

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAVRAMSAL BİR HİDROLOJİK MODELE
YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU

Ahmet Ali KUMANLIOĞLU

Eylül, 2011
İZMİR

KAVRAMSAL BİR HİDROLOJİK MODELE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı**

Ahmet Ali KUMANLIOĞLU

Eylül, 2011

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AHMET ALİ KUMANLIOĞLU, tarafından YRD. DOÇ. DR. OKAN FISTIKOĞLU yönetiminde hazırlanan “KAVRAMSAL BİR HİDROLOJİK MODELE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Yönetici



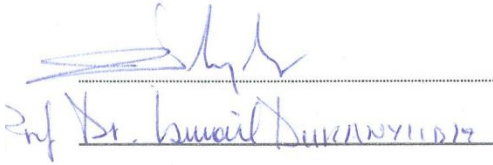
Prof. Dr. Sevinç ÖZKUL

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimin her aşamasında benden bilgisini, desteğini, zamanını esirgemeyen ve bakış açımın gelişmesinde yardımcı olan değerli danışmanım ve tez yöneticisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca yapıcı eleştiri ve yorumları ile çalışmanın daha da ilerlemesine katkıda bulunan tez izleme komitesinin değerli üyeleri Sayın Prof. Dr. Sevinç ÖZKUL ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL'a teşekkür ederim.

Doktora öğrenimim boyunca Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı'nda bana emeği geçen tüm değerli hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Beni yetiştiren, her türlü desteğini esirgemeyen ve akademisyenliğe yönlendiren çok sevdiğim canım babam Sayın Prof. Dr. Kamil KUMANLIOĞLU'na ve annem Dürdane KUMANLIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayat yolcuğumu benimle paylaşan, her zaman benden desteğini esirgemeyen biricik eşim Yeşim KUMANLIOĞLU'na, 2006 yılında aramıza katılarak ömrümüze ömür katan ve özellikle tezin yazım aşamasında yaşından büyük olgunlukla çalışmama izin veren canım oğlum Kamil KUMANLIOĞLU'na teşekkürlerimi sonsuz sevgilerimle sunarım.

Ahmet Ali KUMANLIOĞLU

KAVRAMSAL BİR HİDROLOJİK MODELE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU

ÖZ

Sunulan çalışmada, kavramsal bir hidrolojik modele yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar entegre edilerek, daha az parametreye sahip yeni bir günlük yağış akış modeli geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yapay zeka entegrasyonu, deterministik, ortalanmış, sürekli bir parametrik model olan GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) günlük yağış akış modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. GR4J günlük yağış akış modeli yapısında biriktirme ve öteleme elemanları bulunduran ve X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 olmak üzere 4 model parametresine sahip günlük yağış akış modelidir.

Çalışmada kapsamında GR4J parametrik yağış akış modeline ilk olarak yapay sinir ağlarının (YSA) entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı entegrasyonunda, GR4J modelinin parametre sayısı 4'ten 1'e indirilmiş ve model içersindeki doğrusal olmayan akım öteleme süreci yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Söz konusu bu entegrasyon ile modelin parametre sayısı önemli ölçüde azalırken tahmin performansı önemli ölçüde arttırılmıştır.

Çalışma ayrıca, GR4J-YSA entegre modeline genetik algoritmalar (GA) da entegre edilerek model parametrelerinin otomatik olarak GA sayesinde kalibre edilmesi sağlanmıştır. Son derece az parametreye sahip ve parametrelerini otomatik olarak kalibre edebilen GR4J-YSA-GA entegre modeli Gediz havzasının Murat, Selendi, Deliiniş, Demirci, Gördes, Medar ve Yiğitler althavzalarında uygulanarak model performansları incelenmiştir. Uygulama sonuçları, GR4J modeline YSA ve GA entegrasyonunun model performanslarını önemli ölçüde arttırdığı göstermiştir.

Sonuç olarak sunulan çalışmada, kavramsal hidrolojik modellere YSA ve GA gibi yapay zeka tekniklerinin entegre edilmesiyle, model parametre sayılarının azaltılarak kalibrasyon sürecinin hızlandırılabilceği ve buna karşılık entegre modellerle model tahmin performanslarının arttırılabilceği gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kavramsal hidrolojik model, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, Gediz havzası

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO A CONCEPTUAL HYDROLOGIC MODEL

ABSTARCT

In the presented study, a daily rainfall-runoff model with fewer parameters was developed through the integration of artificial neural network and genetic algorithms available from various artificial intelligence techniques onto a conceptual hydrologic model. The integration of artificial intelligence within the context of the study was achieved on the daily rainfall-runoff model, GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) that is known to be a deterministic, lumped and continuous parametric model. GR4J is a daily rainfall-runoff model which consists of storage and routing elements in its structure while having 4 model parameters as X_1 , X_2 , X_3 and X_4 .

The study started with the integration of Artificial Neural Networks (ANN) onto the parametric rainfall-runoff model. With the help of this integration, the parameter number of GR4J model was decreased from 4 to 1 and the nonlinear flow routing scheme in the model was modelled with artificial neural networks. Through such integration, a higher model performance was achieved while substantially limiting the number of model parameters.

Besides, the automatic calibration of the model parameters by means of genetic algorithms (GA) was performed in the study by integrating these GAs onto the GR4J-ANN integrated model. The resulting GR4J-ANN-GA integrated model including quite few model parameters and having the capability of automatic calibration for its parameters was implemented in the Murat, Selendi, Deliiniş, Demirci, Gördes, Medar and Yiğitler subbasins of the Gediz river basin for exploring the modelling performances. The results indicated that there is considerable increase in the modelling performance as an outcome of the ANN and GA integration with the GR4J model.

In conclusion, the study figured out that it is possible to potentially facilitate the calibration by decreasing the number of model parameters through the integration of

artificial intelligence techniques such as ANN and GA with conceptual hydrologic models, while indicating that estimation performances can be increased with the use of integrated models as a whole.

Keywords: Conceptual hydrologic model, artificial neural networks, genetic algorithms, Gediz basin.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Amaç	4
1.3 Kapsam.....	5
BÖLÜM İKİ – KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLER.....	6
2.1 Giriş.....	6
2.2 Hidrolojik Modeller ve Sınıflandırılması	6
2.3 Hidrolojik Modellerin Kalibrasyonu ve Verifikasyonu	10
2.4 Kavramsal Yağış-Akış Modelleri.....	12
BÖLÜM ÜÇ – YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ.....	15
3.1 Giriş.....	15
3.2 Yapay Sinir Ağları (YSA).....	17
3.2.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi	17
3.2.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve Bileşenleri	18
3.2.3 Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi ve Testi	25
3.2.4 Yapay Sinir Ağlarının Performansını Etkileyen Faktörler	29
3.2.5 Yapay Sinir Ağlarının Diğer Yöntemlerden Farklılıkları.....	30
3.3 Genetik Algoritma (GA)	31

3.3.1 Genetik Algoritma Nedir?	31
3.3.2 Genetik Algoritmaların Tarihçesi	32
3.3.3 Genetik Algoritmanın Yapısı.....	32
3.3.3.1 Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	33
3.3.3.2 Toplumun Oluşturulması	33
3.3.3.3 Uygunluk Değerinin Hesaplanması	36
3.3.3.4 Yeniden Üretim.....	36
3.3.3.5 Çaprazlama	40
3.3.3.6 Mutasyon.....	43
3.3.3.6 Amaca Uygunluk	45
3.3.4 Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Nedenler	45
3.3.5 Genetik Algoritmaların Diğer Optimisasyon Yöntemlerinden Farklılıkları.....	45

BÖLÜM DÖRT – KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODEL ve YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU

48

4.1 Giriş	48
4.2 GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) Günlük Yağış Akış Modeli ...	49
4.3 Yapay Sinir Ağı Günlük Yağış Akış Modeli	55
4.4 GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli.....	58
4.5 GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli.....	59
4.6 Modellerin Performans Kriterleri	61

BÖLÜM BEŞ – GÜNLÜK YAĞIŞ AKIŞ MODELLERİNİN GEDİZ HAVZASINDA UYGULANMASI

63

5.1 Giriş	63
5.2 Gediz Havzası ve Günlük Akımlarının Modellenmesi	63
5.2.1 Modelleme Çalışmalarında Kullanılan Akım Gözlem ve Meteoroloji İstasyonları.....	65
5.2.2 Murat Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi	68

5.2.2.1 Murat Althavzası Günlük Akımlarının GR4J Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	70
5.2.2.2 Murat Althavzası Günlük Akımlarının YSA Tabanlı Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi.....	74
5.2.2.3 Murat Althavzası Günlük akımlarının GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	81
5.2.2.4 Murat Althavzası Günlük Akımlarının GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	85
5.2.3 Selendi Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi.....	89
5.2.3.1 Selendi Althavzası Günlük Akımlarının GR4J Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	91
5.2.3.2 Selendi Althavzası Günlük Akımlarının YSA Tabanlı Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi.....	94
5.2.3.3 Selendi Althavzası Günlük akımlarının GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	101
5.2.3.4 Selendi Althavzası Günlük Akımlarının GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	105
5.2.4 Deliiniş Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi	109
5.2.4.1 Deliiniş Althavzası Günlük Akımlarının GR4J Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	111
5.2.4.2 Deliiniş Althavzası Günlük Akımlarının YSA Tabanlı Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi.....	115
5.2.4.3 Deliiniş Althavzası Günlük akımlarının GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	121
5.2.4.4 Deliiniş Althavzası Günlük Akımlarının GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	125
5.2.5 Demirci Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi.....	129
5.2.5.1 Demirci Althavzası Günlük Akımlarının GR4J Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	131
5.2.5.2 Demirci Althavzası Günlük Akımlarının YSA Tabanlı Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi.....	134

5.2.5.3 Demirci Althavzası Günlük akımlarının GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	141
5.2.5.4 Demirci Althavzası Günlük Akımlarının GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	145
5.2.6 Gördes Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi	149
5.2.6.1 Gördes Althavzası Günlük Akımlarının GR4J Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	151
5.2.6.2 Gördes Althavzası Günlük Akımlarının YSA Tabanlı Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi.....	155
5.2.6.3 Gördes Althavzası Günlük akımlarının GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	161
5.2.6.4 Gördes Althavzası Günlük Akımlarının GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	165
5.2.7 Medar Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi	169
5.2.6.1 Medar Althavzası Günlük Akımlarının GR4J Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	171
5.2.6.2 Medar Althavzası Günlük Akımlarının YSA Tabanlı Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi.....	174
5.2.6.3 Medar Althavzası Günlük akımlarının GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	180
5.2.6.4 Medar Althavzası Günlük Akımlarının GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	184
5.2.8 Yiğitler Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi	189
5.2.6.1 Yiğitler Althavzası Günlük Akımlarının GR4J Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	190
5.2.6.2 Yiğitler Althavzası Günlük Akımlarının YSA Tabanlı Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi.....	194
5.2.6.3 Yiğitler Althavzası Günlük akımlarının GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	198
5.2.6.4 Yiğitler Althavzası Günlük Akımlarının GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli ile Modellenmesi	202

BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR	207
6.1 Genel	207
6.2 Gediz Havzası Günlük Akım Modellerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi	208
6.3 Sonuçlar.....	225
KAYNAKLAR	228
EKLER.....	246

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Genel

Su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi çalışmalarında akım tahmin çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır. Havzada meydana gelebilecek taşkınların veya taşkın risklerinin önceden saptanması ve geleceğe yönelik akarsu su potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla, havzalara düşen yağışın akışa dönüşümünün belirlenmesi sürdürülebilir su yönetimi araştırmalarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (Liden ve Harlin 2000, Rico ve diğ., 2001, Najafi 2003, Moore ve diğ., 2005, Boughton, 2005, Kerh ve diğ. 2006, Dorum ve diğ., 2010). Söz konusu araştırmalar kapsamında, havzaya düşen yağışın akışa dönüşümünde rol oynayan buharlaşma, terleme, sızma, zemin depolaması gibi hidrolojik süreçlerin tamamını veya birkaçını dikkate alarak, yağış akış ilişkisinin ortaya konduğu kavramsal modeller veya bu süreçler yerine havzanın girdi ve çıktılarını matematiksel fonksiyonlarla ifade eden kapalı kutu modelleri geliştirilmektedir (Lee ve diğ., 2005).

