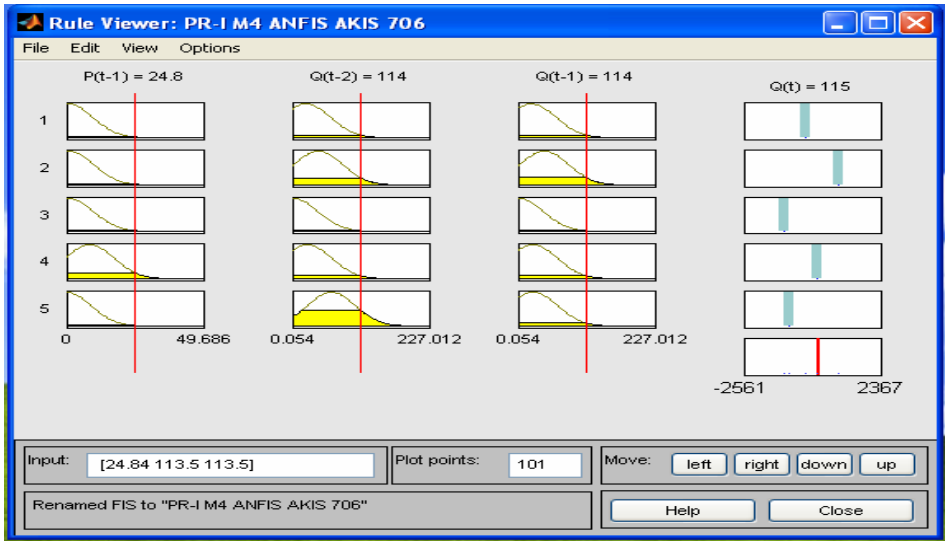






Şekil 5.37 BMO PR-I M4 akış tahmin modeli ÜF'ları

BMO P-I M4 ANFIS akış tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 5.38 ve denklem (5.32)'de ve modelin eğitim parametreleri Tablo 5.56'da gösterilmiştir.



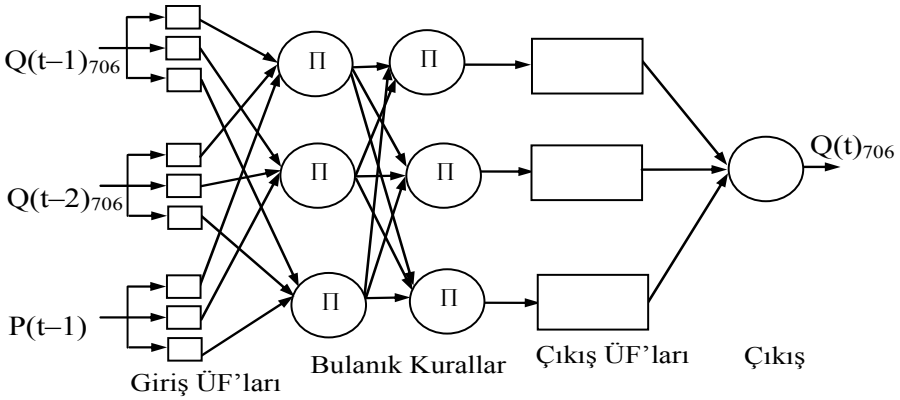
Şekil 5.38 BMO PR-I M4 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$\begin{aligned}
&\text{EĞER } P(t-1)=m1P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m1\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m2P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m2\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m3P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m3Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m3Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m3\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m4P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m4Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m4Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m4\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m5P(t-1) \text{ VE } Q(t-2)=m5Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m5Q(t-1) \text{ İSE } Q(t)=m5
\end{aligned} \quad (5.32)$$

Tablo 5.56 BMO IV. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
4	25	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

PR-II M1 tahmin modelinin genel yapısı Şekil 5.39'da ve modeli sonuçlarının gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 5.40'da verilmiştir.



Şekil 5.39 BMO IV. tip akış tahmini için en uygun model yapısı

5.4.5. BMO alt havzası V. tip akış tahmini

BMO V. tip akış tahmini için, 706 ve 712 nolu AGİ'den alınan akım verileri ile yağış istasyonlarından alınan yağış verileri kullanılmıştır. V. tip akış tahmini için modellerin yapısı denklem (5.33)'de ve kurulan modeller Tablo 5.57'de verilmiştir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{712},\ P(t-1),.....Q(t-n)_{712},\ P(t-n)) \tag{5.33}$$

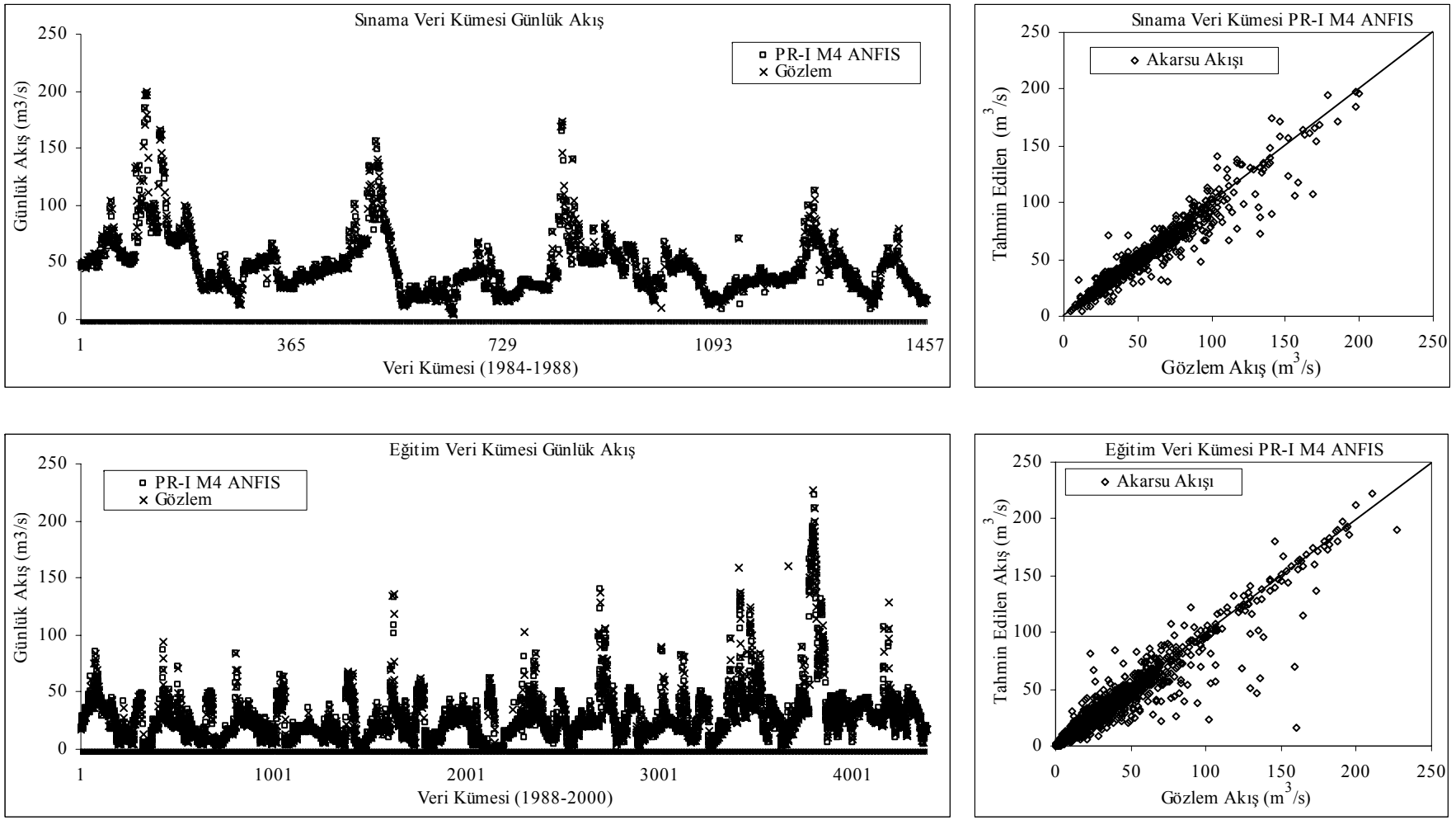
Tablo 5.57 BMO V. tip akış tahmini için kurulan modeller

ANFIS Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
PR – II M1	$Q(t-1)_{712}\ P(t-1)$	2	$Q(t)_{706}$
PR – II M2	$Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$Q(t)_{706}$
PR – II M3	$Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$Q(t)_{706}$
PR – II M4	$Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)$	3	$Q(t)_{706}$
PR – II M5	$Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$Q(t)_{706}$
PR – II M6	$Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$Q(t)_{706}$

BMO V. tip akış tahmini için tekrar çapraz geçerlilik yapmak yerine, II. tip akış tahmininde en uygun sonucu veren MY1 veri kümesi kullanılmış ve bu veri kümesinin yapısı Tablo 5.58'de verilmiştir.

Tablo 5.58 BMO V. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	4383	1984 – 1988	1461
MY_2	1984 – 1988 1992 – 2000	4383	1988 – 1992	1461
MY_3	1984 – 1992 1996 – 2000	4383	1992 – 1996	1461
MY_4	1984 – 1996	4383	1996 – 2000	1461



Şekil 5.40 BMO PR-I M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.57'de verilen modeller, MY1 veri küme için çözülmüş ve davranış değerlendirme parametreleri hesaplanarak Tablo 5.59'da verilmiştir.

Tablo 5.59 BMO V. tip akış tahmini için model davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
PR – II M1	18.27	0.550	0.273	0.759	17.70	0.423	0.580	0.652
PR – II M2	18.81	0.523	0.269	0.731	18.68	0.407	0.680	0.601
PR – II M3	18.82	0.522	0.271	0.744	19.47	0.402	0.700	0.598
PR – II M4	18.21	0.551	0.274	0.779	19.50	0.500	0.650	0.648
PR – II M5	18.35	0.545	0.276	0.768	19.48	0.487	0.664	0.605
PR – II M6	18.42	0.542	0.281	0.755	19.65	0.457	0.710	0.580

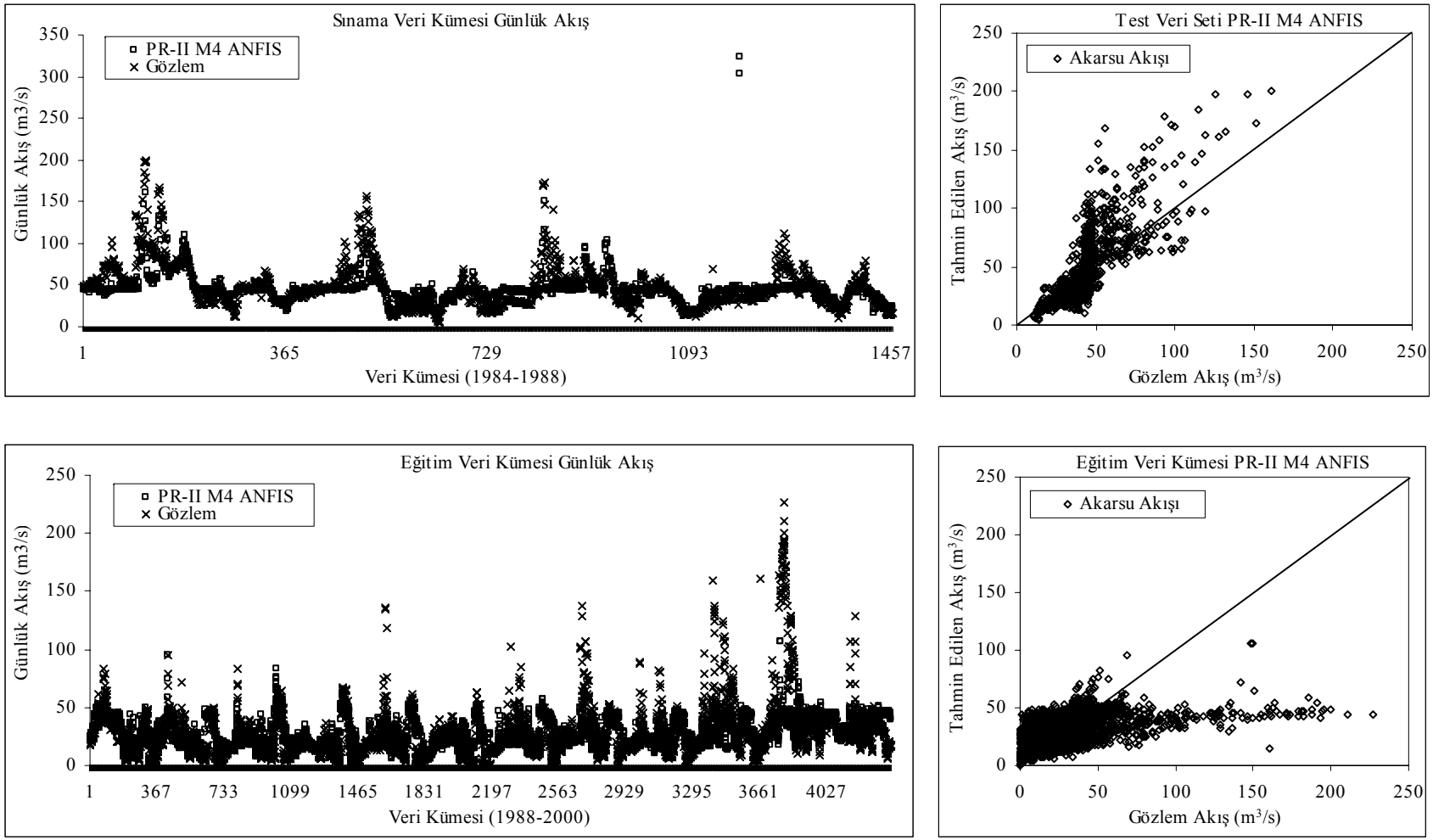
Tablo 5.59'incelendiğinde, KHOK'nın en düşük değeri PR –II M4'den 18.21 olarak, en yüksek değer ise, PR –II M3'den 18.82 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer 0.551 ile PR – M4'den, en düşük değer 0.522 ile PR– II M3'den hesaplanmıştır. ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer PR –II M2'den % 26.9 olarak, en yüksek değer ise, PR –II M6 'den % 28.1 olarak elde edilmiştir. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerin, PR–II M4'den 0.779, en düşük değerin de, PR –II M2'den 0.731 olduğu görülmektedir. Tablo 5.59'a göre, BMO V. tip tahmin modellerinin diğer tip tahmin modellerine göre, davranışlarının düşük seviyede olduğu söylenebilir. Tablo 5.59'a göre en uygun model **PR-II M4** seçilmiş ve yapısı denklem (5.34)'de verilmiştir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{712},\ Q(t-2)_{712}, P(t-1)) \tag{5.34}$$

PR-II M4 modelinin eğitim parametreleri Tablo 5.60'da, ve tahmin sonuçları ile gözlem verilerinin karşılaştırılması Şekil 5.41'de verilmiştir.

Tablo 5.60 BMO V. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
5	35	Gauss – 5	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama



Şekil 5.41 BMO PR-II M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.4.6. BMO alt havzası VI. tip akış tahmini

BMO alt havzasında son olarak VI. tip tahmin modelleri kurulmuş ve modellerin genel yapısı denklem (5.35)'de ve kurulan modeller Tablo 5.61'de verilmektedir.

$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706}, Q(t-1)_{712}, P(t-1), \ldots\ldots Q(t-n)_{706}, Q(t-n)_{712}, P(t-n)) \quad (5.35)$$

Tablo 5.61 BMO VI. tip akış tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
PR- III M1	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)$	2	$Q(t)_{706}$
PR- III M2	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$Q(t)_{706}$
PR- III M3	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$Q(t)_{706}$
PR- III M4	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)$	3	$Q(t)_{706}$
PR- III M5	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$Q(t)_{706}$
PR- III M6	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$Q(t)_{706}$
PR- III M7	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)$	4	$Q(t)_{706}$
PR- III M8	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$Q(t)_{706}$
PR- III M9	$Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$Q(t)_{706}$

VI. tip akış tahmininde, III. tip akış tahmininde en iyi sonucu veren MY1 kümesi kullanılmış ve bu kümesin yapısı Tablo 5.62'de verilmiştir.

Tablo 5.62 BMO VI. tip akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	4383	1984 – 1988	1461
MY_2	1984 – 1988 1992 – 2000	4383	1988 – 1992	1461
MY_3	1984 – 1992 1996 – 2000	4383	1992 – 1996	1461
MY_4	1984 – 1996	4383	1996 – 2000	1461

Tablo 5.61'de verilen modeller, MY1 veri küme için eğitilmiş ve davranış değerlendirme parametreleri hesaplanarak en uygun model belirlenmiştir (Tablo 5.63).

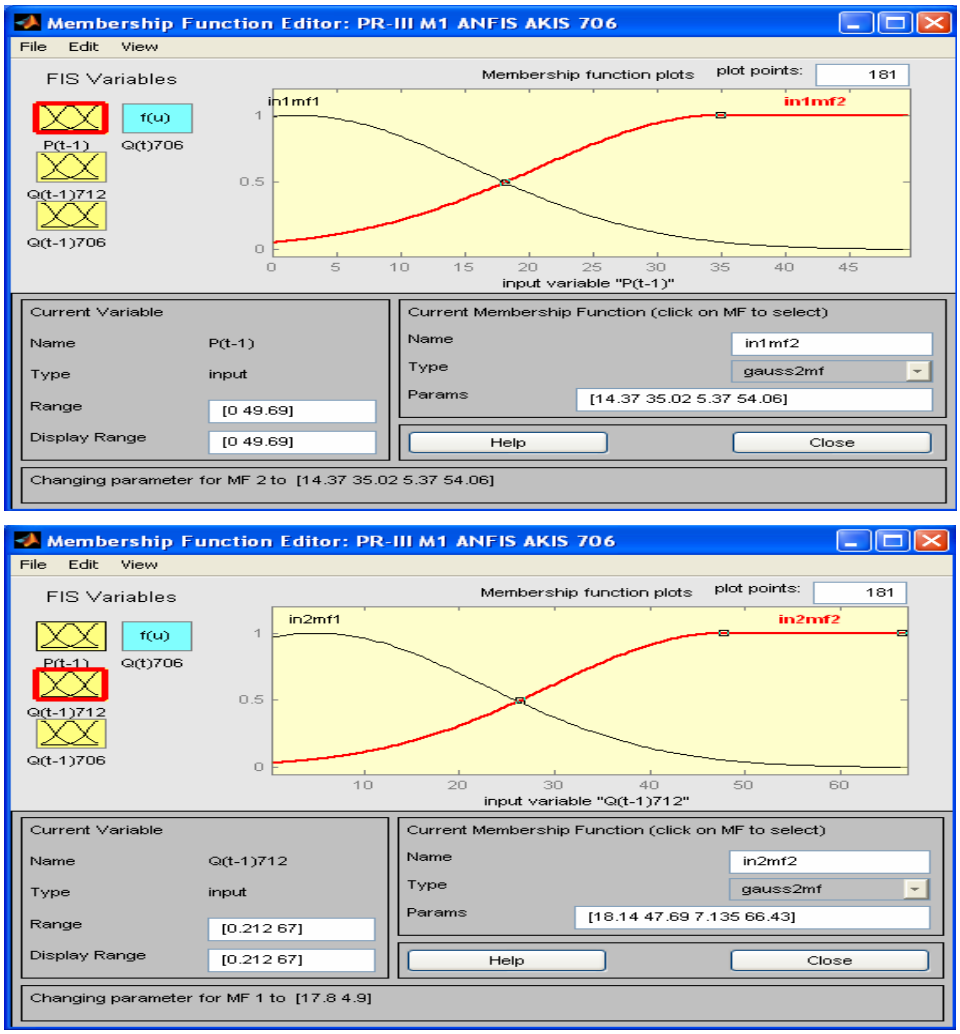
Tablo 5.63 BMO VI. tip akış tahmini için model davranışları

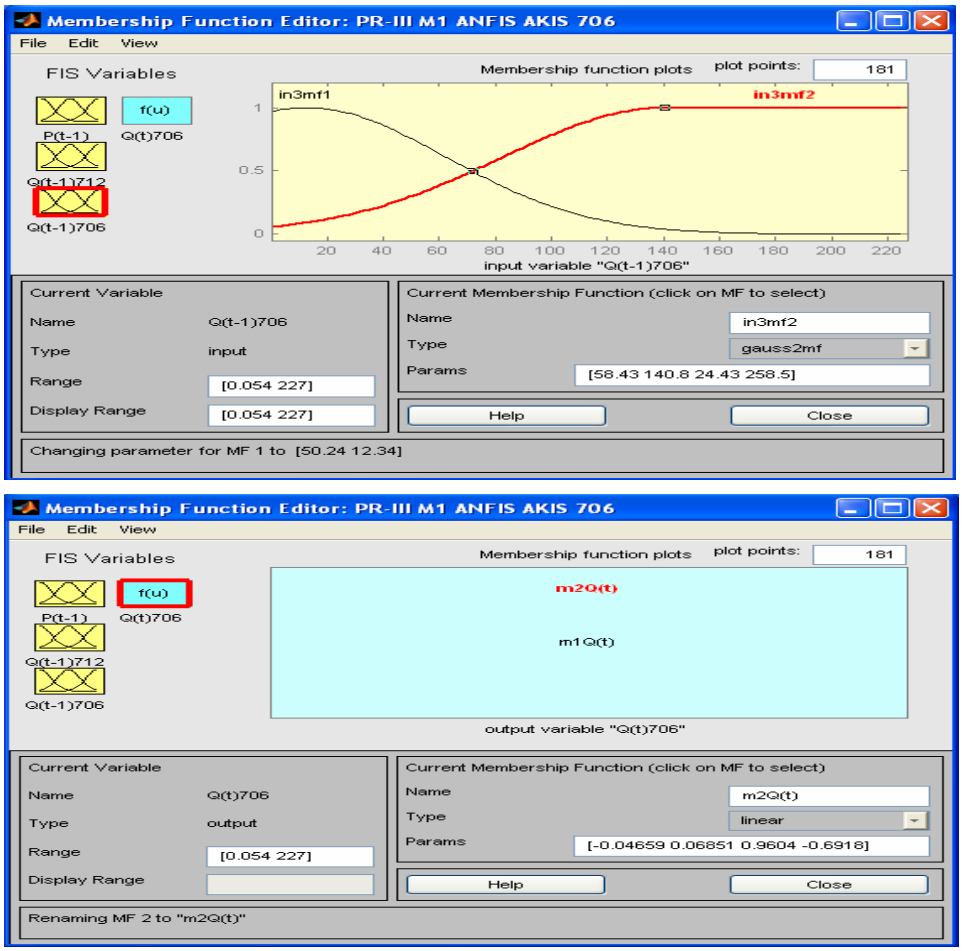
Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
PR- III M1	**6.823**	**0.937**	**0.072**	**0.968**	6.700	0.917	0.138	0.958
PR- III M2	8.290	0.907	0.081	0.953	6.390	0.925	0.181	0.962
PR- III M3	8.770	0.896	0.083	0.946	6.600	0.920	0.295	0.959
PR- III M4	7.240	0.929	0.076	0.965	6.360	0.926	0.148	0.962
PR- III M5	7.377	0.927	0.077	0.963	6.480	0.923	0.276	0.961
PR- III M6	7.427	0.925	0.078	0.962	6.490	0.916	0.295	0.960
PR- III M7	8.540	0.897	0.084	0.960	6.541	0.905	0.158	0.961
PR- III M8	8.594	0.889	0.086	0.958	6.555	0.900	0.204	0.960
PR- III M9	8.876	0.875	0.086	0.957	6.640	0.901	0.315	0.958

Tablo 5.63'e bakıldığında, KHOK'nın en düşük değeri PR –III M1'den 6.823 olarak, en yüksek değer ise, PR –III M9'den 8.826 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer 0.937 ile PR– M1'den, en düşük değer 0.875 ile PR– III M9'den hesaplanmıştır.

ORH değerlerine bakıldığında, en düşük değer PR –III M1'den % 7.2, en yüksek değer ise, PR– III M8 ve PR- III M9'dan % 8.6 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, en yüksek R değeri PR – M1'den 0.968, en düşük değer ise PR –III M9'den 0.953 olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.63'e göre en uygun model **PR-III M1** seçilmiş olup yapısı denklem (5.36)'da ve ÜF'ları Şekil 5.42'de verilmiştir.

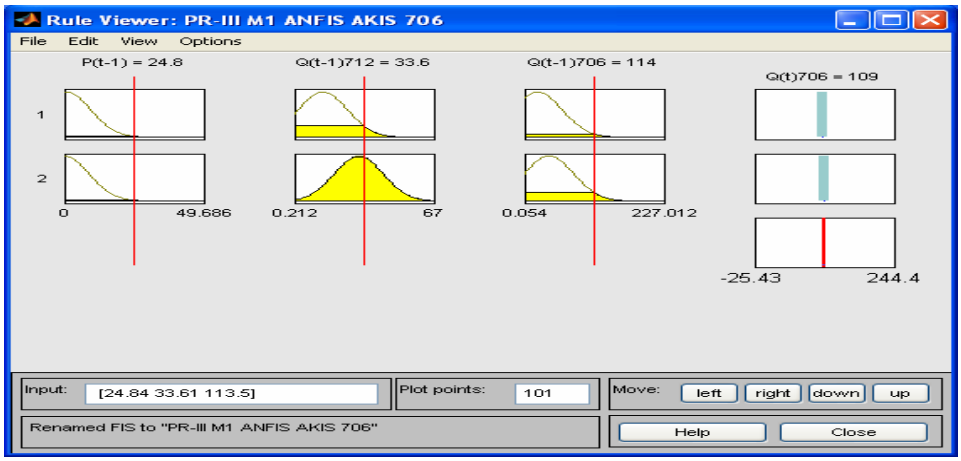
$$Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ Q(t-1)_{712},\ P(t-1)) \qquad (5.36)$$





Şekil 5.42 BMO PR-III M1 akış tahmin modeli ÜF'ları

BMO P-III M1 modeli için yazılan kurallar Şekil 5.43 ve denklem (5.37)'de ve eğitim parametreleri Tablo 5.64'de gösterilmiştir.



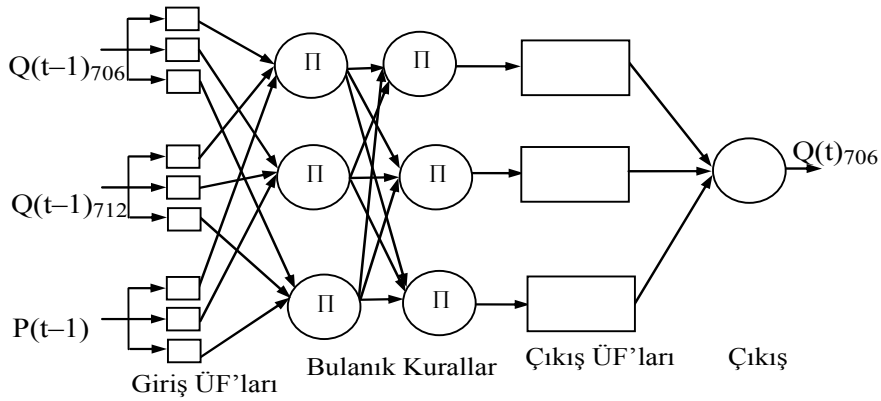
Şekil 5.43 BMO PR-III M1 akış tahmin modeli bulanık kuralları

$$\text{EĞER } P(t-1) = m1P(t-1) \text{ VE } Q(t-1)_{712} = m1Q(t-2)_{712} \text{ VE } Q(t-1)_{706} = m1Q(t-1)_{706}$$
$$\text{İSE } Q(t)_{706} = m1$$
$$\text{EĞER } P(t-1) = m2P(t-1) \text{ VE } Q(t-1)_{712} = m2Q(t-2)_{712} \text{ VE } Q(t-1)_{706} = m2Q(t-1)_{706} \quad (5.37)$$
$$\text{İSE } Q(t)_{706} = m2$$

Tablo 5.64 BMO IV. tip akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
2	35	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

BMO alt havzası PR-I M4 tahmin modelinin yapısı Şekil 5.44'de ve eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 5.45'de verilmiştir



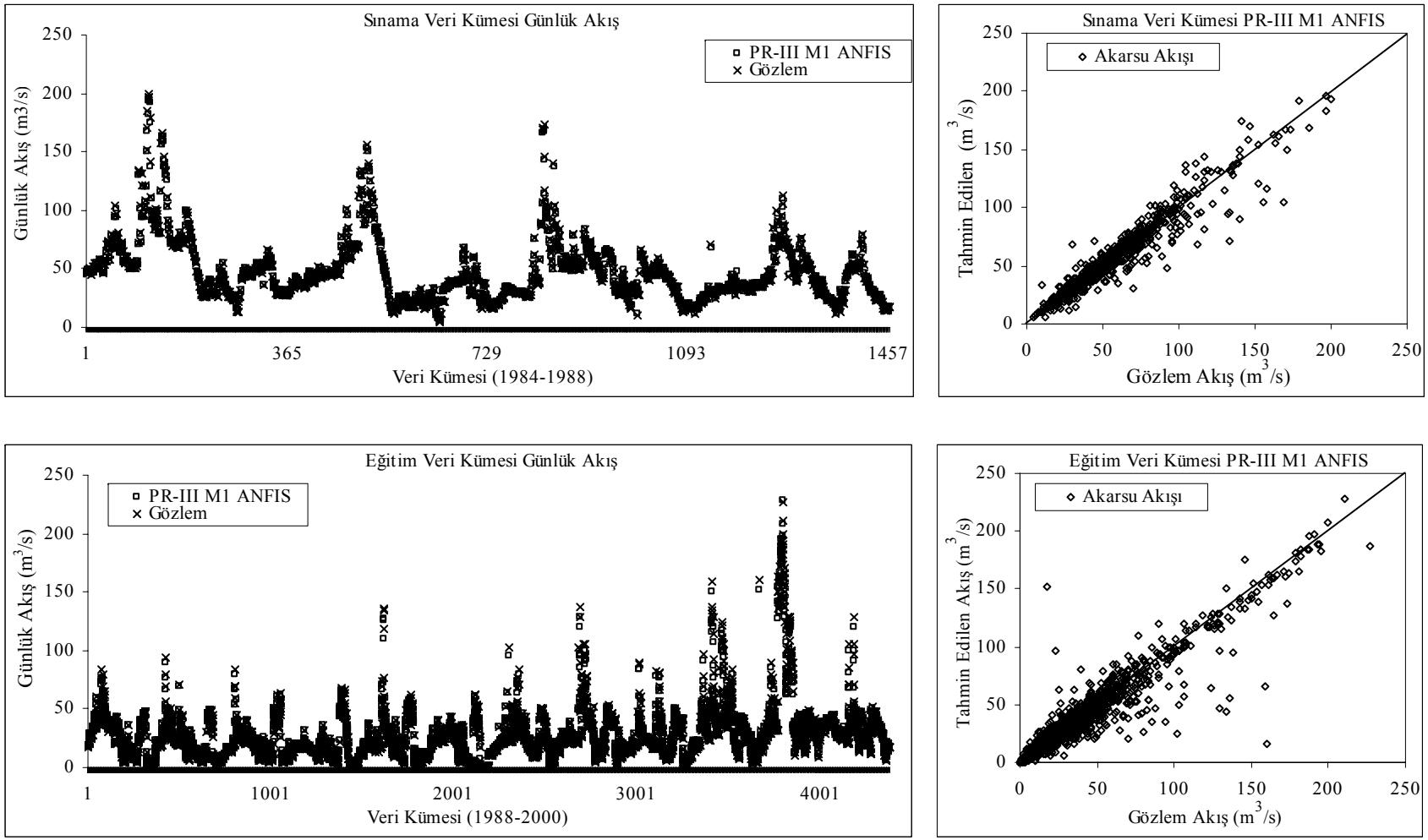
Şekil 5.44 BMO VI. tip akış tahmini için en uygun model yapısı

5.5. Akış Tahmin Model Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde, her bir alt havza için geliştirilen akış tahmin modellerinin sonuçları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Bunun için, bütün alt havzalar ayrı ayrı göz önüne alınarak I. ve II. akış tahmin çalışmalarında en uygun modellere ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Model sonuçlarının değerlendirilmesinde daha önceden verilen davranış değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır.

5.5.1. YBM akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması

Bilindiği gibi, YBM alt havzası için I. ve II. tip olmak üzere iki farklı tipte model geliştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılarak en uygun modeller belirlenmiştir.



Şekil 5.45 BMO PR-III M1 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

YBM I. ve II. tip akış tahmin çalışmalarından en uygun sonucu veren modellerin genel yapısı denklem (5.38) ve (5.39)'den görülmektedir.

YBM **R-I M2 ANFIS** : $Q(t)_{713} = f(Q(t-1)_{713}, Q(t-2)_{713})$ (5.38)

YBM **PR-I M4 ANFIS** : $Q(t)_{713} = f(Q(t-1)_{713}, Q(t-2)_{713}, P(t-1))$ (5.39)

YBM R-I M2 ANFIS ve PR-I M4 tahmin modellerinin eğitim parametreleri Tablo 5.65'de ve davranışları Tablo 5.66'da verilmektedir.

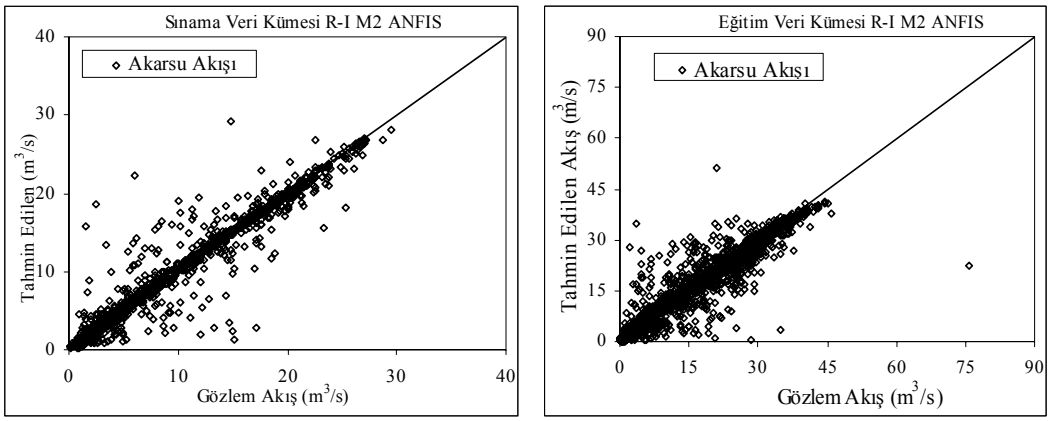
Tablo 5.65 YBM akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

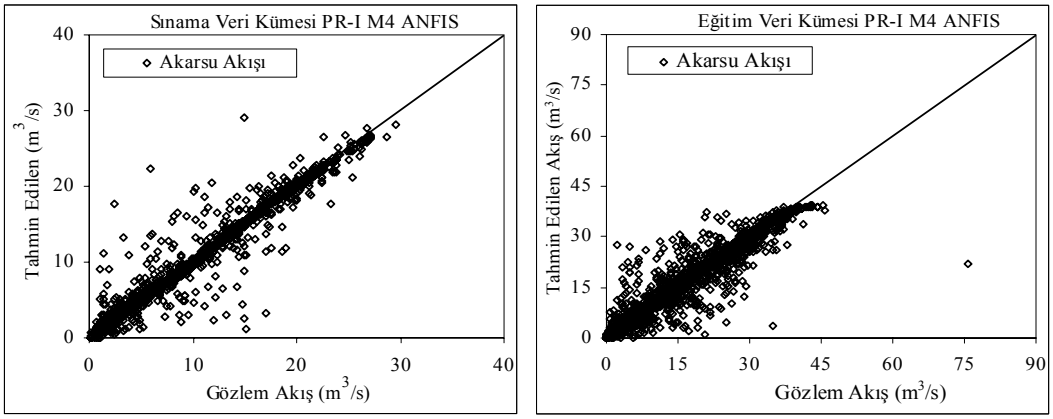
Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve Sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
R-I M2	3	20	Gauss– 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
PR-I M4	6	20	Gauss– 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 5.66 YBM akış tahmin modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
R-I M2	1.382	0.961	0.125	0.981	2.010	0.960	0.146	0.980
PR-I M4	1.369	0.961	0.112	0.981	1.934	0.966	0.116	0.983

Tablo 5.66'da sınama veri kümesi davranışları karşılaştırıldığında, E ve R değerlerinin her iki modelde de birbirine eşit ve 1'e yakın çıktığı görülmektedir. Diğer taraftan ORH ve KHOK değerlerine bakıldığında, PR-I M4 modeli çok az farkla R-I M2'ye göre daha iyi bir davranış göstermiştir. Tablo 5.66'ya göre, YBM akış tahmini için en uygun model PR-I M4 ve en uygun veri kümesi ise MY4 olarak tanımlanan veri kümesidir. PR-I M4 ve R-I M2 model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.46'da verilmektedir.





Şekil 5.46 YBM PR-I M4 ve R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.5.2. Banaz çayı akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması

Banaz çayı için I. ve II. tip olmak üzere iki farklı tipte farklı yapıya sahip akış tahmin modelleri eğitilmiş ve sınanmıştır. Her iki tipte bütün model sonuçları karşılaştırılmış ve her iki tip akış tahmini için en uygun model yapısı belirlenmiştir. Banaz çayı I. tip ve II. tip akış tahmin çalışmalarından en uygun sonucu veren modellerin genel yapısı denklem (5.40) ve (5.41)'den görülmektedir.

Banaz çayı **R-I M2 ANFIS** : $Q(t)_{735} = f(Q(t-1)_{735}, Q(t-2)_{735})$ (5.40)

Banaz çayı **PR-I M4 ANFIS** : $Q(t)_{735} = f(Q(t-1)_{735}, Q(t-2)_{735}, P(t-1))$ (5.41)

Banaz çayı R-I M2 ve PR-I M4 modellerinin eğitim parametreleri Tablo 5.67'de ve davranışları Tablo 5.68'da verilmiştir.