Havzadaki yağış akış dönüşümünü, havzanın girdi ve çıktı verileri arasında kurulan, doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyonlarla tanımlayan kapalı kutu (kara kutu) modelleri sıkça karşılaşılan uygulamalar arasında yer almaktadır (Driver ve Troutman, 1989, Jakeman ve diğ., 1990, Rao ve Tirtotjondro, 1995, Yue ve Hashino, 2000, Rahman ve diğ., 2002, Rajukar ve diğ., 2004, Mendez ve diğ., 2004, Agirre ve diğ., 2005, Luz ve Heerman, 2005, Croke, 2006, Russo ve diğ., 2006, Aronica ve diğ., 2007, Bhadra ve diğ., 2008). Doğrusal yapıdaki kapalı kutu modellerinden biri olan birim hidrograf yöntemi ile yağışlar, hızlı bir şekilde akışlara dönüştürülebilmektedir. Ancak, birim hidrograf yönteminin, artık yağışın havzaya uniform olarak sabit şiddetle düştüğü; Δt süreli artık yağışın oluşturacağı dolaysız akış hidrografının süresinin yağış şiddetinden bağımsız ve sabit olduğu gibi kabulleri nedeniyle, birim hidrograflarla yapılan yağış akış dönüşümleri gerçek akımları tam olarak yansıtamamakta, dolayısıyla büyük havzalarda uygulanamamaktadır (Bayazıt, 1998).

Yağış akış dönüşümünün belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir diğer kapalı kutu modeli ise, yapay sinir ağları yöntemiyle kurulan yağış akış modelleridir (Hsu ve diğ. 1995, Minns ve Hall, 1996, Tokar ve Johnson, 1999, Marina ve diğ. 1999, Gupta ve diğ. 2000, Zhang ve Govindaraju, 2000, Salas ve diğ. 2000, Dawson ve Wilby, 2001, Lin ve Chen, 2004, Kumar ve diğ., 2005, Peters ve diğ., 2006, Ju ve diğ., 2009, Chua ve Wong, 2010, Kagoda ve diğ., 2010, Chua ve diğ., 2011, Nourani ve diğ., 2011). Doğrusal olmayan bir yapıya sahip olan yapay sinir ağları mevcut girdi ve çıktı verileri doğrultusunda eğitim sürecinden geçirilerek, yeni girdi verilerine karşı çıktılar üretmektedirler. Yağış akış modellemeleri çalışmalarında, yapay sinir ağlarının girdi verilerini zaman ölçeğine göre günlük, aylık veya yıllık yağış, sıcaklık, nem gibi meteorolojik verilerin yanı sıra gözlenen eski akım verileri de oluştururken; çıktı verisini ise, zaman ölçeğine göre günlük, aylık veya yıllık akımlar oluşturmaktadır. Yapay sinir ağı yağış akış modellerinin eğitim sürecinde, ağın yapısı, kullanılacak veri setleri ve eğitim algoritmaları kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Kullanıcının bu tercihleri, etkin hidrolojik unsurların belirlenmesi ve ağın eğitim sürecinde kullanılan matematiksel yapının uygun seçilmesi modellerin performansının artmasında veya azalmasında önemli roller oynamaktadır (Rajukar ve diğ., 2002, Shamseldin ve diğ., 2002, Srinivasulu ve Jain, 2006, Abrahart ve See, 2007).

Kavramsal yağış akış modelleri ise havzaya düşen yağışın akışa dönüşümünde gerçekleşen hidrolojik süreçleri ve bunların akışa olan etkisini parametrelere bağlı matematiksel ifadelerle tanımlayan modellerdir (Lee ve Moon, 2007). Parametrik, çok bileşenli, gri kutu modeller de denilen kavramsal modeller, yağışın akışa dönüşüm sürecinde havzayı biriktirme elemanlarına bölerek, biriktirme elemanlarında gerçekleşen hidrolojik süreçleri ve bunlar arasındaki ilişkileri süreklilik denklemleriyle tanımlayan modellerdir. Kavramsal modeller, kullanım amacına göre farklı zamansal (günlük, aylık, yıllık) ve alansal çözünürlüklerde (ortalanmış, yayılı) geliştirilmektedirler (Fıstıkoğlu, 1999). Ortalanmış (toplu) kavramsal modellerde, havza sistemindeki bitki örtüsü, toprak yapısı, havzanın topografyası gibi alansal değişim gösteren hidrolojik unsurlar model yapısında ortalama bir değerle temsil edilirken, yayılı kavramsal modellerde, havza sisteminde

alansal değişim gösteren bu tür unsurlar model içersinde alansal değişkenlikleriyle tanımlanmaktadır. Kavramsal modellerde havza sistemi, ne kadar çok alt elemana ayrılıp, havza özelliklerindeki değişimler ne kadar ayrıntılı ele alınırsa havzadaki yağış-akış dönüşümü o kadar detaylı bir biçimde tanımlanmış olmaktadır (Gan ve diğ., 1997). Ancak geliştirilen bu tür kavramsal modellerin yapısında kalibre edilmesi gereken parametrelerin sayısı da oldukça fazla olmaktadır (Kokkonen ve Jakeman, 2001). Bu ise, çok parametrelili modellerin kullanım güçlüğünü ön plana çıkarmaktadır (Perrin ve diğ., 2001).

Kavramsal modellerin su kaynakları araştırmalarında kullanılmasında karşılaşılan en büyük zorluk model parametrelerinin kalibrasyon işlemidir. Model parametrelerinin kalibrasyonunda, girdi değerlerine karşılık modelin ürettiği çıktı değerleri ile havza sisteminde gözlenen çıktı değerleri arasındaki farkı minimum yapacak parametre değerleri (en uygun parametre seti) aranmaktadır (Madsen, 2000, Waganer ve diğ., 2004). Model parametrelerinin kalibrasyon işleminde dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardan biri ise, bulunan parametrelerin, fiziksel olarak anlamlı parametreler olmalarıdır. Bu açıdan, kavramsal modellerde parametre kalibrasyonunun doğru yapılabilmesi için çeşitli kalibrasyon yöntemleri geliştirilmiştir (Duan ve diğ., 1992, Madsen ve diğ., 2002, Duan, 2003). Bu yöntemlerin en önemli sorunu ise kalibrasyonun lokal minimum veya maksimum noktalarda takılmasıdır (Cooper ve diğ., 2007). Bu amaçla uygulamada Genetik Algoritma gibi global optimizasyon yöntemleri tercih edilmektedir (Wang, 1997, Agrawal ve Singh, 2003, Cheng ve diğ., 2006, Ndiritu ve Daniell, 2001, Lin ve Wang, 2007, Lim ve diğ., 2010). Bu sayede kavramsal hidrolojik modellerin kalibrasyonu sırasında lokal minimum veya maksimum çözüm noktalarına takılma ihtimali en aza indirilmektedir (Duan, 2003).

Sunulan çalışmada da günlük kavramsal parametrik yağış-akış modellerinin yapay sinir ağı entegrasyonu ile parametre sayısının azaltılması ve entegre modelin genetik algoritma ile kalibre edilerek global optimum parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Amaç

Kavramsal yağış akış modelleri, su kaynaklarının planlaması ve yönetilmesi araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Söz konusu modeller, havzaların yağış-akış dönüşüm mekanizmalarının açıklanması, akım tahmini ve hidrometeorolojik koşullardaki değişimlerin akımlar üzerindeki etkilerinin araştırılması gibi pek çok farklı amaç için kullanılmaktadırlar (Arnold, ve diğ. 2001, Pandey, ve diğ. 2009; Xu 2000, Xu, ve diğ. 2007, Xu ve Sing 2004).

Akış ve akışı oluşturan yağış, sıcaklık vb. girdiler arasındaki niceleyici ilişkilere dayanan istatistiksel yağış-akış modellerinin aksine, parametrik yağış-akış modeller, yağışın akışa dönüşüm sürecinde yer alan sızma, evapotranspirasyon, yüzey, yüzeyaltı ve yeraltısuyu akımı gibi bileşenleri de dikkate almaktadır. Parametrik modellerde havza sistemi ne kadar çok alt bileşene ayrılırsa, geliştirilen model, yağış-akış dönüşümünü o derecede iyi temsil etmektedir. Ancak, havza sisteminin çok sayıda alt bileşene ayrılması, model içindeki parametre sayısının artmasına; bu da modelin kalibrasyonunun güçleşmesine, neden olmaktadır (Beven, 1993; Lindström, ve diğ. 1997, Refsgaard J C, 1997, Uhlenbrook, ve diğ. 1999). Bu nedenle, uygulamada parametre yoğun modeller yerine az sayıda parametreyle yeter doğrulukta akım tahminleri yapan, tutumlu modeller tercih edilmektedir (Aubert ve diğ. 2003, Bayazit 1998; Beven, 1989; Manujat 2009, Mroczkowski ve diğ., 1997, Post ve Jakeman 1999).

Sunulan çalışmada, parametrik bir günlük yağış akış modeline yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar entegre edilerek; parametrik model yapısındaki parametre sayısının azaltılması ve az sayıdaki model parametrelerinin otomatik kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen entegre model, günlük yağış akış modellenmesinde yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan niceliksel ilişkilerdeki yüksek performansını kullanarak az sayıda parametre ile yüksek performansta akım tahmini yapabilmekte ve model parametrelerinin otomatik kalibrasyonu gerçekleştirilmektedir.

1.3 Kapsam

Sunulan çalışma kapsamında, günlük kavramsal bir parametrik yağış akış modeli yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritma (GA) ile entegre edilerek daha az parametrelili otomatik kalibre edilebilir bir entegre günlük yağış akış modeli geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında parametrik model olarak GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) (Perrin, 2000) günlük yağış akış modeli seçilmiş ve modelin akım öteleme süreçleri YSA ile entegre edilerek ilgili parametreler ortadan kaldırılmıştır. Model, doğrusal olmayan akım öteleme işlemlerinin YSA ile modellenmesi sayesinde daha az parametreyle daha yüksek bir performansta akım tahmini yapan entegre bir model haline dönüştürülmüştür. Geliştirilen entegre modelin az sayıdaki parametrelerinin kalibrasyonu için genetik algoritmalarından yararlanılmış ve sistem kendi parametrelerini otomatik olarak kalibre edilen hibrid bir model haline dönüştürülmüştür.

Çalışma kapsamında ayrıca, geliştirilen GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılmış ve model sonuçları bağımsız GR4J ve YSA model sonuçları ile kıyaslayarak, entegrasyonun model sonuçları üzerinde sağladığı performans artışları irdelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

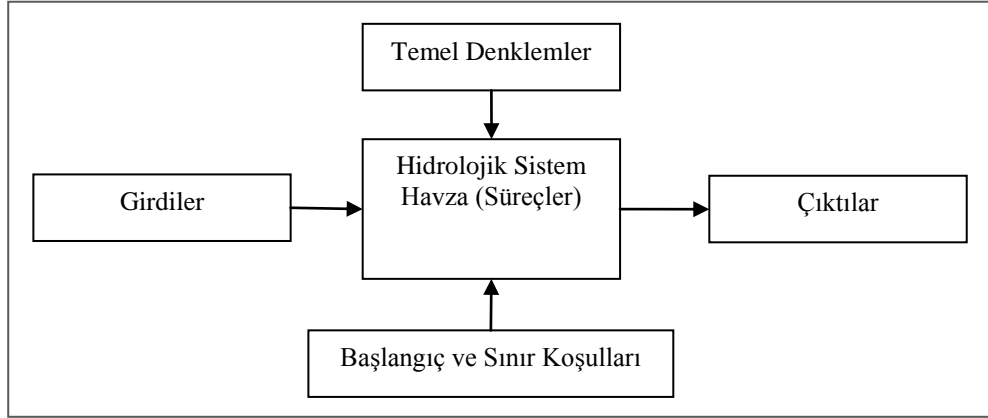
KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLER

2.1 Giriş

Havzaların hidrolojik süreçlerinin bilgisayar destekli modellerle ortaya konduğu çalışmalar, günümüzün su kaynakları araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Havzanın sızma, evapotranspirasyon, akış gibi hidrolojik süreçlerinin modellendiği bu tür modelleme çalışmalarında genel amaç; su yapılarının tasarımında ve su kaynaklarının planlama çalışmalarında temel girdi olan hidrolojik süreçlerin gerçeğe yakın bir biçimde tahmin edilmesidir. Öte yandan, havzadaki gerçek hidrolojik süreçler son derece karmaşık ve değişken bir yapıya sahip olduğu için, geliştirilen bu modeller birtakım kabuller ve basitleştirmeler altında geliştirilmektedir. Kullanım amacına göre farklı zamansal (anlık, günlük, aylık, yıllık) ve mekansal çözünürlüklere (ortalananmış, yayılı) sahip olan bu modellerin model yapıları karmaşıklıkla birlikte kullanılabilirlikleri azalmakta, basitleştikçe de tahmin güvenilirlikleri düşmektedir. Bu nedenle, su kaynakları araştırmalarında kullanım amacına göre farklılaşan pek çok hidrolojik model ortaya konmuştur (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002)

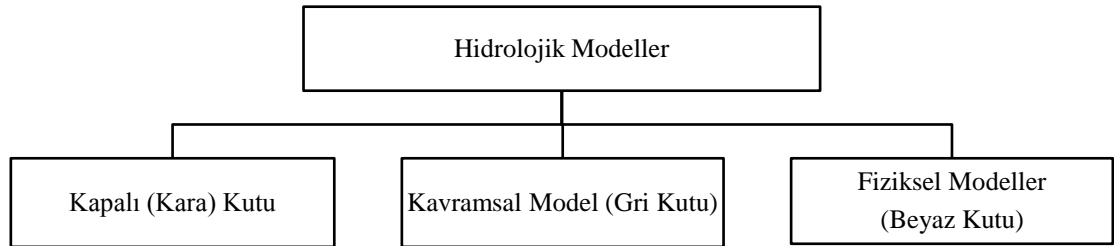
2.2 Hidrolojik Modeller ve Sınıflandırılması

Hidrolojik modeller, hidrolojik çevrimde yer alan süreç veya süreçlerin matematiksel ifadelerle tanımlandığı bileşenler takımıdır. Hidrolojik modellere sistem açısından bakıldığında Şekil 2.1’de verilen bileşenlerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 2.1 Hidrolojik sistem ve model bileşenleri

Şekil 2.1’de tanımlanan hidrolojik sistem, hidrometeorolojik girdileri (yağış, sıcaklık, buharlaşma, solar radyasyon, akış vb.) temel fizik kanunları (kütlenin korunumu, enerjinin korunumu ve momentumun korunumu) ile başlangıç ve sınır şartları altında başka bir hidrometeorolojik çıktıya dönüştürmektedir. Hidrolojik modellerin yapısı, modelde süreçlerin, temel denklemlerin ve bunların başlangıç ve sınır koşullarının tanımlanmasına göre üç sınıfa ayrılırlar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Hidrolojik modellerin sınıflandırılması

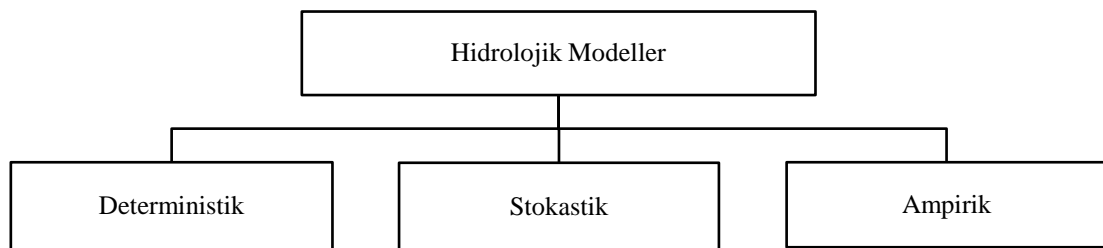
Kapalı (Kara) kutu modeller, girdilerin çıktıya dönüşümünde sistemde meydana gelen hidrolojik süreçlerle ilgilenmemektedir. Hidrolojik sistemi bir kutu gibi düşünen model, sistemin girdilerini doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyonlar ile sistem çıktısına dönüştürmektedir. Doğrusal yapıdaki kapalı kutu modellerine örnek olarak birim hidrograflar ve regresyon modelleri verilebilir. Bilgisayar uygulamalarının artması ile doğrusal olmayan kapalı kutu modelleri de geliştirilmiştir. Çağdaş yöntemler olarak adlandırılan yapay zeka yöntemleri ile kurulan hidrolojik modeller, doğrusal olmayan yapıdaki kapalı kutu modellerine örnek olarak verilebilir (Cıgızoğlu ve diğer., 2007). Yapay zeka yöntemlerinden

yapay sinir ağlarının hidrolojik modelleme alanındaki uygulamaları 1990'lı yıllarda başlamış ve günümüzde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Hsu, ve diğ., 1993, Lorrai ve Sechi, 1995; Minns ve Hall, 1996; Fernando ve Jayawerdena, 1998; Lin ve Chen, 2004; Vos ve Rientjes, 2005).

Kavramsal modeller yapılarında sızma, buharlaşma, terleme, zemin depolaması, yüzey, yüzeyaltı ve yeraltısuyu akımı gibi sistemde meydana gelen hidrolojik süreçleri de içermektedir. Kavramsal modeller, bu süreçlerdeki değişimleri ve süreçlerin birbirleriyle olan ilişkilerini bir takım kabuller, basitleştirmeler ve parametrelerle tanımlamaktadır (Mendez ve diğ., 2004, Lee ve diğ., 2005, Nilsson ve diğ., 2006).

Fiziksel modeller ise, kavramsal modellerin daha da geliştirilmiş halidir. Fiziksel modellerde sistemde meydana gelen tüm hidrolojik süreçler fizik kanunlarına göre (süreklilik, enerji ve momentumum korunumu) matematiksel ifadelerle tanımlanırlar. Fiziksel modellerde tüm hidrolojik süreçlerin detaylı bir biçimde dikkate alınması model yapısını karmaşıklaştırmakta ve bu da modellerin kullanımını zorlaştırmaktadır. Karmaşık model yapılarından dolayı çok sayıda veriye gereksinim duyan bu tür modeller, pratik uygulamalarda pek tercih edilmemektedirler (Abbott ve diğ., 1986).

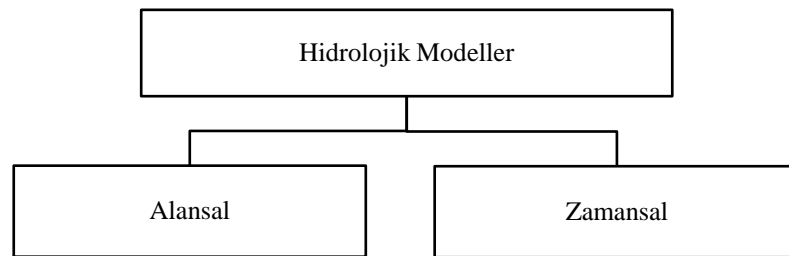
Hidrolojik modeller, iç yapılarına göre incelendiğinde Şekil 2.3'te verilen şekilde sınıflar ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.3 Hidrolojik modellerin iç yapılarına göre sınıflandırılması

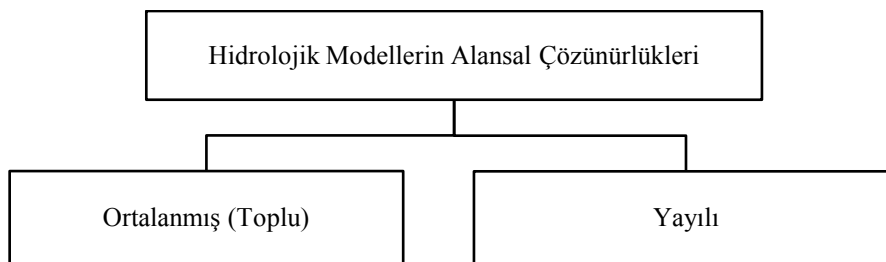
Deterministik yapıdaki hidrolojik modeller, hidrolojik süreçlerin oluşum mekanizmalarını fonksiyonel ifadelerle tanımlamaktadırlar. Deterministik modeller, süreçlerin farklı zamanlardaki aynı girdi değerlerine karşı, aynı çıktı değerini vermektedir. Stokastik modeller ise, süreçlerin oluşumunu olasılık esaslarına göre tanımlamakta ve böylelikle hem girdilerdeki hem de çıktılardaki rastgele değişkenlik korunmaktadır. Ampirik modeller ise, çok sayıda gözlem ve deney sonucunda geliştirilen matematiksel modellerdir (Fıstıkoğlu, 1999).

Hidrolojik modellerin çözünürlükleri incelendiğinde, modellerin Şekil 2.4'teki gibi sınıflandırıldığı görülmektedir.



Şekil 2.4 Hidrolojik modellerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması

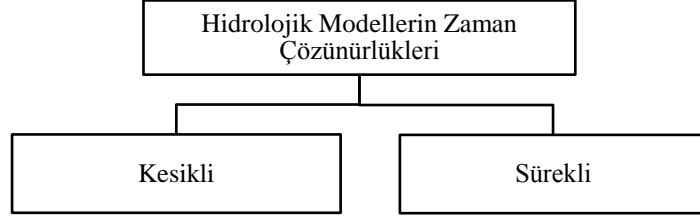
Hidrolojik modellerin çözünürlükleri, alansal ve zamansal çözünürlük olmak üzere iki sınıf altında toplanmaktadır. Modeller alansal çözünürlükleri göz önüne alınarak sınıflandırıldığında ise Şekil 2.5'te verilen sınıflar ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.5 Hidrolojik modellerin alansal çözünürlüklerine göre sınıflandırılması

Ortalanmış (toplu) modellerde, havzanın sızma kapasitesi, bitki örtüsü, topografyası gibi alansal değişim gösteren hidrolojik unsurları, modelde ortalama bir değerle temsil edilirken yayıllı modellerde ise, havzada alansal değişim gösteren parametrelerin alansal değişkenlikleri model yapısında korunmaktadır.