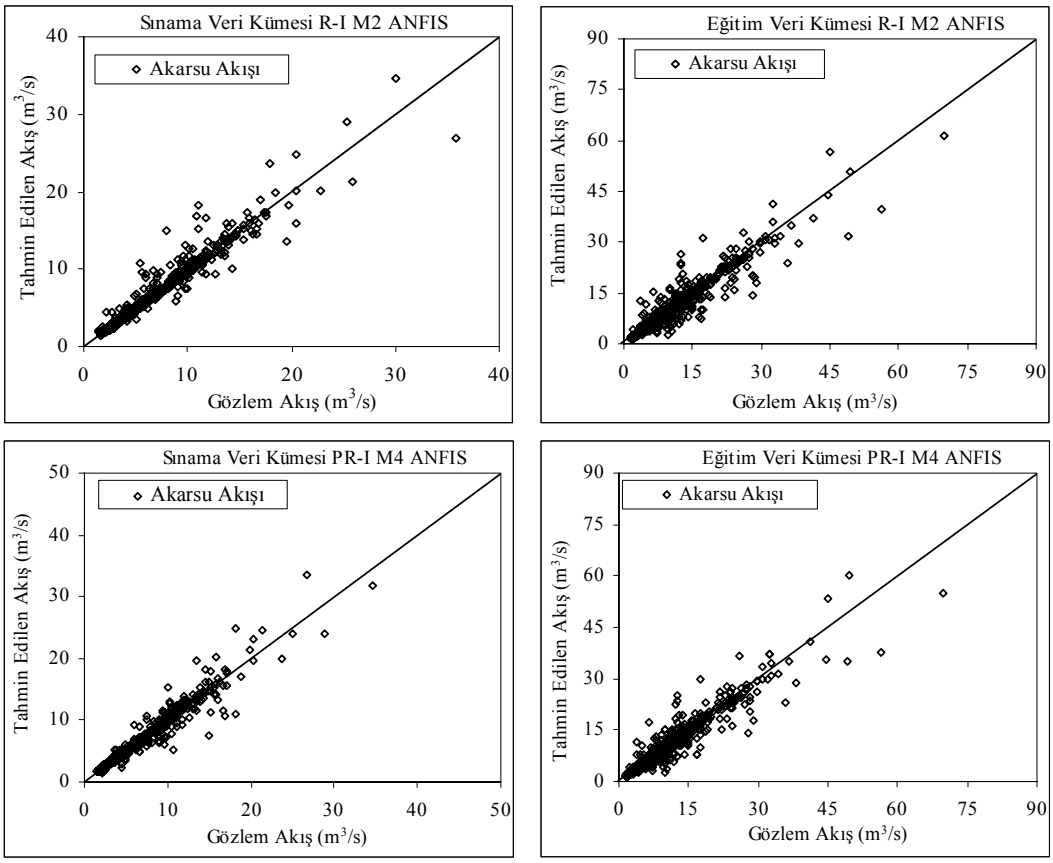
Tablo 5.67 Banaz çayı akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
R-I M2	4	35	Gauss– 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
PR-I M4	2	20	Gauss– 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 5.68 Banaz çayı akış tahmin modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
R-I M2	0.830	0.954	0.048	0.974	1.850	0.963	0.165	0.982
PR-I M4	0.813	0.956	0.051	0.978	1.186	0.940	0.049	0.970

Tablodan, sınama veri kümesi için, E ve R değerleri karşılaştırıldığında, her iki model sonucunun birbirine çok yakın çıktığı, ancak PR-I M4 ANFIS modelinin daha iyi davranış gösterdiği görülmüştür. ORH değerlerine bakıldığında, R-I M2'den % 4.80 ve PR-I M4'den % 5.10 olarak elde edilmiştir. KHOK değerleri karşılaştırıldığında, PR-I M4 modeli R-I M2 modeline göre daha iyi bir davranış göstermiştir. Sonuç olarak, her iki tahmin modelinin hem eğitim ve hem de sınama veri kümeleri için sonuçların birbirine yakın çıktığı, ancak PR-I M4 model sonuçlarının daha iyi olduğu görülmektedir. Tablo 5.68'deki ölçütlere göre en uygun model PR-I M4 ve en uygun veri kümesi ise MY3 olarak tanımlanan veri kümesidir. PR-I M4 ve R-I M2 ANFIS tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.47'de verilmektedir.



Şekil 5.47 Banaz çayı PR-I M4 ve R-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.5.3. Çine çayı akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması

Diğer alt havzalarda olduğu gibi, Çine çayı akış tahmini için de farklı yapıda akış tahmin modelleri kurulmuştur. I. ve II. tip tahmin model sonuçları değerlendirilerek, en uygun modeller belirlenmiş ve yapıları denklem (5.42) ve (5.43)'den verilmiştir.

Çine çayı **R-I M3 ANFIS** : $Q(t)_{701} = f(Q(t-1)_{701},\ Q(t-2)_{701},\ Q(t-3)_{701})$ (5.42)

Çine çayı **PR-I M1 ANFIS** : $Q(t)_{701} = f(Q(t-1)_{701},\ P(t-1))$ (5.43)

Çine çayı R-I M3 ve PR-I M1 ANFIS tahmin modellerinin eğitim parametreleri Tablo 5.69'da ve davranışları Tablo 5.70'de gösterilmiştir.

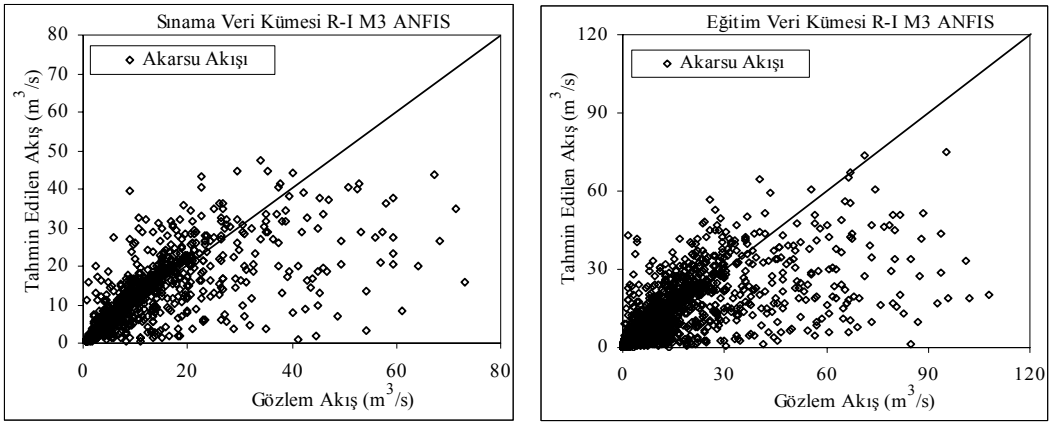
Tablo 5.69 Çine çayı akış tahmini için seçilen eğitim parametreleri

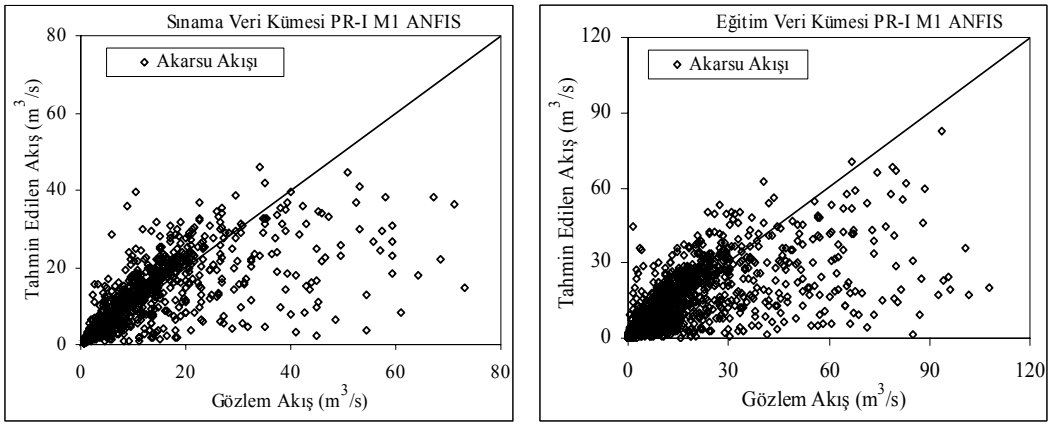
Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
R-I M3	6	50	Gauss – 6	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
PR-I M1	8	20	Gauss – 8	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 5.70 Çine çayı akış tahmin modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
R-I M3	4.834	0.645	0.244	0.805	5.670	0.604	0.297	0.777
PR-I M1	4.826	0.647	0.228	0.805	5.542	0.621	0.325	0.788

Tablodan, ORH, KHOK, E ve R değerleri karşılaştırıldığında, her iki model sonucunun birbirine çok yakın çıktığı ancak PR-I M1 ANFIS modelinin daha iyi davranışa sahip olduğu görülmektedir. Tablo 70'deki ölçütlere göre Banaz çayı akış tahmini için en uygun model PR-I M1 ve en uygun veri kümesi ise MY2 olarak tanımlanan eğitim/sınama veri kümesidir. PR-I M1 ve R-I M3 ANFIS tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.48'de verilmektedir.





Şekil 5.48 Çine çayı PR-I M1 ve R-I M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

5.5.4. BMO akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması

BMO için, altı farklı tipte farklı yapıya sahip akış tahmin modeli geliştirilmiş ve en uygun yapıya sahip modeller çeşitli ölçütlere göre belirlenmiştir. BMO için geliştirilen en uygun tahmin modellerinin genel yapıları denklem (5.44), (5.45), (5.46), (5.47), (5.48) ve (5.49)'da görülmektedir.

BMO **R-I M2 ANFIS** : $Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ Q(t-2)_{706})$ (5.44)

BMO **R-II M2 ANFIS** : $Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{712},\ Q(t-2)_{712})$ (5.45)

BMO **R-III M1 ANFIS** : $Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ Q(t-1)_{712})$ (5.46)

BMO **PR-I M4 ANFIS** : $Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ Q(t-2)_{706},\ P(t-1))$ (5.47)

BMO **PR-II M4 ANFIS** : $Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{712},\ Q(t-2)_{712},\ P(t-1))$ (5.48)

BMO **PR-III M1 ANFIS** : $Q(t)_{706} = f(Q(t-1)_{706},\ Q(t-1)_{712},\ P(t-1))$ (5.49)

BMO en uygun akış tahmin modellerinin davranışları Tablo 5.71'de ve bu modellerin eğitimi sırasında seçilen parametreler Tablo 5.72'de verilmektedir.

Tablo 5.71 BMO akış tahmin modelleri için seçilen eğitim parametreleri

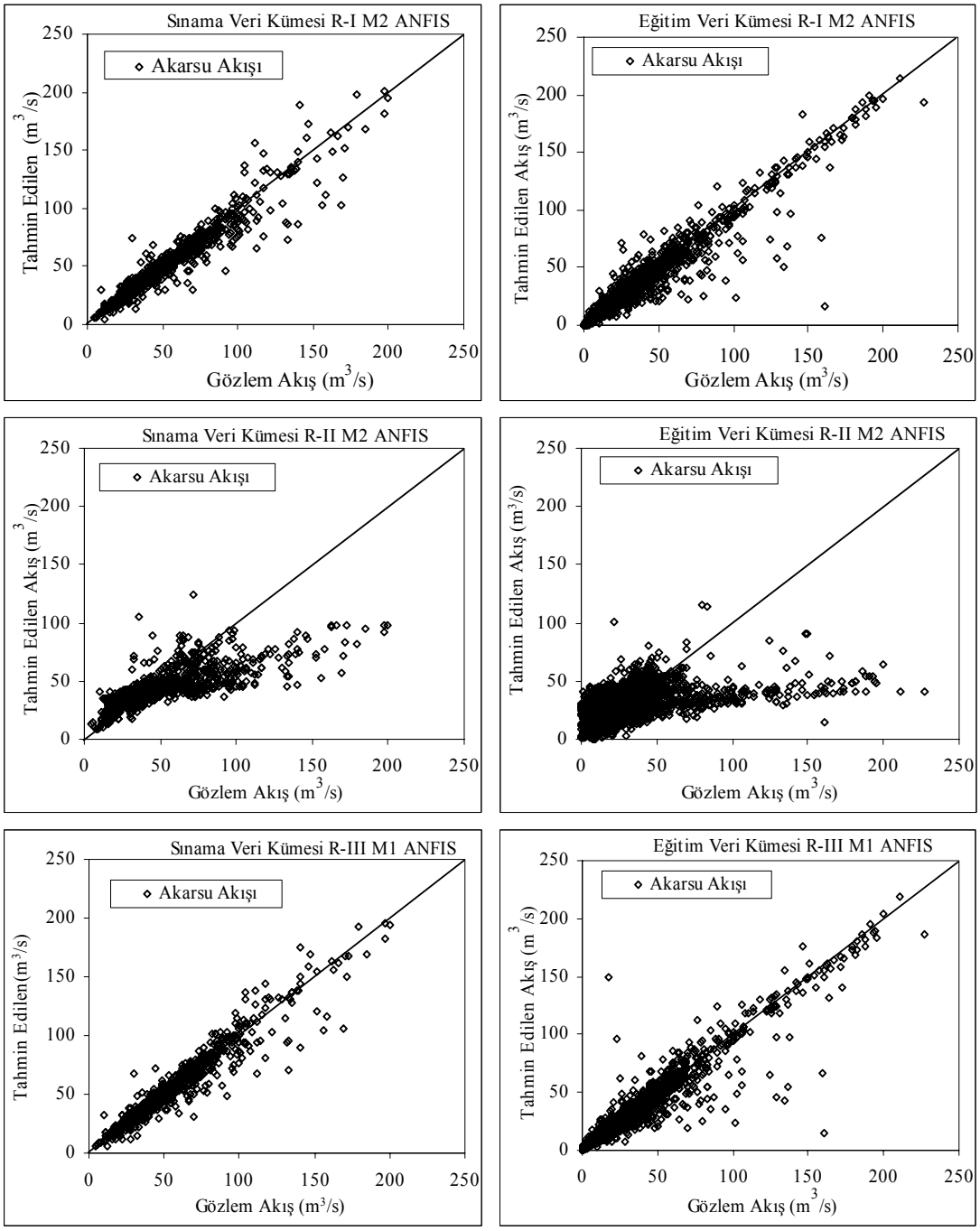
Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
R-I M2	12	20	Gauss – 12	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
R-II M2	3	30	Gauss – 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
R-III M1	2	30	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
PR-I M4	5	25	Gauss – 5	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
PR-II M4	5	35	Gauss – 5	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
PR-III M1	2	35	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 5.72 BMO akış tahmin modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH	R	KHOK	E	ORH	R
R-I M2	7.10	0.926	0.073	0.964	5.950	0.930	0.138	0.970
R-II M2	10.45	0.730	0.270	0.700	19.51	0.573	0.210	0.550
R-III M1	6.03	0.934	0.073	0.968	6.71	0.910	0.220	0.958
PR-I M4	6.97	0.934	0.073	0.967	6.20	0.929	0.198	0.964
PR-II M4	18.21	0.551	0.271	0.779	19.50	0.500	0.234	0.648
PR-III M1	6.82	0.937	0.072	0.968	6.700	0.917	0.138	0.958

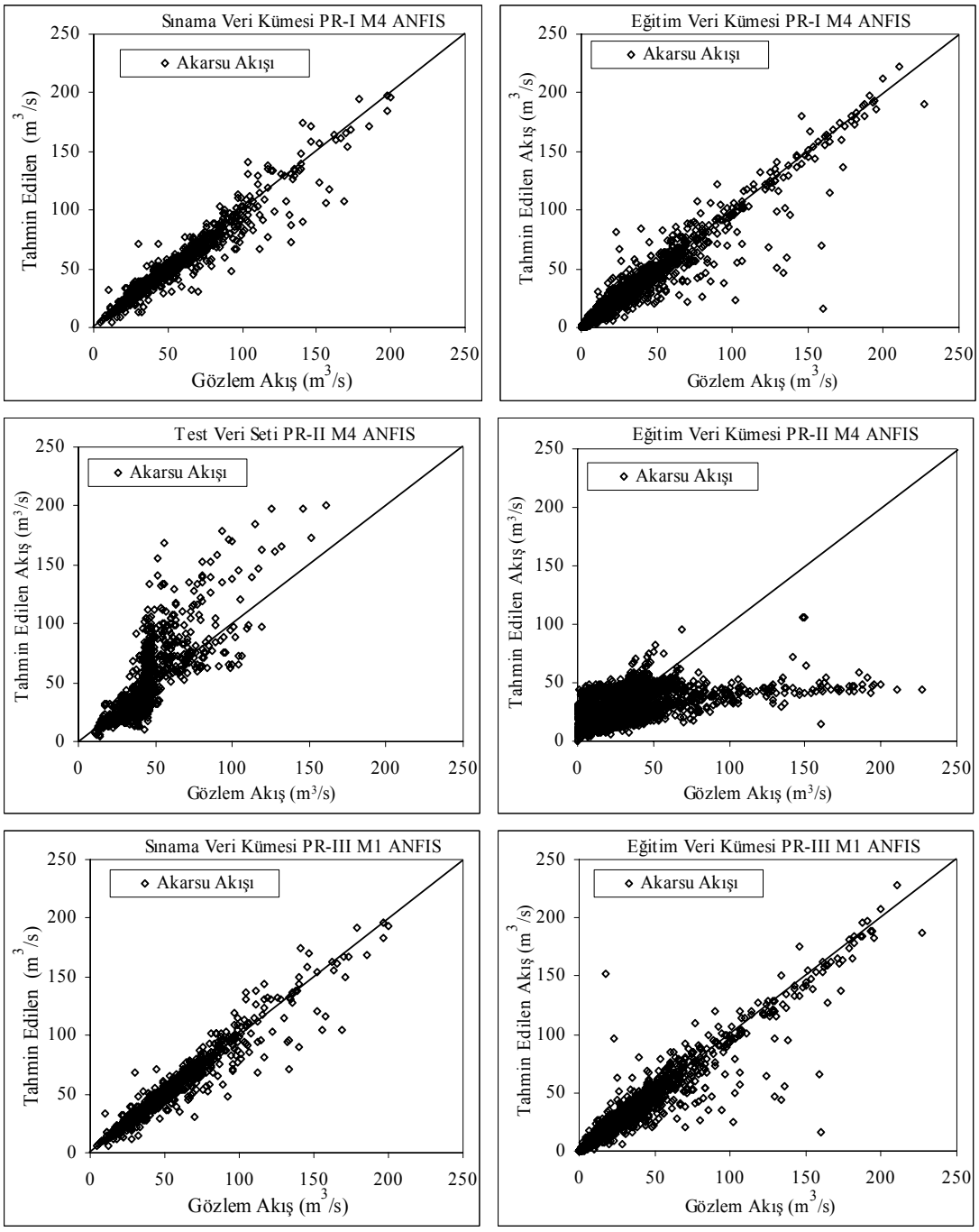
Model davranışları değerlendirildiğinde, E ve R değerlerinin genel olarak bütün modellerde birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Sadece akış verilerinden oluşan R-I M2, R-II M2 ve R-III M1 akış tahmin modelleri karşılaştırıldığında, R-II M2 tahmin modelinin başarısının diğerlerine göre düşük olduğu görülmüş, en iyi sonucu R-III M1 tahmin modeli vermiştir. Bu sonuçlara göre tahmin edilen 706 nolu AGİ'nin menbaında yer alan 712 nolu AGİ'nin model başarısını arttırdığı söylenebilir. Ayrıca sadece tahmin edilen istasyona ait akış verileri ile kurulan R-I M2 tahmin modelinin oldukça iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tablo 5.72'ye göre, BMO akış tahmini için, sadece akış veriler kullanılarak geliştirilen modeller arasında, en uygun sonucu **R-III M1** modeli vermiştir. Diğer taraftan, yağış ve akış değişkenleri kullanılarak kurulan PR-I M4, PR-II M1 ve PR-III M1 tahmin modelleri karşılaştırıldığında genel olarak model sonuçlarının oldukça iyi görülmüştür. Tabloya bakıldığında, en düşük başarı PR-II M4 olarak tanımlanan tahmin modelinden elde edilmiştir. Diğer taraftan, **PR-III M1** tahmin modeli diğer modellere göre daha iyi bir sonuç vermiştir. Ayrıca tahmin edilen istasyona ait akışlar ile yağış verileri kullanılarak kurulan PR-I M4 tahmin modelinin de iyi bir davranış gösterdiği söylenebilir. Sonuç olarak, yağış ve akış değişkenlerinin birlikte kullanılması ile kurulan modeller karşılaştırıldığında en iyi sonuç **PR-III M1** ANFIS tahmin modelinden elde edilmiştir. BMO en uygun akış tahmin modeline karar vermek için, **R-III M1** ve **PR-III M1** tahmin model sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo'daki ölçütlere göre, genel olarak PR-III M1 tahmin modeli, R-III M1 tahmin

modeline göre daha iyi davranışa sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, tahmin edilen istasyonun menbaında yer alan istasyona ait akış verilerinin ve yağış verilerinin model davranışı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Tablo'da verilen ölçütlere göre, BMO akış tahmin modelleri içinde en iyi sonucu **PR-III M1** akış tahmin modeli vermiştir. Şekil 5.49'da akış tahmin modellerinin gözlem sonuçları ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 5.49 BMO R-I M2, R-II M2 ve R-III M1 ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

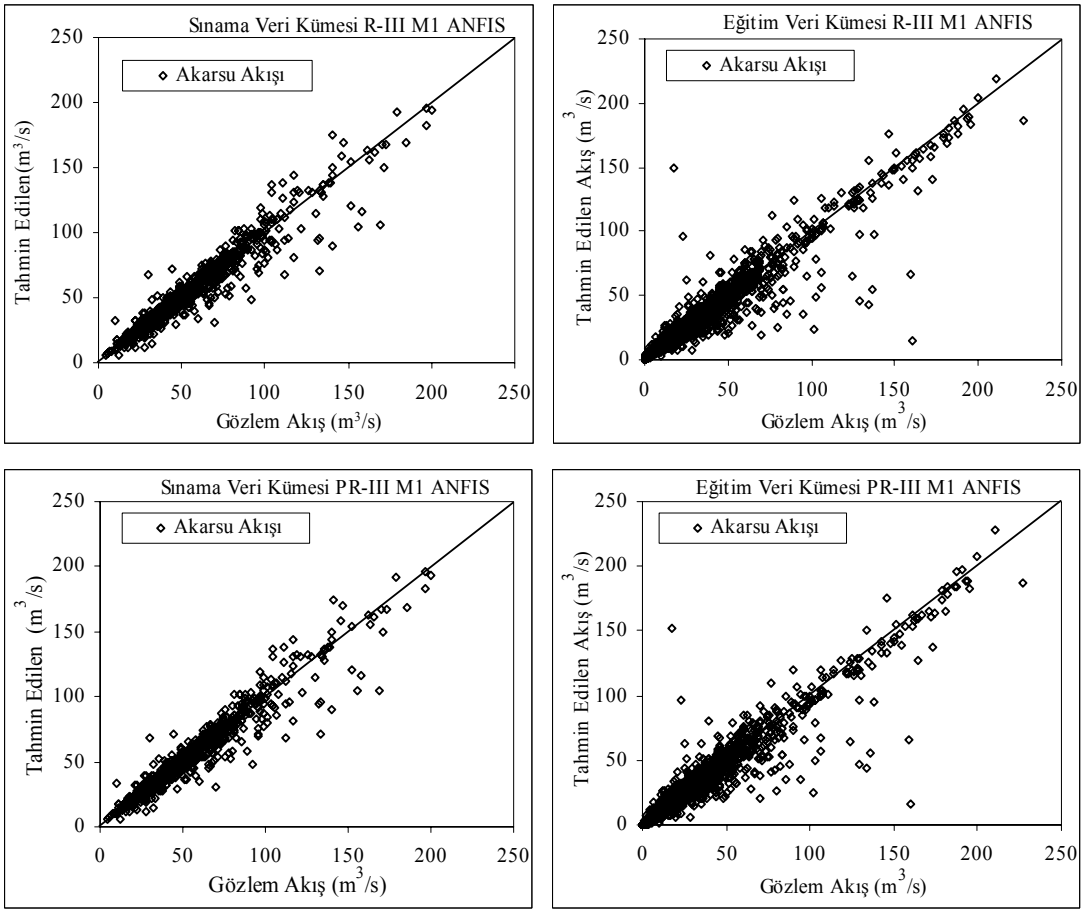
Şekillerden de görüldüğü gibi ANFIS tahmin modelleri genel olarak iyi bir davranış göstermiştir. Akış ve yağış değişkenlerinden oluşan ANFIS akış tahmin modellerinin gözlem sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 5.50'de verilmiştir.



Şekil 5.50 BMO PR-I M4, PR-II M4 ve PR-III M1 model gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

Şekillerden de görüldüğü gibi yine benzer şekilde, yağış ve akış değişkenlerinden oluşan ANFIS akış tahmin modelleri genel olarak iyi bir davranış göstermiştir. İki farklı

tipteki tahmin modellerinden en uygun sonucu veren R-III M1 ve PR-III M1 modellerinin karşılaştırılması Şekil 5.51'de verilmiştir.



Şekil 5.51 BMO R-III M1ve PR-III M1 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6. BÜYÜK MENDERES HAVZASI KATI MADDE TAHMİN MODELLERİ

Katı madde tahmini için, yine benzer şekilde, ilk önce sadece akış verilerinin kullanılması ile modeller kurulmuştur (I. tip katı madde tahmin modeli). Daha sonra bu modellere, yağış değişkenin eklenmesi ile yeni modeller geliştirilmiştir (II. tip katı madde tahmin modeli). Bütün alt havzalarda akış tahmini için yapılan bütün işlemler katı madde tahmin çalışmalarında da gerçekleştirilmiştir. Modeller kurulmadan önce veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.4'de verilmiştir. Giriş değişkenlerinin yapısı model davranışı üzerinde etkili olduğundan en uygun giriş yapısını belirlemek için korelasyonlar hesaplanmış ve Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Modellerdeki belirsizliği ortadan kaldırmak ve daha güvenilir bir tahmin gerçekleştirmek için eğitim/sınama veri küme yapısı iyi bir şekilde belirlenmelidir. Bu nedenle yapılan tüm tahmin çalışmalarında çapraz geçerlilik yöntemi kullanılmıştır. Tüm alt havzalarda bu işlemden sonra her bir eğitim/sınama veri kümesi için istatistiksel ölçütler hesaplanarak, her bir kümesin yapısı değerlendirilmiştir. Bundan sonraki adımda kurulan her bir model, her bir eğitim veri için ayrı ayrı eğitilmiş ve sınanmıştır. Modellerin davranışlarını değerlendirmek için daha önceden verilen ölçütler hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak en uygun model belirlenmiştir.

6. 1. Yukarı Büyük Menderes Alt Havzası Katı Madde Tahmini

YBM katı madde tahmini için, *713 nolu* AGI'de 1972–1985 yılları arasında ölçülen akış/katı madde verileri kullanılmış ve havzanın genel yerleşimi Şekil 4.1'de verilmiştir.

6.1.1. YBM alt havzası I. tip katı madde tahmini

Katı madde tahmininde, veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.2'de ve korelasyonlar Tablo 6.1'de verilmiştir. YBM alt havzası I. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (6.1)'de ve kurulan modeller Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

$$S(t)_{713} = f(Q(t)_{713},\ Q(t-1)_{713}, \ldots\ldots\ldots Q(t-n)_{713}) \tag{6.1}$$

Tablo 6.1 Katı madde tahmini için korelasyonlar

AGİ	Giriş Değişkeni	Pearson	Spearman	AGİ	Giriş Değişkeni	Pearson	Spearman
713	$Q(t)_{713}$	0.72	0.81	**706**	$Q(t)_{706}$	0.63	0.88
	$Q(t-1)_{713}$	0.58	0.76		$Q(t-1)_{706}$	0.57	0.81
	$Q(t-2)_{713}$	0.57	0.77		$Q(t-2)_{706}$	0.48	0.76
	$Q(t-3)_{713}$	0.56	0.77		$Q(t-3)_{706}$	0.45	0.73
	$Q(t-4)_{713}$	0.54	0.76		$Q(t-4)_{706}$	0.36	0.68
	$P(t-1)$	0.046	0.009		$Q(t-1)_{712}$	0.48	0.57
	$P(t-2)$	0.19	-0.12		$Q(t-2)_{712}$	0.40	0.55
	$P(t-3)$	-0.12	-0.18		$P(t-1)$	0.48	0.41
					$P(t-2)$	0.42	0.37
					$P(t-3)$	0.43	0.30
735	$Q(t)_{735}$	0.44	0.74	**701**	$Q(t)_{701}$	0.65	0.81
	$Q(t-1)_{735}$	0.28	0.71		$Q(t-1)_{701}$	0.25	0.74
	$Q(t-2)_{735}$	0.17	0.69		$Q(t-2)_{701}$	0.16	0.69
	$Q(t-3)_{735}$	0.13	0.66		$Q(t-3)_{701}$	0.19	0.67
	$Q(t-4)_{735}$	0.10	0.65		$Q(t-4)_{701}$	0.22	0.64
	$P(t-1)$	0.038	0.150		$P(t-1)$	0.18	0.53
	$P(t-2)$	0.011	0.132		$P(t-2)$	0.16	0.46
	$P(t-3)$	0.301	0.252		$P(t-3)$	0.24	0.41

Tablo 6.2 YBM I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S- I M1	$Q(t)_{713}$	1	$S(t)$
S- I M2	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}$	2	$S(t)$
S- I M3	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}$	3	$S(t)$
S- I M4	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ Q(t-3)_{713}$	4	$S(t)$
S- I M5	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ Q(t-3)_{713}\ Q(t-4)_{713}$	5	$S(t)$

YBM I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümelerinin yapısı Tablo 6.3'de ve eğitim/sınama veri kümeleri için hesaplanan ölçütler Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.3 YBM I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1976 – 1985	111	1972 – 1975	37
MY_2	1972 – 1975 1979 – 1985	112	1976 – 1978	36
MY_3	1972 – 1978 1982 – 1985	111	1979 – 1981	37
MY_4	1972 – 1981	110	1982 – 1985	38

Tablo 6.4 YBM I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama verilerinin yapısı

Değişken	Veri Kümesi		$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
$Q(t)_{713}$	MY_1	Eğitim Veri Kümesi	0.056	75.80	9.73	9.82	1.14
		Sınama Veri Kümesi	1.16	45.90	10.60	9.84	1.08
$S(t)_{713}$		Eğitim Veri Kümesi	5.75	897.23	106.06	129.76	2.98
		Sınama Veri Kümesi	0.48	914.28	86.16	172.19	3.62
$Q(t)_{713}$	MY_2	Eğitim Veri Kümesi	0.06	45.90	8.41	9.10	1.30
		Sınama Veri Kümesi	1.76	75.80	14.57	10.49	0.74
$S(t)_{713}$		Eğitim Veri Kümesi	0.48	914.28	111.24	154.56	3.04
		Sınama Veri Kümesi	5.75	367.49	69.47	81.24	1.84
$Q(t)_{713}$	MY_3	Eğitim Veri Kümesi	0.13	75.80	10.90	9.66	1.04
		Sınama Veri Kümesi	0.056	39.80	7.09	9.79	1.58
$S(t)_{713}$		Eğitim Veri Kümesi	0.48	914.28	82.96	127.76	3.72
		Sınama Veri Kümesi	6.46	897.23	155.44	165.76	2.61
$Q(t)_{713}$	MY_4	Eğitim Veri Kümesi	0.06	75.80	10.75	10.50	1.02
		Sınama Veri Kümesi	0.13	29.50	7.53	6.95	0.88
$S(t)_{713}$		Eğitim Veri Kümesi	0.48	914.28	104.00	149.62	3.19
		Sınama Veri Kümesi	8.04	635.62	92.63	114.68	3.05

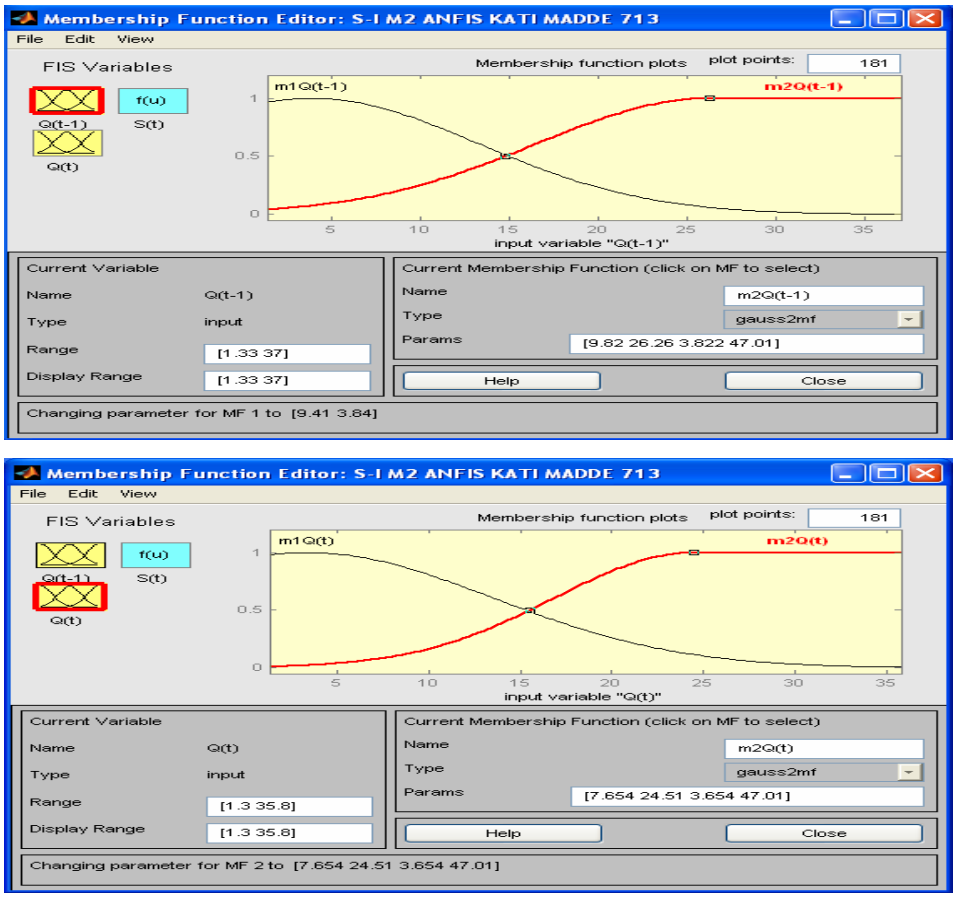
Tablo 6.2'de verilen modeller, veri kümeleri ile eğitilmiş ve davranış değerlendirme parametreleri hesaplanarak Tablo 6.5'de gösterilmiştir.

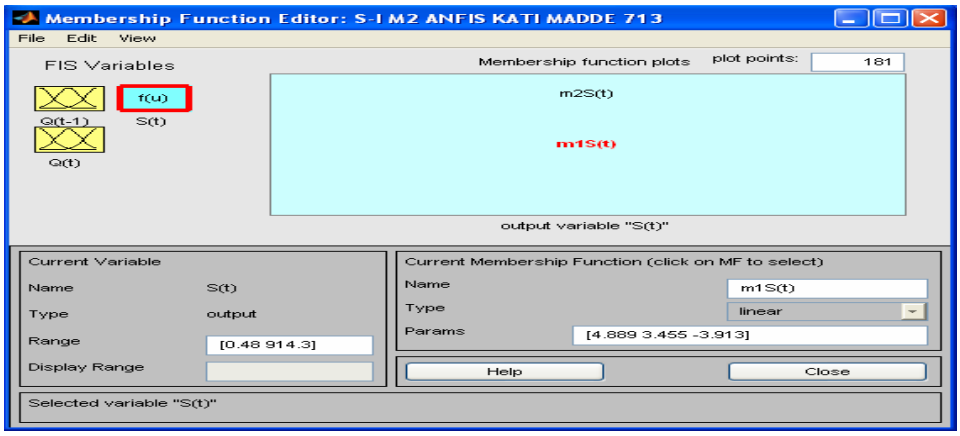
Tablo 6.5 YBM I. tip katı madde tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	S- I M1	**S- I M2**	S- I M3	S- I M4	S- I M5
KHOK	1972 – 1975	133.35	133.33	137.46	140.85	145.48
	1976 – 1978	53.39	51.04	55.26	57.16	60.32
	1979 – 1981	88.86	**75.47**	83.57	87.17	90.25
	1982 – 1985	65.47	60.651	66.88	80.56	85.46
E	1972 – 1975	0.384	0.384	0.345	0.368	0.432
	1976 – 1978	0.556	0.594	0.524	0.491	0.542
	1979 – 1981	0.705	**0.787**	0.739	0.716	0.654
	1982 – 1985	0.587	0.604	0.497	0.493	0.473
R	1972 – 1975	0.784	0.803	0.719	0.668	0.658
	1976 – 1978	0.838	0.887	0.863	0.866	0.784
	1979 – 1981	0.890	**0.893**	0.885	0.880	0.883
	1982 – 1985	0.842	0.835	0.781	0.782	0.753

Tablo 6.5'e göre, KHOK'nın en düşük değeri S-I M2'den 51.04, en yüksek değer ise, S-I M5'den 145.48 olarak hesaplanmıştır. E değerinin en yüksek değeri S-I M2'de 0.787, en düşük değeri ise S-I M3'de 0.345 olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan, en yüksek R değeri S-I M2'de 0.893, en düşük R değeri S-I M5'de 0.658 olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.5'e göre, en uygun model **S-I M2** seçilmiş olup yapısı denklem (6.2)'de ve modelin ÜF'larının yapısı Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

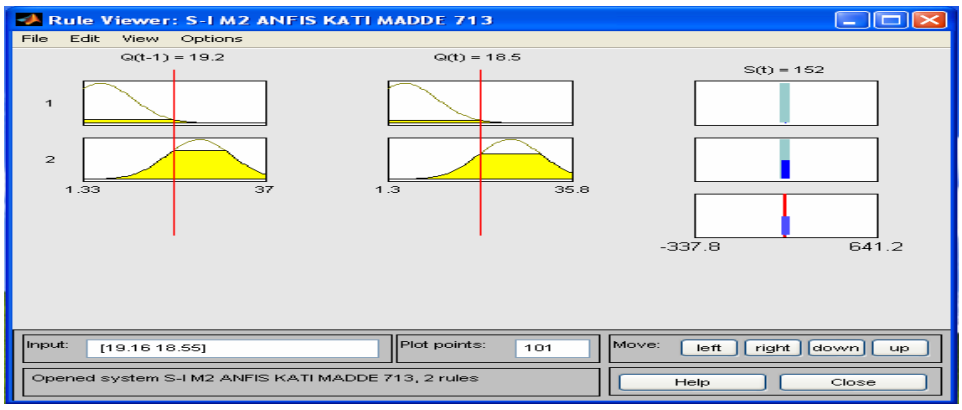
$$S(t)_{713} = f\left(Q(t)_{713}, Q(t-1)_{713}\right) \tag{6.2}$$





Şekil 6.1 YBM S-I M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

YBM S-I M2 katı madde tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 6.2 ve denklem (6.3)'de ve eğitim parametreleri Tablo 6.6'da ve bu tahmin modeli verilmiştir.



Şekil 6.2 YBM S-I M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

$$\text{EĞER } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m1Q(t) \text{ İSE } S(t)=m1S(t)$$
$$\text{EĞER } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m2Q(t) \text{ İSE } S(t)=m2S(t) \quad (6.3)$$

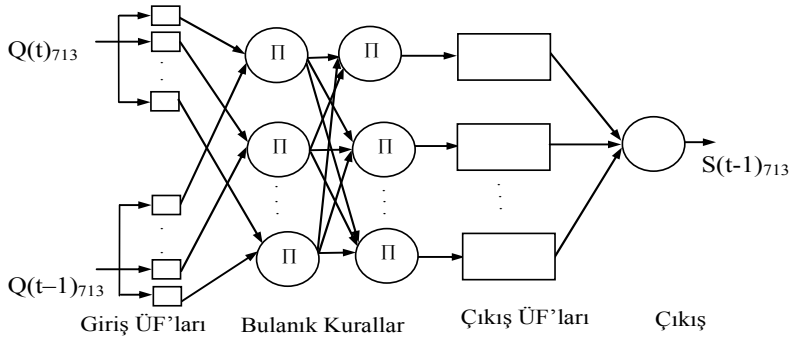
Tablo 6.6 YBM I. tip katı madde tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
2	20	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 6.6'daki ölçütlere göre, S-I M2 tahmin modeli için en düşük KHOK 51.04 olarak MY2 veri kümesinden elde edilmiştir. Ancak, E değerleri karşılaştırıldığında en iyi davranış 0.787 ile MY3 veri kümesinden elde edilmiştir. R değerlerine bakıldığında, en iyi davranışın 0.893 ile yine MY3 veri kümesinden elde edilmiştir. YBM I. tip katı madde tahmini için en uygun model S-I M2 ve en uygun veri kümesi olarak ise **MY3** seçilmiştir. MY3 veri kümesi için modellerin davranışları Tablo 6.7'de ve S-I M2 tahmin modelinin yapısı Şekil 6.3'de verilmiştir.