Hidrolojik modeller zaman çözünürlüklerine göre sınıflandırıldığında Şekil 2.6'daki sınıflar ortaya çıkmaktadır.

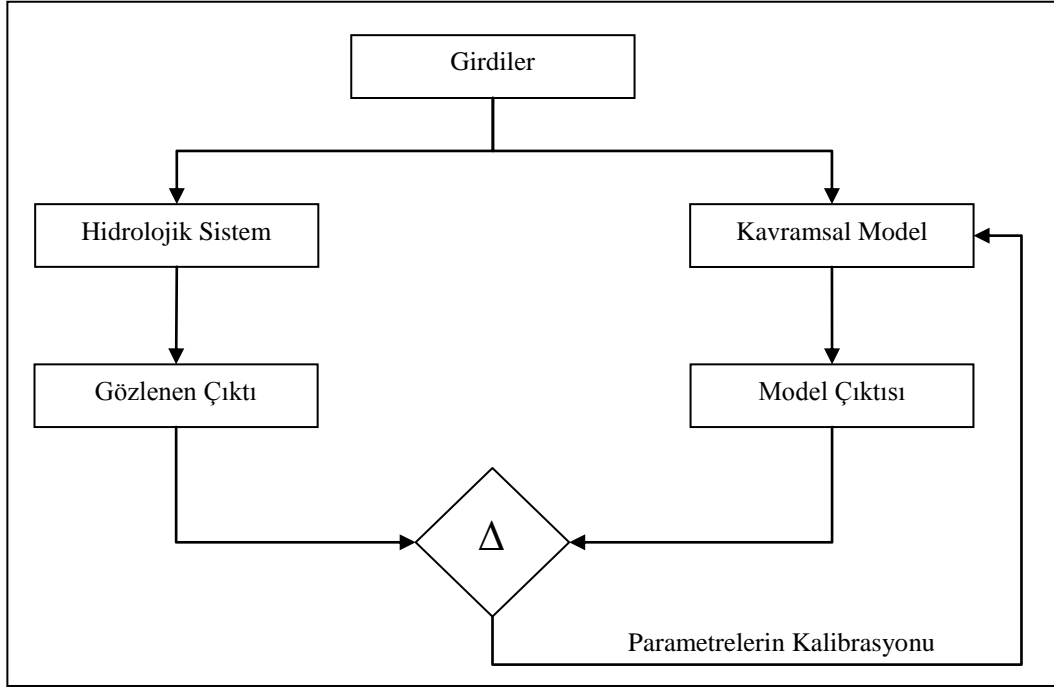


Şekil 2.6 Hidrolojik modellerin zaman çözünürlüklerine göre sınıflandırılmaları

Kesikli modeller, incelenen hidrolojik olayın t anındaki girdilerine karşı sistemin ürettiği çıktı değerlerini dikkate alırken, sürekli modeller ise, havzada incelenen olayın Δt zaman aralıklarında değişen girdilerine karşı Δt zaman aralıklarındaki çıktı değerlerini dikkate almaktadır. Δt zaman aralığı kurulan modelin amacına göre saatlik, günlük, aylık ve yıllık bazlarda olabilmektedir (Waganer ve Wheeler, 2006, Chua ve Wong, 2010).

2.3 Hidrolojik Modellerin Kalibrasyonu ve Verifikasyonu

Hidrolojik modellerin yapılarında yer alan model parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi işlemine kalibrasyon işlemi denilmektedir. Modeldeki parametrelerin kalibrasyonunda, hidrolojik sistemin gözlenmiş çıktılarıyla modelin ürettiği çıktı değerleri arasındaki farkları minimize eden parametre değerleri araştırılmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Hidrolojik modelin kalibrasyonu

Model parametrelerin kalibrasyonuna başlamadan önce, parametrelerin değişim aralığının tanımlanması gerekmektedir. Model parametrelerinin en düşük ve en yüksek seviyedeki değişim aralığının doğru tanımlanması, parametrelerin model içerisinde temsil ettiği hidrolojik sürecin doğada gerçekleşen süreçle uyumlu olması ve fiziksel olarak anlamlı sonuçlar ifade etmesi açısından önemlidir (Kavetski ve diğ., 2003). Örneğin, çok iyi sonuç veren bir hidrolojik modelin içerisindeki parametrelerin temsil ettiği hidrolojik süreçler, olayın fizikini anlamlı bir şekilde yansıtmıyorsa model kalibrasyonunun hatalı yapıldığı düşünülmelidir.

Kalibrasyon işlemi ise manuel ve otomatik olarak iki şekilde yapılabilmektedir (Boyle, Gupta ve Sorooshian, 2000, Gupta, Sorooshian, Hogue ve Boyle, 2003). Manuel kalibrasyon işleminde, model parametreleri kullanıcı tarafından değiştirilerek gözlem ile model çıktıların kıyaslanması ile gerçekleştirirken, otomatik kalibrasyon işleminde ise, optimizasyon yöntemleriyle, belirlenen amaç fonksiyonunun minimize veya maksimize edilmesi amaçlanarak, model parametrelerinin kalibrasyonu gerçekleştirilmektedir. Otomatik kalibrasyonda, lokal optimizasyon yöntemleri veya global optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Duan, 2003). Lokal optimizasyon yöntemleri, amaç fonksiyonunun yerel

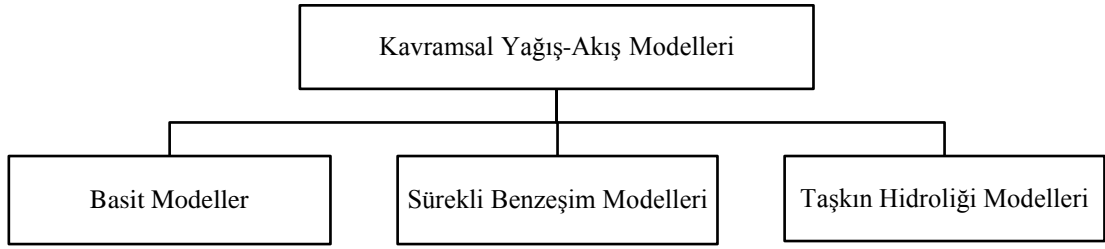
minimumunu veya maksimumunu arayarak kalibrasyon işlemi yapmaktadır. Yalnız burada karşılaşılan güçlük ise, amaç fonksiyonunun ilk yerel minimumda takılmasıdır. Global optimizasyon yöntemlerinde ise, amaç fonksiyonunun global minimum veya maksimumu çözüm uzayında aranmakta ve yerel minimumda veya maksimumda takılma ihtimali azalmaktadır (Duan, 2003). Bu sebeple kavramsal modellerin kalibrasyonunda global optimizasyon yöntemlerinin kullanımları artmaktadır (Wang, 1991, Yapo, Gupta, Sorooshian, 1996, Franchini, Galeati ve Berra 1998, Ndiritu ve Daniell, 2001, Gupta ve diğer., 2003, Cheng, Wu ve Chau, 2005, Cooper, Nguyen ve Nicell, 2007).

Model parametrelerinin kalibrasyonunun tamamlanmasının ardından, model farklı girdi setleri ile çalıştırıp elde edilen çıktıların, gözlenen çıktılarla olan uyumu kontrol edilmektedir. Verifikasyon işlemi olarak adlandırılan bu işlemde, kalibrasyon sürecinde belirlenen model parametreleri ile model, farklı zamana ait girdiler ile çalıştırılmakta ve sonuçları gözlemler ile karşılaştırılmaktadır. Verifikasyon sonucunda elde edilen model performansları istenilen seviyede değil ise kalibrasyon işleminde kullanılan parametre setleri değiştirilerek modelin kalibrasyonu tekrarlanmakta ve yeni model parametreleri bulunmaktadır (Waganer ve diğ., 2003).

2.4 Kavramsal Yağış-Akış Modelleri

Kavramsal yağış akış modelleri yağışın akışa dönüşümünde havza sisteminde meydana süreçleri ve bu süreçlerin birbirleriyle olan ilişkilerini parametrelere bağlı olarak belirlemektedir (Win ve, 1994, Houghton-Carr, 1999, Lee ve Moon, 2007). Havza sistemindeki süreçler modelde çok detaylı olarak tanımlandığında, model parametrelerinin kalibrasyonu için gereken veri miktarı artmakta ve kalibrasyon zorlaşmaktadır. Bu sebeple, geliştirilen modellerin yapısı mevcut verilere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002).

De Vries ve Hromadka (1993) ve Bayazıt (1998), kavramsal yağış-akış modellerini Şekil 2.8’de verilen şekilde üç sınıfa ayırmaktadır.



Şekil 2.8 Kavramsal yağış-akış modellerinin sınıflandırılması.

Basit Modeller: Taşkın hidrografının elde edilmesinin amaçlandığı bu modellerde, evapotranspirasyon kayıpları, zemin nemindeki değişimler ve taban akımı gibi hidrolojik süreçler yer almamaktadır. Aralarında yağışsız süreler bulunan birden fazla yağış için kullanılmayan bu modellerde havza, althavzalara ayrılarak bir yağış esnasında her bir althavzaya düşen artık yağışın hidrografi belirlenmekte, hidrograflar akarsu boyunca ötelenip süperpoze edilerek havzanın çıkış hidrografi elde edilmektedir. Uygulamalarda kullanılan HEC-1 (U.S. Army Corps of Engineers, 1990), TR-20 (Soil Conservation Service, 1982) ve DRM3 (Dawdy, Lichty, ve Bergmann, 1972) gibi modeller basit modeller sınıfına girmektedir (Bayazıt, 1998).

Basit modeller başlığı altında yer alan ve yapay sinir ağları ile kurulan yağış akış modelleri hidroloji uygulamalarında sıklıkla yer almaktadır. Doğrusal olmayan yapıda kapalı kutu modelleri sınıfında yer alan bu tür modellerde havza sisteminin dönüşüm fonksiyonu yapay sinir ağları ile temsil edilmektedir. Günlük ve aylık akımların tahmininde iyi sonuçlar veren yapay sinir ağı yağış akış modellerinde, girdi verilerini yağış, sıcaklık gibi meteorolojik veriler ile beraber gözlenen eski akım verileri oluşturmaktadır (Agarwal ve Singh, 2004).

Sürekli Benzeşim Modelleri: Hidrolojik süreçlerin ayrıntılı bir şekilde tanımlandığı bu modellerde, havzaya düşen yağışın akışa dönüşümünde, yağış düşmeyen sürelerde de zemin nemindeki değişim, evapotranspirasyon, doymuş ve doymamış bölgelerdeki yeraltısuyu akımı dikkate alınmaktadır. Hidrolojik süreçlerin tamamının yer aldığı bu modellerde kalibre edilmesi gereken parametreler basit modellere göre daha fazladır. Sürekli benzeşim modellerine örnek olarak SWRRB (Williams, Nicks ve Arnould, 1985), SSARR (U.S. Army Corps of Engineers, 1987),

SWM-IV (Crawford, Linsley, 1966), GR4J (Perrin, 2003) modelleri verilebilir (Bayazıt, 1998).

Perrin (2000) tarafından hazırlanan Génie Rural à 4 paramètres Journalier (GR4J) kavramsal günlük yağış akış modeli, günlük akımların tahmininde sıkça kullanılmaktadır. Deterministik, toplu, sürekli bir model olan GR4J modeli kavramsal yapısında kalibre edilen 4 parametre barındırmaktadır. Model, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon girdi verileri ile yağışın akışa dönüşümündeki süreçleri iki tabakada incelemektedir. Birinci tabaka olan biriktirme elemanından ve net yağıştan sızan akımların büyük kısmı birim hidrografla ötelenerek öteleme elemanına ulaşmaktadır. Net yağışın kalan kısmı 2 kat büyük taban genişliğine sahip birim hidrograf ile ötelenip, öteleme elemanından gelen akımla birleşerek model akımını oluşturmaktadır. Sunulan çalışmada, yapay zeka yöntemlerinin entegrasyonu GR4J günlük yağış modeli üzerinde uygulanmıştır. GR4J modelinin matematiksel yapısı ve modele yapay zeka tekniklerinin entegrasyonu detaylı olarak 4.Bölüm’de sunulmaktadır.

Akarsu Hidroliği Modelleri: Bu tür kavramsal modeller su yüzeyi profilini, akarsu geometrisindeki değişimleri, menfezlerin, köprülerin ve sel yatağının etkisini de dikkate alarak kurulmaktadır. HEC-2 (U.S. Army Corps of Engineers, 1990), WSPRO (Sherman, 1990), FLDWAV (Fread ve Lewis, 1988), DHM (Hromadka ve Yen, 1987) modelleri taşkın hidroloji modelleri sınıfına girmektedir (Bayazıt, 1998).

BÖLÜM ÜÇ

YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ

3.1 Giriş

Zeka kavramı, insanın düşünme, öğrenme, öğrendiği bilgilerle sonuçlar çıkarma ve yargılama gibi yeteneklerinin tümüdür. Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile ortaya çıkan yapay zeka, insana özgü zeka yeteneklerinin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesidir (Öztemel, 2003).

Önceleri sadece veri dönüşümü yapmak ve karmaşık işlemleri gerçekleştirmek için geliştirilen bilgisayar sistemleri, teknolojinin gelişmesiyle günümüzde hem olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmekte hem de olaylar hakkında karar verebilmektedir. Bilgisayar sistemlerinin bu yeteneklerinin gelişmesini yapay zeka teknikleri sağlamıştır. Yapay zeka tekniklerinin en temel özellikleri, olaylara ve problemlere çözüm üretirken mevcut bilgilere dayalı olarak, olayları veya problemleri öğrenerek sonraki durumlar için çözüm üretmeleri ve karar vermeleridir. Yapay zeka tekniklerinin gelişim süreci teknolojinin gelişmesine paralel olarak hızlı bir şekilde ilerlemiştir. Kullanım yeri ve özelliğine göre farklı yapılarda olan yapay zeka tekniklerinden mühendislik uygulamalarında sık kullanılan birkaç türü aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Yapay sinir ağları, insan beyninin mevcut bilgiler dahilinde öğrenme ve öğrendiği bilgilerle yeni bilgiler türetmesine dayanarak geliştirilen bir yapay zeka tekniğidir. McCulloch ve Pitt (1943), ilk sinir hücresini geliştirmiş ve günümüze kadar çeşitlenerek farklı yapılarda yapay sinir ağları geliştirilmiştir (Öztemel, 2003, Şen, 2004).

Bir başka yapay zeka tekniği ise bulanık mantıktır. Bulanık mantık belirsiz koşullardaki olayları bulanık küme ve alt kümelerle tanımlamaktadır. Klasik yaklaşımda olay, ya bu kümenin elemanıdır (üyeligi 1) ya da değildir (üyeligi 0) (Aristo mantığı). Bulanık kümelerde ise, üyelik değerleri matematiksel olarak ifade edilmekte ve 0 ile 1 arasında değişmektedir. Olaylar üyeliklerine göre bulanık

önermelerle işlenerek bulanık sonuçlara ulaşılmaktadır. Bulanık sonuçlar çeşitli yöntemlerle durulaştırma yapılarak, problemin ve olayın sonuçlarına ulaşılmaktadır. Bulanık mantık yöntemi de ilk olarak Lütfi Askerzade (1961) tarafından tanımlanmış ve ilerleyen yıllar süresince gelişerek günümüze ulaşmıştır (Öztemel, 2003).

Genellikle mühendislik problemlerinin optimizasyonunda kullanılan bir başka yapay zeka tekniği ise genetik algoritma yöntemidir. Genetik algoritmalar, optimize edilecek parametreleri evrimsel süreçlerden geçirip, çözüm kümeleri şeklinde çözüm uzayında aramaktadırlar. Rechenberg (1973) tarafından gündeme getirilen evrimsel hesaplamalara ve Darwin'in evrim teorisine dayanarak geliştirilen genetik algoritmalar, günümüzde pek çok optimizasyon problemlerinde tercih edilir olmuştur (Duan, 2003).

Bir problemi, o problemin uzmanının çözdüğü gibi çözebilen yapay zeka tekniği ise uzman sistemler olarak adlandırılmaktadır (Öztemel 2003). Uzman sistemlerde bilgiler, problemin uzmanı tarafından düzenlenerek bilgi tabanı oluşturulmaktadır. Bilgi tabanındaki bilgiler, kurallarla (EĞER ... İSE ... O ZAMAN ...), bilgi çerçeveleriyle ve bilgilerin sınıflandırılması şeklinde depolanmaktadır. Depolanan bilgiler ile problemin çözümü, çıkarım mekanizmasında hem ileriye hem de geriye doğru zincirleme metodu ile yapılmaktadır. Çıkan sonuçlar, kullanıcı ana biriminde nasıl üretildiği ve niçin o sonuçlara varıldığı araştırılır ve problemin çözümü gerçekleştirilmiş olur. Uzman sistemlerin uygulama alanları ile ilgili ayrıntılı bilgiler Martin ve Oxman (1988) tarafından tanımlanmaktadır.

Bu tez çalışma kapsamında incelenen yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar ile ilgili detaylı bilgiler aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

3.2 Yapay Sinir Ağları (YSA)

3.2.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme ve çıkarım yeteneğini taklit eden matematiksel yöntemlerdir. Yapay sinir ağları ile ilgili ilk çalışmalar McCulloch ve Pitts (1943) tarafından geliştirilen “yapay sinir hücresi” ile başlamıştır. Çalışmada yapay sinir hücreleri, sabit eşik değerli mantıksal elemanlar olarak modellenmiştir.

Hebb (1949), bugün de geçerli olan öğrenme kurallarının temeli olan Hebbian öğrenme kuralı geliştirmiştir. Hebbian öğrenme kuralı ile, yapay hücrelerden oluşan ağın, ağırlık katsayısı değerleri değiştirilmektedir.

Rosenblatt (1958), çok katmanlı algılayıcıların temeli olan, tekil doğrusal algılayıcıyı (perceptron) geliştirmiştir. Tekil doğrusal algılayıcıların çalışma sistemi, sadece doğrusal düzlemdeki problemleri çözümlenmeye dayanmaktadır ve doğrusal olmayan problemlerde kullanılamamaktadır.

Widrow ve Hoff (1960), ADALINE (ADaptive LInear NEuron) modelini geliştirmişlerdir. ADALINE modeli tekil doğrusal algılayıcılar ile aynı özelliklere sahip fakat öğrenme algoritması daha gelişmiştir.

Minsky ve Papert (1969) tarafından tekil doğrusal algılayıcılar ile ilgili yazılan “Perceptron” isimli kitaplarında doğrusal olmayan problemler için çözüm üretilmediğini VE/VEYA (XOR) problemlerinin çözülememesini matematiksel olarak göstermişlerdir. Bunun neticesinde, o dönemlerde yapay sinir ağlarına olan ilgi azalmıştır.

Hopfield (1982), doğrusal olmayan ağları geliştirmesiyle yapay sinir ağlarına olan ilgi tekrar artmıştır. Aynı yılda Kohonen tarafından da “Kohonen öğrenmesi” geliştirilmiştir.

Rumelhart, Hilton ve Williams (1986) günümüzde de sık kullanılan, çok tabakalı ağlar için “geriye yayılma” eğitme algoritmasını geliştirmişlerdir. Geriye yayılma algoritması karmaşık yapılardaki problemlerin çözümünde, yapay sinir ağlarının problemi öğrenmesinde etkin bir rol oynamaktadır.

Broomhead ve Lowe (1988), çok katmanlı algılayıcılara alternatif olarak radyal tabanlı fonksiyonları geliştirmişlerdir. Bunun doğrultusunda Moody ve Darken (1989) Radyal tabanlı yapay sinir ağlarını önermişlerdir.

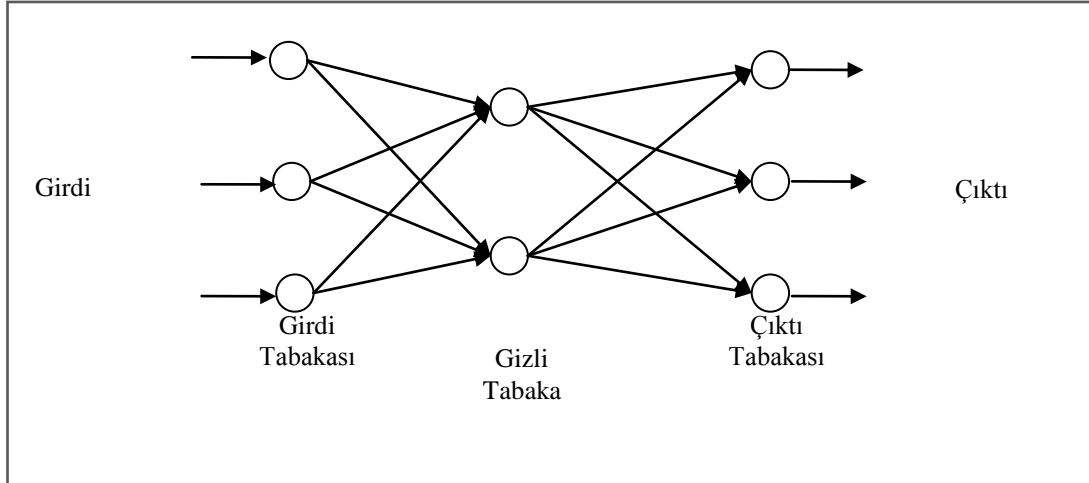
Specht (1988), Olasılıklı (Probabilistic) yapay sinir ağını ve 1991 yılında da Genelleştirilmiş regresyon ağlarını geliştirmiştir.