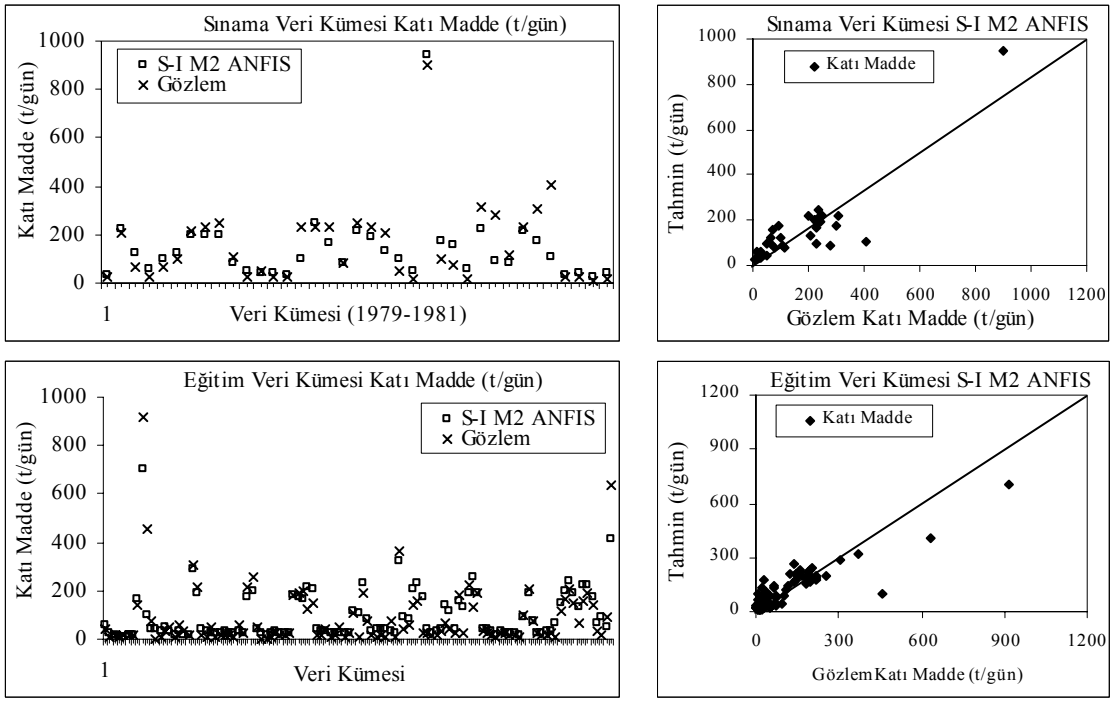
Tablo 6.7 YBM MY3 için I. tip katı madde tahmin model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	S- I M1	**S- I M2**	S- I M3	S- I M4	S- I M5
KHOK	Eğitim	59.72	57.95	59.51	63.18	65.13
	Sınama	88.86	**75.47**	83.57	87.17	90.25
E	Eğitim	0.780	0.792	0.781	0.753	0.745
	Sınama	0.705	**0.787**	0.739	0.716	0.654
R	Eğitim	0.891	0.898	0.892	0.882	0.875
	Sınama	0.890	**0.893**	0.885	0.880	0.883



Şekil 6.3 YBM I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı

S-I M2 ANFIS katı madde tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4 YBM S-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.1.2. YBM alt havzası II. tip katı madde tahmini

YBM II. tip katı madde tahmini için kurulan modellerin yapısı denklem (6.4)'de ve modeller Tablo 6.8'de verilmektedir.

$$S(t)_{713} = f(Q(t)_{713},\ Q(t-1)_{713},\ P(t-1),.....Q(t-n)_{713},\ P(t-n)) \tag{6.4}$$

Tablo 6.8 YBM II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S- II M1	$Q(t)_{713}\ P(t-1)$	2	$S(t)_{713}$
S- II M2	$Q(t)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$S(t)_{713}$
S- II M3	$Q(t)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$S(t)_{713}$
S- II M4	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ P(t-1)$	3	$S(t)_{713}$
S- II M5	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$S(t)_{713}$
S- II M6	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$S(t)_{713}$
S- II M7	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ P(t-1)$	4	$S(t)_{713}$
S- II M8	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$S(t)_{713}$
S- II M9	$Q(t)_{713}\ Q(t-1)_{713}\ Q(t-2)_{713}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$S(t)_{713}$

YBM II. tip katı madde tahmini için, I. tip katı madde tahmininde en iyi sonucu veren MY3 veri kümesi kullanılmış ve yapısı Tablo 6.9 verilmiştir. Tablo 6.8'de verilen modeller, MY3 kümesi ile eğitilmiş ve davranış değerlendirilmiştir (Tablo 6.10).

Tablo 6.9 YBM II. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1976 – 1985	111	1972 – 1975	37
MY_2	1972 – 1975 1979 – 1985	112	1976 – 1978	36
MY_3	1972 – 1978 1982 – 1985	111	1979 – 1981	37
MY_4	1972 – 1981	110	1982 – 1985	38

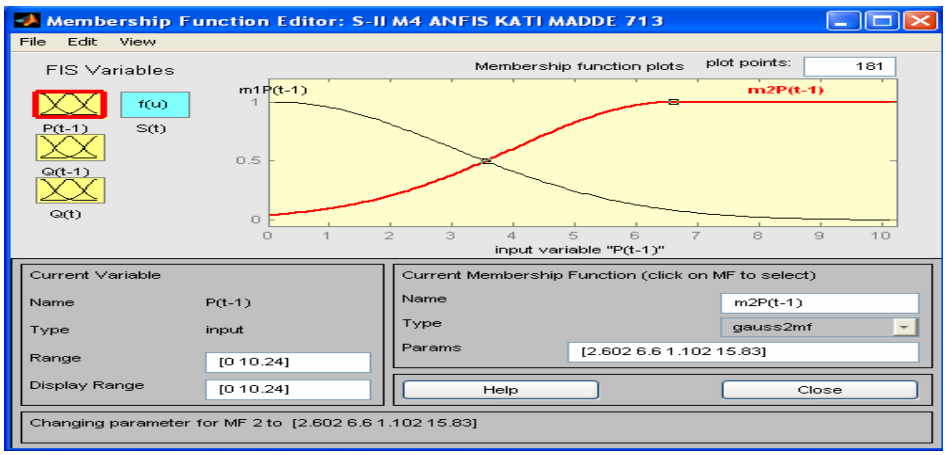
Tablo 6.10 YBM II. tip katı madde tahmini için model davranışları

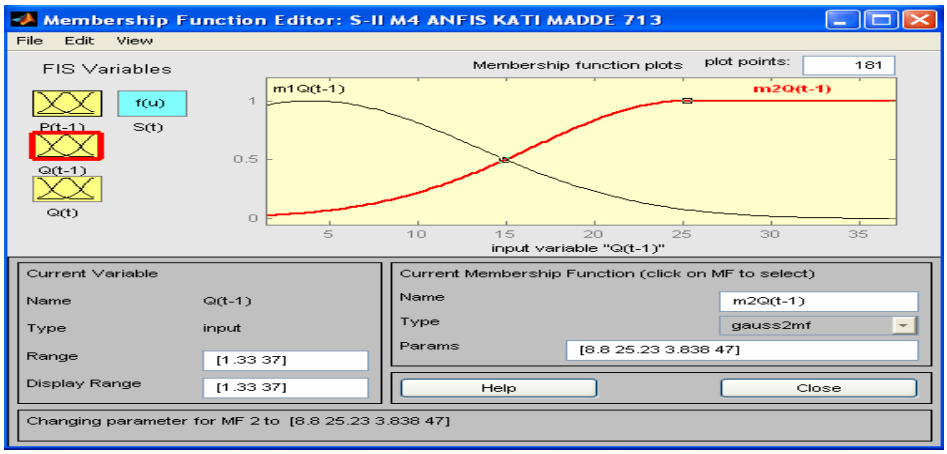
ANFIS Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S- II M1	107.18	0.570	0.785	80.53	0.599	0.779
S- II M2	85.96	0.723	0.863	83.43	0.580	0.759
S- II M3	90.76	0.692	0.841	83.40	0.570	0.760
S- II M4	**71.70**	**0.808**	**0.904**	71.43	0.685	0.836
S- II M5	81.78	0.749	0.875	77.15	0.632	0.803
S- II M6	91.88	0.684	0.842	83.78	0.566	0.757
S- II M7	87.68	0.712	0.875	85.62	0.547	0.745
S- II M8	83.72	0.738	0.878	85.27	0.550	0.748
S- II M9	89.79	0.698	0.848	85.40	0.548	0.746

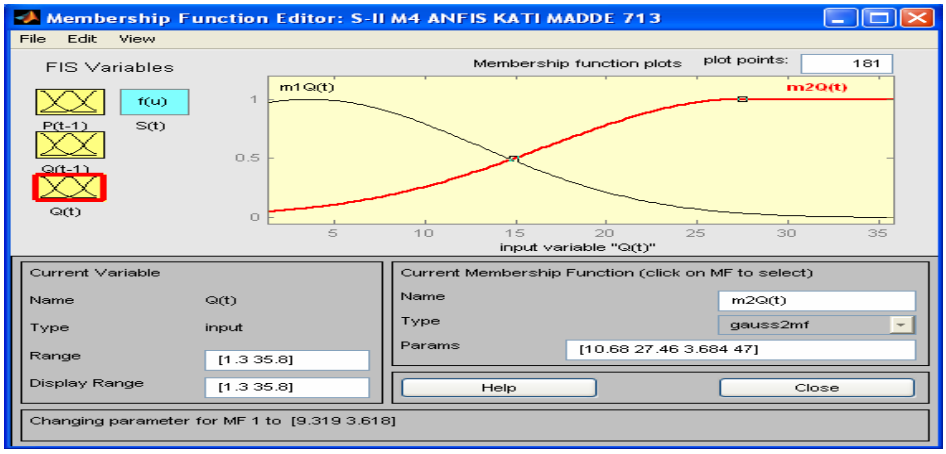
Tablo 6.10'a göre, en düşük KHOK değeri S-II M4'den 71.70, en yüksek değer ise, S-II M1'den 107.18 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, en yüksek E değeri S-II M4'den 0.808, en düşük E değeri ise S-II M1'den 0.570 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, en

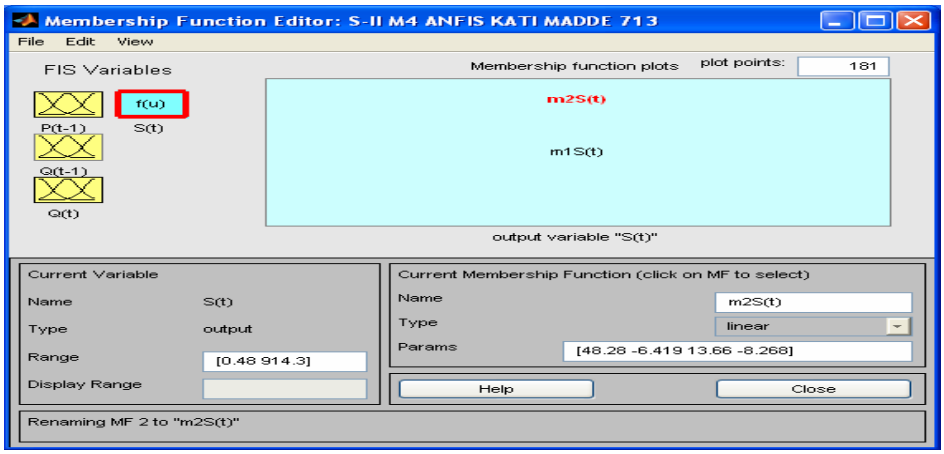
yüksek R değeri S-II M4'de 0.904, en düşük R değeri ise S-II M1'de 0.785 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, en uygun model S-II M4 seçilmiş olup yapısı denklem (6.5)'de ve ÜF'ları Şekil 6.5'de verilmiştir.

$$S(t)_{713} = f(Q(t)_{713}, Q(t-1)_{713)}, P(t-1)) \tag{6.5}$$



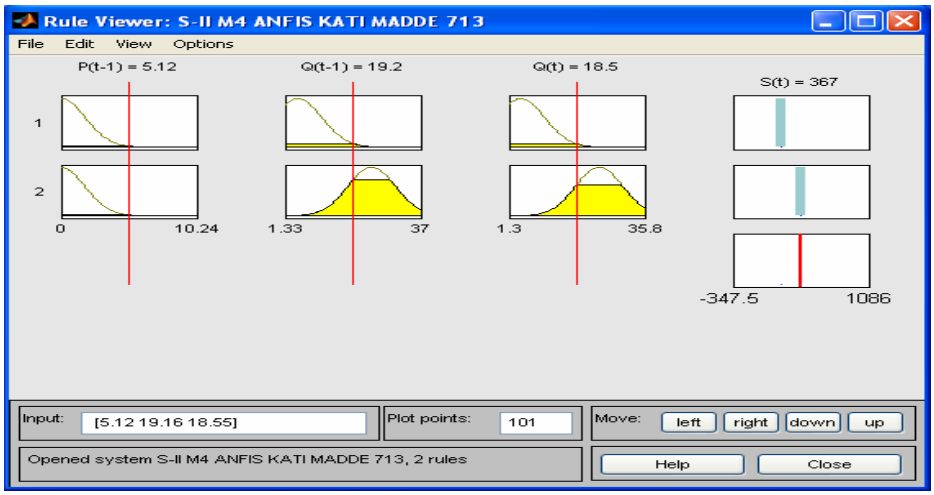






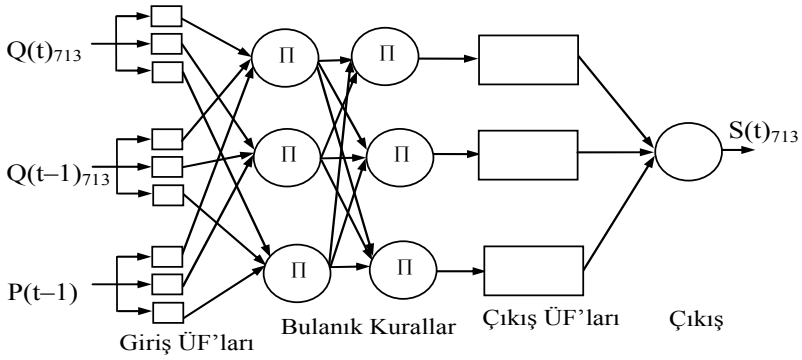
Şekil 6.5 YBM S-II M4 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

YBM S-II M4 modeli için yazılan kurallar Şekil 6.6 ve denklem (6.6)'da, eğitim parametreleri Tablo 6.11'de ve yapısı Şekil 6.7'de ve bu model verilmektedir.



Şekil 6.6 YBM S-II M4 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

EĞER $P(t-1)=m1P(t-1)$ VE $Q(t-1)=m1Q(t-1)$ VE $Q(t)=m1Q(t)$ İSE $S(t)=m1S(t)$
EĞER $P(t-1)=m2P(t-1)$ VE $Q(t-1)=m2Q(t-1)$ VE $Q(t)=m2Q(t)$ İSE $S(t)=m2S(t)$ (6.6)

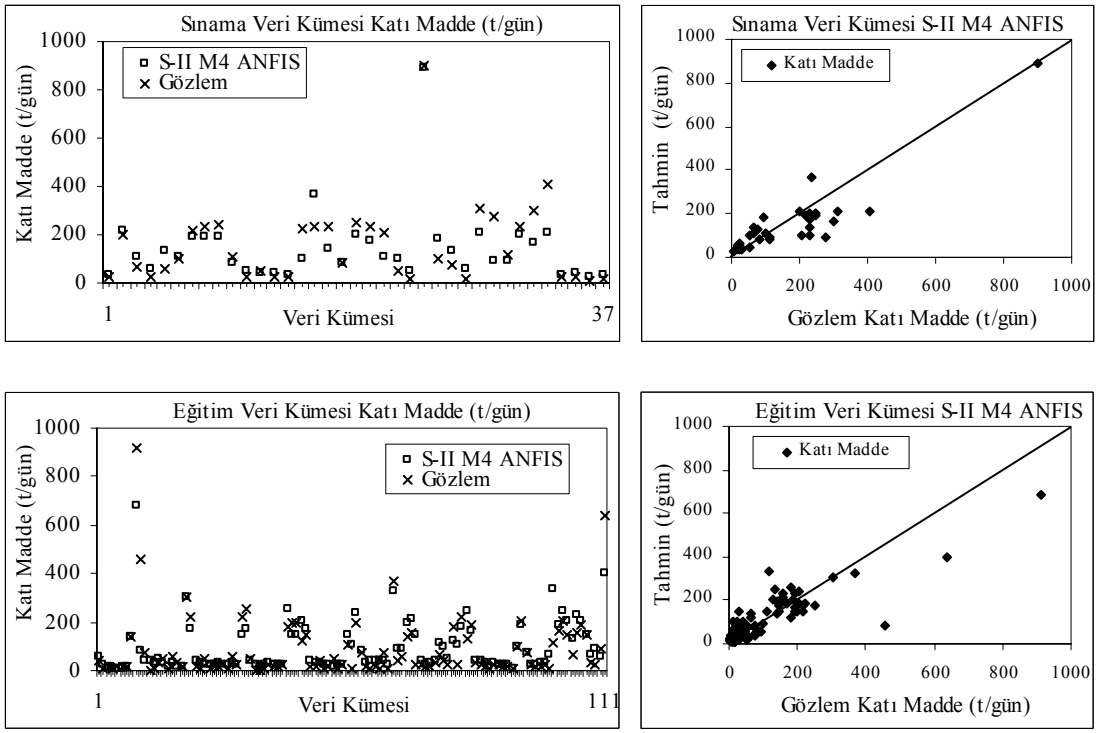


Şekil 6.7 YBM II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı

Tablo 6.11 YBM II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
2	30	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

S-II M4 ANFIS katı madde tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.8 YBM S-II M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.2. Banaz Çayı Alt Havzası Katı Madde Tahmini

Banaz çayı katı madde tahmini için, 735 nolu AGİ'den, 1988–2000 yılları arasında gözlenmiş veriler kullanılmış ve alt havzasının yerleşimi Şekil 4.1'de verilmiştir.

6.2.1. Banaz çayı alt havzası I. tip katı madde tahmini

Banaz çayı alt havzası I. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (6.6)'da ve kurulan modeller Tablo 6.12'de verilmiştir. Ayrıca, I. tip katı madde tahmininde kullanılan veri kümelerinin yapısı Tablo 6.13'de gösterilmiştir.

$$S(t)_{735} = f(Q(t)_{735}, Q(t-1)_{735} + ...Q(t-n)_{735} \qquad (6.6)$$

Tablo 6.12 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S-I M1	$Q(t)_{735}$	1	$S(t)$
S-I M2	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}$	2	$S(t)$
S-I M3	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}$	3	$S(t)$
S-I M4	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}$	4	$S(t)$
S-I M5	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ Q(t-3)_{735}\ Q(t-4)_{735}$	5	$S(t)$

Tablo 6.13 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayı	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı
MY_1	1992 – 1998	80	1989 – 1991	29
MY_2	1989 – 1991 1995 – 1998	84	1992 – 1993	25
MY_3	1989 – 1995 1996 – 1998	85	1994 – 1995	24
MY_4	1989 – 1996	78	1996 – 1998	31

Eğitim/sınama kümeleri için hesaplanan istatistik ölçütler Tablo 6.14'de ve kurulan modeller eğitilmiş ve davranış değerlendirme ölçütleri Tablo 6.15'de verilmiştir

Tablo 6.14 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için veri kümelerinin yapısı

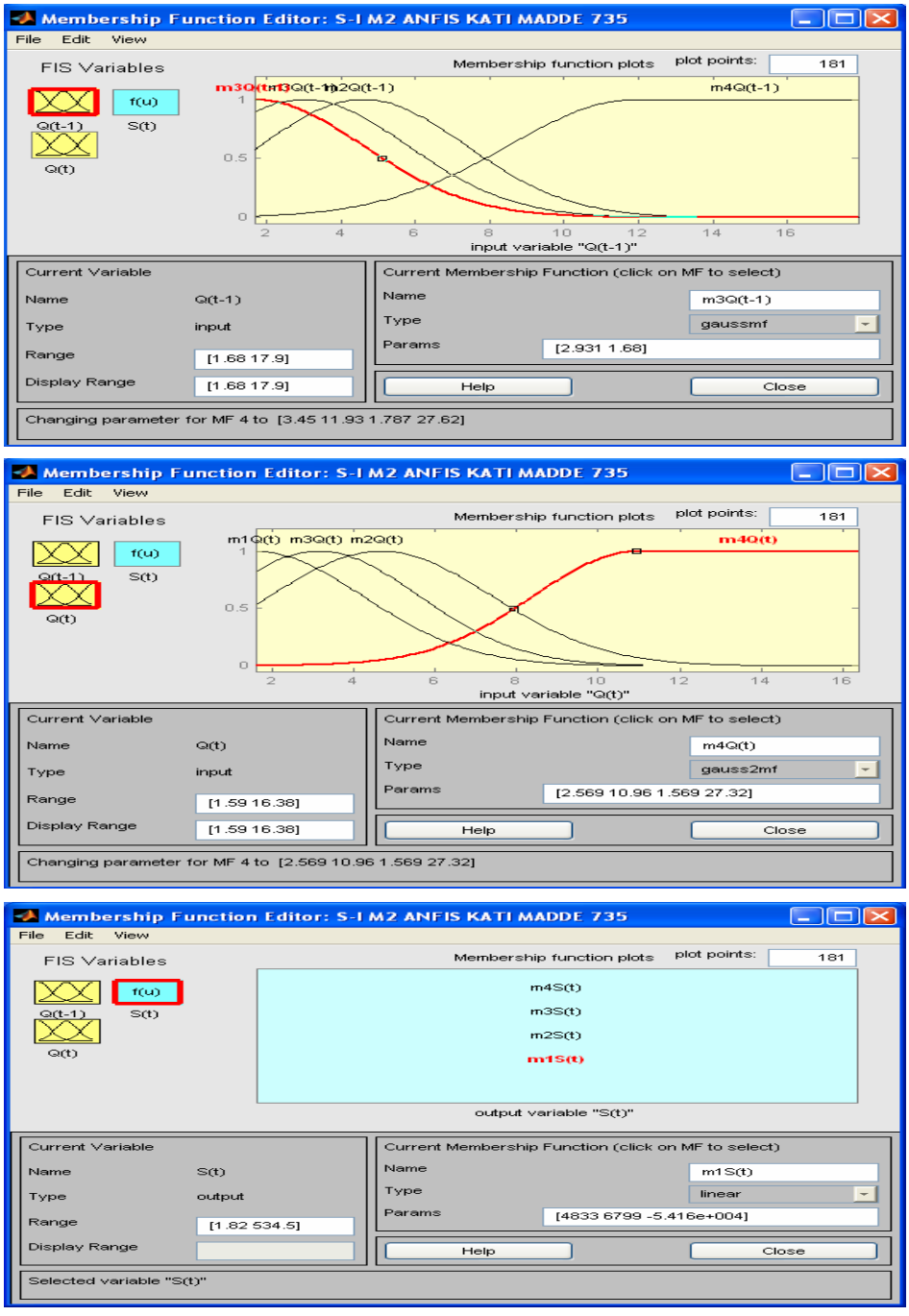
Değişken	Veri Kümesi		$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
Akış	MY_1	Eğitim Veri Kümesi	1.59	16.38	5.03	3.60	1.39
		Sınama Veri Kümesi	2.10	10.48	4.61	2.15	0.83
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	2.65	571.49	77.14	115.18	2.75
		Sınama Veri Kümesi	1.82	320.68	40.71	65.67	3.21
Akış	MY_2	Eğitim Veri Kümesi	1.59	16.38	5.10	3.45	1.40
		Sınama Veri Kümesi	1.78	10.72	4.32	2.58	1.42
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	1.82	534.53	67.42	101.65	2.71
		Sınama Veri Kümesi	5.74	571.49	66.78	117.86	3.70
Akış	MY_3	Eğitim Veri Kümesi	1.59	16.38	4.98	3.23	1.42
		Sınama Veri Kümesi	1.72	14.91	4.70	3.51	1.69
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	1.82	571.49	68.87	103.36	2.80
		Sınama Veri Kümesi	4.05	534.53	61.43	113.36	3.73
Akış	MY_4	Eğitim Veri Kümesi	1.72	14.91	4.55	2.73	1.53
		Sınama Veri Kümesi	1.59	16.38	5.85	4.27	1.00
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	1.82	571.49	55.36	99.15	3.85
		Sınama Veri Kümesi	2.65	402.99	97.82	115.11	1.74

Tablo 6.15 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	S-I M1	**S-I M2**	S-I M3	S-I M4	S-I M5
KHOK	1989 – 1991	35.34	41.57	50.16	49.54	52.64
	1991 – 1994	66.70	**55.46**	64.29	58.82	56.48
	1994 – 1997	72.63	61.55	79.02	68.83	71.35
	1997 – 2000	71.33	74.94	73.37	72.65	76.14
E	1989 – 1991	0.700	0.589	0.655	0.697	0.684
	1991 – 1994	0.667	**0.769**	0.690	0.740	0.721
	1994 – 1997	0.534	0.692	0.492	0.614	0.605
	1997 – 2000	0.595	0.553	0.572	0.584	0.544
R	1989 – 1991	0.877	0.865	0.872	0.808	0.784
	1991 – 1994	0.893	**0.914**	0.834	0.888	0.798
	1994 – 1997	0.743	0.854	0.728	0.785	0.765
	1997 – 2000	0.787	0.806	0.785	0.768	0.754

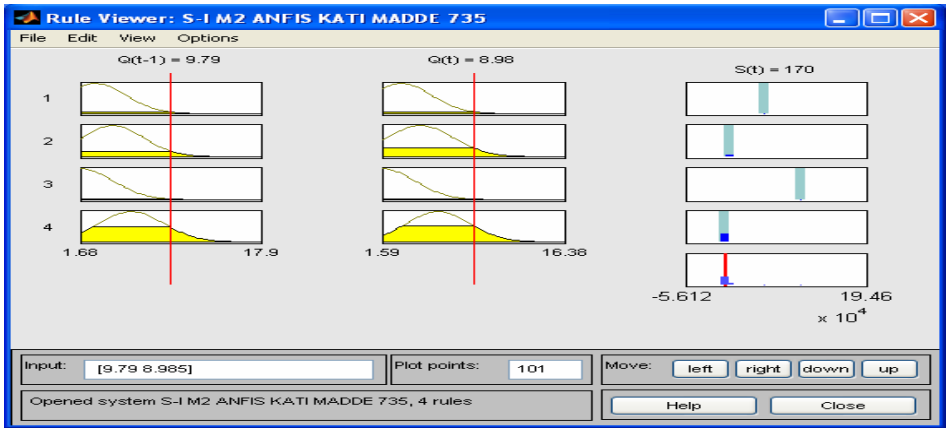
Tablo 6.15'e bakıldığında, KHOK'nın en düşük değeri S-I M1'den 35.34, en yüksek değer ise, S-I M3'den 79.02 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-I M2'den 0.769, en düşük değer S-I M3'den 0.492 olarak hesaplanmıştır. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-I M2'de 0.914, en düşük değer S-I M3'de 0.728 olduğu görülmüştür. Tablo 6.15'e göre, en uygun model **S-I M2** seçilmiş olup yapısı denklem (6.7)'de ve ÜF'ları Şekil 6.9'da verilmiştir.

$$S(t)_{735} = f(Q(t)_{713}, Q(t-1)_{735}) \tag{6.7}$$



Şekil 6.9 Banaz çayı S-I M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

Banaz çayı R-I M2 tahmin modeli model için yazılan kurallar Şekil 6.10 ve denklem (6.8)'de ve eğitim parametreleri Tablo 6.16'da ve bu verilmektedir.



Şekil 6.10 Banaz çayı S-I M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

$$\begin{aligned}
&\text{EĞER } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m1Q(t) \text{ İSE } S(t)=m1S(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m2Q(t) \text{ İSE } S(t)=m2S(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-1)=m3Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m3Q(t) \text{ İSE } S(t)=m3S(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-1)=m4Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m4Q(t) \text{ İSE } S(t)=m4S(t)
\end{aligned} \qquad (6.8)$$

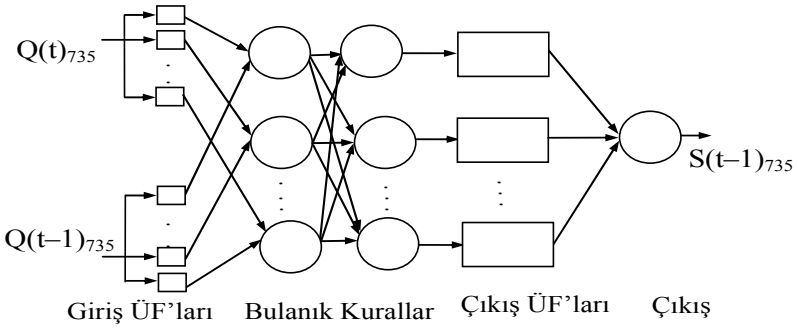
Tablo 6.16 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
4	50	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 6.15'e göre, en uygun model belirlendikten sonra, yine bu tabloya göre, en uygun küme yapısı belirlenmiştir. S-I M2 modeli için en düşük KHOK 41.57 olarak MY1 veri kümesinden elde edilmiştir. Ancak, E değerleri karşılaştırıldığında en iyi davranış 0.769 ile MY2 veri kümesinden elde edilmiştir. R değerlerine bakıldığında, en iyi davranışın 0.914 ile MY2 veri kümesinden elde edildiği görülmüştür. Tablo 6.15'e göre, en uygun veri kümesi **MY2** seçilmiş ve bu küme için modellerin eğitim/sınama davranışları Tablo 6.17'de ve **S-I M2** modelinin yapısı Şekil 6.11'de verilmiştir.

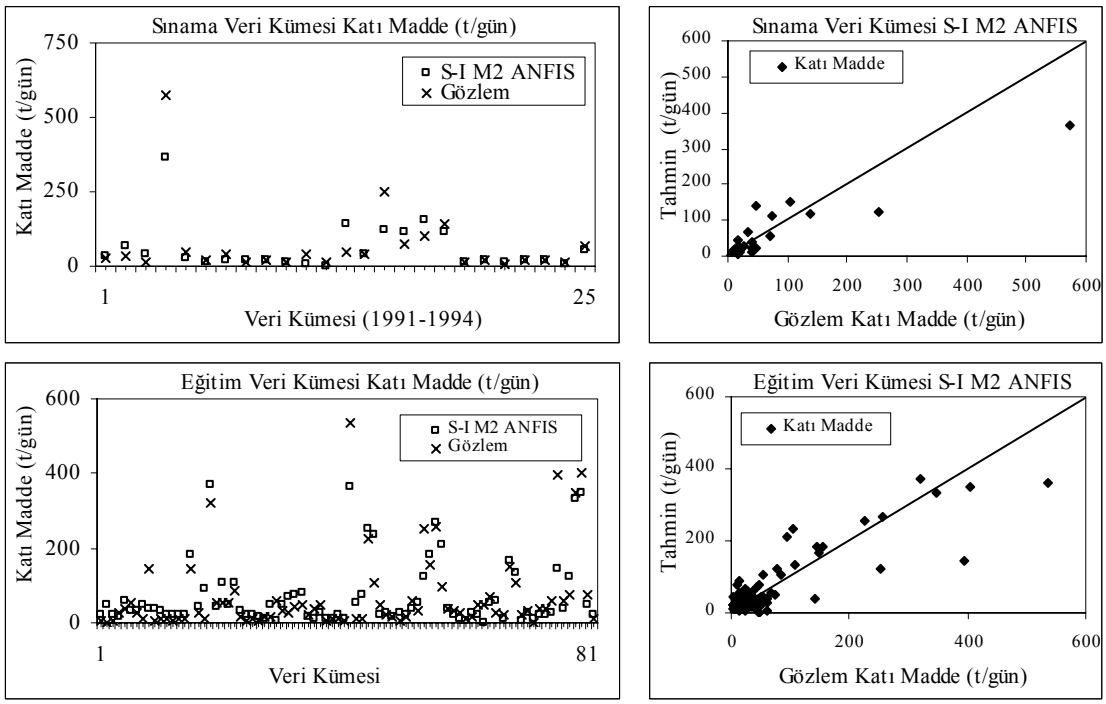
Tablo 6.17 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	S-I M1	S-I M2	S-I M3	S-I M4	S-I M5
KHOK	Eğitim	59.64	50.19	56.55	48.57	52.45
	Sınama	66.70	55.46	64.29	58.82	56.48
E	Eğitim	0.652	0.753	0.687	0.769	0.754
	Sınama	0.667	0.769	0.690	0.740	0.721
R	Eğitim	0.807	0.868	0.829	0.877	0.820
	Sınama	0.893	0.914	0.834	0.888	0.798



Şekil 6.11 Banaz çayı I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı

S-I M2 ANFIS tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12 Banaz çayı S-I M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.2.2. Banaz çayı alt havzası II. tip katı madde tahmini

Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için, 735 nolu AGİ'den ve yağış gözlem istasyonlarından alınan veriler kullanılmıştır. II. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin yapısı denklem (6.9)'de ve kurulan modeller Tablo 6.18'de gösterilmiştir.

$$S(t)_{735} = f(Q(t)_{735},\ Q(t-1)_{735},\ P(t-1),.....Q(t-n)_{735},\ P(t-n)) \qquad (6.9)$$

Tablo 6.18 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S-II M1	$Q(t)_{735}\ P(t-1)$	2	$S(t)_{735}$
S-II M2	$Q(t)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$S(t)_{735}$
S-II M3	$Q(t)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$S(t)_{735}$
S-II M4	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ P(t-1)$	3	$S(t)_{735}$
S-II M5	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$S(t)_{735}$
S-II M6	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$S(t)_{735}$
S-II M7	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ P(t-1)$	4	$S(t)_{735}$
S-II M8	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$S(t)_{735}$
S-II M9	$Q(t)_{735}\ Q(t-1)_{735}\ Q(t-2)_{735}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$S(t)_{735}$

II. tip katı madde tahmini için, I. tip tahminde en iyi sonucu veren MY2 veri kümesi kullanılmış olup yapısı Tablo 6.19'da verilmiştir. Ayrıca, Tablo 6.18'deki modeller, MY2 veri kümesi için eğitilmiş ve davranışları değerlendirilmiştir (Tablo 6.20).

Tablo 6.19 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

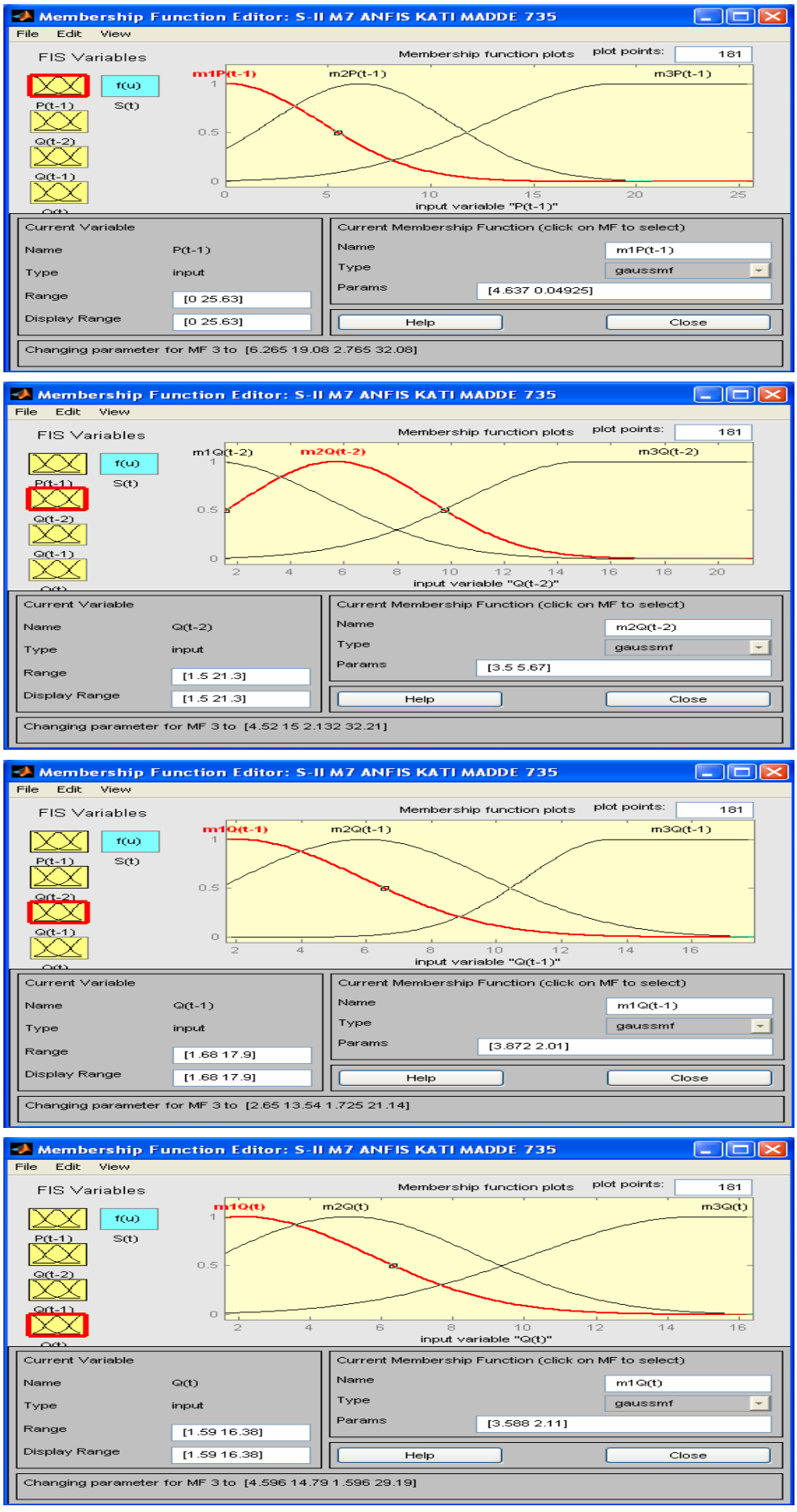
	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1992 – 1998	80	1989 – 1991	29
MY_2	1989 – 1991 1995 – 1998	84	1992 – 1993	25
MY_3	1989 – 1995 1996 – 1998	85	1994 – 1995	24
MY_4	1989 – 1996	78	1996 – 1998	31

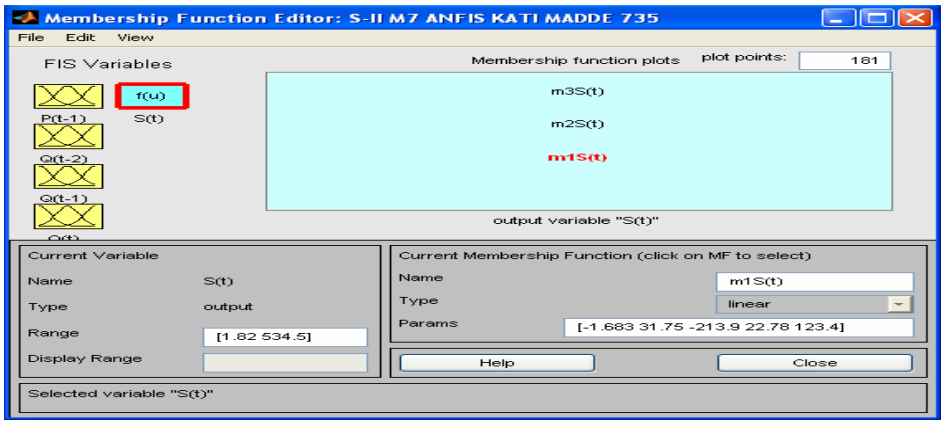
Tablo 6.20 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için model davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-II M1	66.24	0.671	0.891	59.15	0.657	0.811
S-II M2	63.99	0.693	0.893	56.46	0.688	0.830
S-II M3	72.74	0.603	0.857	44.52	0.806	0.898
S-II M4	78.25	0.541	0.761	59.46	0.654	0.808
S-II M5	78.16	0.542	0.764	59.37	0.655	0.809
S-II M6	80.45	0.515	0.771	53.52	0.714	0.848
S-II M7	**44.85**	**0.849**	**0.928**	49.89	0.759	0.870
S-II M8	64.30	0.690	0.856	51.06	0.745	0.864
S-II M9	69.44	0.638	0.837	49.87	0.750	0.858

Tablo 6.20'ye göre, KHOK'nın en düşük değeri S-II M7'den 44.85, en yüksek değer ise, S-II M6'dan 80.45 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-II M7'den 0.849, en düşük değer S-II M6'den 0.515 olarak hesaplanmıştır. R değerlerine bakıldığında, en yüksek değer S-II M7'de 0.928, en düşük değer S-II M4'de 0.761 olduğu görülmüş olup Tablo 6.20'ye göre, en uygun model S-II M7 seçilmiş olup yapısı denklem (6.10)'da ve ÜF'ları Şekil 6.13'de verilmiştir.