Yapay sinir ağının temelini oluşturan bu gelişmeler çözülecek problemin tipi ve özelliklerine bağlı olarak, günümüzde farklı tiplerde yapay sinir ağları olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve Bileşenleri

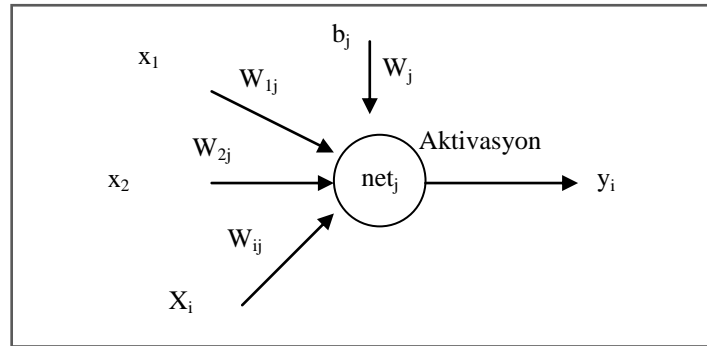
Yapay sinir ağlarının yapısı girdi, gizli ve çıktı tabakalarından oluşmaktadır ve Şekil 3.1’de bu tabakalar verilmektedir. Yapay sinir ağında, her tabakada bulunan yapay sinir hücreleri (nöron), bir sonraki tabakada bulunan tüm yapay sinir hücrelerine bilgiyi taşıyan ağırlık katsayıları (synaptic weights) ile paralel olarak bağlanmaktadır. Aynı tabakada bulunan yapay sinir hücreleri arasında dikey bağlantı bulunmamaktadır.

Girdi ve çıktı tabakasında olaya veya probleme ait veriler bulunmaktadır. Bu nedenle girdi ve çıktı tabakalarındaki sinir hücrelerinin sayıları problemde tanımlanan bilgilere bağlıdır. Gizli tabakadaki yapay sinir hücrelerinin sayısı ve kaç adet gizli tabaka kullanılacağı deneme yanılma yolu ile probleme bağlı olarak belirlenmektedir.



Şekil 3.1 Yapay sinir ağı yapısı

Yapay sinir ağlarını oluşturan yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerinin matematik modelleridir. Yapay sinir hücreleri, girdi (x_i), ağırlık katsayıları (W_{ij}), net bilgileri fonksiyonu (net_j), eşik değeri (bias, b_j), aktivasyon fonksiyonu ve çıktı (y_i) bileşenlerinden oluşmaktadır. Yapay sinir hücrelerinin bileşenleri Şekil 3.2'de sunulmaktadır



Şekil 3.2 Yapay sinir hücresi bileşenleri

Girdiler (x_i), yapay sinir ağı modelinde çözümü yapılan probleme dayalı verilen bilgilerdir.

Ağırlık katsayıları (W_{ij}), yapay sinir ağı tabakalarında bulunan her bir yapay sinir hücresinin diğer tabakaya bilgileri hangi ağırlıkta taşıyacağını tanımlayan ağırlık değerleridir.

Net bilgileri fonksiyonu (net_j), ağda bilgilerin, bir tabakadan diğer tabakaya nasıl ulaştırılacağını belirleyen fonksiyondur. Ağ bilgilerinin taşınması aşağıda verilen fonksiyonlar ile yapılmaktadır.

Toplam fonksiyonu: Her bir yapay sinir hücresinden gelen bilgilerin toplanması ile hücreye gelen net girdi değeri hesaplanmaktadır. Yapay sinir ağı uygulamalarında sıkça kullanılan bu fonksiyonun ifadesi Denklem 3.1’de verilmektedir.

$$net_j = \sum_{i=1}^n x_i W_{ij} \quad (3.1)$$

Maksimum değer fonksiyonu: Yapay sinir hücrelerinden gelen bilgilerin maksimumunu net girdisi olarak ileten fonksiyondur. Maksimum değer fonksiyonunun ifadesi Denklem 3.2’de verilmektedir.

$$net_j = mak(x_i W_{ij}) \quad (3.2)$$

Minimum değer fonksiyonu: Yapay sinir hücrelerinden gelen bilgilerin minimumunu net girdisi olarak ileten fonksiyondur. Minimum değer fonksiyonunun ifadesi Denklem 3.3’te verilmektedir.

$$net_j = \min(x_i W_{ij}) \quad (3.3)$$

Çarpım fonksiyonu: Her bir yapay sinir hücresinden gelen bilgilerin çarpılmasıyla net girdi değerini hesaplayan fonksiyondur. Çarpım fonksiyonunun ifadesi Denklem 3.4’te verilmektedir.

$$net_j = \prod_{i=1}^n (x_i W_{ij}) \quad (3.4)$$

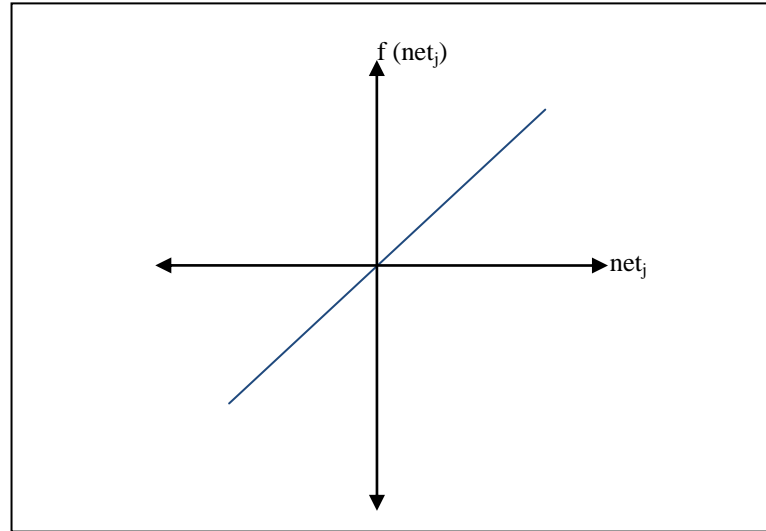
Eşik değeri ($bias, b_i$), yapay sinir ağında belirsizliklerin dahil edilmesi amacıyla kullanılan yapay sinir hücresidir ve değeri 1 dir. Eşik değeri kendi ağırlık katsayısı ile

çarpılıp net girdisine eklenir. Net girdi fonksiyonunun toplam fonksiyonu olması halinde, eşik değerin dahil edilmesi Denklem 3.5'te gösterilmektedir.

$$net_j = \sum_{i=1}^n x_i W_{ij} + b_j \quad (3.5)$$

Aktivasyon (transfer) fonksiyonu, net girdi değerlerini net çıktı değerine dönüştüren aktivasyon fonksiyonu, doğrusal ya da doğrusal olmayan fonksiyon olabilir. Uygulamalarda kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları aşağıda verilmektedir.

Doğrusal aktivasyon fonksiyonu: α gibi bir skaler oranda net çıktısını hesaplayan fonksiyondur. Şekil 3.3'te grafiği verilen, fonksiyon, doğrusal dönüşüm yaptığından mühendislik uygulamalarında fazla kullanılmamaktadır. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun matematiksel ifadesi Denklem 3.6'da verilmektedir.

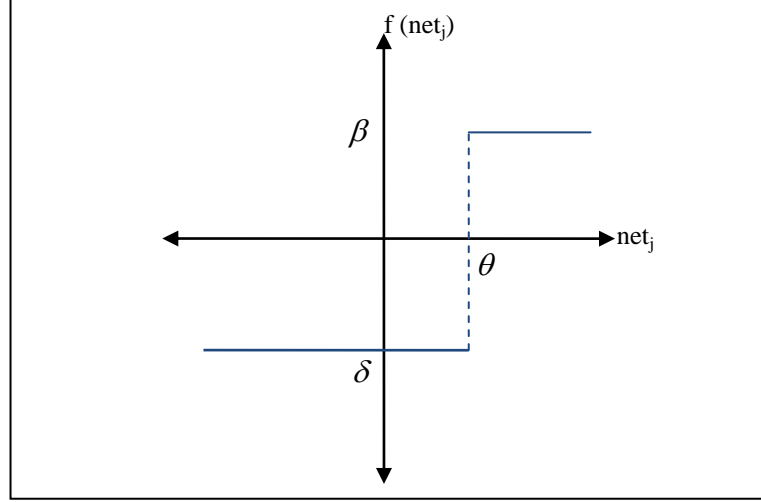


Şekil 3.3 Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.

$$f(net_j) = \alpha net_j \quad (3.6)$$

Adım fonksiyonu: Belirlenen bir eşik değeri için net çıktıları oluşturarak adım fonksiyonu genellikle sınıflandırma problemlerinde ve doğru-yanlış sonuçlarının

araştırıldığı uygulamalarda kullanılmaktadır. Adım fonksiyonun grafiği Şekil 3.4'te matematiksel ifadesi ise Denklem 3.7'de sunulmaktadır.



Şekil. 3.4 Adım fonksiyonu

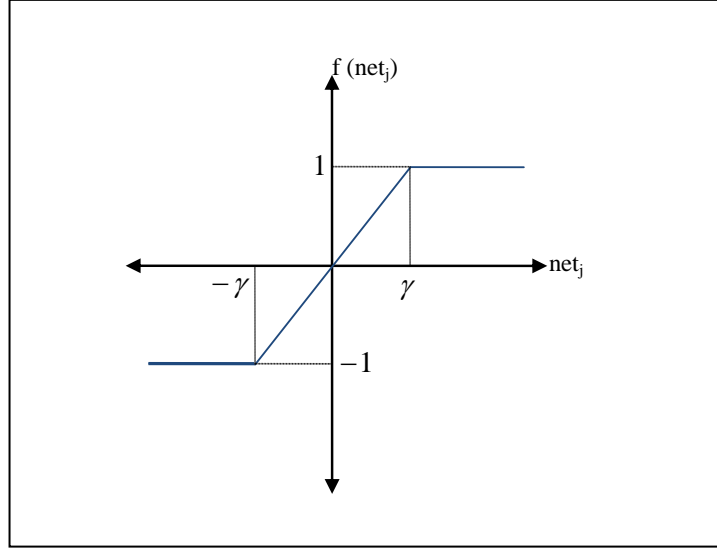
$$f(\text{net}_j) = \begin{cases} \delta & ; \text{net}_j < \theta \\ \beta & ; \text{net}_j > \theta \end{cases} \quad (3.7)$$

Genellikle mühendislik uygulamalarında adım fonksiyonu olarak Denklem 3.8a ve b'de tanımlanan halleri kullanılmaktadır.

$$f(\text{net}_j) = \begin{cases} 0 & ; \text{net}_j < 0 \\ 1 & ; \text{net}_j > 0 \end{cases} \quad (3.8a)$$

$$f(\text{net}_j) = \begin{cases} -1 & ; \text{net}_j < 0 \\ 1 & ; \text{net}_j > 0 \end{cases} \quad (3.8b)$$

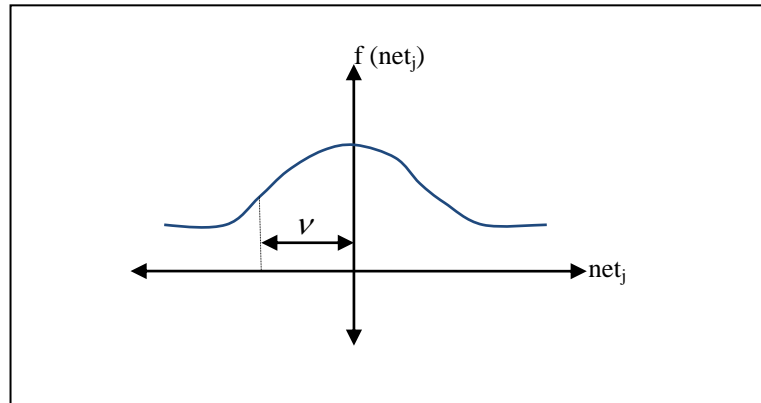
Eşik fonksiyonu: Şekil 3.5'te grafiği verilen eşik fonksiyonu, $-\gamma$ ile γ arasında doğrusal olarak değişen ve $\text{net}_j = -\gamma$ ve $\text{net}_j = \gamma$ da süreksiz bir fonksiyondur. Denklem 3.9'da tanımlanan eşik fonksiyonundaki parametreler, çözümü aranan probleme bağlı olarak kullanıcı tarafından belirlenmektedir.



Şekil 3.5 Eşik fonksiyonu

$$f(\text{net}_j) = \begin{cases} -1 & ; \text{net}_j < -\gamma \\ \alpha \text{net}_j & ; -\gamma < \text{net}_j < \gamma \\ 1 & ; \text{net}_j > \gamma \end{cases} \quad (3.9)$$

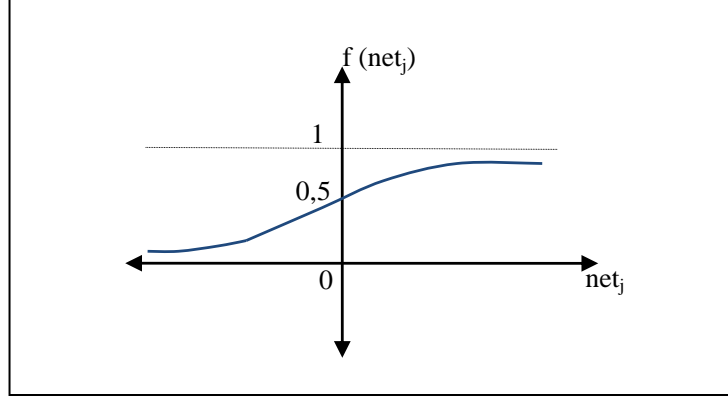
Guassian fonksiyonu: Girdi verilerinin varyansına (v) göre net çıktılarına normal dağılım fonksiyonu ile hesaplamaktadır. Denklem 3.10'da matematiksel formu ve Şekil 3.6'da grafiği verilmektedir.



Şekil 3.6 Guassian fonksiyonu

$$f(\text{net}_j) = e^{\left(\frac{-\text{net}_j^2}{v}\right)} \quad (3.10)$$

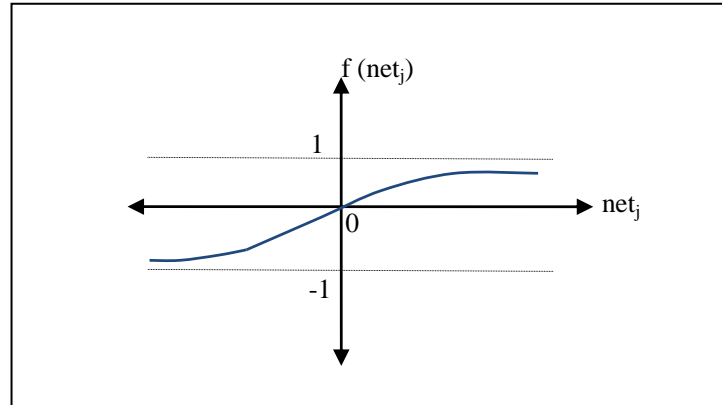
Sigmoid fonksiyonu: Mühendislik problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan sigmoid fonksiyonu, 0 ile 1 arasında net çıktıları üretir. Fonksiyonun diğer özellikleri ise monotonik, artan, sürekli ve doğrusal olmamasıdır. Sigmoid fonksiyonunun grafiği Şekil 3.7’de, ifadesi ise Denklem 3.11’de sunulmaktadır.



Şekil 3.7 Sigmoid fonksiyonu

$$f(\text{net}_j) = \frac{1}{1 + e^{-\text{net}_j}} \quad (3.11)$$

Hiperbolik tanjant fonksiyonu: Sigmoid fonksiyon ile aynı özelliklere sahip bu fonksiyonun sigmoid fonksiyonundan farkı -1 ile +1 aralığında net çıktıları üretmesidir. Mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılan hiperbolik tanjant fonksiyonunun grafiği Şekil 3.8’de, matematiksel ifadesi ise Denklem 3.12’de sunulmaktadır.



Şekil 3.8 Hiperbolik tanjant fonksiyonu.

$$f(\text{net}_j) = \frac{e^{\text{net}_j} - e^{-\text{net}_j}}{e^{\text{net}_j} + e^{-\text{net}_j}} \quad (3.12)$$

Çıktı (y_i), yapay sinir hücrelerinde hesaplanan çıktı değerlerini içermektedir.

3.2.3 Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi ve Testi

Yapay sinir ağlarının eğitim ve test aşamalarında kullanılacak girdi ve çıktı değerleri, ağda kullanılacak olan aktivasyon fonksiyonunun özelliğine göre standardize edilmelidir. Örneğin, ağda sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılacak ise, fonksiyon 0 ile 1 aralığında geçerli olduğundan tüm veri değerleri bu aralık içersine sokulmalıdır. Eğer veriler standardizasyon yapmadan ağa tanıtılırsa verilerdeki 1'den büyük değerler için yapay sinir hücrelerinin net çıktıları 1 değerine, 0 dan küçük veriler için de net çıktıları 0 değeri olarak hesaplanacaktır. Eğitimde bu tür hatalardan kaçınılmak için sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarında kullanılan bazı standardizasyon yöntemleri aşağıda özetlenmektedir.

$$z_i = \frac{x_i}{1 + x_{maks}} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13'te tanımlanan formülasyonda, z_i standardize değeri, x_i veri setindeki değeri ve x_{maks} veri setindeki maksimum değeri tanımlamaktadır (Tayfur, 2002). Bu standardizasyon yöntemi veri setinde 0 ve bundan küçük değerler olmaması halinde kullanılmaktadır.

$$z_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{maks} - x_{min}} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'te x_{min} veri setindeki minimum değeri tanımlamaktadır. Denklem 3.13'te olduğu gibi Denklem 3.14'te veri setinde 0 ve bundan küçük değerler olmaması halinde kullanılmaktadır.

$$z_i = c + \frac{d (x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \quad (3.15)$$

Denklem 3.15'te tanımlanan c ve d ölçeklendirme parametreleridir. Yapay sinir ağı uygulamalarında c ve d parametreleri probleme dayalı olarak kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Yapay sinir ağı uygulamalarında bu değerler genellikle 0,1 ve 0,8 alınıp veri seti 0,1 ile 0,9 aralığına veya 0,2 ve 0,6 alınarak 0,2 ile 0,8 aralığına standardize edilir (Hsu, Gupta ve Sorooshian, 1993, Imrei, Durucan ve Korre, 2000, Dawson, Harpman, Wilby ve Chen, 2002, Cıgızoğlu, 2005, Shrestha, Theobald, ve Nestmann, 2005).

Hiporbolik tanjant fonksiyonunun kullanılması halinde veri setindeki değerler (-1;1) aralığına standardize edilmektedir. Bu fonksiyon için sıklıkla kullanılan standardize yöntemi Denklem 3.16'da verilmektedir.

$$z_i = e \frac{(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} - f \quad (3.16)$$

Denklem 3.16'da tanımlamada, e ve f değerleri ölçeklendirme parametreleridir. Bu değerler sırası ile 2 ve 1 alındığı durumlarda veri seti aralığı [-1;1], 1,8 ve 0,9 alınması durumunda [-0,9;0,9] aralığında standardize edilmiş olur.

Verilerin standardizasyonu tamamlandıktan sonra, eşik değer ve yapay sinir hücrelerindeki bilgilerin bir sonraki katmana ne oranda aktarılacağını belirleyen ağırlık katsayıları, ağı eğitime başlamadan önce rastgele olarak atanmaktadır. Eğer ağırlık katsayısına 0 değeri atanırsa bağlı olduğu sinir hücresinden veya eşik değerden diğer katmana herhangi bir bilgi taşınmamaktadır.

Yapay sinir ağına kullanılacak veriler standardize edilip, ağırlık katsayıları atandıktan sonra ağı eğitimi aşamasına geçilir. Yapay sinir ağlarının eğitimi 3 farklı yöntemle yapılmaktadır. Bunlar;

- Güdümlü ğrenme
- Destekleyici ğrenme
- Gdmsz ğrenmedir.

Güdümlü ğrenme yönteminde, yapay sinir ağının eğitimi yapılırken kullanıcı ağın öğrenmesini istediği durumlar ile ilgili rnekleri Girdi/Çıktı seti olarak ağa tanıtılmaktadır. Aynı zamanda kullanıcı yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılacak olan eğitim algoritmasını, bu algoritmanın parametrelerinin belirlenmesini, ağrılık katsayılarının atanmasını ve ağın eğitimi durdurma kriterlerini de belirlemektedir.

Destekleyici ğrenme yönteminde kullanıcı, yapay sinir ağının eğitimine yardımcı olmaktadır. Kullanıcı, ağın öğrenmesini istediği olayların gerçeklemesi için gerekli durumları Girdi seti olarak ağa tanıtır ve sadece ağın eğitimi durdurma kriterini belirler. Yapay sinir ağı, eğitimde verilen girdi setine karşı çıktı setini türetilir. Türetilen çıktı setindeki değerlerin geçerliliği yani ağın ne kadar iyi eğitildiği tanımlanan durdurma kriterinin etkinliğine göre belirlenir. Kullanıcı tarafından tanımlanan kritere ulaşıldığında ağın eğitimi tamamlanmış olur.

Gdmsz ğrenmede ise, ağa sadece Girdi seti tanıtılmaktadır. Ağdan eğitim aşamasında, parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemesi istenilmektedir. Doğru bilgilerin öğrenilerek hafızaya alınması daha sonra bu bilgilerle, önceden tanıtılmamış Girdi setlerinden çıktı setlerinin oluşturulması şeklinde yapılmaktadır. Genellikle bu tür öğrenme yöntemi sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağlarının eğitimi belirli öğrenme kuralları dahilinde yapılmaktadır. Bu kuralların birçoğu, ilk öğrenme kuralı olan Hebb ğrenme kuralına dayanarak geliştirilmiştir. Bu kurallardan en sık kullanılanları aşağıdaki gibidir.

- Hebb ğrenme kuralı
- Hopfield ğrenme kuralı
- Delta ğrenme kuralı

- Kohonen öğrenme kuralıdır

Hebb öğrenme kuralı Donald Hebb tarafından 1949 yılında geliştirilmiştir. Hebb öğrenme kuralı, bir yapay sinir hücresi diğer bir yapay sinir hücresinden bilgi alıyorsa ve her iki yapay sinir hücresi de matematiksel olarak aynı işareti taşıyorsa (aktif) bu iki yapay sinir hücreleri arasındaki ağırlık katsayısının arttırılmasına dayanır.

Hebb öğrenme kuralına benzeyen Hopfield öğrenme kuralının farkı ise, yapay sinir hücreleri arasındaki ağırlık katsayılarının ne kadar arttırılacağını veya azaltılacağını belirlemesidir. Bir başka ifadeyle, bu kural girdi ve beklenen çıktı değerlerinin her ikisi de aktif veya pasif ise ağırlıkların (ağırlık katsayılarının) öğrenme oranı ile arttırılması veya azaltılması olarak tanımlanabilir.