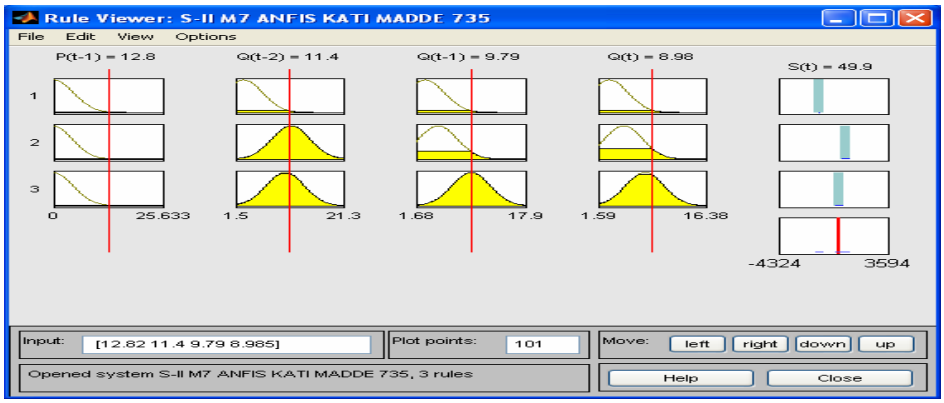
$$S(t)_{735} = f(Q(t)_{735},\ Q(t-1)_{735},\ Q(t-2)_{735},\ P(t-1)) \tag{6.10}$$


Membership Function Editor: S-II M7 ANFIS KATI MADDE 735
File Edit View
FIS Variables
f(u)
P(t-1)
S(t)
Q(t-2)
Q(t-1)
Membership function plots
plot points: 181
m1P(t-1)
m2P(t-1)
m3P(t-1)
input variable "P(t-1)"
Current Variable
Name P(t-1)
Type input
Range [0 25.63]
Display Range [0 25.63]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name m1P(t-1)
Type gaussmf
Params [4.637 0.04925]
Help
Close
Changing parameter for MF 3 to [6.265 19.08 2.765 32.08]
Membership Function Editor: S-II M7 ANFIS KATI MADDE 735
File Edit View
FIS Variables
f(u)
P(t-1)
S(t)
Q(t-2)
Q(t-1)
Membership function plots
plot points: 181
m1Q(t-2)
m2Q(t-2)
m3Q(t-2)
input variable "Q(t-2)"
Current Variable
Name Q(t-2)
Type input
Range [1.5 21.3]
Display Range [1.5 21.3]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name m2Q(t-2)
Type gaussmf
Params [3.5 5.67]
Help
Close
Changing parameter for MF 3 to [4.52 15 2.132 32.21]
Membership Function Editor: S-II M7 ANFIS KATI MADDE 735
File Edit View
FIS Variables
f(u)
P(t-1)
S(t)
Q(t-2)
Q(t-1)
Membership function plots
plot points: 181
m1Q(t-1)
m2Q(t-1)
m3Q(t-1)
input variable "Q(t-1)"
Current Variable
Name Q(t-1)
Type input
Range [1.68 17.9]
Display Range [1.68 17.9]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name m1Q(t-1)
Type gaussmf
Params [3.872 2.01]
Help
Close
Changing parameter for MF 3 to [2.65 13.54 1.725 21.14]
Membership Function Editor: S-II M7 ANFIS KATI MADDE 735
File Edit View
FIS Variables
f(u)
P(t-1)
S(t)
Q(t-2)
Q(t-1)
Membership function plots
plot points: 181
m1Q(t)
m2Q(t)
m3Q(t)
input variable "Q(t)"
Current Variable
Name Q(t)
Type input
Range [1.59 16.38]
Display Range [1.59 16.38]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name m1Q(t)
Type gaussmf
Params [3.588 2.11]
Help
Close
Changing parameter for MF 3 to [4.596 14.79 1.596 29.19]



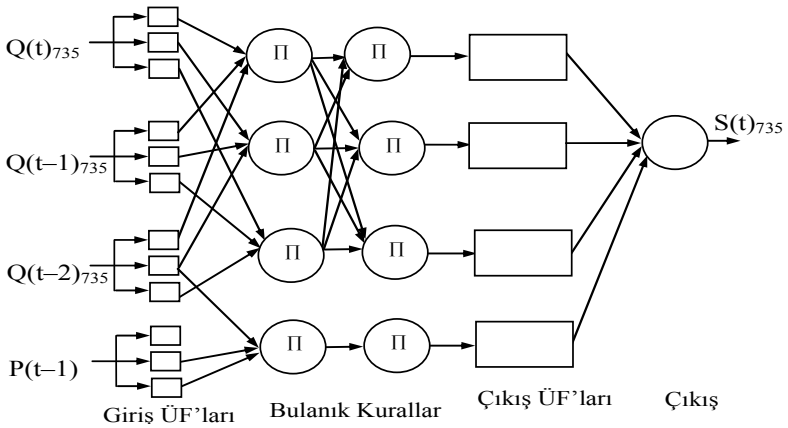
Şekil 6.13 Banaz çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

Banaz çayı S-II M7 tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 6.14 ve denklem (6.11)'de, eğitim parametreleri Tablo 6.21'de ve yapısı Şekil 6.15'de verilmektedir.



Şekil 6.14 Banaz çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

$$
\begin{aligned}
&\text{EĞER } P(t-1)=m1P(t-1)\ \text{VE}\ Q(t-2)=m1Q(t-2)\ \text{VE}\ Q(t-1)=m1Q(t-1)\ \text{VE}\\
&Q(t)=m1Q(t)\ \text{İSE}\ S(t)=m1S(t)\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m2P(t-1)\ \text{VE}\ Q(t-2)=m2Q(t-2)\ \text{VE}\ Q(t-1)=m2Q(t-1)\ \text{VE}\\
&Q(t)=m2Q(t)\ \text{İSE}\ S(t)=m2S(t)\\
&\text{EĞER } P(t-1)=m3P(t-1)\ \text{VE}\ Q(t-2)=m3Q(t-2)\ \text{VE}\ Q(t-1)=m3Q(t-1)\ \text{VE}\\
&Q(t)=m3Q(t)\ \text{İSE}\ S(t)=m3S(t)
\end{aligned}
\qquad (6.11)
$$

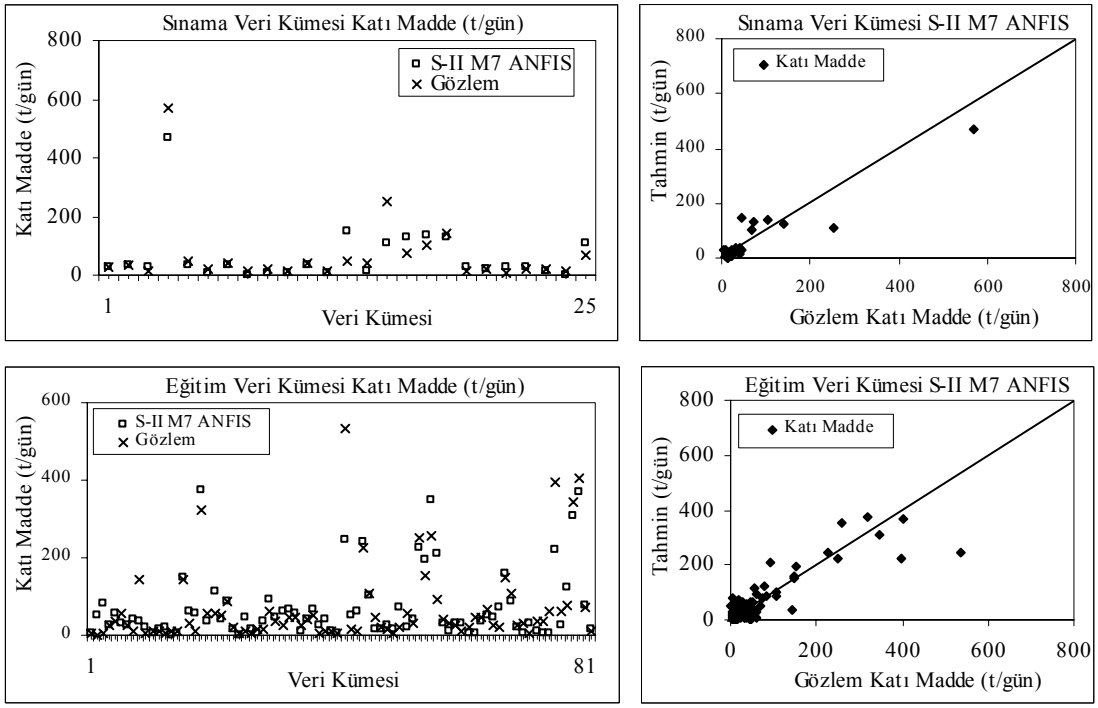


Şekil 6.15 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı

Tablo 6.21 Banaz çayı II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
3	40	Gauss –3	Çarpım	En küçükleme	En büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

S-II M7 tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.16'da verilmiştir.



Şekil 6.16 Banaz çayı S-II M7 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.3. Çine Çayı Alt Havzası Katı Madde Tahmini

Çine çayı katı madde tahmini için, *701* nolu AGİ'de ölçülen akış/katı madde verileri kullanılmış olup havzanın genel yerleşimi Şekil 4.1'de verilmiştir

6.3.1. Çine çayı alt havzası I. tip katı madde tahmini

Katı madde tahmininde veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.4'de ve korelasyonlar Tablo 6.1'de verilmiştir. I. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin yapısı denklem (6.12)'de ve modeller Tablo 6.22'de gösterilmiştir. I. tip katı madde tahmini için kullanılan veri kümelerinin yapısı Tablo 6.23'de, veri kümeleri için hesaplanan ölçütler Tablo 6.24'de verilmiştir.

$$S(t)_{701} = f(Q(t)_{701}, Q(t-1)_{701}, ...Q(t-n)_{701}) \qquad (6.12)$$

Tablo 6.22 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
R-I M1	$Q(t)_{701}$	1	$S(t)_{701}$
R-I M2	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}$	2	$S(t)_{701}$
R-I M3	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}$	3	$S(t)_{701}$
R-I M4	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}$	4	$S(t)_{701}$
R-I M5	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ Q(t-4)_{701}$	5	$S(t)_{701}$

Tablo 6.23 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1977 – 2000	299	1967 – 1976	96
MY_2	1967 – 1976 1985 – 2000	297	1977 – 1984	98
MY_3	1967 – 1984 1993 – 2000	292	1985 – 1992	103
MY_4	1967 – 1992	297	1993 – 2000	98

Kurulan modellerin eğitim ve sınama işleminden sonra bütün modeller için davranış değerlendirme parametreleri hesaplanarak Tablo 6.25'de gösterilmiştir.

Tablo 6.24 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için veri kümelerinin yapısı

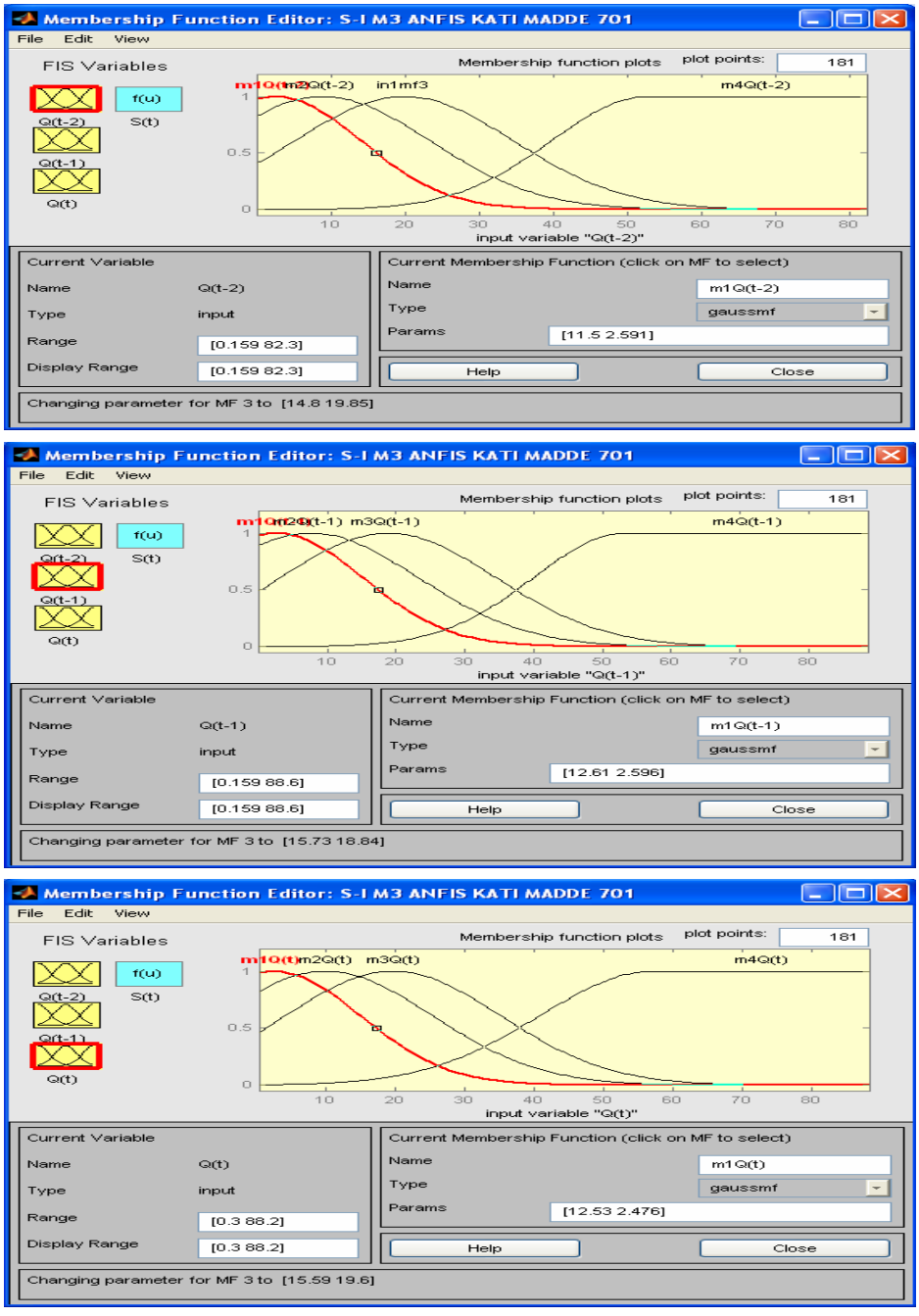
Değişken	Veri Kümesi		$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
Akış	MY_1	Eğitim Veri Kümesi	0.04	88.20	7.02	13.08	3.32
		Sınama Veri Kümesi	0.30	69.80	7.29	10.46	3.17
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	0.20	7009.20	232.24	801.71	5.27
		Sınama Veri Kümesi	0.60	6223.70	184.41	749.47	6.52
Akış	MY_2	Eğitim Veri Kümesi	0.04	71.48	6.71	12.03	3.21
		Sınama Veri Kümesi	0.70	88.20	8.28	13.81	3.53
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	0.20	7009.20	193.39	725.22	6.51
		Sınama Veri Kümesi	0.70	5279.20	306.61	961.84	3.82
Akış	MY_3	Eğitim Veri Kümesi	0.30	88.20	7.91	12.83	3.09
		Sınama Veri Kümesi	0.04	71.48	4.78	11.17	4.41
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	0.60	6223.70	226.86	751.58	5.10
		Sınama Veri Kümesi	0.20	7009.20	202.77	887.84	6.19
Akış	MY_4	Eğitim Veri Kümesi	0.04	88.20	6.72	11.92	3.71
		Sınama Veri Kümesi	0.31	62.94	8.16	14.01	2.53
Katı Madde		Eğitim Veri Kümesi	0.20	7009.20	230.06	869.21	5.27
		Sınama Veri Kümesi	9.43	4330.23	292.06	777.13	3.77

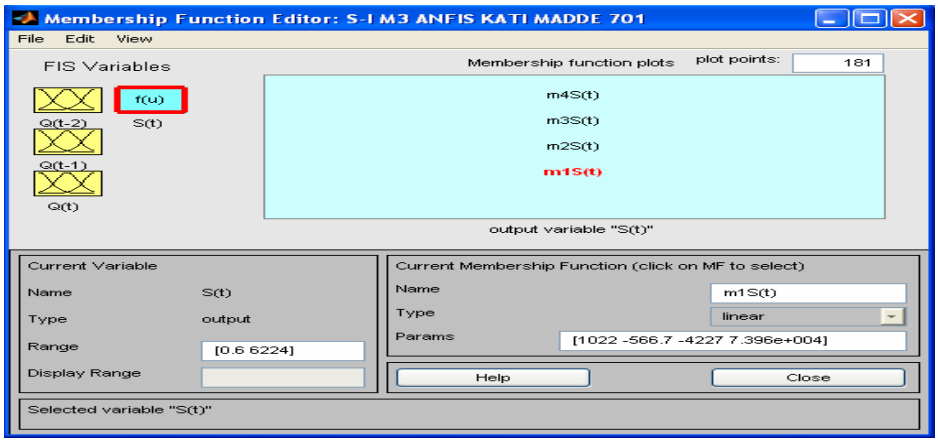
Tablo 6.25 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	S-I M1	S-I M2	**S-I M3**	S-I M4	S-I M5
KHOK	1989 – 1991	339.92	342.27	428.70	386.81	505.47
	1991 – 1994	770.50	616.00	570.55	582.76	597.97
	1994 – 1997	441.54	356.93	**353.30**	493.73	501.49
	1997 – 2000	630.10	448.04	445.64	617.72	525.84
E	1989 – 1991	0.792	0.789	0.670	0.731	0.540
	1991 – 1994	0.451	0.585	0.644	0.629	0.610
	1994 – 1997	0.750	0.773	**0.840**	0.698	0.687
	1997 – 2000	0.663	0.651	0.654	0.436	0.519
R	1989 – 1991	0.894	0.891	0.833	0.771	0.748
	1991 – 1994	0.656	0.768	0.811	0.797	0.782
	1994 – 1997	0.861	0.880	**0.904**	0.883	0.889
	1997 – 2000	0.814	0.852	0.814	0.786	0.755

Tablo 6.25'e göre, KHOK'nın en düşük değeri S-I M1'den 339.92, en yüksek değer ise, S-I M1'den 770.50 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-I M3'den 0.840, en düşük değer S-I M4'den 0.436 olarak hesaplanmıştır. R değerlerine bakıldığında, en yüksek değer S-I M3'de 0.904, en düşük değer S-I M1'de 0.656 olduğu görülmüştür. Tablo 6.25'e göre, en uygun model S-I M3 seçilmiş olup yapısı denklem (6.13)'de ve modelin ÜF'ları Şekil 6.17'de gösterilmiştir.

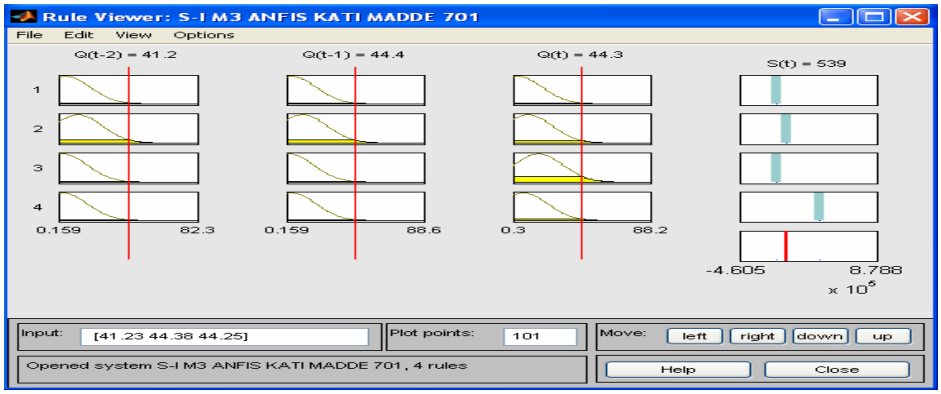
$$S(t)_{701} = f(Q(t)_{701}, Q(t-1)_{701}, Q(t-2)_{701}) \tag{6.13}$$





Şekil 6.17 Çine çayı S-I M3 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

Çine çayı alt havzası S-I M3 ANFIS modeli için yazılan kurallar Şekil 6.18'de ve denklem (6.14)'de, eğitim parametreleri Tablo 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.18 Çine çayı S-I M3 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

$$\begin{aligned}
&\text{EĞER } Q(t-2)=m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m1Q(t) \text{ İSE } S(t)=m1S(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m2Q(t) \text{ İSE } S(t)=m2S(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m3Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m3Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m3Q(t) \text{ İSE } S(t)=m3S(t)\\
&\text{EĞER } Q(t-2)=m4Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m4Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m4Q(t) \text{ İSE } S(t)=m4S(t)
\end{aligned} \quad (6.14)$$

Tablo 6.26 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

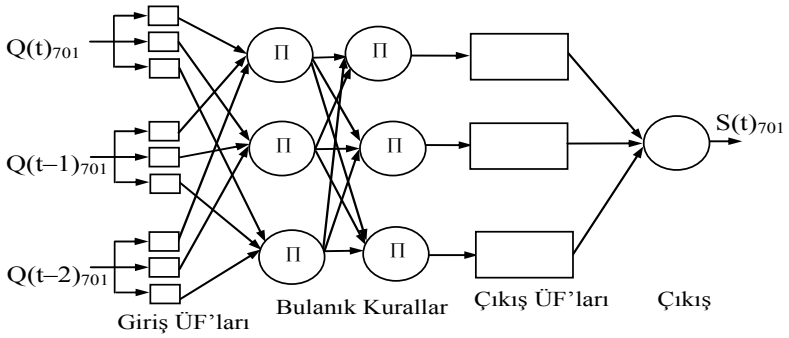
Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
4	60	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

S-I M3 tahmin modeli için en düşük KHOK 339.92 olarak MY3 veri kümesinden elde edilmiştir. Ayrıca, E değerleri karşılaştırıldığında en iyi davranış 0.840 ile MY3 veri kümesinden elde edilmiştir. R değerlerine bakıldığında, en iyi davranışın 0.904 ile yine MY3 veri kümesinden elde edildiği görülmektedir. Sonuç olarak, I. Tip katı madde

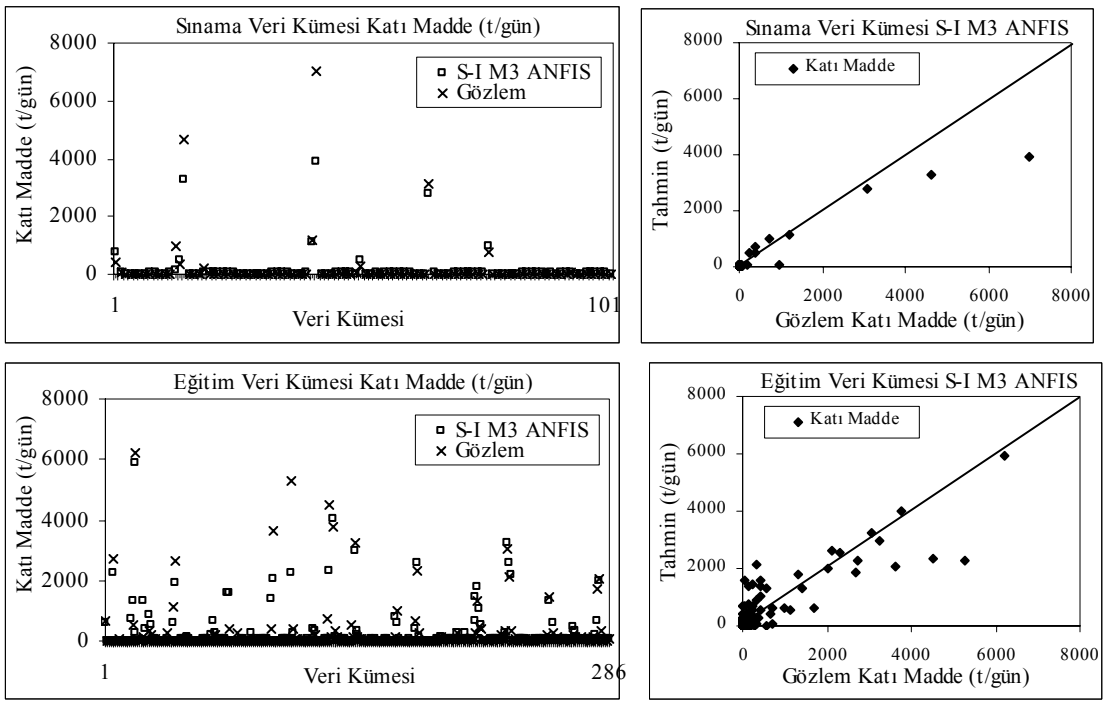
tahmini için en uygun model S-I M3 ve en uygun veri kümesi ise **MY3** seçilmiştir. MY3 kümesi için tüm modellerin eğitim/sınama davranışları Tablo 6.27'de ve yapısı Şekil 6.19'de gösterilmiştir. Ayrıca, S-I M3 tahmin model sonuçlarının gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.20'de verilmiştir.

Tablo 6.27 Çine çayı I. tip katı madde tahmininde Model Davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	S-I M1	S-I M2	**S-I M3**	S-I M4	S-I M5
KHOK	Eğitim	488.74	401.39	353.16	391.41	404.32
	Sınama	441.54	356.93	**353.30**	492.73	500.65
E	Eğitim	0.576	0.714	0.778	0.728	0.710
	Sınama	0.750	0.837	**0.840**	0.698	0.686
R	Eğitim	0.759	0.845	0.882	0.854	0.843
	Sınama	0.861	0.943	**0.954**	0.883	0.889



Şekil 6.19 Çine çayı I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı



Şekil 6.20 Çine çayı S-I M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.3.2. Çine çayı alt havzası II. tip katı madde tahmini

Çine çayı alt havzası II. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (6.15)'de ve kurulan modeller Tablo 6.28'de verilmektedir.

$$S(t)_{735} = f(Q(t)_{735},\ Q(t-1)_{735},\ P(t-1).....Q(t-n)_{735}, P(t-n)) \quad (6.15)$$

Tablo 6.28 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S-II M1	$Q(t)_{701}\ P(t-1)$	2	$S(t)_{701}$
S-II M2	$Q(t)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$S(t)_{701}$
S-II M3	$Q(t)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$S(t)_{701}$
S-II M4	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ P(t-1)$	3	$S(t)_{701}$
S-II M5	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$S(t)_{701}$
S-II M6	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$S(t)_{701}$
S-II M7	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ P(t-1)$	4	$S(t)_{701}$
S-II M8	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$S(t)_{701}$
S-II M9	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$S(t)_{701}$
S-II M10	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ P(t-1)$	5	$S(t)_{701}$
S-II M11	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)$	6	$S(t)_{701}$
S-II M12	$Q(t)_{701}\ Q(t-1)_{701}\ Q(t-2)_{701}\ Q(t-3)_{701}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	7	$S(t)_{701}$

II. tip katı madde tahmininde, I. tip katı madde tahmininde en iyi sonucu veren MY3 kümesi kullanılmıştır. Bundan sonraki adımda, Tablo 6.28'de verilen modeller, MY3 veri kümesi için eğitilmiş ve davranışları değerlendirilmiştir (Tablo 6.29).

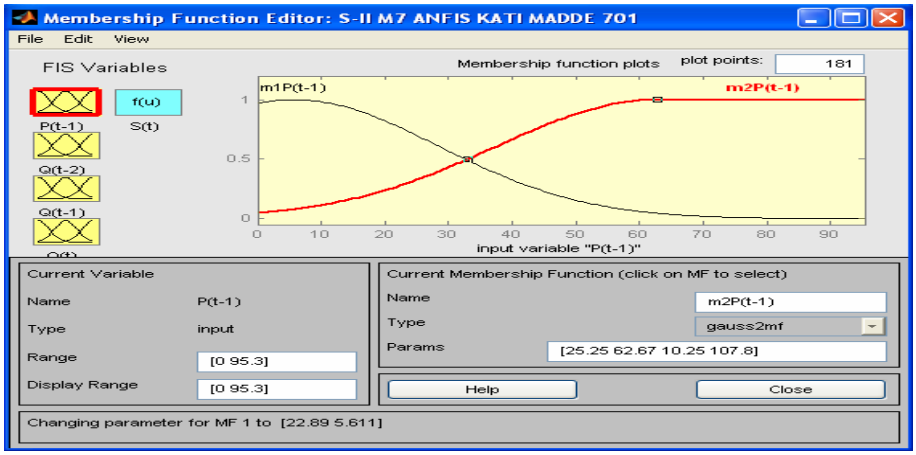
Tablo 6.29 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için model davranışları

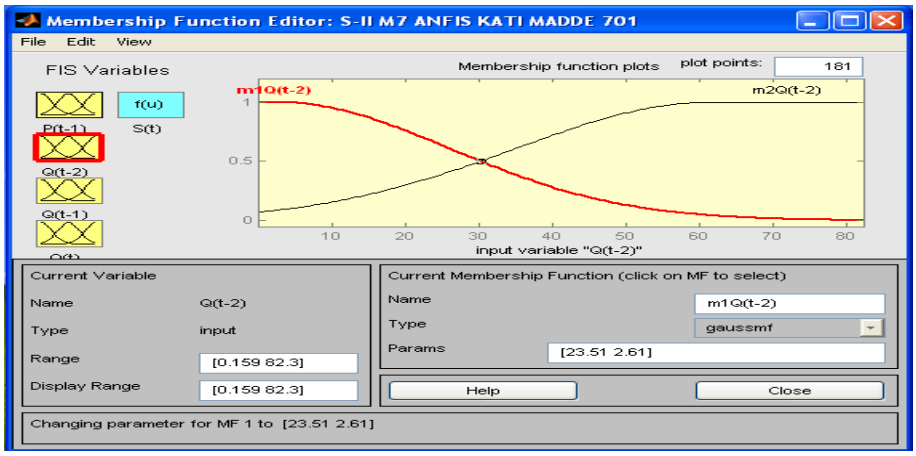
Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-II M1	634.15	0.485	0.718	476.00	0.596	0.773
S-II M2	421.57	0.772	0.862	476.00	0.597	0.774
S-II M3	422.79	0.771	0.863	478.80	0.593	0.772
S-II M4	415.32	0.779	0.933	448.18	0.643	0.803
S-II M5	352.71	0.840	0.939	440.92	0.655	0.812
S-II M6	408.05	0.794	0.893	437.69	0.660	0.814
S-II M7	349.01	0.844	0.937	437.23	0.660	0.814
S-II M8	355.85	0.837	0.903	427.06	0.676	0.823
S-II M9	376.13	0.820	0.920	433.81	0.666	0.815
S-II M10	356.44	0.841	0.903	403.49	0.725	0.852
S-II M11	344.26	0.840	0.926	401.10	0.717	0.804
S-II M12	358.45	0.824	0.894	418.36	0.705	0.798

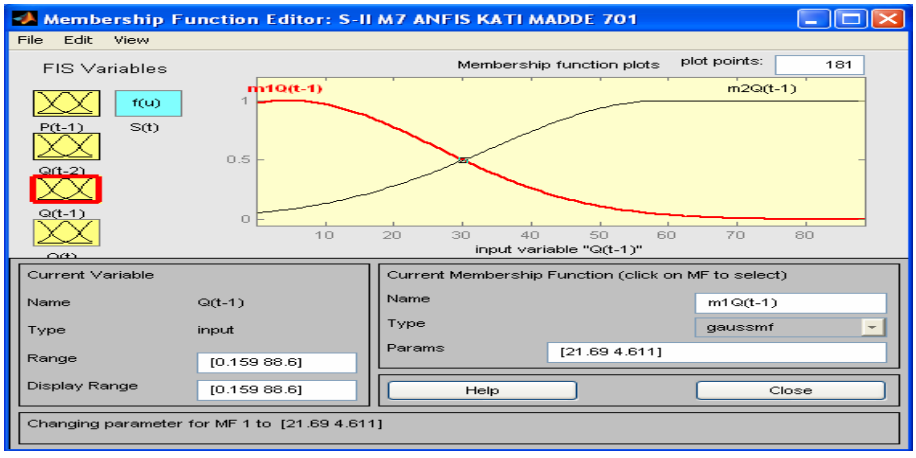
Tablo 6.29'a göre, KHOK'nın en düşük değeri S-II M11'den 344.26 olarak, en yüksek değer ise, S-II M1'den 634.15 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-II M7'den 0.844, en düşük değer S-II M1'den

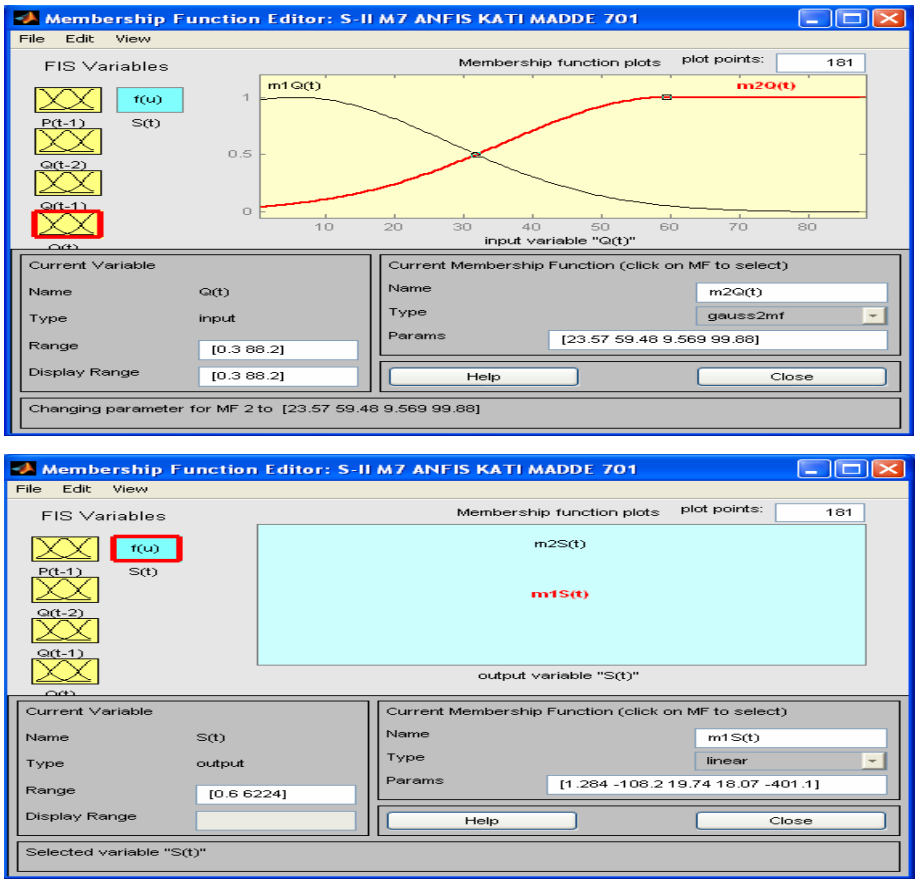
0.485 olarak hesaplanmıştır. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-II M5'de 0.939, en düşük değer S-II M1'de 0.718 olduğu görülmüş olup, en uygun model S-II M7 seçilmiş olup yapısı denklem (6.16)'da verilmiştir. Ayrıca, S-II M7 modeline ait giriş ve çıkış ÜF'larının yapısı Şekil 6.21'de verilmiştir

$$S(t)_{701} = f(Q(t)_{701}, Q(t-1)_{701}, Q(t-2)_{701}, P(t-1)) \tag{6.16}$$



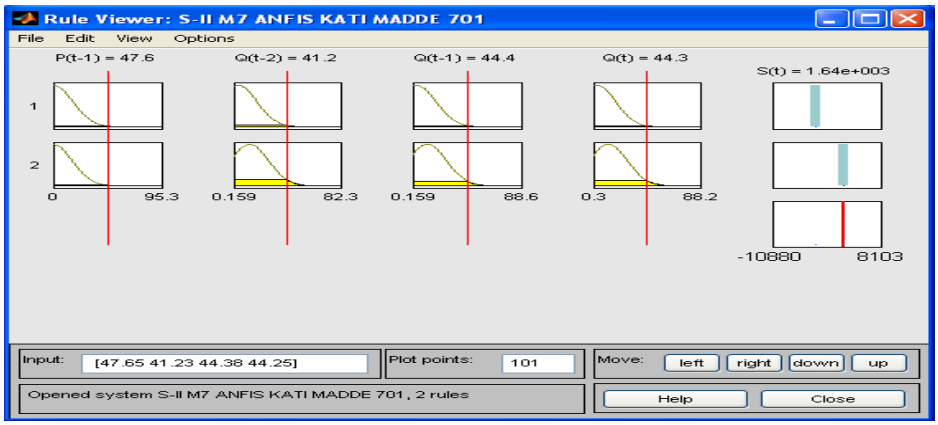






Şekil 6.21 Çine çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

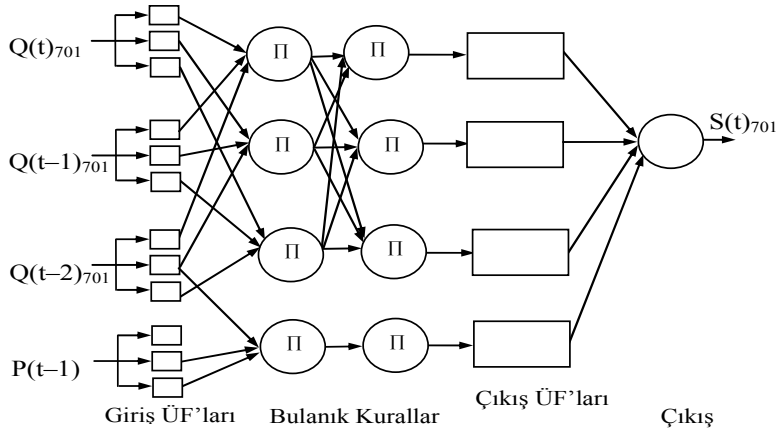
Çine çayı S-II M7 tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 6.22 ve denklem (6.17)'de, eğitim parametreleri Tablo 6.30'da ve yapısı Şekil 6.23'de verilmiştir.



Şekil 6.22 Çine çayı S-II M7 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

EĞER $P(t-1)=m1P(t-1)$ VE $Q(t-2)=m1Q(t-2)$ VE $Q(t-1)=m1Q(t-1)$ VE $Q(t)=m1Q(t)$ İSE $S(t)=m1S(t)$ (6.17)

EĞER $P(t-1)=m2P(t-1)$ VE $Q(t-2)=m2Q(t-2)$ VE $Q(t-1)=m2Q(t-1)$ VE $Q(t)=m2Q(t)$ İSE $S(t)=m2S(t)$

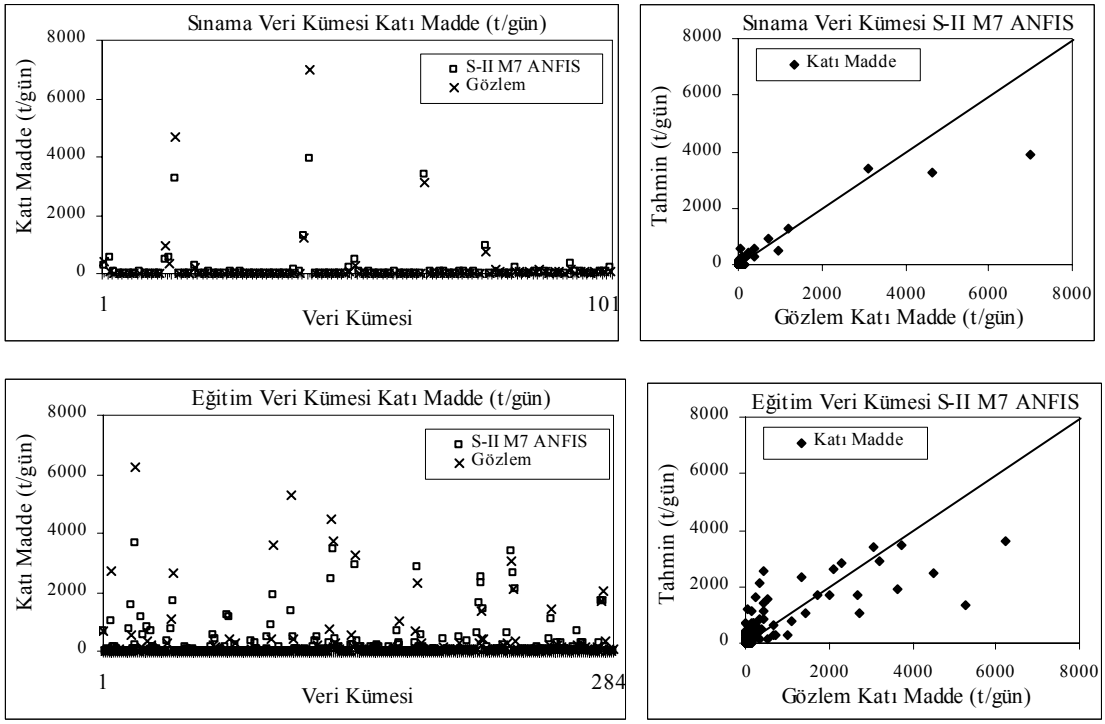


Şekil 6.23 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı

Tablo 6.30 Çine çayı II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
3	20	Gauss – 3	Çarpım	En küçükleme	En büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

S-II M7 ANFIS katı madde tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.24'de verilmiştir.



Şekil 6.24 Çine çayı S-II M7 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.4. BMO Alt Havzası Katı Madde Tahmini

Büyük Menderes Orta (BMO) alt havzası katı madde tahmini için, *706 ve 712 nolu* AGI 1985 – 2000 yılları arasında ölçülen akım verileri kullanılmıştır. BMO alt havzasının genel yerleşimi Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir.

6.4.1. BMO alt havzası I. tip katı madde tahmini

BMO I. tip katı madde tahmininde, veri kümeleri için hesaplanan istatistiksel ölçütler Tablo 4.4'de ve korelasyonlar Tablo 6.1'de verilmiştir. I. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (6.18)'de ve kurulan modeller Tablo 6.31'de verilmektedir.

$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706}, Q(t-1)_{706}, ...Q(t-n)_{706}) \tag{6.18}$$

Tablo 6.31 BMO I. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S-I M1	$Q(t)_{706}$	1	$S(t)_{706}$
S-I M2	$Q(t)_{706}$ $Q(t-1)_{706}$	2	$S(t)_{706}$
S-I M3	$Q(t)_{706}$ $Q(t-1)_{706}$ $Q(t-2)_{706}$	3	$S(t)_{706}$
S-I M4	$Q(t)_{706}$ $Q(t-1)_{706}$ $Q(t-2)_{706}$ $Q(t-3)_{706}$	4	$S(t)_{706}$
S-I M5	$Q(t)_{706}$ $Q(t-1)_{706}$ $Q(t-2)_{706}$ $Q(t-3)_{706}$ $Q(t-4)_{706}$	5	$S(t)_{706}$

BMO I. tip katı madde tahmini için kullanılan verilerin eğitim/sınama veri kümelere ayrılmış yapısı Tablo 6.32'de verilmiştir.

Tablo 6.32 BMO I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	179	1985 – 1988	55
MY_2	1985 – 1988 1993 – 2000	163	1989 – 1992	71
MY_3	1985 – 1992 1993 – 1996	179	1993 – 1996	55
MY_4	1985– 1996	181	1997 – 2000	53

Her bir eğitim/sınama veri kümesi için, istatistik ölçütler hesaplanarak Tablo 6.33'de verilmiştir.

Tablo 6.33 BMO I. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama verilerinin yapısı

Değişken	Veri Kümesi		$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	s_x	c_{sx}
$Q(t)_{706}$ (m^3/s)	MY_1	Eğitim Veri Kümesi	0.36	227.01	32.35	32.32	2.85
		Sınama Veri Kümesi	11.89	146.65	49.54	30.02	1.45
$S(t)_{706}$ (ton/gün)		Eğitim Veri Kümesi	0.32	12307	1298.95	1897.84	2.68
		Sınama Veri Kümesi	12.4	14857.9	2371.33	2884.14	2.47
$Q(t)_{706}$ (m^3/s)	MY_2	Eğitim Veri Kümesi	0.63	227.01	42.82	35.14	2.18
		Sınama Veri Kümesi	0.36	71.92	21.48	16.73	1.06
$S(t)_{706}$ (ton/gün)		Eğitim Veri Kümesi	0.71	14857.9	1721.43	2248.16	2.70
		Sınama Veri Kümesi	0.32	12307	1142.84	2039.68	3.34
$Q(t)_{706}$ (m^3/s)	MY_3	Eğitim Veri Kümesi	0.36	227.01	38.67	34.04	2.39
		Sınama Veri Kümesi	0.63	101.93	28.92	25.71	1.48
$S(t)_{706}$ (ton/gün)		Eğitim Veri Kümesi	0.32	14857.61	1643.61	2272.44	2.81
		Sınama Veri Kümesi	0.71	10562.38	1259.30	2009.89	2.74
$Q(t)_{706}$ (m^3/s)	MY_4	Eğitim Veri Kümesi	0.36	146.65	32.41	26.85	1.58
		Sınama Veri Kümesi	4.01	227.01	50.33	44.62	2.31
$S(t)_{706}$ (ton/gün)		Eğitim Veri Kümesi	0.32	14857.9	1560.49	2379.95	2.84
		Sınama Veri Kümesi	2.49	5873.66	1548.00	1568.42	1.14

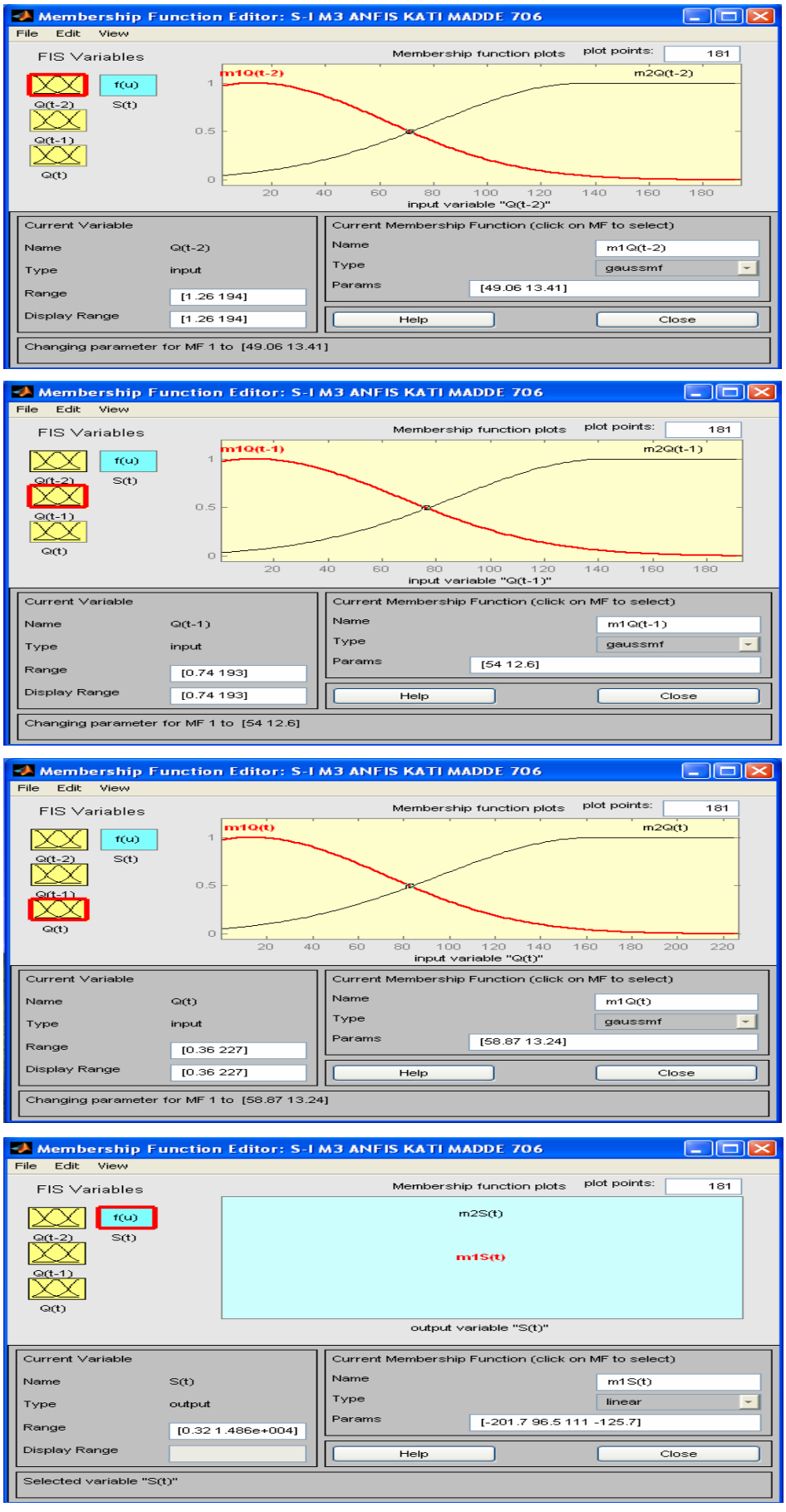
Tablo 6.31'de verilen modeller, veri kümeleri ile eğitilmiş, davranış değerlendirme parametreleri hesaplanarak Tablo 6.34'de verilmiştir.

Tablo 6.34 BMO I. tip katı madde tahmini için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	S-I M1	S-I M2	S-I M3	S-I M4	S-I M5
KHOK	1985 – 1988	1917.33	1896.66	1809.07	1660.09	1701.75
	1989 – 1992	1488.37	1436.60	1314.52	1370.02	1312.07
	1993 – 1996	1018.35	1184.97	**1011.16**	1119.06	1152.51
	1997 – 2000	1857.18	1974.02	1926.58	1851.57	1765.48
E	1985 – 1988	0.549	0.559	0.501	0.662	0.645
	1989 – 1992	0.459	0.497	0.578	0.542	0.580
	1993 – 1996	0.738	0.645	**0.742**	0.684	0.665
	1997 – 2000	0.430	0.615	0.447	0.421	0.439
R	1985 – 1988	0.749	0.752	0.711	0.814	0.804
	1989 – 1992	0.791	0.814	0.857	0.830	0.852
	1993 – 1996	0.861	0.812	**0.866**	0.830	0.817
	1997 – 2000	0.554	0.512	0.523	0.501	0.613

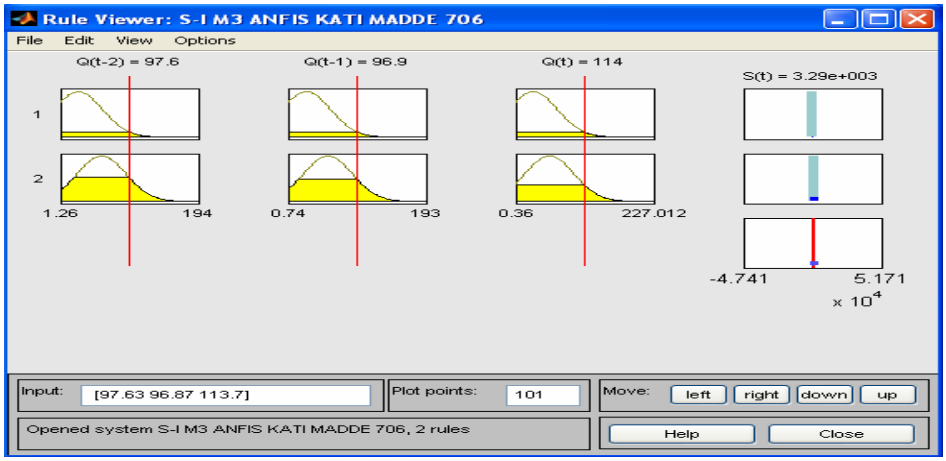
Tablo 6.34'e göre, KHOK'nın en düşük değeri S-I M3'den 1011.16, en yüksek değer ise, S-I M2'den 1974.02 olarak belirlenmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-I M3'de (0.742), en düşük değer S-I M4'de (0.421) hesaplanmıştır. Ayrıca, en yüksek R değeri S-I M3'de (0.886), en düşük değer ise S-I M4'de (0.501) elde edilmiş olup en uygun model **S-I M3** seçilmiş ve yapısı denklem (6.19)'da verilmiştir. Ayrıca, S-I M3 tahmin modelinin ÜF'ları Şekil 6.25'de gösterilmiştir.

$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706},\, Q(t-1)_{706},\, Q(t-2)_{706}) \tag{6.19}$$



Şekil 6.25 BMO S-I M3 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

BMO S-I M3 tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 6.26'da ve denklem (6.20)'de ve eğitim parametreleri Tablo 6.35'de verilmektedir.



Şekil 6.26 BMO S-I M3 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

$$\text{EĞER } Q(t-2)=m1Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m1Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m1Q(t) \text{ İSE } S(t)=m1S(t)$$
$$\text{EĞER } Q(t-2)=m2Q(t-2) \text{ VE } Q(t-1)=m2Q(t-1) \text{ VE } Q(t)=m2Q(t) \text{ İSE } S(t)=m2S(t) \quad (6.20)$$

Tablo 6.35 BMO I. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

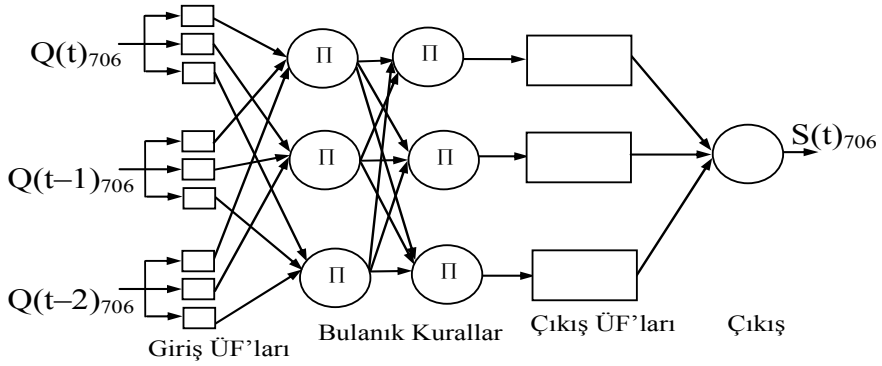
Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
2	50	Gauss – 2	Çarpım	En küçükleme	En büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 6.34'deki ölçütlere göre, en uygun giriş yapısına karar verdikten sonra, yine bu tabloya göre, en uygun çapraz geçerlilik küme yapısı belirlenmiştir. S- I M3 katı madde tahmin modeli için en düşük KHOK 1011.16 ile MY3 veri kümesinden elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında en iyi davranış 0.742 ile MY3 veri kümesinden elde edilmiştir. R değerlerine bakıldığında, en iyi davranışın 0.866 ile yine MY3 veri kümesinden elde edildiği görülmektedir. BMO alt havzası I. tip katı madde tahmini için en uygun model **S- I M3** ve en uygun veri kümesi olarak **MY3** seçilmiştir. MY3 kümesi için modellerin eğitim/sınama davranışları Tablo 6.36'de gösterilmiştir.

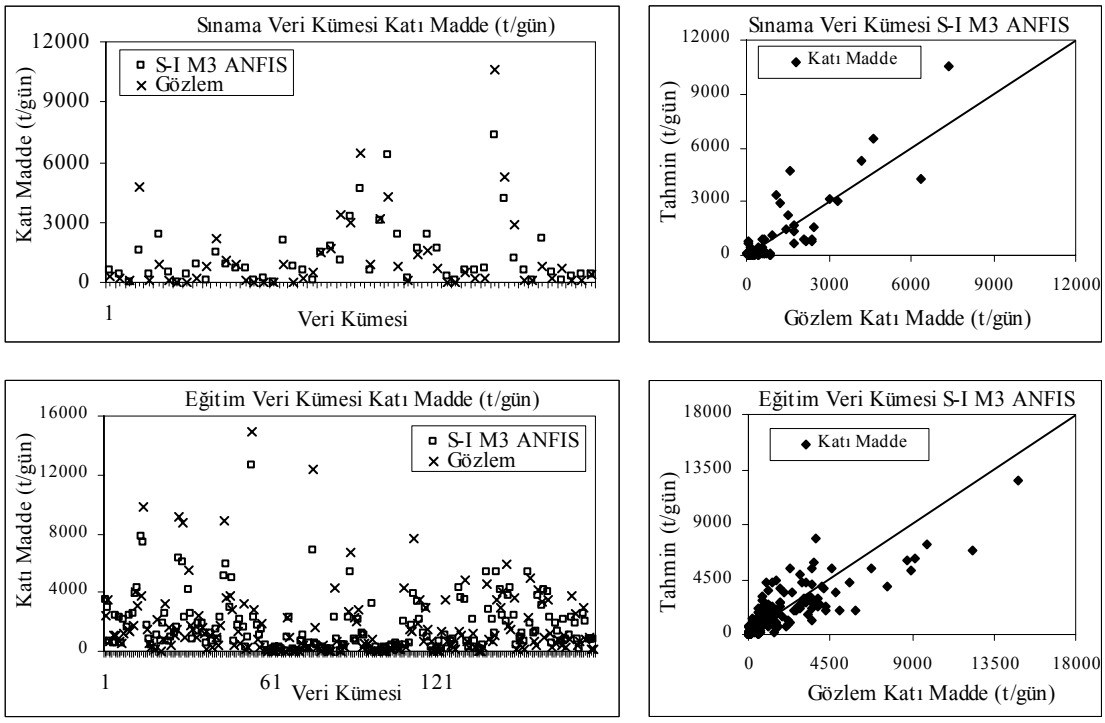
Tablo 6.36 BMO I. tip katı madde tahmininde MY3 için model davranışları

Ölçüt	Sınama Veri Kümesi	S-I M1	S-I M2	S-I M3	S-I M4	S-I M5
KHOK	Eğitim	1468.38	1403.05	1271.81	1341.49	1359.40
	Sınama	1018.35	1184.97	**1011.16**	1119.06	1152.51
E	Eğitim	0.579	0.615	0.684	0.648	0.639
	Sınama	0.738	0.645	**0.742**	0.684	0.665
R	Eğitim	0.763	0.785	0.828	0.807	0.800
	Sınama	0.861	0.812	**0.866**	0.830	0.817

S-I M3 ANFIS katı madde tahmin modelinin yapısı Şekil 6.27'de ve eğitim/sınama tahmin sonuçlarının gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.28'de verilmiştir.



Şekil 6.27 BMO I. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı



Şekil 6.28 BMO S-I M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.4.2. BMO alt havzası II. tip katı madde tahmini

BMO II. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (6.21)'de ve kurulan modeller Tablo 6.37'de gösterilmiştir.

$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706}, Q(t-1)_{706}, Q(t-1)_{712}, ...Q(t-n)_{706}, Q(t-n)_{712}) \qquad (6.21)$$

Tablo 6.37 BMO II. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S-II M1	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}$	2	$S(t)_{706}$
S-II M2	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}$	3	$S(t)_{706}$
S-II M3	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}$	4	$S(t)_{706}$
S-II M4	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}$	5	$S(t)_{706}$
S-II M5	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	3	$S(t)_{706}$
S-II M6	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	4	$S(t)_{706}$
S-II M7	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	5	$S(t)_{706}$
S-II M8	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}$	6	$S(t)_{706}$

BMO II. tip katı madde tahmininde kullanılan verilerin ayrılmış yapısı Tablo 6.38'de gösterilmiştir. Ayrıca, Tablo 6.63'de verilen modeller, veri kümeleri ile eğitilmiş ve davranış değerlendirme ölçütleri hesaplanarak Tablo 6.39'da verilmiştir.

Tablo 6.38 BMO II. tip katı madde tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

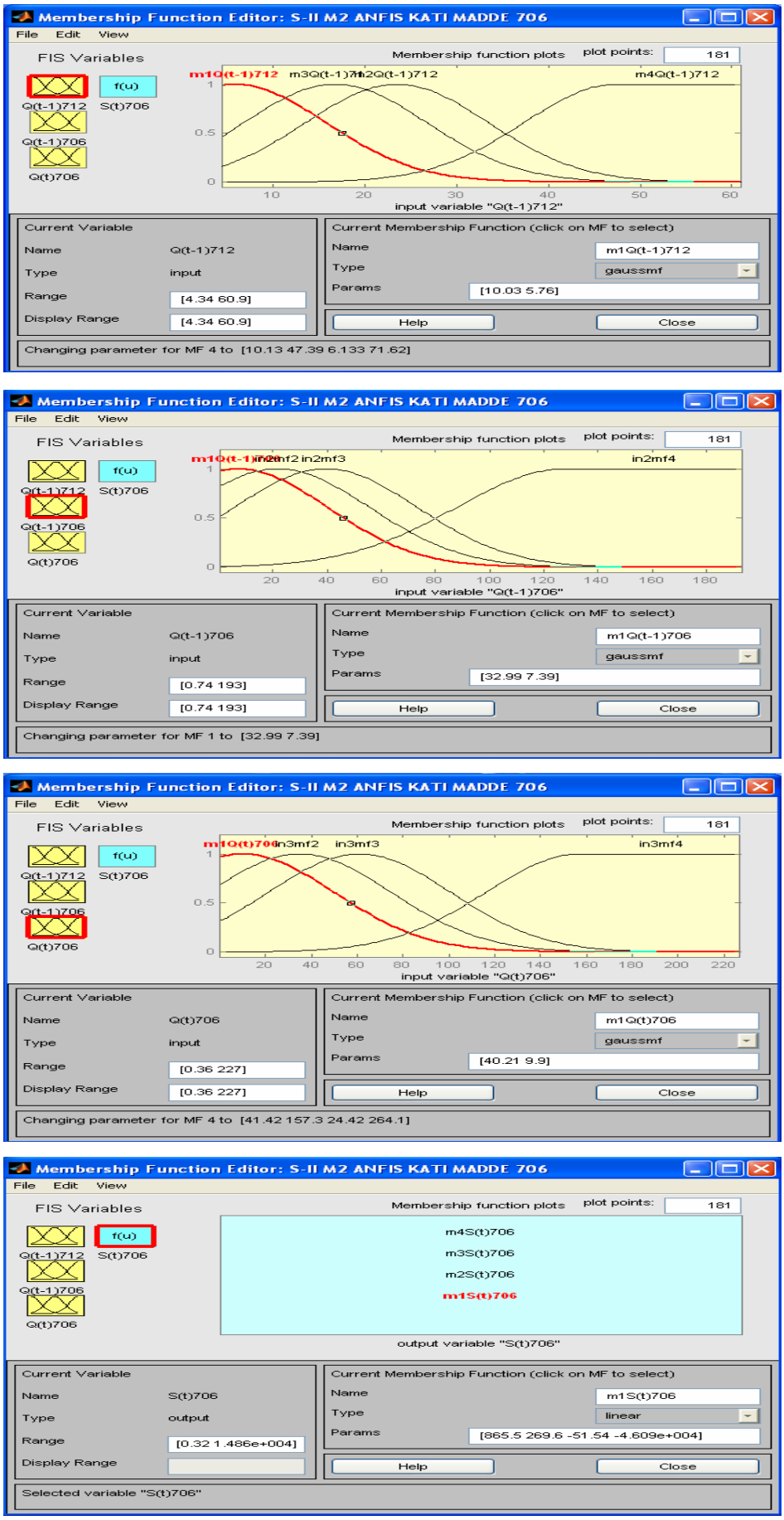
	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1985 – 1988	179	1985 – 1988	55
MY_2	1985 – 1988 1993 – 2000	163	1989 – 1992	71
MY_3	1985 – 1992 1993 – 1996	179	1993 – 1996	55
MY_4	1989– 2000	181	1997 – 2000	53

Tablo 6.39 BMO II. tip katı madde tahmini için model davranışları

Sınama Kümesi		S-II M1	**S-II M2**	S-II M3	S-II M4	S-II M5	S-II M6	S-II M7	S-II M8
KHOK	1985 – 1988	1556.50	1453.81	1537.68	1550.66	1832.29	1610.77	1650.62	1837.91
	1989 – 1992	1430.06	1340.93	1261.77	1225.39	1266.38	1333.51	1369.57	1321.74
	1993 – 1996	1232.44	**949.96**	1173.41	997.35	1051.77	1003.96	1198.71	1264.06
	1997 – 2000	990.21	1075.34	1156.87	1185.56	1201.60	1256.42	1265.36	1289.60
E	1985 – 1988	0.696	0.724	0.711	0.706	0.589	0.682	0.670	0.586
	1989 – 1992	0.608	0.656	0.612	0.634	0.609	0.566	0.543	0.574
	1993 – 1996	0.616	**0.772**	0.652	0.748	0.721	0.745	0.637	0.597
	1997 – 2000	0.501	0.458	0.445	0.507	0.474	0.465	0.455	0.440
R	1985 – 1988	0.825	0.854	0.844	0.841	0.770	0.845	0.843	0.770
	1989 – 1992	0.792	0.827	0.820	0.831	0.811	0.780	0.774	0.793
	1993 – 1996	0.835	**0.878**	0.821	0.862	0.864	0.837	0.822	0.834
	1997 – 2000	0.594	0.665	0.626	0.635	0.620	0.605	0.598	0.587

Tablo 6.39'da KHOK incelendiğinde, en düşük değer S-II M2'den 949.96, en yüksek değer ise, S-II M8'den (1837.91) elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-II M2'de (0.772), en düşük değer S-II M8'de (0.440) hesaplanmıştır. R değerlerine bakıldığında, en yüksek değer S-II M2'de 0.878, en düşük değer S-II M8'de 0.587 olduğu görülmüştür. Tablo 6.39'a göre, en uygun model **S-II M2** seçilmiş olup yapısı denklem (6.22)'de ve ÜF'ları Şekil 6.29'da verilmiştir.

$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706},\ Q(t-1)_{706},\ Q(t-1)_{712}) \tag{6.22}$$

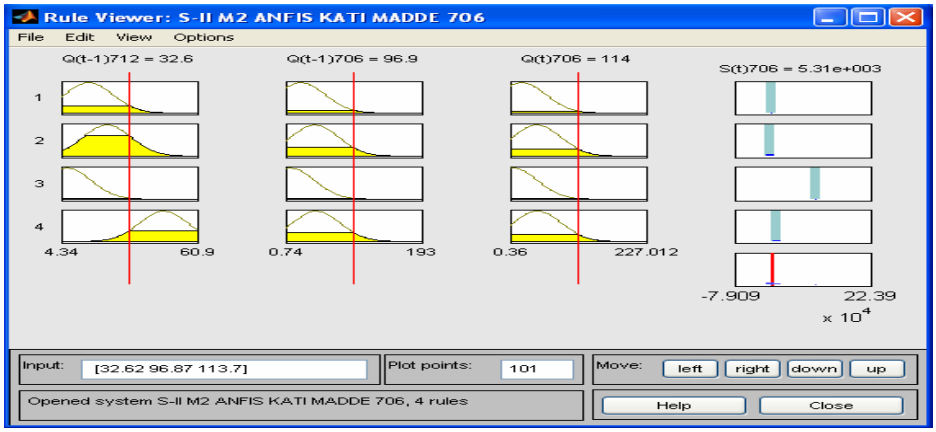


Şekil 6.29 BMO S-II M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

BMO S-II M2 tahmin modeli için yazılan kurallar Şekil 6.30 ve denklem (6.23)'de ve eğitim parametreleri Tablo 6.40'da verilmektedir.

Tablo 6.40 BMO II. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
4	50	Gauss – 4	Çarpım	En küçükleme	En büyükleme	Ağırlıklı Ortalama



Şekil 6.30 BMO S-II M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

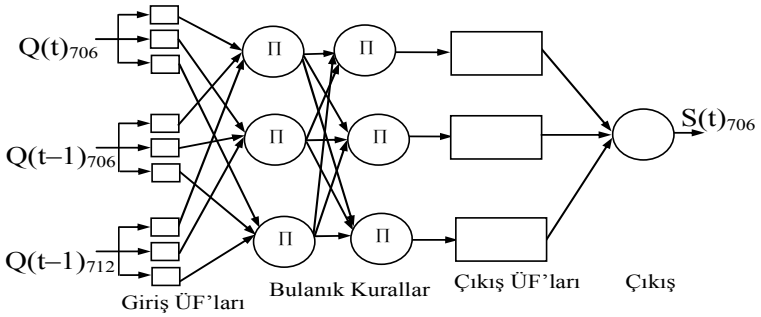
EĞER $Q(t-1)_{712} = m1Q(t-2)_{712}$ VE $Q(t-1)_{706} = m1Q(t-1)_{706}$ VE $Q(t)_{706} = m1Q(t)_{706}$
İSE $S(t)_{706} = m1S(t)_{706}$

EĞER $Q(t-1)_{712} = m2Q(t-2)_{712}$ VE $Q(t-1)_{706} = m2Q(t-1)_{706}$ VE $Q(t)_{706} = m2Q(t)_{706}$
İSE $S(t)_{706} = m2S(t)_{706}$ (6.23)

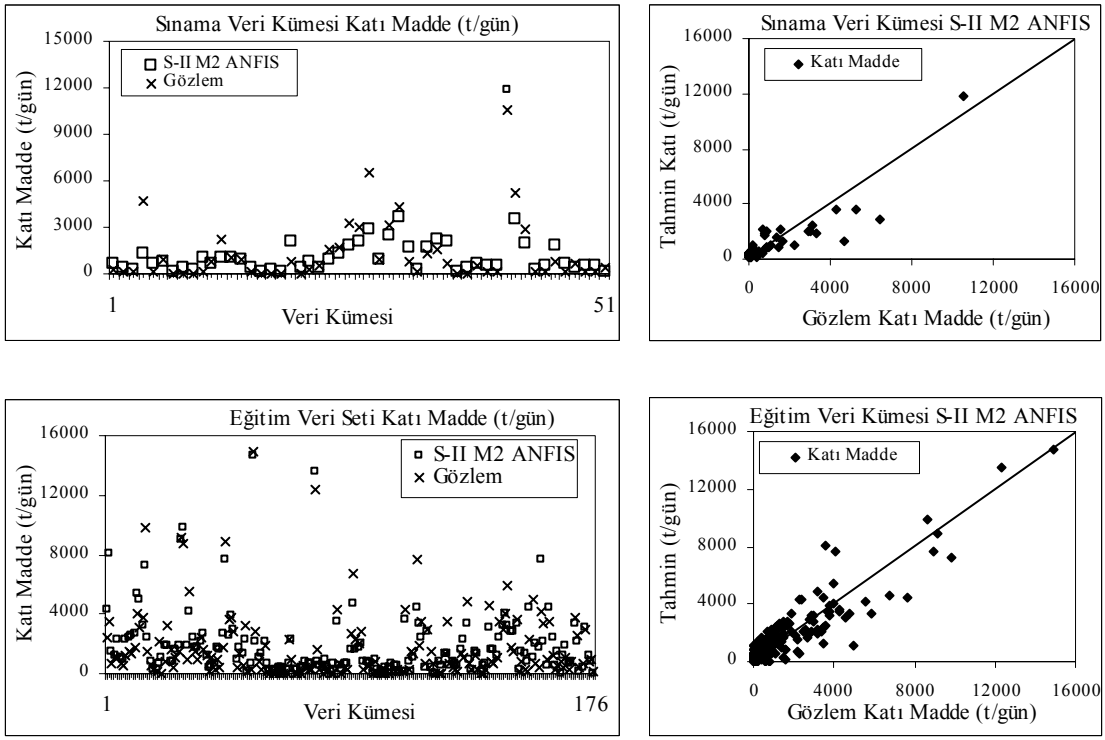
EĞER $Q(t-1)_{712} = m3Q(t-2)_{712}$ VE $Q(t-1)_{706} = m3Q(t-1)_{706}$ VE $Q(t)_{706} = m3Q(t)_{706}$
İSE $S(t)_{706} = m3S(t)_{706}$

EĞER $Q(t-1)_{712} = m4Q(t-2)_{712}$ VE $Q(t-1)_{706} = m4Q(t-1)_{706}$ VE $Q(t)_{706} = m4Q(t)_{706}$
İSE $S(t)_{706} = m4S(t)_{706}$

Tablo 6.39'a göre, S-II M2 tahmin modeli için en düşük KHOK 949.96, en yüksek E;0.772 ve en yüksek R;0.878 olarak MY3 veri kümesinden elde edilmiştir. BMO alt havzası II. tip katı madde tahmini için en uygun model **S-II M2** ve en uygun veri kümesi olarak **MY3** seçilmiş ve yapısı Şekil 6.31'de verilmiştir. Ayrıca, S-II M2 tahmin model gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.32'de verilmiştir.



Şekil 6.31 BMO II. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı



Şekil 6.32 BMO S-II M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.4.3. BMO alt havzası III. tip katı madde tahmini

BMO at havzası III. tip katı madde tahmini için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (6.24)'de ve kurulan modeller Tablo 6.41'de verilmektedir.

$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706}, Q(t-1)_{706}, P(t-1).....Q(t-n)_{706}, P(t-n)) \quad (6.24)$$

Tablo 6.41 BMO III. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S-III M1	$Q(t)_{706}\ P(t-1)$	2	$S(t)_{706}$
S-III M2	$Q(t)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)$	3	$S(t)_{706}$
S-III M3	$Q(t)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	4	$S(t)_{706}$
S-III M4	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ P(t-1)$	3	$S(t)_{706}$
S-III M5	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$S(t)_{706}$
S-III M6	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$S(t)_{706}$
S-III M7	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ P(t-1)$	4	$S(t)_{706}$
S-III M8	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$S(t)_{706}$
S-III M9	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$S(t)_{706}$
S-III M10	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ P(t-1)$	5	$S(t)_{706}$
S-III M11	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)$	6	$S(t)_{706}$
S-III M12	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-3)_{706}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	7	$S(t)_{706}$

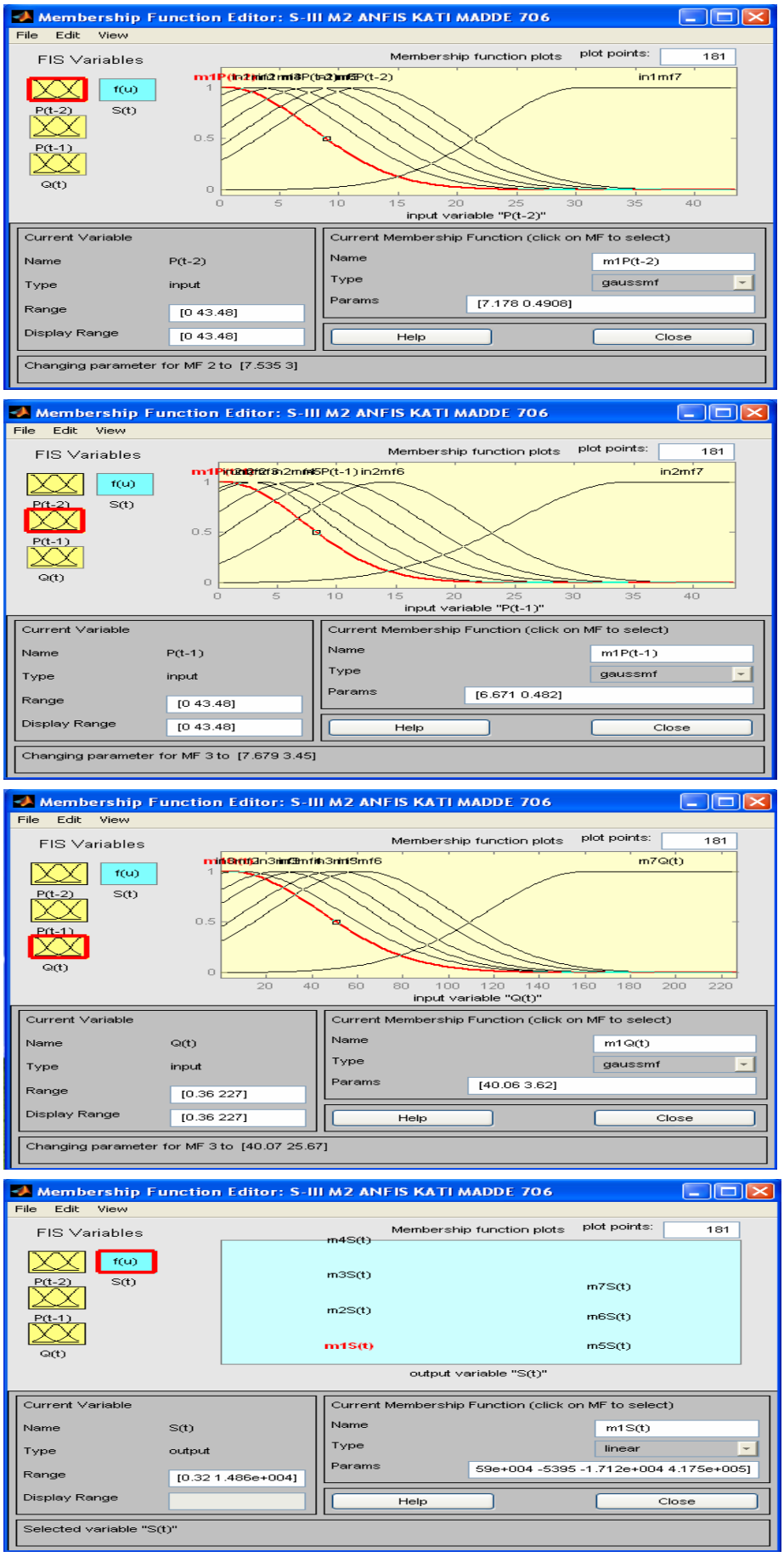
III. tip katı madde tahmini için, I. tip katı madde tahmininde en iyi sonucu veren MY3 kümesi kullanılmıştır. Bundan sonraki adımda, Tablo 6.41'de verilen modeller, MY3 veri kümesi için eğitilmiş ve davranışları Tablo 6.42'de gösterilmiştir.

Tablo 6.42 BMO III. tip katı madde tahmini için model davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-III M1	1147.88	0.667	0.816	1544.71	0.536	0.733
S-III M2	**839.48**	**0.822**	**0.908**	1119.76	0.756	0.869
S-III M3	1116.02	0.686	0.842	1084.82	0.734	0.830
S-III M4	1386.80	0.514	0.805	1457.22	0.586	0.767
S-III M5	1171.56	0.653	0.858	1424.38	0.605	0.779
S-III M6	1253.15	0.604	0.844	1334.21	0.653	0.810
S-III M7	1232.83	0.611	0.791	1461.08	0.584	0.765
S-III M8	1042.97	0.722	0.864	1414.86	0.610	0.782
S-III M9	1065.63	0.713	0.873	1307.17	0.667	0.818
S-III M10	1296.71	0.575	0.761	1475.00	0.576	0.760
S-III M11	1267.55	0.594	0.771	1388.99	0.624	0.791
S-III M12	1125.43	0.680	0.829	1337.26	0.652	0.808

Tablo 6.42'ye bakıldığında, KHOK'nın en düşük değeri S-III M2'den 839.48, en yüksek değer ise, S-III M4'den 1386.80 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-III M2'de 0.822, en düşük değer S-III M4'de 0.514 olarak hesaplanmıştır. R değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-III M2'de 0.908, en düşük değer ise S-III M10'de 0.761 olduğu görülmüştür. Tablo 6.42'ye göre, en uygun model **S-III M2** seçilmiş olup yapısı denklem (6.25)'de verilmiştir. Ayrıca, S-III M2 katı madde tahmin modelinin ÜF'ları Şekil 6.33'de gösterilmiştir.

$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706},\ P(t-1), P(t-2)) \tag{6.25}$$

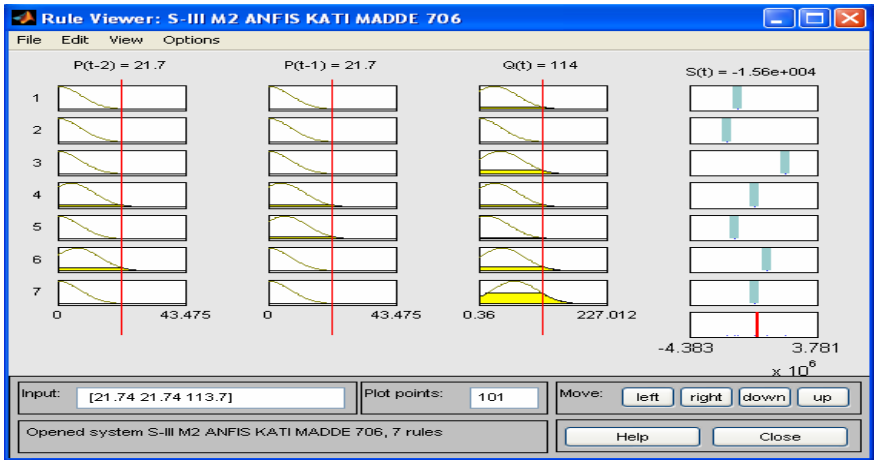


Şekil 6.33 BMO S-III M2 katı madde tahmin modeli ÜF'ları

Banaz çayı S-III M2 modeli için yazılan kurallar Şekil 6.34 ve denklem (6.26)'da model eğitim parametreleri Tablo 6.43'de ve model yapısı Şekil 6.35'de verilmektedir.

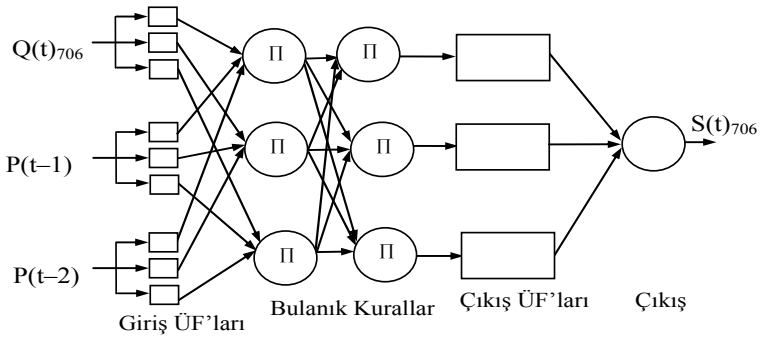
Tablo 6.43 BMO III. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
7	20	Gauss – 7	Çarpım	En küçükleme	En büyükleme	Ağırlıklı Ortalama



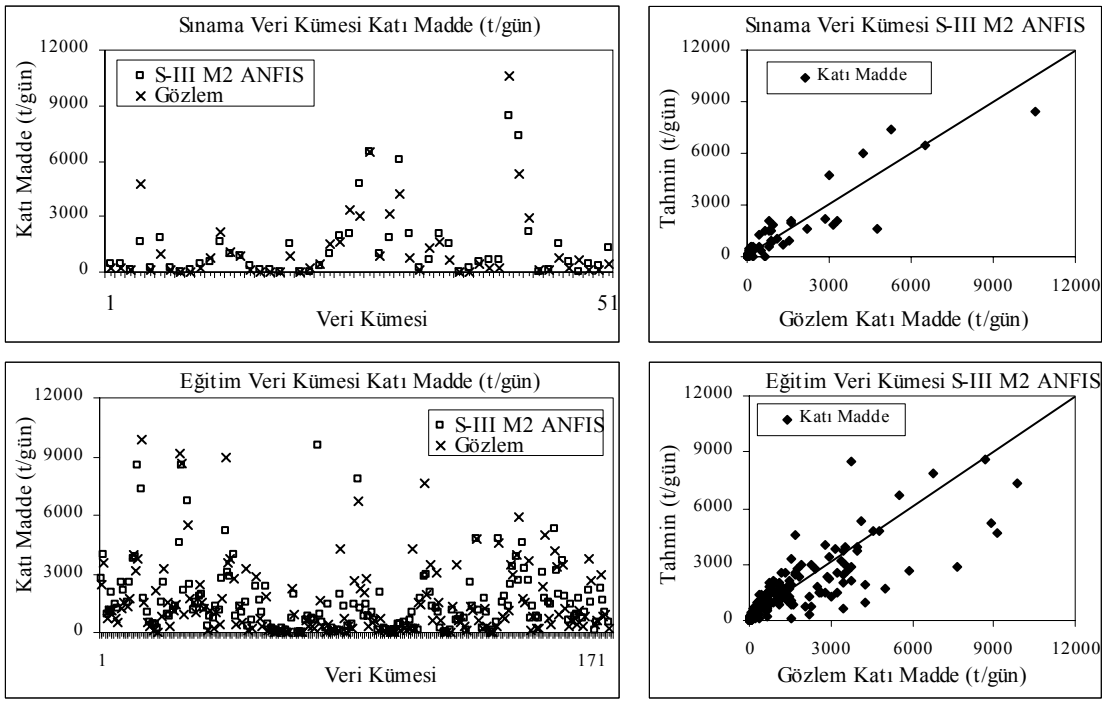
Şekil 6.34 BMO S-III M2 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

$$
\begin{aligned}
&\text{EĞER } P(t-2)=m1P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m1P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m1Q(t) \text{ İSE } S(t)=m1\\
&\text{EĞER } P(t-2)=m2P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m2P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m2Q(t) \text{ İSE } S(t)=m2\\
&\text{EĞER } P(t-2)=m3P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m3P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m3Q(t) \text{ İSE } S(t)=m3\\
&\text{EĞER } P(t-2)=m4P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m4P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m4Q(t) \text{ İSE } S(t)=m4\\
&\text{EĞER } P(t-2)=m5P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m5P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m5Q(t) \text{ İSE } S(t)=m5\\
&\text{EĞER } P(t-2)=m6P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m6P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m6Q(t) \text{ İSE } S(t)=m6\\
&\text{EĞER } P(t-2)=m7P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m7P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m7Q(t) \text{ İSE } S(t)=m7
\end{aligned}
\qquad (6.26)
$$



Şekil 6.35 BMO III. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı

S-III M2 ANFIS katı madde tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.36 BMO S-III M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.4.4. BMO alt havzası IV. tip katı madde tahmini

BMO alt havzası IV. tip katı madde tahmin için, kurulan modellerin genel yapısı denklem (6.27)'de ve kurulan modeller Tablo 6.44'de verilmektedir.

$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706}, Q(t-1)_{712}, P(t-1).....Q(t-n)_{706}, Q(t-n)_{712}, P(t-n)) \qquad (6.27)$$

Tablo 6.44 BMO IV. tip katı madde tahmini için kurulan modeller

Model	Giriş Yapısı	Değişken Sayısı	Çıkış
S-IV M1	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)$	3	$S(t)_{706}$
S-IV M2	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	4	$S(t)_{706}$
S-IV M3	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	5	$S(t)_{706}$
S-IV M4	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)$	4	$S(t)_{706}$
S-IV M5	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$S(t)_{706}$
S-IV M6	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$S(t)_{706}$
S-IV M7	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)$	5	$S(t)_{706}$
S-IV M8	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	6	$S(t)_{706}$
S-IV M9	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-2)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	7	$S(t)_{706}$
S-IV M10	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)$	4	$S(t)_{706}$
S-IV M11	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	5	$S(t)_{706}$
S-IV M12	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	6	$S(t)_{706}$
S-IV M13	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)$	5	$S(t)_{706}$
S-IV M14	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)$	6	$S(t)_{706}$
S-IV M15	$Q(t)_{706}\ Q(t-1)_{706}\ Q(t-1)_{712}\ Q(t-2)_{712}\ P(t-1)\ P(t-2)\ P(t-3)$	7	$S(t)_{706}$

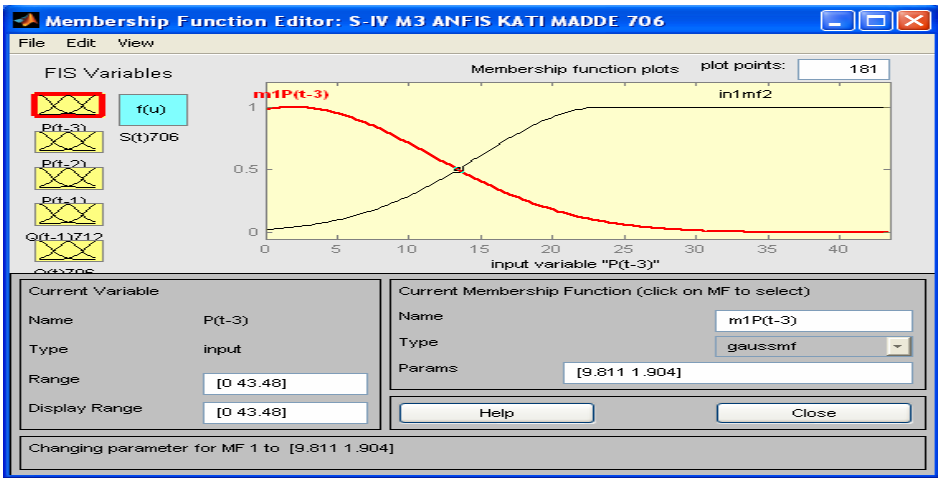
BMO IV. tip katı madde tahmini için, II tip katı madde tahmininde en iyi sonucu veren MY3 veri kümesi kullanılmıştır. Tablo 6.44'de verilen modeller MY3 veri kümesi için eğitilerek sınama veri kümesi için model sonuçları Tablo 6.45'de gösterilmiştir.

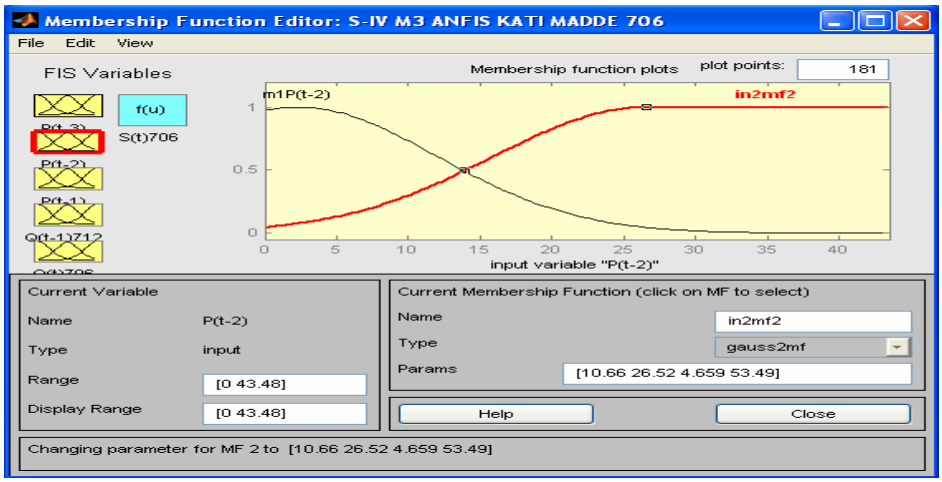
Tablo 6.45 BMO IV. tip katı madde tahmini için model davranışları

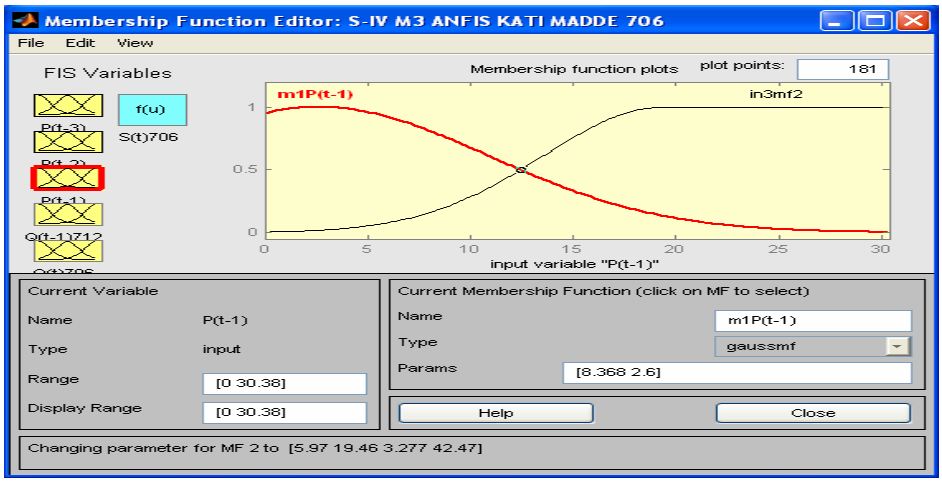
Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-IV M1	1047.71	0.723	0.862	1400.04	0.618	0.787
S-IV M2	997.00	0.749	0.868	1218.26	0.711	0.844
S-IV M3	**811.42**	**0.834**	**0.915**	1256.39	0.693	0.833
S-IV M4	1206.65	0.632	0.806	1440.44	0.596	0.773
S-IV M5	906.02	0.793	0.894	1335.80	0.652	0.809
S-IV M6	854.18	0.816	0.905	1289.92	0.676	0.823
S-IV M7	1261.62	0.598	0.782	1457.92	0.58	0.766
S-IV M8	1021.24	0.737	0.882	1345.90	0.647	0.805
S-IV M9	975.29	0.760	0.884	1256.68	0.692	0.832
S-IV M10	1124.48	0.681	0.857	1489.78	0.568	0.754
S-IV M11	928.13	0.783	0.895	1398.69	0.619	0.787
S-IV M12	1036.93	0.729	0.855	1249.23	0.696	0.834
S-IV M13	1184.96	0.645	0.824	1471.48	0.578	0.761
S-IV M14	924.33	0.784	0.894	1374.07	0.632	0.796
S-IV M15	893.69	0.798	0.896	1271.30	0.685	0.828

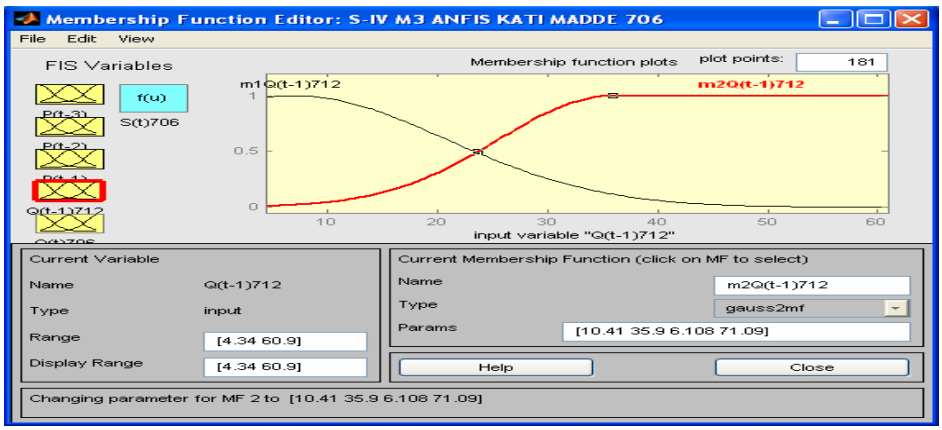
Tablo 6.45'e bakıldığında, KHOK'nın en düşük değeri S-IV M3'den 811.42, en yüksek değer ise, S-IV M7'den 1261.62 olarak elde edilmiştir. E değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değer S-IV M3'de 0.834, en düşük değer S-IV M7'de 0.598 olarak hesaplanmıştır. R değerlerine karşılaştırıldığında, en yüksek değerin S-IV M3'de 0.915, en düşük değerin ise S-IV M7'de 0.782 olduğu görülmüştür. Tablo 6.45'e göre, en uygun model **S-IV M3** seçilmiş ve yapısı denklem (6.28)'de verilmiştir. Ayrıca, S-IV M3 ANFIS katı madde tahmin modelinin ÜF'larının yapısı Şekil 6.37'de ve yazılan kurallar Şekil 6.38'de verilmiştir.

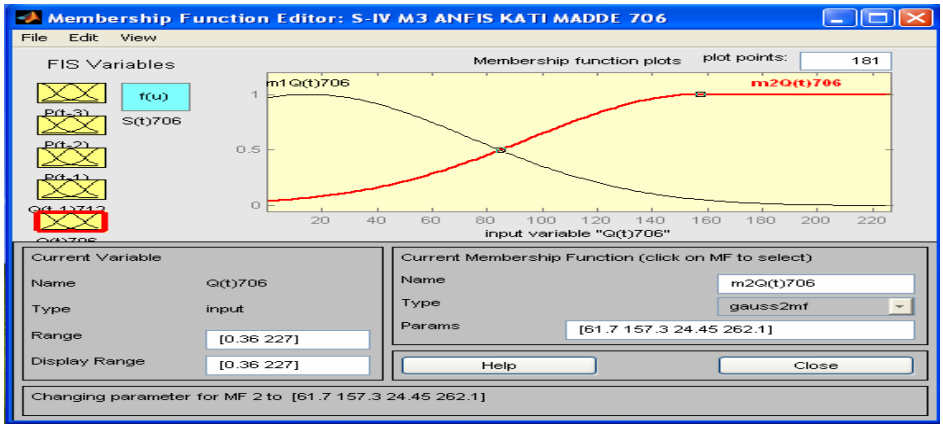
$$S(t)_{706} = f(Q(t)_{706}, Q(t-1)_{712}, P(t-1), P(t-2), P(t-3)) \tag{6.28}$$

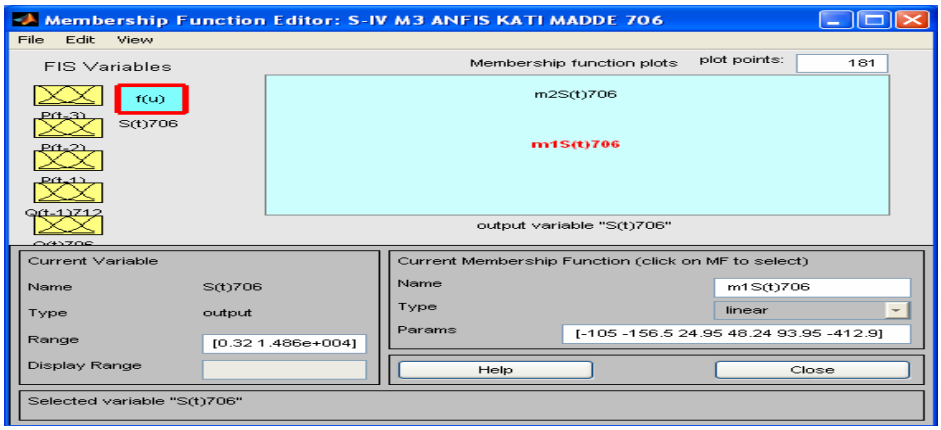



Membership Function Editor: S-IV M3 ANFIS KATI MADDE 706
File Edit View
FIS Variables
f(u)
S(t)706
P(t-2)
Q(t-1)712
Membership function plots
plot points: 181
m1P(t-2)
in2mf2
input variable "P(t-2)"
Current Variable
Name P(t-2)
Type input
Range [0 43.48]
Display Range [0 43.48]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name in2mf2
Type gauss2mf
Params [10.66 26.52 4.659 53.49]
Help
Close
Changing parameter for MF 2 to [10.66 26.52 4.659 53.49]

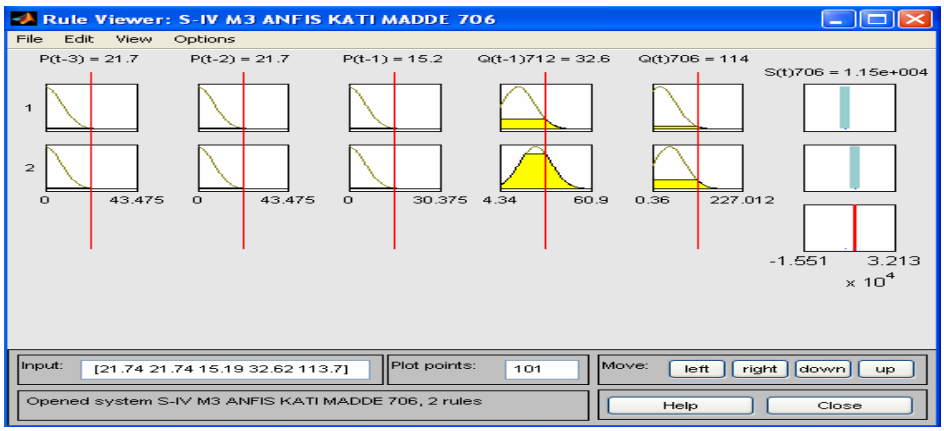

Membership Function Editor: S-IV M3 ANFIS KATI MADDE 706
File Edit View
FIS Variables
f(u)
S(t)706
P(t-1)
Q(t-1)712
Membership function plots
plot points: 181
m1P(t-1)
in3mf2
input variable "P(t-1)"
Current Variable
Name P(t-1)
Type input
Range [0 30.38]
Display Range [0 30.38]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name m1P(t-1)
Type gaussmf
Params [8.368 2.6]
Help
Close
Changing parameter for MF 2 to [5.97 19.46 3.277 42.47]


Membership Function Editor: S-IV M3 ANFIS KATI MADDE 706
File Edit View
FIS Variables
f(u)
S(t)706
Q(t-1)712
Membership function plots
plot points: 181
m1Q(t-1)712
m2Q(t-1)712
input variable "Q(t-1)712"
Current Variable
Name Q(t-1)712
Type input
Range [4.34 60.9]
Display Range [4.34 60.9]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name m2Q(t-1)712
Type gauss2mf
Params [10.41 35.9 6.108 71.09]
Help
Close
Changing parameter for MF 2 to [10.41 35.9 6.108 71.09]


Membership Function Editor: S-IV M3 ANFIS KATI MADDE 706
File Edit View
FIS Variables
f(u)
S(t)706
Q(t-1)712
Membership function plots
plot points: 181
m1Q(t)706
m2Q(t)706
input variable "Q(t)706"
Current Variable
Name Q(t)706
Type input
Range [0.36 227]
Display Range [0.36 227]
Current Membership Function (click on MF to select)
Name m2Q(t)706
Type gauss2mf
Params [61.7 157.3 24.45 262.1]
Help
Close
Changing parameter for MF 2 to [61.7 157.3 24.45 262.1]



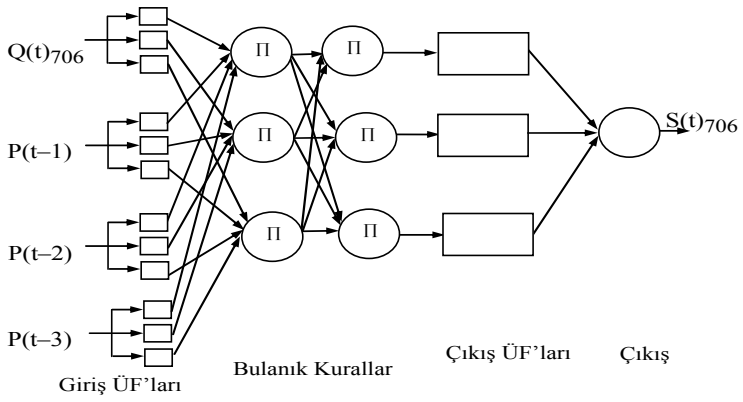
Şekil 6.37 BMO S-IV M3 katı madde tahmin modeli ÜF'ları



Şekil 6.38 BMO S-IV M3 katı madde tahmin modeli bulanık kuralları

$$\text{EĞER } P(t-3)=m1P(t-3) \text{ VE } P(t-2)=m1P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m1P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m1Q(t) \text{ İSE } S(t)=m1$$
$$\text{EĞER } P(t-3)=m2P(t-3) \text{ VE } P(t-2)=m2P(t-2) \text{ VE } P(t-1)=m2P(t-1) \text{ VE } Q(t)=m2Q(t) \text{ İSE } S(t)=m2 \quad (6.29)$$

BMO alt havzası S-IV M3 ANFIS katı madde tahmin modelinin eğitim parametreleri Tablo 6.46'da ve yapısı Şekil 6.39'da verilmiştir.

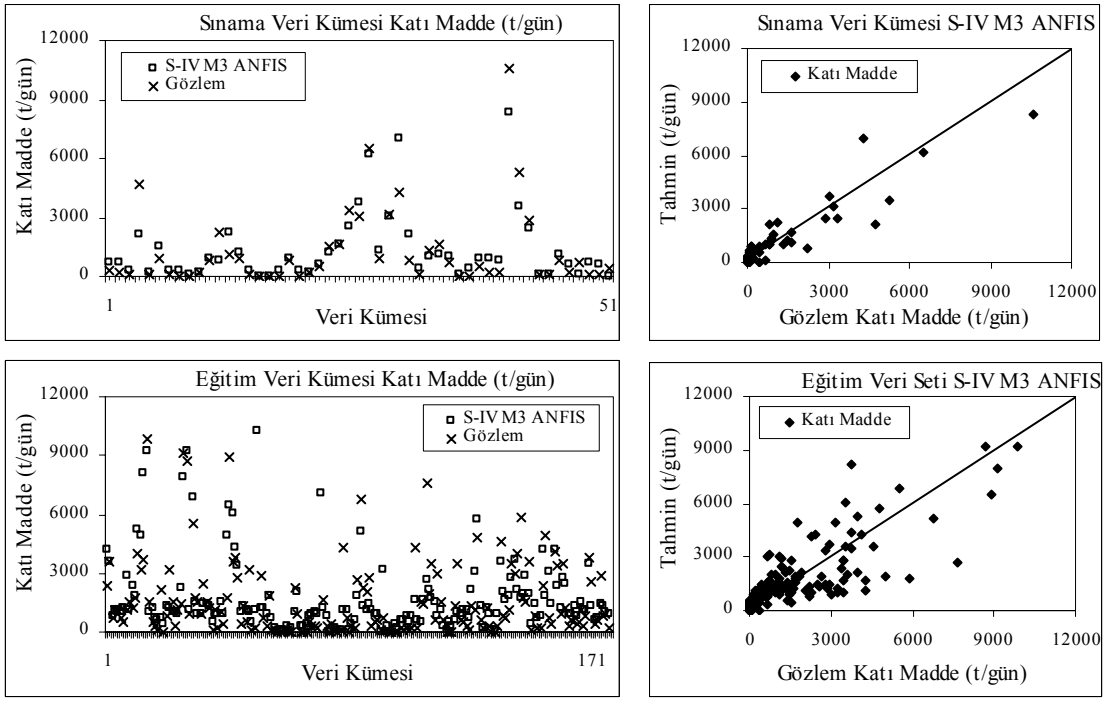


Şekil 6.39 BMO IV. tip katı madde tahmini için en uygun model yapısı

Tablo 6.46 BMO IV. tip katı madde tahmini için eğitim parametreleri

Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
2	30	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

BMO alt havzası S-IV M3 ANFIS katı madde tahmin modelinin eğitim/sınama tahmin sonuçları gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 6.40'da verilmiştir.



Şekil 6.40 BMO S-IV M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.5. Katı Madde Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, bütün alt havzalarda I.ve II. tip katı madde tahmin çalışmalarında kurulan katı madde tahmin modellerinin sonuçları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

6.5.1. YBM katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

YBM için I. ve II. tip olmak üzere iki farklı tipte tahmin modelleri kurulmuş ve sonuçlar karşılaştırılarak en uygun model belirlenmiştir. YBM alt havzası katı madde tahmininde en uygun modellerin yapısı denklem (6.30) ve (6.31)'de verilmiştir.

YBM alt havzası **S-I M2 ANFIS** : $S(t)_{713} = f(Q(t)_{713}, Q(t-1)_{713})$ (6.30)

YBM alt havzası **S-II M4** : $S(t)_{713} = f(Q(t)_{713}, Q(t-1)_{713}, P(t-1))$ (6.31)

YBM S-I M2 ve S-II M4 katı madde tahmin modellerinin eğitim parametreleri Tablo 6.47'de ve davranışları Tablo 6.48'de verilmektedir.

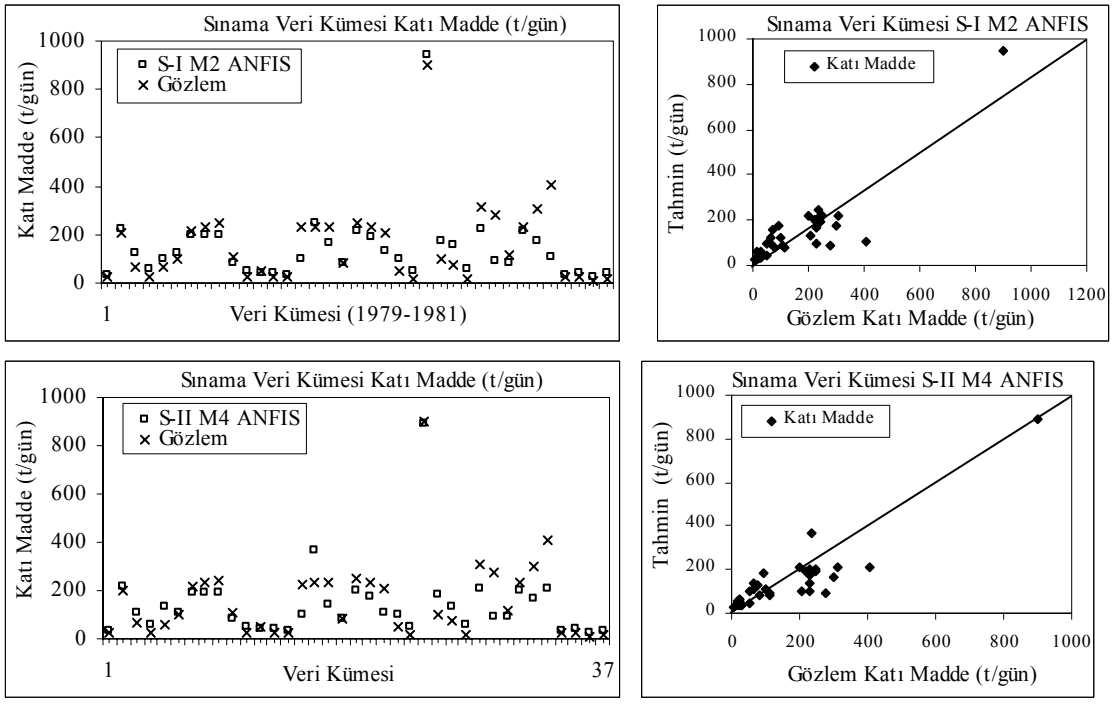
Tablo 6.47 YBM katı madde tahmini için seçilen eğitim parametreleri

Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
S-I M2	2	20	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
S-II M4	2	30	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 6.48 YBM katı madde tahmin modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-I M2	75.47	0.787	0.893	57.95	0.792	0.898
S-II M4	71.70	0.808	0.904	71.43	0.685	0.836

Tablo 6.48'e göre, S-II M4 ve S-I M2 modellerinin iyi bir davranışa sahip oldukları söylenebilir. KHOK, E ve R değerleri karşılaştırıldığında her iki model sonuçlarının birbirine yakın çıktığı, ancak, S-I M2 modelinin davranışının daha iyi olduğu görülmektedir. Tablo 6.48'e göre YBM katı madde tahmini için en uygun model S-II M4 ve en uygun veri kümesi ise MY3 seçilmiştir. S-I M2 ve S-II M4 katı madde tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6.41'de verilmektedir.



Şekil 6.41 YBM S-I M2 ve S-II M4 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.5.2. Banaz çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Banaz çayı alt havzası için yine iki farklı tipte tahmin modelleri geliştirilmiş ve en uygun modeller belirlenmiştir. Banaz çayı katı madde tahmin çalışmalarından en uygun sonucu veren modellerin yapısı denklem (6.32) ve (6.33)'den görülmektedir.

Banaz çayı **S-I M2 :** $S(t)_{735} = f(Q(t)_{713}, Q(t-1)_{735})$ (6.32)

Banaz çayı **S-II M7**: $S(t)_{735} = f(Q(t)_{713}, Q(t-1)_{735}, Q(t-2)_{735}, P(t-1))$ (6.33)

Banaz çayı S-I M2 ve S-II M7 akış tahmin modellerinin eğitim parametreleri Tablo 6.49'da ve davranışları Tablo 6.50'de verilmiştir.

Tablo 6.49 Banaz çayı katı madde tahmini için eğitim parametreleri

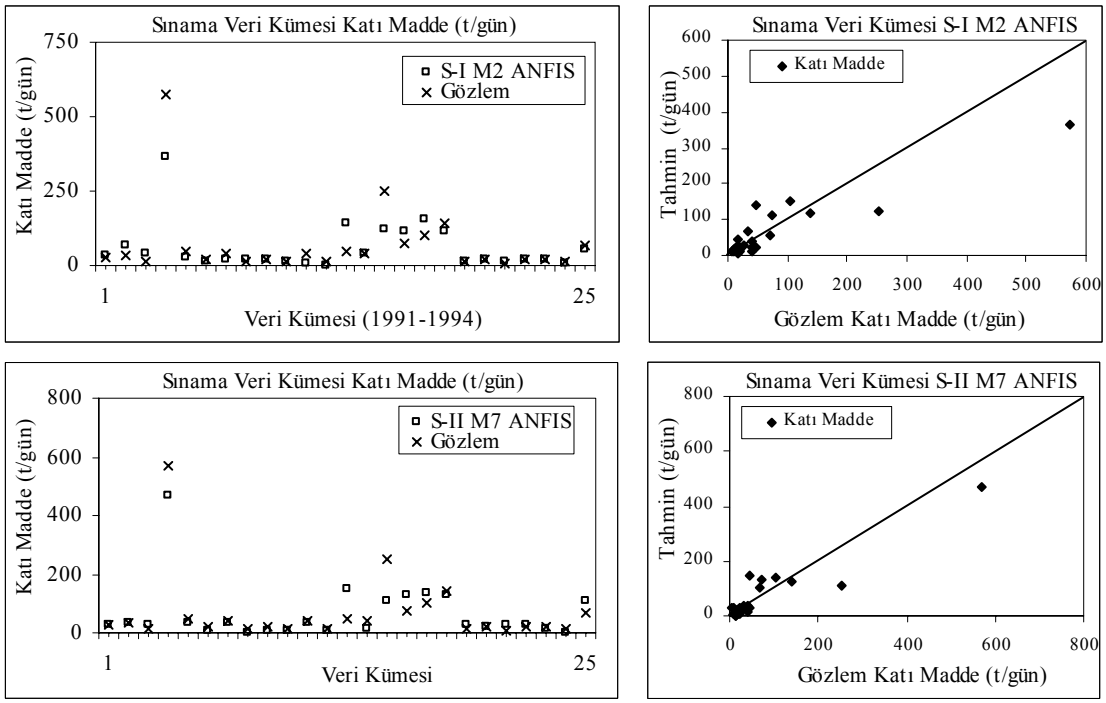
Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
S-I M2	4	50	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
S-II M7	3	40	Gauss – 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 6.50 Banaz çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-I M2	55.46	0.769	0.914	50.19	0.753	0.868
S-II M7	44.85	0.849	0.928	49.89	0.759	0.870

Tablo 6.50 incelendiğinde, sınama veri kümesi için, KHOK, E ve R değerleri her iki modelde de birbirine yakın çıkmış ve modeller genel olarak iyi bir davranış göstermiştir. Her iki tahmin modelinin hem eğitim ve hem de sınama veri kümeleri için davranışları birbirine yakın çıktığı, ancak S-II M7 tahmin modelinin davranışının daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 6.84'deki ölçütlere göre Banaz çayı katı madde tahmini için en uygun model S-II M7 ve en uygun veri kümesi ise MY3 seçilmiştir. S-II M7 ve S-I M2 model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6.42'de verilmektedir.



Şekil 6.42 Banaz çayı S-I M2 ve S-II M7 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.6.3. Çine çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Çine çayı katı madde tahmini için benzer şekilde iki farklı tipte model kurulmuş ve sonuçları değerlendirilerek, en uygun modeller belirlenmiştir. Çine çayı katı madde tahmini için en uygun modellerin yapısı denklem (6.34) ve (6.35)'de verilmiştir.

Çine çayı **S-I M3 ANFIS :** $S(t)_{701} = f(Q(t)_{701}, Q(t-1)_{701}, Q(t-2)_{701})$ (6.34)

Çine çayı **S-II M7 ANFIS** : $S(t)_{701} = f(Q(t)_{701}, Q(t-1)_{701}, Q(t-2)_{701}, P(t-1))$ (6.35)

Çine çayı alt havzası S-I M3 ve S-II M7 katı madde tahmin model davranışları Tablo 6.51'da ve bu modellerin eğitim parametreleri Tablo 6.52'de gösterilmiştir.

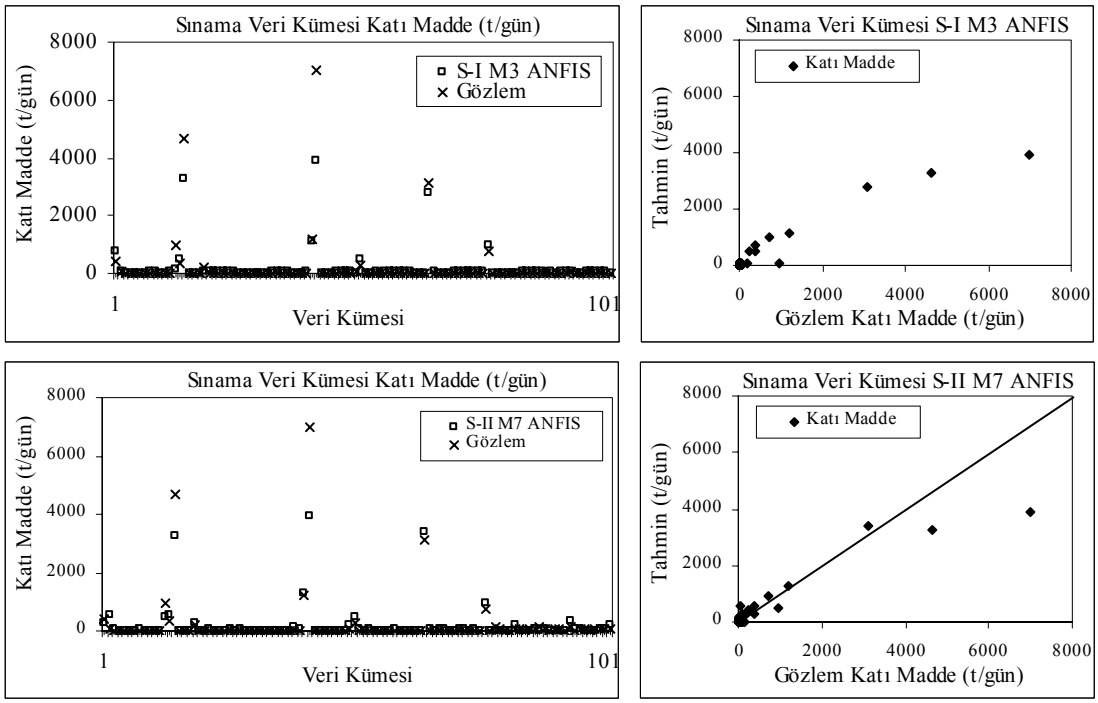
Tablo 6.51 Çine çayı katı madde tahmin modelleri eğitim parametreleri

Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
S-I M3	4	60	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
S-II M7	3	20	Gauss – 3	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Tablo 6.52 Banaz çayı katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-I M3	353.30	0.840	0.954	353.16	0.778	0.882
S-II M7	349.01	0.844	0.937	437.23	0.660	0.814

Tablo 6.52'de, E ve KHOK değerlerine bakıldığında, S-II M7 modelinin daha iyi davranışa sahip olduğu ancak R değerleri karşılaştırıldığında S-I M3 model sonucunun daha iyi olduğu görülmektedir. Tablo 6.52'ye göre katı madde tahmini için en uygun model S-II M7 ve en uygun veri kümesi ise MY3 seçilmiştir. S-I M3 ve S-II M7 model sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 6.43'de verilmiştir.



Şekil 6.43 Çine çayı S-I M3 ve S-II M7 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

6.5.4. BMO katı madde tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

BMO alt havzası katı madde tahmini için kurulan modeller diğer havzalardan farklıdır. BMO için, dört farklı tipte ve farklı yapıya sahip katı madde tahmin modelleri geliştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. BMO katı madde tahmini için kurulan farklı tipteki tahmin çalışmalarından en uygun modeller belirlenmiş ve modellerin yapıları denklem (6.36), (6.37), (6.38) ve (6.39)'da görülmektedir.

S-I M3 ANFIS : $S(t)_{706} = f(Q(t)_{706},\ Q(t-1)_{706},\ Q(t-2)_{706})$ (6.36)

S-II M2 ANFIS : $S(t)_{706} = f(Q(t)_{706},\ Q(t-1)_{706},\ Q(t-1)_{712})$ (6.37)

S-III M2 ANFIS : $S(t)_{706} = f(Q(t)_{706},\ P(t-1),\ P(t-2))$ (6.38)

S-IV M3 ANFIS : $S(t)_{706} = f(Q(t)_{706}, Q(t-1)_{712}, P(t-1), P(t-2), P(t-3))$ (6.39)

BMO alt havzası en uygun katı madde tahmin modellerinin davranışları Tablo 6.53'de ve bu modellerin eğitim parametreleri Tablo 6.54'de verilmektedir.

Tablo 6.53 BMO akış tahmin modelleri için seçilen eğitim parametreleri

Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE Yöntemi	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma
S-I M3	2	50	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
S-II M2	4	50	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
S-III M2	6	20	Gauss – 6	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
S-IV M3	5	25	Gauss – 5	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

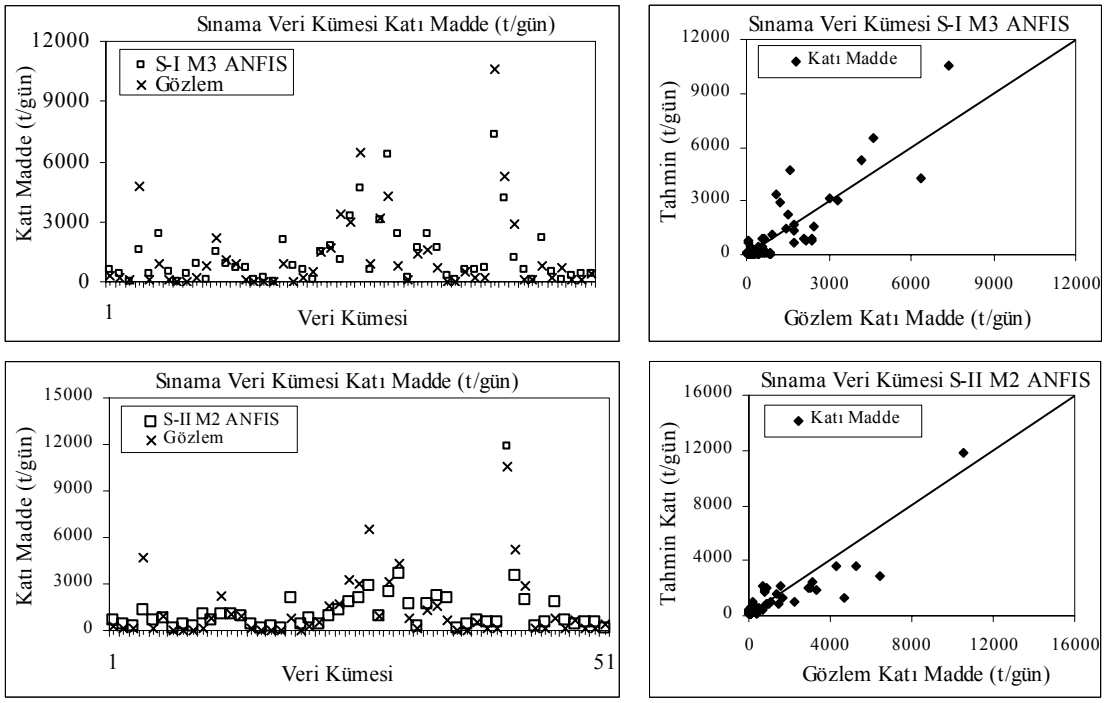
Tablo 6.54 BMO katı madde tahmin modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-I M3	1011.16	0.742	0.866	1271.81	0.684	0.828
S-II M2	949.96	0.772	0.878	713.48	0.876	0.902
S-III M2	791.51	0.842	0.918	1119.76	0.756	0.869
S-IV M3	811.42	0.834	0.915	1256.39	0.693	0.833

Tablo 6.54'e bakıldığında, genel olarak bütün katı madde tahmin modelleri eğitim ve sınama veri kümeleri için oldukça iyi bir davranış göstermiştir. E ve R değerlerine bakıldığında, genel olarak bütün modellerde birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Sadece akış verilerinden oluşan katı madde tahmin modelleri karşılaştırıldığında, davranışları genel olarak birbirine çok yakın çıkmakla birlikte, S-II M2 katı madde tahmin modelinden elde edilen sonuçların S-I M3 modeline göre daha iyi olduğu söylenebilir. Tablo 6.54'e göre, BMO katı madde tahmini için, sadece akış verilerinden oluşan modeller arasından, en iyi sonucu S-II M2 modeli vermiştir. Bu sonuçlara göre tahmin edilen 706 nolu AGİ'nin menbaında yer alan 712 nolu AGİ'nin model davranışını arttırdığı görülmektedir.

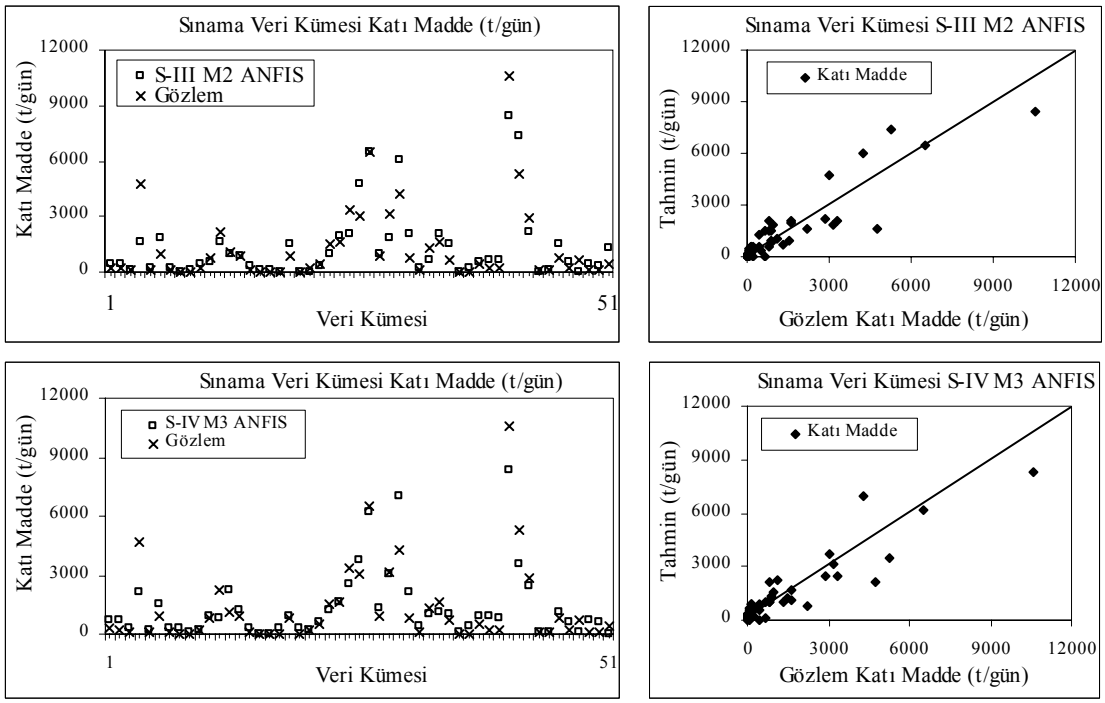
Yağış ve akış verileri kullanılarak kurulan modellerin sonuçlarına bakıldığında, benzer şekilde modeller genel olarak oldukça iyi bir davranış göstermiştir. Tabloda, S-III M2 tahmin modelinden elde edilen sonuçların S-IV M2 modeline göre daha iyi olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, yağış ve akış değişkenlerinin birlikte kullanılması ile kurulan modeller karşılaştırıldığında en iyi sonuç S-III M2 modelinden elde edilmiştir. BMO en uygun katı madde tahmin modelini belirlemek için, S-II M2 ve S-III M2 katı madde tahmin model sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo'daki ölçütlere göre, S-III M2 modeli, S-II M2 modeline göre daha iyi davranış göstermiş olup elde edilen sonuçlardan, katı madde tahmininde yağış değişkeninin model davranışını arttırdığı görülmüştür.

Ayrıca, BMO katı madde tahmininde, tahmin edilen istasyonun menbaında yer alan istasyonunun da model davranışını arttırdığı söylenebilir. Sonuç olarak, BMO tahmin modelleri genel olarak oldukça iyi bir davranış göstermekle birlikte, en iyi sonucu S-III M2 modeli vermiştir. Şekil 6.44'de sadece akış verilerinden oluşan ANFIS modellerinin gözlem sonuçları ile karşılaştırılması verilmiştir.



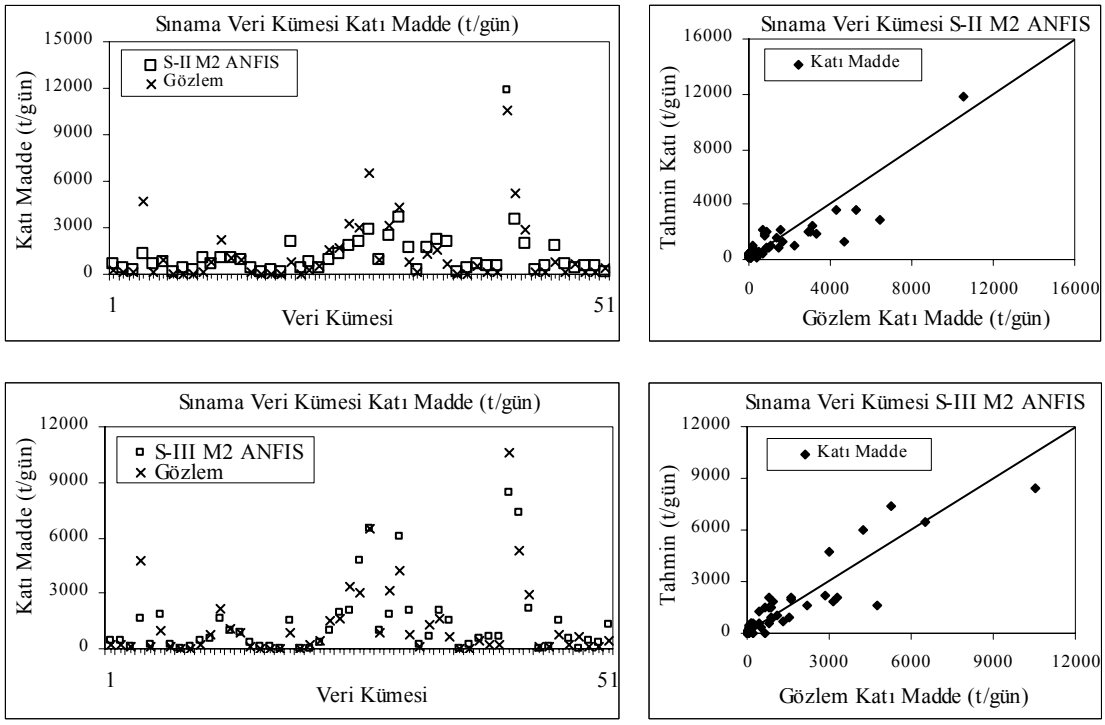
Şekil 6.44 BMO S-I M3 ve S-II M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

Akış ve yağış değişkenlerinden oluşan ANFIS akış tahmin modellerinin gözlem sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 6.45'de verilmiştir.



Şekil 6.45 BMO S-III M2 ve S-IV M3 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

Şekillerden de görüldüğü gibi yine benzer şekilde, yağış ve akış değişkenlerinden oluşan ANFIS akış tahmin modelleri genel olarak iyi bir davranış göstermiştir. İki farklı tipteki tahmin modellerinden en uygun sonucu veren S-II M2 ve S-III M2 modellerinin karşılaştırılması Şekil 6.46'da verilmiştir.



Şekil 6.46 BMO S-II M2ve S-III M2 model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

7. DUYARLILIK ANALİZİ

Bu bölümde akış ve katı madde veri kümelerinin ve eğitim parametrelerinin değişik durumları göz önüne alınarak çözüm yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, veri kümesi uzunluğunun, ÜF ve kural sayı ve öğrenme algoritmasının model davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır.

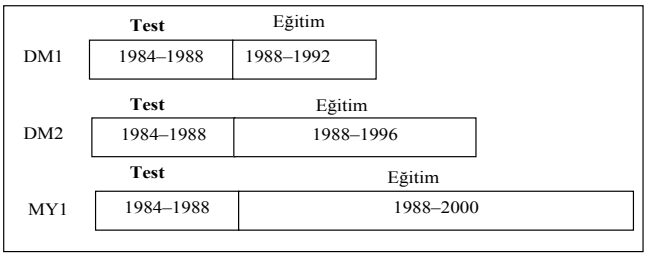
7.1. Eğitim Kümesi Uzunluğunun Akış Tahmin Model Davranışına Etkisi

Akış tahmin modellerinde eğitim veri küme uzunluğunun model davranışı üzerine etkisini araştırmak için, 706 nolu AGİ için en uygun sonucu veren R-I M2, R-III M1, PR-I M4 ve PR-III M1 ANFIS akış tahmin modelleri kullanılmıştır. Bu modellerin eğitiminde ve sınama işleminde kullanılan veri kümeleri Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1 BMO akış tahmini için eğitim/sınama veri kümeleri

	Eğitim Veri Zamanı	Eğitim Veri Sayısı	Sınama Veri Zamanı	Sınama Veri Sayısı
MY_1	1988 – 2000	4383	1984 – 1988	1461
MY_2	1984 – 1988 1992 – 2000	4383	1988 – 1992	1461
MY_3	1984 – 1992 1996 – 2000	4383	1992 – 1996	1461
MY_4	1984 – 1996	4383	1996 – 2000	1461

BMO akış tahmin modellerinin Tablo 7.1'de verilen veri kümeleri ile eğitim ve sınama işleminden sonra en uygun veri kümesi MY1 olarak tanımlanan küme seçilmiştir. Eğitim veri kümesi uzunluğunun model davranışı üzerine etkisini araştırmak için, modeller ilk önce 1988–1992 (DM1) yıllarını kapsayan veriler ile eğitilmiştir. Daha sonra, söz konusu modeller 1988–1996 (DM2) yıllarını kapsayan veriler eğitilmiş ve 1984–1988 yıllarını kapsayan veriler ile sınanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her üç durum için eğitim ve sınama veri kümelerinin yapısı Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 BMO akış tahmini için faklı uzunlukta eğitim/sınama veri kümeleri

BMO en uygun akış tahmin modellerinin Şekil 7.1'de verilen farklı uzunluktaki veri kümeleri ile eğitiminden sonra sınama verileri için davranışları Tablo 7.2'de verilmiştir.

Tablo 7.2 Farklı uzunluktaki eğitim kümeleri için BMO akış tahmin model davranışları

Ölçüt	Veri Kümesi	R-I M2	R-III M1	PR-I M4	PR-III M1
KHOK	DM1	14.14	8.62	11.99	8.66
	DM2	8.14	7.24	8.75	7.68
	MY1	7.10	6.03	6.97	6.82
E	DM1	0.730	0.899	0.806	0.898
	DM2	0.911	0.929	0.903	0.920
	MY1	0.926	0.934	0.934	0.937
ORH (%)	DM1	11.46	7.47	8.99	8.20
	DM2	8.93	7.59	7.61	7.56
	MY1	7.30	7.30	7.31	7.28
R	DM1	0.904	0.966	0.945	0.966
	DM2	0.965	0.964	0.962	0.967
	MY1	0.964	0.968	0.968	0.968

Tablo 7.2'de, E ve R değerleri karşılaştırıldığında, değerlerin birbirine çok yakın çıktığı ancak MY1 veri kümesi ile eğitilen modeller DM1 ve DM2 kümeleri ile eğitilen modellere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. ORH ve KHOK değerlerine bakıldığında, benzer şekilde model sonuçları birbirine çok yakın çıkmış ancak yine MY1 kümesi ile eğitilen modellerin daha iyi başarı gösterdiği belirlenmiştir. Modellerin DM1 ve DM2 veri kümeleri için davranışları karşılaştırıldığında, genel olarak DM2 kümesi ile eğitilen modellerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Sonuç olarak, BMO akış tahmini için, eğitim veri küme uzunluğunun model başarısını arttırdığı görülmüştür. Dikkat edilirse, MY1 veri kümesi ile eğitilen modellerin başarısının en iyi olmasında, eğitim kümesinde yer alan maksimum akışların da etkisinin olduğu söylenebilir.

7.2. ÜF Sayısının Akış Tahmin Model Davranışına Etkisi

ANFIS ile modellemede bulanık kural sayısı ÜF sayısına göre yazıldığından dolayı, ÜF sayısı, model sonuçlarını etkilemektedir.. Bu nedenle, bu bölümde ÜF sayısının akış tahmin model davranışına etkisi araştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu amaçla, BMO akış tahmininde en uygun sonucu veren R-III M1 ve PR-III M1 modelleri kullanılmış ve eğitim parametreleri Tablo 7.3'de verilmiştir.

Tablo 7.3 BMO akış tahmin modelleri için seçilen eğitim parametreleri

Model	Kural Sayısı	İterasyon Sayısı	ÜF ve sayısı	VE İşlemci	Çıkarım Yöntemi	Toplama Yöntemi	Durulaştırma Yöntemi
R-III M1	4	30	Gauss – 4	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama
PR-III M1	2	35	Gauss – 2	Çarpım	En Küçükleme	En Büyükleme	Ağırlıklı Ortalama

Bu modeller, diğer eğitim parametreleri değiştirilmeden farklı ÜF sayıları için eğitim/sınama işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 7.4'de verilmiştir.

Tablo 7.4 BMO farklı üyelik fonksiyon sayısı için akış model davranışları

ÜF	R-III M1				PR-III M1			
Sayısı	KHOK	E	ORH (%)	R	KHOK	E	ORH (%)	R
2	8.62	0.899	8.36	0.966	**6.82**	**0.937**	**7.20**	**0.968**
3	7.51	0.924	7.77	0.962	7.43	0.926	7.89	0.962
4	**6.03**	**0.934**	**7.30**	**0.968**	8.31	0.906	8.45	0.952
5	8.79	0.896	7.83	0.946	7.95	0.916	8.12	0.957
6	7.13	0.921	7.45	0.956	7.82	0.915	7.85	0.957
7	10.26	0.859	7.95	0.928	7.93	0.925	7.80	0.953
8	9.45	0.874	7.86	0.917	7.88	0.916	7.60	0.956

Tablo 7.4'e göre ÜF sayısının artması R-III M1 ve PR-III M1 akış tahmin model davranışını önemli ölçüde arttırmadığı görülmüştür. R-III M1 modeli için, en iyi sonuç 4 ÜF ile elde edilmiş ve kural sayısı arttıkça model başarısının artmadığı aksine azaldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, PR-III M1 tahmin modeli, en iyi sonucu 2 ÜF ile vermiş ve ÜF sayısı arttıkça sonuçlarda küçük değişimlerin olduğu görülmüştür. Ayrıca, ÜF sayısının çok fazla seçilmesi model başarısını arttırmadığı aksine düşürdüğü görülmüştür. Benzer işlemler diğer alt havzalar için de yapılmış ve ÜF sayısının sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmış ve ÜF sayısının artışının model başarısını önemli ölçüde arttırmadığı tespit edilmiştir.

7.3 Öğrenme Algoritmasının Akış Tahmin Model Davranışına Etkisi

Bu bölümde, iki farklı tip ANFIS öğrenme algoritmasının model davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, BMO R-III M1 ve PR-III M1 ANFIS modelleri seçilmiş olup bu modeller Bölüm 5'de yapılan çalışmada "Hybrib öğrenme algoritması" ile çözülmüştür. Bu bölümde ise, bu modeller diğer eğitim parametreleri değiştirilmeden "Hatayı geriye yayma algoritması" kullanılarak yeniden eğitilerek sınama işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçları Tablo 7.5'de verilmiştir.

Tablo 7.5 BMO farklı öğrenme algoritmaları için akış model davranışları

Öğrenme Algoritması	R-III M1				PR-III M1			
	KHOK	E	ORH (%)	R	KHOK	E	ORH (%)	R
Hybrid	6.030	0.934	7.30	0.968	6.82	0.937	7.20	0.968
Hatayı Geriye Yayma	11.28	0.828	8.52	0.912	6.84	0.936	7.17	0.968

Tablo 7.5'e bakıldığında, R-III M1 akış tahmin modelinin Hybrid öğrenme algoritması ile çözümünden elde edilen sonuçların, Hatayı geriye yayma

algoritmasından elde edilen sonuçlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Tablo'dan PR-III M1 modeli için, iki öğrenme algoritma sonuçları karşılaştırıldığında, her iki çözümden elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır. PR-III M1 modeli için, E ve KHOK değerleri karşılaştırıldığında, Hybrid algoritma ile çözümden elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, iki farklı öğrenme algoritması ile çözümünden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, genel olarak davranışlar birbirine yakın çıkmakla birlikte Hybrid algoritma çözümden elde edilen sonuçların daha iyi olduğu söylenebilir.

7.4. En uygun Tahmin Modellerinin YSA ile Çözümü

Bu bölümde, alt havzalarda ANFIS akış ve katı madde tahmin modellerinin davranışını değerlendirmek, daha hassas ve güvenilir bir karşılaştırma yapmak için, en uygun yapıya sahip ANFIS tahmin modelleri İBYSA ile eğitilmiş ve sınama edilmiştir. Bu işlem bütün alt havzalarda I. ve II. tip en uygun akış/katı madde tahmin modelleri için yapılmış ve elde edilen sonuçlar ANFIS tahmin model sonuçları ile karşılaştırılarak davranışları değerlendirilmiştir. Modellerin eğitiminde ve sınama edilmesinde, ANFIS modellerde kullanılan veri kümeleri kullanılmıştır. Akış ve katı madde modellerinin İBYSA ile eğitimi sırasında, ağ yapısı, öğrenme derecesi, iterasyon sayısı gibi eğitim parametreleri deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. İBYSA ve ANFIS model sonuçlarının değerlendirilmesi için daha önceden verilen ölçütler kullanılmıştır.

7.4.1. BMO akış tahmin modellerinin YSA ile çözümü

BMO akış tahmini için kurulan altı farklı tipte akış tahmin modelleri arasından her tip için en uygun ANFIS akış tahmin modeli seçilmiştir. En uygun yapıya sahip R-I M2, R-III M1, PR-I M4 ve PR-III M1 modelleri daha iyi bir karşılaştırma için İBYSA ile eğitilmiş ve sınama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tahmin modellerinin İBYSA ile eğitimi sırasında seçilen eğitim parametreleri Tablo 7.6'da ve İBYSA tahmin model sonuçları ile ANFIS model sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 7.7'de verilmiştir.

Tablo 7.6 BMO akış tahmin modelleri için seçilen İBYSA eğitim parametreleri

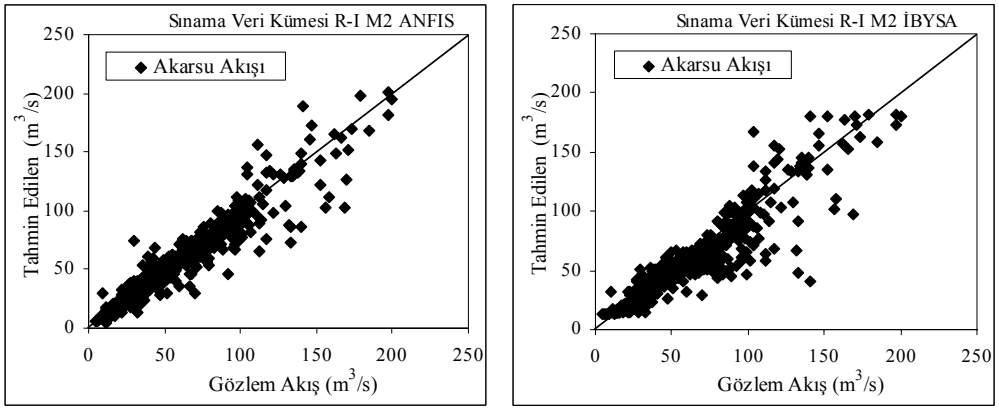
Model	Ağ Yapısı	İterasyon Sayısı	Öğrenme Derecesi	Momentum Katsayısı
R-I M2 İBYSA	2–11–1	1000	0.1	0.5
R-III M1 İBYSA	2 – 10 – 1	1000	0.1	0.5
PR-I M4 İBYSA	3 – 5 – 1	1000	0.1	0.5
PR-III M1 İBYSA	3 – 10 – 1	1000	0.1	0.3

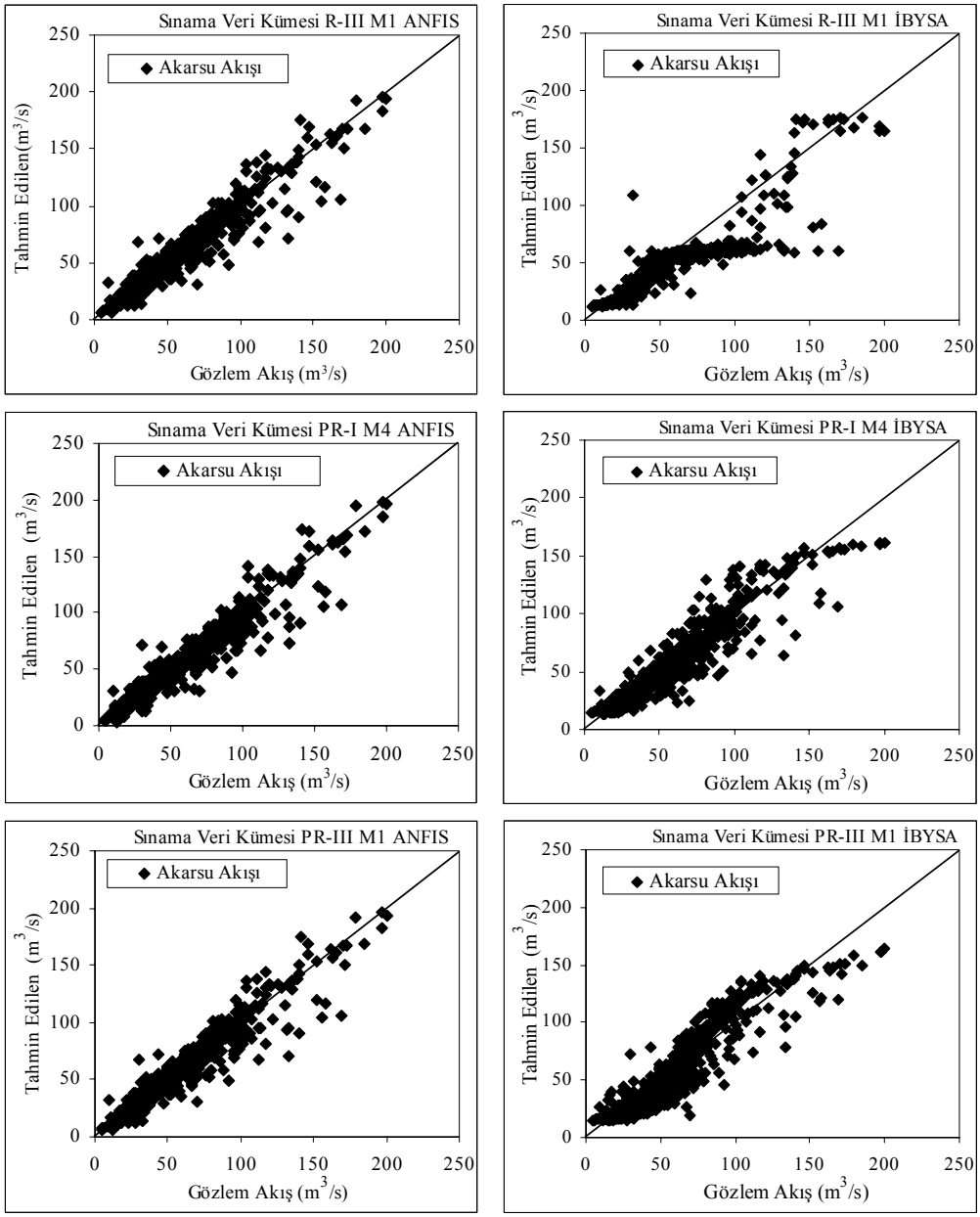
Tablo 7.7 BMO ANFIS ve İBYSA modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH (%)	R	KHOK	E	ORH (%)	R
R-I M2 ANFIS	7.10	0.926	0.073	0.964	5.95	0.930	0.138	0.970
R-I M2 İBYSA	9.62	0.875	0.103	0.938	6.93	0.912	0.187	0.955
R-I M2 MTSA	9.51	0.882	0.095	0.930	6.08	0.927	0.165	0.950
R-I M2 MR	7.31	0.828	0.114	0.916	6.25	0.905	0.156	0.947
R-III M1 ANFIS	6.03	0.934	0.073	0.968	6.71	0.910	0.220	0.958
R-III M1 İBYSA	9.99	0.892	0.108	0.911	7.99	0.882	0.278	0.939
R-III M1 MTSA	8.76	0.902	0.092	0.925	7.55	0.875	0.260	0.942
R-III M1 MR	9.05	0.866	0.115	0.896	8.03	0.863	0.282	0.917
PR-I M4 ANFIS	6.97	0.934	0.073	0.967	6.20	0.929	0.198	0.964
PR-I M4 İBYSA	8.60	0.900	0.098	0.951	8.54	0.866	0.269	0.933
PR-I M4 MTSA	8.65	0.895	0.104	0.946	8.07	0.873	0.221	0.941
PR-I M4 MR	8.13	0.884	0.106	0.932	9.17	0.836	0.288	0.899
PR-III M1 ANFIS	6.82	0.937	0.072	0.968	6.70	0.917	0.138	0.958
PR-III M1 İBYSA	10.06	0.863	0.165	0.943	9.14	0.846	0.293	0.920
PR-III M1 MTSA	9.32	0.884	0.109	0.937	9.03	0.868	0.230	0.930
PR-III M1 MR	11.23	0.867	0.114	0.934	10.56	0.834	0.285	0.910

Tablo 7.6'dan da görüldüğü gibi, genel olarak ANFIS akış tahmin modellerinden elde edilen sonuçlar İBYSA akış tahmin modellerinden elde edilen sonuçlara göre daha iyi çıkmıştır. Sadece akış verilerinden oluşan R-I M2 ve R-III M1 akış tahmin modelleri dikkate alındığında, ANFIS model sonuçlarının daha iyi olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar yağış-akış verilerinden oluşan PR-I M4 ve PR-III M1 tahmin modelleri için de elde edilmiştir.

Sonuç olarak, Tablo7.6'ya göre, akış tahmin çalışmalarında ANFIS modelleri İBYSA modellerine göre daha iyi bir başarı göstermiştir. Ayrıca, gerek modellemedeki kolaylık ve gerekse elde edilen sonuçlardan ANFIS yönteminin İBYSA yöntemine göre daha üstün olduğu söylenebilir. Şekil 7.2'de BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.





Şekil 7.2 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA sonuçlarının karşılaştırılması

7.4.2. YBM akış tahmin modellerinin YSA ile çözümü

YBM alt havzasında akış tahmini için iki farklı tipte modeller kurulmuş ve model sonuçları ile gözlem sonuçları karşılaştırılarak en uygun yapıya sahip ANFIS akış tahmin modelleri belirlenmiştir. Bu bölümde ise YBM alt havzası R-I M2 ve PR-I M4 modelleri İBYSA ile eğitilerek sınama edilmiştir. YBM alt havzası tahmin modellerinin İBYSA ile eğitimi sırasında seçilen parametreler Tablo 7.8'de ve İBYSA model sonuçları ile ANFIS model sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 7.9'da verilmiştir.

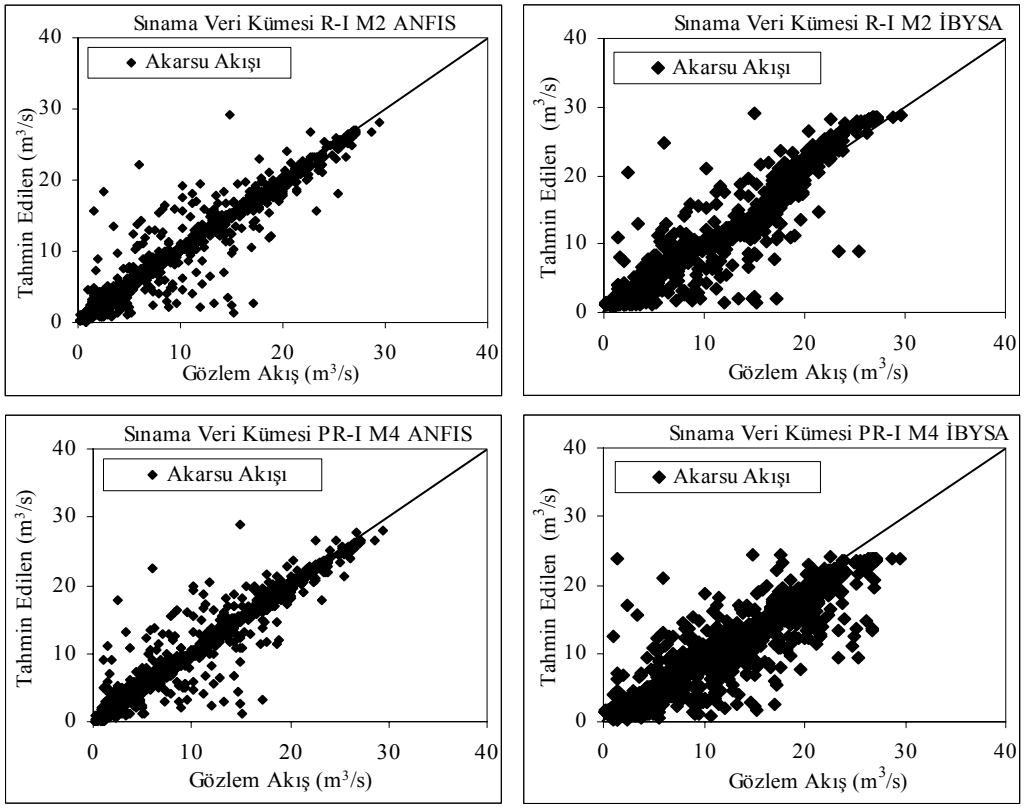
Tablo 7.8 YBM akış tahmin modelleri için seçilen İBYSA eğitim parametreleri

Model	Ağ Yapısı	İterasyon Sayısı	Öğrenme Derecesi	Momentum Katsayısı
R-I M2 İBYSA	2 – 6 – 1	1000	0.1	0.3
PR-I M4 İBYSA	3 – 9 – 1	1000	0.1	0.3

Tablo 7.9 YBM ANFIS ve İBYSA akış tahmin modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi				Eğitim Veri Kümesi			
	KHOK	E	ORH (%)	R	KHOK	E	ORH (%)	R
R-I M2 ANFIS	1.382	0.961	0.125	0.981	2.010	0.960	0.146	0.980
R-I M2 İBYSA	1.707	0.939	0.196	0.972	2.570	0.940	0.147	0.970
PR-I M4 ANFIS	1.369	0.961	0.112	0.981	1.934	0.966	0.116	0.983
PR-I M4 İBYSA	2.274	0.893	0.324	0.949	3.070	0.914	0.147	0.956

Tablo 7.15'de, E ve R değerleri dikkate alındığında, ANFIS akış tahmin modelinden elde edilen değerler daha yüksek ve 1'e yakın çıkmıştır. Diğer taraftan, ORH ve KHOK 'ya bakıldığında, ANFIS model sonuçlarının İBYSA sonuçlarına göre daha düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, akış tahmin çalışmalarında ANFIS modelleri İBYSA modellerine göre daha iyi bir başarı göstermiştir. Ayrıca, gerek modellemedeki kolaylık ve gerekse elde edilen sonuçlardan ANFIS yönteminin İBYSA yöntemine göre daha üstün olduğu söylenebilir. Şekil 7.3'de YBM alt havzası ANFIS ve İBYSA akış tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 7.3 YBM alt havzası ANFIS ve İBYSA sonuçlarının karşılaştırılması

7.4.3. BMO katı madde tahmin modellerinin YSA ile çözümü

BMO katı madde tahmini için dört farklı tipte geliştirilen katı madde tahmin modelleri arasından her tip için en uygun ANFIS akış tahmin modeli belirlenmiştir. En uygun yapıya sahip S-I M3, S-II M2, S-III M2 ve S-IV M3 modelleri, daha iyi bir karşılaştırma için İBYSA ile eğitilmiş ve sınanmıştır. Bu tahmin modellerinin İBYSA ile eğitimi sırasında seçilen eğitim parametreleri Tablo 7.10'da ve İBYSA tahmin model sonuçları ile ANFIS model sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 7.11'de verilmiştir.

Tablo 7.10 BMO katı madde tahmin modelleri için seçilen İBYSA eğitim parametreleri

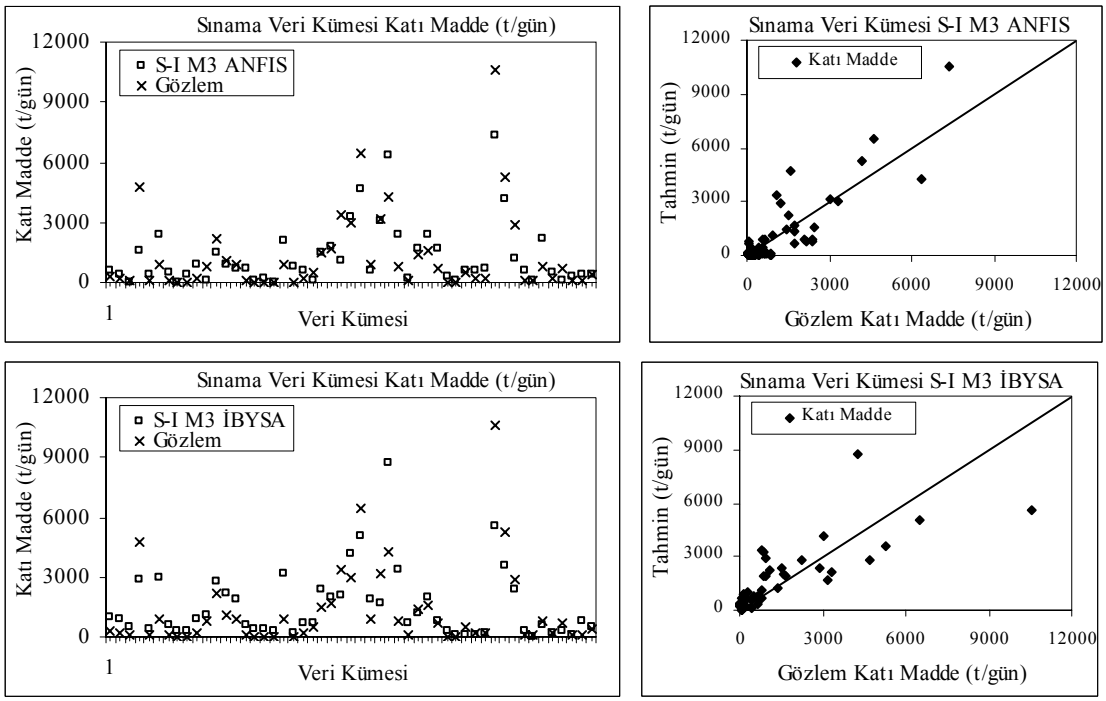
Model	Ağ Yapısı	İterasyon Sayısı	Öğrenme Derecesi	Momentum Katsayısı
S-I M3 İBYSA	3 – 10 – 1	1500	0.2	0.6
S-II M2 İBYSA	3 – 11 – 1	1500	0.2	0.6
S-III M2 İBYSA	3 – 9 – 1	2000	0.1	0.5
S-IV M3 İBYSA	5 – 8 – 1	1500	0.2	0.6

Tablo 7.10'da verilen eğitim parametreleri, en iyi sonucu verecek şekilde deneme yanılma yoluyla bulunmuştur.

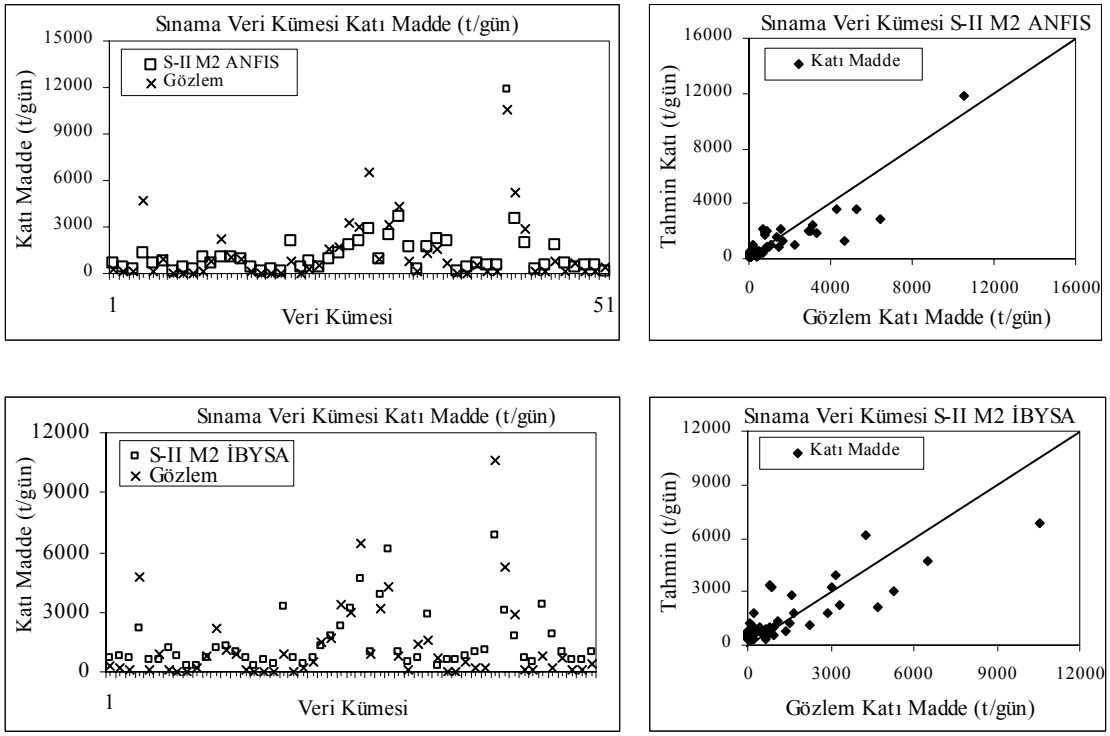
Tablo 7.11 BMO ANFIS ve İBYSA modellerinin davranışları

Model	Sınama Veri Kümesi			Eğitim Veri Kümesi		
	KHOK	E	R	KHOK	E	R
S-I M3 ANFIS	1011.16	0.742	0.866	1271.81	0.684	0.828
S-I M3 İBYSA	1129.66	0.678	0.839	1407.79	0.613	0.786
S-I M3 MTSA	1116.98	0.685	0.849	1400.45	0.634	0.795
S-I M3 MR	1226.14	0.620	0.800	1420.60	0.608	0.780
S-II M2 ANFIS	949.96	0.772	0.878	713.48	0.871	0.902
S-II M2 İBYSA	1109.51	0.689	0.846	1470.20	0.579	0.770
S-II M2 MTSA	1152.06	0.665	0.828	1229.78	0.705	0.844
S-II M2 MR	1322.21	0.528	0.822	1495.36	0.564	0.753
S-III M2 ANFIS	791.51	0.842	0.918	1119.76	0.756	0.869
S-III M2 İBYSA	1182.16	0.647	0.869	1366.30	0.687	0.787
S-III M2 MTSA	1208.32	0.673	0.872	1293.04	0.695	0.804
S-III M2 MR	1116.43	0.685	0.820	1407.60	0.613	0.784
S-IV M3 ANFIS	811.42	0.834	0.915	1256.39	0.693	0.833
S-IV M3 İBYSA	1056.75	0.718	0.861	1370.20	0.634	0.797
S-IV M3 MTSA	1032.76	0.724	0.876	1310.45	0.655	0.802
S-IV M3 MR	1068.99	0.681	0.833	1410.78	0.610	0.761

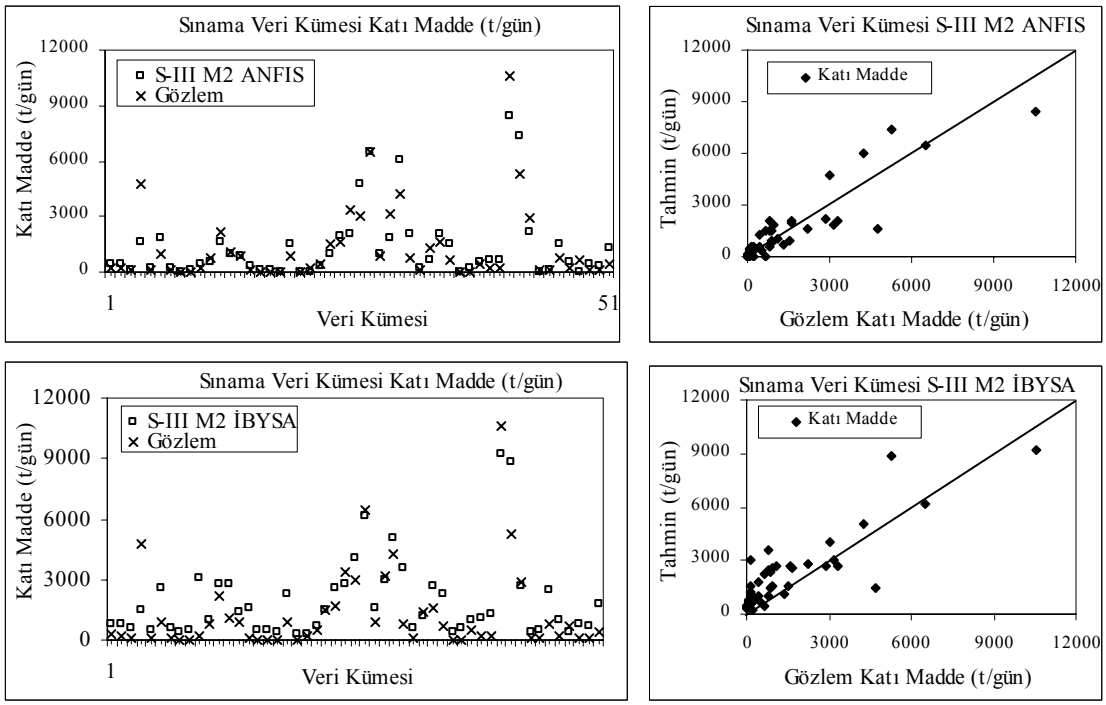
Tablo 7.11'den E ve R değerleri genel olarak karşılaştırıldığında, ANFIS modellerinden elde edilen değerler daha yüksek çıkmıştır. KHOK değerlerine bakıldığında, ANFIS modellerinden elde edilen sonuçların daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, gerek modellemedeki kolaylık ve gerekse de elde edilen sonuçlardan ANFIS yönteminin İBYSA yöntemine göre daha üstün olduğu söylenebilir. Şekil 7.4, 7.5, 7.6 ve 7.7'de BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA katı madde tahmin model sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.



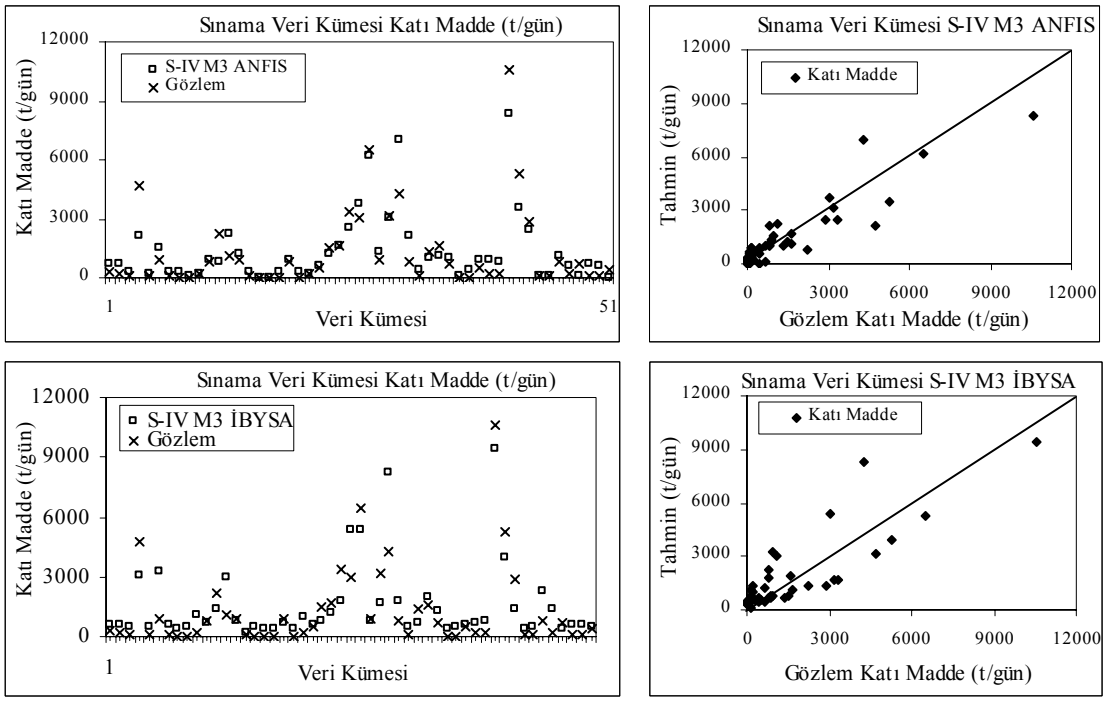
Şekil 7.4 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA I. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 7.5 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA II. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 7.6 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA III. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 7.7 BMO alt havzası ANFIS ve İBYSA IV. tip katı madde model sonuçlarının karşılaştırılması

8. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, ANFIS yönteminin su kaynaklarının planlanması ve tahmin edilmesinde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, Büyük Menderes havzası uygulama alanı olarak seçilmiş ve havzada dört ayrı akarsu kolu için akış ve katı madde tahmin modelleri geliştirilmiştir. Akış ve katı madde modelleri Büyük Menderes havzasında yer alan 713 nolu AGİ (YBM), 735 nolu AGİ (Banaz çayı), 701 nolu AGİ (Çine çayı) ve 706 nolu AGİ (BMO) için kurulmuş ve tahmin gerçekleştirilmiştir. Bütün akarsu kollarında akış ve katı madde tahmini için, ilk önce sadece akış verileri kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Akış ve katı madde tahmininde, eğitim ve sınama veri kümelerinin yapısının model davranışı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle daha iyi bir modelleme ve tahmin için veri kümelerinin düzenlenmesinde çapraz geçerlilik yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, veri kümesi dört eşit gruba ayrılarak modeller bu dört ayrı eğitim veri kümesi ile eğitilmiş ve sınama edilmiştir. ANFIS tahmin modellerinin sonuçlarını değerlendirmek için çeşitli performans değerlendirme ölçütleri hesaplanarak her bir alt havza için en uygun akış ve katı madde tahmin model yapısı belirlenmiştir. En uygun model yapısı belirlendikten sonra yine hesaplanan davranış değerlendirme ölçütlerine göre en uygun eğitim/sınama veri kümesi belirlenmiştir.

*Akış tahmini için***;** YBM ve Banaz çayı alt havzalarında gerçekleştirilen ANFIS akış tahmin modellerinin sonuçlarına bakıldığında, genel olarak bütün modeller iyi bir başarı göstermiş ve en uygun model yapıları benzer yapıda çıkmıştır. Sadece akış verilerinden oluşan tahmin modelleri karşılaştırıldığında, YBM alt havzasında en uygun sonuç iki girişe sahip modelden elde edilmiştir. Benzer şekilde Banaz çayı alt havzasında sadece akış verilerinden meydana gelen modeller karşılaştırıldığında, en uygun sonuç yine iki girişe sahip modelden elde edilmiştir. Bu alt havzalarda yağış ve akış verilerinden oluşan modeller karşılaştırıldığında, her iki alt havzada en uygun akış tahmin modelleri, akış parametresinin bir ve iki gün önceki değeri ile yağış parametresinin bir gün önceki değeri olmak üzere üç giriş değişkeninden oluşmaktadır. YBM ve Banaz çayı alt havzalarında, iki farklı tipteki akış tahmin modellerinin sonuçları karşılaştırıldığında,

yağış ve akış verilerinden oluşan modellerin davranışlarının daha iyi olduğu ve yağış parametresinin akış tahmin model davranışını arttırdığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre, YBM ve Banaz çayı alt havzalarında, yağış-akış verilerinden oluşan modeller en uygun akış tahmin modelleri olarak seçilmiştir. Ayrıca, YBM alt havzasında en uygun veri kümesi MY4 ve Banaz çayı alt havzasında ise MY3 kümesi seçilmiştir. Sonuç olarak, YBM ve Banaz çayı alt havzalarında akış tahmini için geliştirilen her iki tipteki ANFIS tahmin modellerinin oldukça iyi bir başarıya sahip olduğu görülmüştür.

Çine çayı alt havzası akış tahmini için, sadece akış verilerinden oluşan akış tahmin modellerinin sonuçları değerlendirildiğinde en uygun model üç girişten oluşmaktadır. Diğer taraftan yağış ve akış verilerinden oluşan modeller karşılaştırıldığında en uygun model, akış ve yağış parametrelerinin bir gün önceki değerleri olmak üzere iki değişkenden oluşmaktadır. Çine çayı alt havzasında bu iki farklı tipteki akış tahmin modelleri karşılaştırıldığında, YBM ve Banaz çayı alt havzalarında olduğu gibi yağış değişkeninin model davranışını/başarısını arttırdığı görülmüş ve en uygun akış tahmin modeli yağış-akış verileri ile kurulan model seçilmiştir. Bu alt havzada model davranışlarına göre en uygun veri kümesi MY2 seçilmiştir.

BMO alt havzasında geliştirilen akış tahmin çalışmasında, tahmin yapılan 706 nolu AGİ ile birlikte, bu istasyonun menbaında yer alan 712 nolu AGİ de kullanılmıştır. 706 nolu AGİ'de akış tahmini için sadece akış verilerinden oluşan üç farklı tipte akış tahmin modelleri kurulmuş ve sonuçlar karşılaştırılarak her üç farklı tip için en uygun model yapıları belirlenmiştir. Bu üç farklı tipteki model sonuçlarına bakıldığında, genel olarak modellerin oldukça iyi bir başarı göstermiş ve en iyi sonuç 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait verilerden oluşan modelden edilmiştir. Sadece 706 nolu AGİ'ye ait akış verilerinden oluşan akış tahmin modelinin de iyi bir başarıya sahip olduğu ancak sadece 712 nolu AGİ'ye ait akış verilerinden oluşan tahmin modelinin başarısının çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, BMO alt havzasında sadece akış verileri ile kurulan modeller arasından en uygun sonuç 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait verilerden oluşan modelden elde edilmiş ve tahmin edilen istasyonun menbaında yer alan istasyonun model başarısını arttırdığı görülmüştür.

BMO alt havzasında akış tahmini için ikinci olarak, yağış-akış verileri ile üç farklı tipte tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bunlar, sadece 706 nolu AGİ'ye ait akışlar ile

yağış parametresi ile kurulan model, sadece 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresi ile kurulan model ve 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresinin kullanılması ile geliştirilen modeller şeklindedir. Her üç farklı tipteki modellerin sonuçları değerlendirilerek en uygun yapıya sahip modeller belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresi ile kurulan modelin davranışının en iyi olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan sadece 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresi ile kurulan modelin başarısının en düşük seviyede olduğu görülmüştür. BMO alt havzası en uygun akış tahmin modelini belirlemek için, akış-akış ve yağış-akış verileri ile kurulan en uygun modeller karşılaştırılmıştır. Hesaplanan ölçütlere göre, 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresi ile geliştirilen model başarının, diğer modellere göre daha iyi olduğu ve yağış parametresinin model davranışını olumlu yönde arttırdığı gözlenmiştir.

*Katı madde tahmini için***,** YBM ve Banaz çayı alt havzaları için kurulan katı madde tahmin model sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak modeller iyi bir başarı göstermiştir. Sadece akış verileri ile kurulan modeller karşılaştırıldığında, YBM ve Banaz çayı alt havzasında en uygun sonuç iki girişe sahip modellerden elde edilmiştir. Bu alt havzalarda yağış-akış verileri ile kurulan tahmin modelleri karşılaştırıldığında, YBM alt havzasında iki akış ve bir yağış parametresinden oluşan model en iyi sonuç vermiştir. Diğer taraftan Banaz çayı katı madde tahmini için en uygun model üç akış ve bir yağış parametresinden meydana gelmektedir. Bu alt havzalarda, iki farklı tipteki tahmin modellerinin sonuçları karşılaştırıldığında, yağış ve akış verileri ile geliştirilen modellerin davranışının daha iyi olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, YBM ve Banaz çayı alt havzalarında katı madde tahmininde yağış parametresinin model başarısını arttırdığı tespit edilmiş ve yağış-akış verileri ile kurulan modeller en uygun tahmin modelleri olarak seçilmiştir.

Çine çayı katı madde tahmini için, sadece akış verileri ile kurulan modellerin sonuçlarına bakıldığında, en iyi sonuçlar üç girişe sahip modelden elde edilmiştir. Diğer taraftan yağış ve akış verileri ile geliştirilen modeller karşılaştırıldığında, en iyi sonucu akış ve yağış parametrelerinin bir gün önceki değerlerinden oluşan model vermiştir. Çine çayı alt havzasında iki farklı tipteki modeller karşılaştırıldığında, YBM ve Banaz çayı alt havzalarında olduğu gibi en uygun model yağış-akış verileri ile kurulan model seçilmiş ve yağış değişkeninin model başarısını arttırdığı tespit edilmiştir.

BMO alt havzası katı madde tahmini için, sadece 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait akış verileri iki farklı tipte modeller kurulmuş ve bu modellerin sonuçları karşılaştırılarak en uygun model yapıları belirlenmiştir. Bu iki farklı tipteki model sonuçlarına bakıldığında, genel olarak modellerin davranışlarının oldukça iyi bir olduğu ve en iyi sonucu 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait verilerden oluşan modelin verdiği edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre BMO katı madde tahmininde, tahmin edilen istasyonun menbaında yer alan istasyonun model başarısını arttırdığı tespit edilmiştir.

BMO alt havzasında katı madde tahmini için ikinci olarak, yağış-akış verileri ile iki farklı tipte tahmin modelleri geliştirilmiş ve sonuçları değerlendirilerek en uygun yapıya sahip modeller belirlenmiştir. Bunlar, 706 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresi ile kurulan oluşan model ve 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresinden oluşan modeller şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre, 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresinden oluşan modelin en iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir. BMO alt havzası en uygun katı madde tahmin modelini belirlemek için, akış-katı madde ve yağış-akış-katı madde verilerinden oluşan en uygun modeller karşılaştırılmıştır. Hesaplanan ölçütlere göre, 706 ve 712 nolu AGİ'ye ait akışlar ile yağış parametresinden oluşan model, diğer modellere göre daha iyi bir performans göstermiş ve yağış parametresinin model performansını olumlu yönde arttırdığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada, ANFIS akış ve katı madde tahmin modellerinin güvenirliliğini kontrol etmek ve daha hassas bir karşılaştırma yapmak için, en uygun yapıya sahip akış ve katı madde modelleri YSA ile de eğitilmiş ve sınama edilmiştir. Her iki yöntemin performanslarını değerlendirmek ve karşılaştırmak için çeşitli performans değerlendirme ölçütleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ölçütlere bakıldığında, bütün alt havzalarda ANFIS tahmin modelleri YSA modellerine göre daha iyi performans göstermiştir. Akış ve katı madde tahmininde, E ve R değerleri karşılaştırıldığında, ANFIS tahmin modellerinden elde edilen değerler 1'e yakın ve YSA modellerinden çok daha iyi çıktığı görülmüştür. KHOK ve ORH ölçütleri karşılaştırıldığında, benzer şekilde ANFIS modellerinin daha iyi bir performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, hesaplanan ölçütlere göre, akış ve katı madde tahmininde ANFIS yöntemi YSA yöntemine göre çok daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, gerek

modellemedeki kolaylıklar ve gerekse model performansları dikkate alındığında ANFIS yönteminin YSA yöntemine göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, ANFIS ile tahmin modeli kurulurken model performansını etkileyen, eğitim veri küme uzunluğu, üyelik fonksiyon sayısı, öğrenme algoritması, durulaştırma yöntemi vb. birçok parametre dikkate alınmaktadır. Bu çalışma sonunda, duyarlılık analizi amacıyla bu parametrelerin model performansı üzerine etkisi araştırılmış ve bazı durumlar için çözümler yapılmıştır. İlk olarak eğitim veri kümesi uzunluğunun model performansı üzerine etkisi araştırılmış ve BMO alt havzası akış tahmin modelleri için farklı uzunlukta eğitim veri kümeleri ile eğitim gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, en fazla veriye sahip eğitim veri ile eğitilen modelin en iyi performansa sahip olduğu görülmüştür. İkinci olarak, üyelik fonksiyon sayısının model performansı üzerine etkisini araştırmak için akış modelleri için uygulama yapılmıştır. Çalışma sonucunda, üyelik fonksiyon sayısının artışı model performansını arttırmadığı aksine model performansında azalma olduğu görülmüştür. Son olarak öğrenme algoritmasının model performansı üzerindeki etkisi araştırılmış ve "Hatayı geriye yayma algoritması" ve "Hybrid öğrenme algoritması" ile eğitim yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Her bir çözüm sonunda elde edilen sonuçlara bakıldığında, genel olarak Hybrid öğrenme algoritmasından elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak hesaplanan ölçütlere göre, bütün alt havzalarda akış ve katı madde tahmini için, sadece akış verilerinden oluşan ANFIS tahmin modelleri oldukça iyi bir performans göstermiş ve model yapılarını genel olarak birbirine benzer yapıya sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan yağış-akış verilerinden oluşan ANFIS akış tahmin modellerinin, sadece akışlardan oluşan modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği ve yağış parametresinin model performansını genel olarak arttırdığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yağış-akış, akış- katı madde ve yağış-akış-katı madde modellerinde ANFIS yönteminin oldukça iyi sonuçlar verdiği ve bu yöntemin su kaynaklarının planlanmasında başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Agarwal, A., Mishra, S.K., Ram, S., and Singh, J.K. (2006) Simulation of runoff and sediment yield using artificial neural networks. ***Biosystems Engi***., 94 (4): 597–613.

Antar, M.A., Elassiouti, I., and Alam, M.N. (2006) Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks technique: a Blue Nile catchment case study. ***Hydrological Process***, 20: 1201–1216.

Barattia, R., Cannas, B., Fanni, A., Pintus, M., Sechi, G.M., and Torenoa, N. (2003) river flow forecast for reservoir management through neural networks. ***Neurocomputing***, 55: 421 – 437.

Bayazıt, M. (1995) Hidroloji. ***İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası***. 975-561-059-6. İstanbul,242s.

Bingner, R.L. (1998) Systems analysis of runoff and sediment yield from a watershed using a simulation model. Doctor of Philosophy Thesis, ***University of Illinois at Urbana Champaign***. Illinois.

Bodri, L., and Cermak, V. (1999) Prediction of extreme precipitation using a neural network: application to summer flood in Moravia. ***Advances in Engineering***, 31: 311-321.

Chang, F.J., Hu, H.F., and Chen Y.C. (2001) Counter propagation fuzzy–neural network for river flow reconstruction. ***Hydrological Processes,*** 15: 219–232.

Chang, F.J., Chang, L.C., and Huang, H.L. (2002) Real-time recurrent learning neural network for stream-flow forecasting. ***Hydrological Process***, 16, 2577–2588.

Chang F.J., and Chang, Y.T. (2006) Adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of water level in reservoir. ***Advances in Water Resources,*** 29: 1-10.

Chang, Y.T., Chang, L.C., and Chang, F.J. (2005) Intelligent control for modeling of real-time reservoir operation, part II: artificial neural network with operating rule curves. ***Hydrological Process***, 19: 1431–1444.

Chen, S.H., Lin Y.H, Chang L.C, and Chang F.J. (2006) The strategy of building a flood forecast model by neuro-fuzzy network. ***Hydro.Process***, 20: 1525–1540.

Cıgızoğlu, H.K. (2004) Estimation and forecasting of daily suspended sediment data by multi-layer perceptrons. ***Advances in Water Resources***, 27: 185–195.

Da Silva, L.N., De Arruda, L.V.R., and Do Amaral, W.C. (1999) A novel approach to robust parameter estimation using neuro fuzzy systems. ***Mathematics and Computers in Simulation***, 48: 251-268.

Daoming, G., and Jie, C. (2006) ANFIS for high-pressure waterjet cleaning prediction. ***Surface & Coatings Technology,*** (baskıda)

Dibike, Y.B, and Solomatine, D.P. (2001) River Flow forecasting Using Artificial Neural Networks. Phys, ***Chem. Earth (B).***, 26: 1-7.

Erkek, C., ve Ağıralioğlu, N. (2002) Su Kaynakları Mühendisliği. ***Beta yayınları***. 975-295-125-2. İstanbul, 360s.

Ertunga, C.Ö., and Duckstein, L. (2001) Fuzzy conceptual rainfall-runoff models. ***Journal of Hydrology***, 253: 41-68.

Fırat, M. (2002) Doğrusal ve Kıvrımlı Akarsulara Yerleştirilen Köprü Ayakları Etrafında Meydana Gelen Oyulma Derinliğinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,

Fırat, M., ve Güngör, M. (2004) Askı Maddesi Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, ***İMO Teknik Dergi***, Cilt 15, Sayı 3, 3267- 3282.

Fırat, M., and Güngör, M. (2005) Estimation of suspended sediment amount by radial basis neural networks", ***2st Water Engineering Symposium***, 682-693. İzmir

Fırat, M., and Güngör, M. (2006a) River flow estimation using adaptive neuro-fuzzy inference system. ***Mathematics and Computers in Simulation,*** (**baskıda**)

Fırat, M., and Güngör, M. (2006b). Estimation of Scour Depth around Circular bridge pier using artificial neural Networks. ***Proceedings of the Fifth GAP Engineering Congress (International)***, 1129-1135, 26-28 April, Şanlıurfa,.

Gellis, A.C. (2003) Suspended sediment characteristics in four humid tropical watersheds of contrasting land use, Puerto Rico, Doctor of Philosophy Thesis, ***Colorado State University***, Colorado

Huang, W., Xu, B., and Hilton, A.C. (2004) Forecasting flows in Apalachicola river using neural Networks. ***Hydrological Process,*** 18: 2545–2564.

Holtschlag, D.J. (2001) Optimal estimation of suspended-sediment concentrations in streams. ***Hydrol. Process.*** 15: 133–1155.

Hsu, K., Gupta H.V., and Sorooshian S. (1998) River flow Forecasting Using Artificial Neural Networks. ASCE, ***Water Resources Engin.Conference'98***, 967-972.

Jacquin, A.P., and Shamseldin, A.Y. (2006) Development of rainfall–runoff models using Takagi–Sugeno fuzzy inference systems. ***Journal of Hydrology,*** (baskıda)

Jain, S.K., Das, A, and Srivastava D.K. (1999) Application of ANN for Reservoir Inflow Prediction and Operation. *ASCE* **J. of Water Res. Plan. and Mang.,** 25 (5).

Jain, A., and Kumar, A.M. (2006) Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting. ***Applied Soft Computing***, (baskıda)

Jang, J.S.R, Sun, C.T, and Mizutani, E. (1997) Neuro-Fuzzy and Soft Computing, ***PrenticeHall***, ISBN 0-13-261066-3, United States of America. 607 s.

Jeong, D., and Kim, Y.O. (2005) Rainfall-runoff models using artificial neural networks for ensemble stream flow prediction. ***Hydrol.Process,*** 19: 3819–3835.

Kumar, A., and Das, G. (2000) Dynamic Model of Daily Rainfall, runoff and sediment yield for a Himalayan Watershed. ***Journal of Agric. Engng Res.,*** 75, 189-193.

Kumar, A.R.S., Sudheer, K.P., Jain, S.K., and Agarwal, P.K. (2005) Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks:comparison of network types. ***Hydrological Process***, 19: 1277–1291.

Lester, J.M. (2003) Investigation of the Applicability of Neural-Fuzzy Logic Modeling for Culvert Hydrodynamics. Doctor of Philosophy Thesis, College of Engineering ***and Mineral Resources at West Virginia University.***

Lin, G.F., and Chen, L.H. (2004) A non-linear rainfall-runoff model using radial basis function network. ***Journal of Hydrology,*** 289: 1–8.

Liong, S.Y., Lim, W.H., Kojiri, T., and Hori, T. (2000) Advance Flood forecasting for Flood stricken Bangladesh with a fuzzy reasoning method, ***Hydrological Process,***14: 431- 448.

Luk, K.C., Ball, J.E., and Sharma, A. (2001) An application of artificial neural networks for rainfall forecasting. ***Math. and Computer Modeling***, 33: 883-699

Mahabir, C., Hicks, F.E., and Fayek A.R. (2003) Application of fuzzy logic to the seasonal runoff, ***Hydrological Process,*** 17: 3749–3762.

Mitra, B., Scott, H.D, Dixon J.C, and Mckimmey, J.M. (1998) Application of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed. ***Geoderma,*** 86: 183–209.

Molnar, P. (2001) Precipitation and erosion dynamics in the Rio Puerco Basin. Doctor of Philosophy Thesis, ***Colorado State University***, Colorado.

Murat Y.S. (2006) Comparison of Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Approaches in Vehicle Delay Modeling. ***Transportation Research Part C-Emerging Technologies***, **14/1**: 316-334.

Nagy, H.M., Watanabe, K., and Hirano, M. (2002) Prediction of sediment load concentration in rivers using artificial neural network model, **Journal of Hydr. Eng**, 128: 588-595.

Nayak, P.C., Sudheer, K.P., and Ramasastri, K.S. (2004a) Fuzzy computing based rainfall-runoff model for real time flood forecasting. ***Hydrological Process,*** 17***:*** 3749–3762.

Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Ragan, D.M., and Ramasastri, K.S. (2004b) A Neuro Fuzzy computing technique for modeling hydrological time series. ***Journal of Hydrology,*** 29: 52–66.

Rajurkar, M.P, Kothyari, U.C., and Chaube, U.C. (2004) Modeling of the daily rainfall runoff relationship with artificial neural network. ***Journal of Hydr.,*** 285: 96–113

Rangel, J.L., Viveros, U.I., Ayala, A.G., and Cervantes, F. (2005) Tunnel stability analysis during construction using a neuro-fuzzy system. ***Int. J. Numer. Anal. Meth.Geomech***, 29:1433–1456

Riad, S., Mania, J., Bouchaou, L., and Nayyar, Y. (2004) Rainfall-runoff model using an artificial neural network approach. ***Mathematical and Computer Modelling***, 40: 839-846

Sajikumar, N., and Thandaveswara, B.S. (1999) A non-linear rainfall–runoff model using an artificial neural network. ***Journal of Hydrology,*** 216: 32–55.

Sarangi, A., and Bhattacharya, A.K. (2005) Comparison of Artificial Neural Network and regression models for sediment loss prediction from Banha watershed in India. ***Agricultural Water Management***, 78: 195–208

Şen Z. (2001) Bulanık mantık ile modelleme ilkeleri ISBN: 9758509233, ***Bilge Kültür Sanat yayınevi***. İstabul, 172s.

Şen Z. (2004a) Mühendislikte bulanık mantık (Fuzzy) ile modelleme prensipleri. ISBN: 9758509233, ***Su Vakfı Yayınları***. İstabul, 190s.

Şen Z. (2004b) Yapay Sinir Ağları. ***Su Vakfı Yayınları***. Istanbul

Şen, Z., and Altunkaynak, A. (2006) A comparative fuzzy logic approach to runoff coefficient and runoff estimation. ***Hydrological Process,*** 20: 1993–2009**.**

Tütmez, B., Hatipoğlu, Z., and Kaymak, U. (2006) Modelling electrical conductivity of groundwater using an adaptive neuro-fuzzy inference system. ***Computers &Geosciences***,32:421–433.

Yılmaz, N.A.Ş., Alpaslan, F.N., and Jain, L. (2004) ANFIS unfolded in time for multivariate time series forecasting. ***Neurocomputing***, 61: 139 – 168.

Vernieuwe, H., Georgieva, O., De Baets, B., Pauwels, V.R.N., Verhoest, N.E.C., and De Troch, F.P. (2005) Comparison of data-driven Takagi–Sugeno models of rainfall–discharge dynamics. ***Journal of Hydrology***, 302: 173–186.

Zhu, Y.M., Lu, X.X., and Zhou, Y. (2006) Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment, China. ***Geomorphology*** (baskıda)

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut FIRAT, 01.01.1980'de Malatya'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Malatya'da tamamladı. 1996–1997 öğretim yılı Güz döneminde Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 1999–2000 öğretim yılı bahar döneminde Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden, bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2000–2001 öğretim yılı güz döneminde Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Hidrolik Bilim dalında Yüksek lisans eğitimine başladı. 28.12.2001'de Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü Hidrolik Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2001–2002 öğretim yılı bahar döneminde Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalından mezun oldu. 2002–2003 öğretim yılı güz döneminde Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Hidrolik bilim dalında doktora eğitimine başladı. 30.11.2004–06.06.2005 tarihleri arasında "*İnşaat EURO-GIS: İnşaat Mühendisliği Öğrencileri için Hareketlilik*" Leonardo Da Vinci projesi kapsamında, Almanya'da bulunan *Einfalt&Hydrotech Gbr* şirketinde araştırmacı olarak görev yaptı. Halen Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü Hidrolik Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. İngilizce ve Almanca bilmektedir.