Delta öğrenme kuralı, yapay sinir ağlarının eğitimde sıkça kullanılmaktadır. Bu öğrenme kuralı da Hebb öğrenme kuralının daha geliştirilmiştir halidir. Delta öğrenme kuralında, beklenen çıktı ile ölçülen çıktı değerleri arasındaki farklılığı minimuma indirmek için ağırlık katsayı değerlerinin değiştirilmesine dayanmaktadır. Bu kural, ağırlık katsayılarını ağırlık hata karelerinin ortalamasını minimize edecek şekilde değiştirmektedir. Delta öğrenme kuralının uygulanmasında Rumelhart ve diğerlerinin (1986) geliştirdiği geri yayılma algoritmaları kullanılmaktadır. Ağ eğitimde tanımlanan girdi setlerine karşılık ileri besleme yaparak çıktı setini hesaplamaktadır. Hesaplanan çıktı setindeki değerler ile ölçülen çıktı değerleri arasındaki hata karelerinin ortalaması bulunur. Bulunan hata değeri geri yayılma algoritmaları ile çıktı tabakasından girdi tabakasına kadar mevcut olan tüm ağırlık katsayılarına yayılarak gidilir. Geriye yayılmada hata değerinin ağırlık katsayılarına dağıtılmasıyla ağırlık katsayı değerleri değiştirilmiş olunur. Yeni ağırlık katsayı değerleri ile ağ tekrar çıktı değerlerini hesaplar. Bu işleme, bulunan hata terimi minimum oluncaya kadar devam edilir.

Kohonen öğrenme kuralı biyolojik sistemin öğrenme şeklinden esinlenerek Teuvo Kohonen (1982) tarafından geliştirilmiştir. Kohonen öğrenme kuralına göre, yapay

sinir hücreleri öğrenmek ve ağırlık katsayılarını değiştirmek için birbirleri ile yarışmaktadırlar. En iyi çıktıyı veren yapay sinir hücresinin ve ona komşu hücrelerin ağırlık katsayıları değiştirilerek ağırlık eğitimi yapılır.

Yapay sinir ağına test aşamasında ise, eğitimi tamamlanan yapay sinir ağına daha önce tanıtılmayan yeni girdi verileri ile sadece ileri besleme yapılarak çıktı sonuçları elde edilir. Çıktı sonuçları ile ölçülen sonuçlar arasında belirlenen performans kriteri de beklenen değerinin üstünde bulunursa, ağırlık eğitimi ve test aşaması tamamlanmış olur.

3.2.4 Yapay Sinir Ağlarının Performansını Etkileyen Faktörler

Yapay sinir ağlarının performansını etkileyen faktörlerden bazıları aşağıda sunulmaktadır (Elshorbagy ve Parasuraman, 2008).

Girdi ve çıktı setlerinin tanımlanması: Çözümü yapılacak probleme ait girdi ve çıktı setlerinin yapay sinir ağına doğru tanıtılması gerekmektedir. Yapay sinir ağları girdi verileri ile öğrenerek çıktı verilerini oluşturmaktadır. Eğer ağa tanıtılan girdi ve çıktı değerlerinin ilişkisi az veya yok ise ağırlık eğitimi hatalı olacak ve çıkan sonuçlar gerçek durumu yansıtmayacaktır.

Yapay sinir ağına tanıtılan problemin türüne bağlı olarak, hangi tipte yapay sinir ağı kullanılacağına doğru belirlenmesi gerekmektedir.

Ağırlık katsayılarının atanması: Yapay sinir ağlarındaki bilgilerin bir sonraki katmana hangi ağırlıklarla taşınacağı doğru tanımlanmalıdır. Örneğin, problemin çözümüne etkisi fazla olan bir bilginin diğerlerinden daha az oranda aktarılması çözümün bulunmasını zorlaştıracaktır.

Net bilgileri fonksiyonu: Problemin tipine bağlı olarak net bilgileri fonksiyonu doğru seçilmelidir.

Aktivasyon fonksiyonunun seçimi: Aktivasyon fonksiyonları problemin tipine göre yapay sinir ağına tanımlanmaktadır. Doğrusal olmayan bir problemin çözümünde doğrusal aktivasyon fonksiyonlarının kullanılması yapay sinir ağının performansını önemli ölçüde azaltacaktır.

Standardizasyon: Yapay sinir ağına kullanılan aktivasyon fonksiyonuna göre doğru standardizasyon yapılması gerekmektedir. Örneğin, yapay sinir ağına sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılıyor ise veriler (0;1) aralığına, hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılması durumunda veriler (-1;1) aralığına standardize edilmelidir.

Eğitme kuralının seçimi: Yapay sinir ağlarının eğitiminde hangi eğitim algoritmasının kullanılacağına doğru belirlenmesi gerekmektedir. Problemin tipine bağlı olarak farklı eğitim algoritmaları farklı sonuçlar vermektedir.

Kullanıcının etkisi: Yapay sinir ağına uygun ağ yapısının belirlenmesinde belirli kurallar yoktur. Ağ yapısının belirlenmesi, problem tipine bağlı olmakla birlikte deneme yanılma yolu ile ve kullanıcının deneyimine bağlıdır. Kullanıcının yapay sinir ağlarındaki deneyimi yapay sinir ağının kendine özgü parametrelerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Eğer hatalı ağ parametreleri ile ağın eğitimi yapılırsa ağ performansının azalmasına neden olacaktır.

3.2.5 Yapay Sinir Ağlarının Diğer Yöntemlerden Farklılıkları

Yapay sinir ağlarının klasik çözüm yöntemlerinden ve yapay zeka tekniklerine göre bazı farklılıkları bulunmaktadır.

Yapay sinir ağları, diğer bir yapay zeka tekniği olan uzman sistemler gibi belirli kurallar dahilinde çalışmazlar. Yapay sinir ağları mevcut veriler doğrultusunda problemi öğrenirler ve hiç karşılaşmadığı benzer problemlere çözüm üretirler. Paralel yapıları nedeniyle çözüme çok hızlı ulaşmaktadırlar (Vos ve Rientjes, 2005).

Yapay sinir ağıları problemi çözmek için ekstra parametrelere ihtiyaç duymamaktadırlar. Bu sayede parametrelerden kaynaklanacak hataları içermemektedirler.

Yapay sinir ağıları, öğrendiği bilgileri ağıın tamamında saklarlar. Bilgiyi saklamak için farklı bir veri tabanına ihtiyaç duymamaktadırlar. Verilen girdi değerlerine karşılık neden sonuç ilişkileri araştırmadan çıktı değerleri ürettiklerinden karmaşık yapıdaki problemlerin çözümünde iyi sonuç vermektedirler.

Yapay sinir ağıında uygun ağ yapısının belirlenmesinde belirli kurallar yoktur. Ağ yapısının belirlenmesi problem tipine bağlı olmakla birlikte deneme yanılma yolu ile ve kullanıcının deneyimine bağlıdır. Kullanıcının ağ seçiminde veya ağ yapısında belirleyeceği parametrelerin hatalı olması yapay sinir ağıının problemin çözümünde hatalı sonuçlara ulaşmasına neden olmaktadır (Yitian ve Gu, 2003).

Yapay sinir ağıının problemin çözümündeki davranışları açıklanamamaktadır. Problemin çözümünde neden sonuç ilişkileri kurmadığından ürettikleri sonuçları neden ve nasıl ürettiğini açıklayamazlar.

3.3 Genetik Algoritma (GA)

3.3.1 Genetik Algoritma Nedir?

Genetik algoritma, evrimsel süreçleri kullanarak probleme ait en iyi çözümü bulan bir yapay zeka tekniğidir. Genetik algoritma yöntemi genellikle mühendislik uygulamalarında optimizasyon problemlerinde kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar, diğer optimizasyon yöntemlerindeki gibi tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretirler. Çözüm kümelerindeki bireyler birbirleri ile eşleştirilerek en iyi çözümü, kalıtım yoluyla yeni nesillere aktarır performansı daha yüksek yeni çözüm kümeleri oluşturulur ve problemin optimal çözümü bu küme içerisinde aranır. Çözüm kümelerinin oluşturulmasıyla, çözüm uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve yerel minimuma takılma

olasılığı düşmektedir. Bir başka ifadeyle, genetik algoritmalar en iyi sonucu birbirinden bağımsız çözüm kümeleri üreterek ve bu kümelerdeki en iyi bireyleri kalıtım yolu ile daha başarılı yeni çözüm kümelerine aktaran ve çözüm kümeleriyle çözüm uzayında aynı anda bir çok noktayı değerlendirip problemin optimal sonucunu bulan yapay zeka tekniğidir.

3.3.2 Genetik Algoritmaların Tarihçesi

Darwin'in evrim teorisinden etkilenilerek geliştirilen evrimsel hesaplama Rechenberg (1973), "Evrimsel stratejileri" adlı çalışmasında tanıtılmıştır.

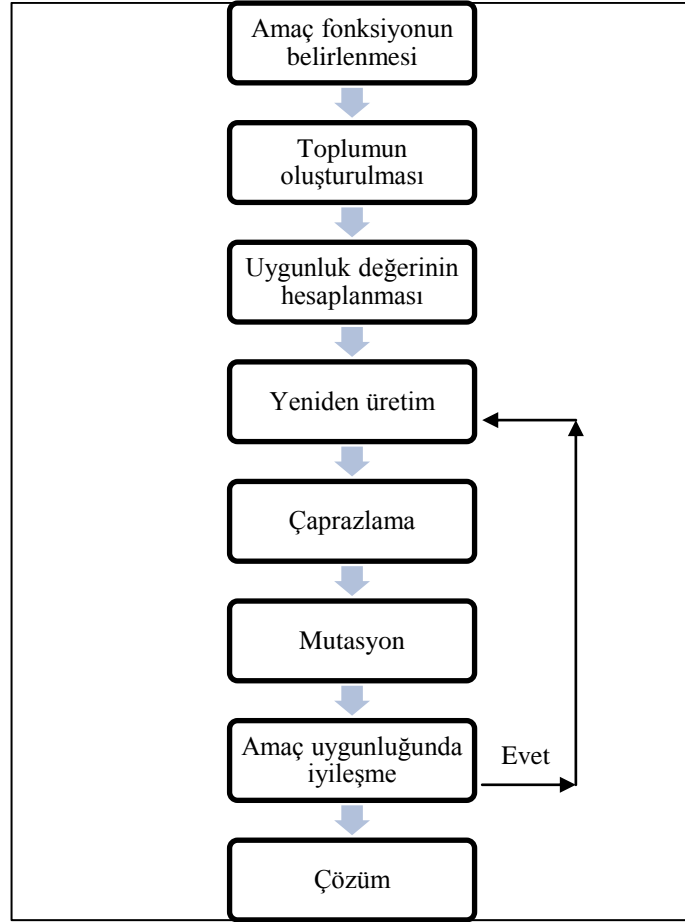
Evrimsel hesaplama dayanan genetik algoritmalar Holland (1975) tarafından geliştirilmiştir. Holland geliştirdiği yöntemi, "Doğal ve Yapay sistemlerde adaptasyon (Adaptation in Natural and Artificial Systems)" adlı kitabında anlatmıştır.

Genetik algoritmaların İnşaat mühendisliğinde uygulamaları Goldberg (1983) tarafından gaz boru hatlarının işletilmesinde kullanılmıştır.

Koza (1992) genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirmiştir. Bu programları Genetik Programlama olarak tanımlamıştır.

3.3.3 Genetik Algoritmanın Yapısı

Oldukça karmaşık fonksiyonların optimizasyonunda en uygun çözümü en kısa zamanda, evrimsel süreçlerle çözümleyen genetik algoritmanın elemanları ve çalışma mekanizması Şekil 3.9'da sunulmaktadır.



Şekil 3.9 Genetik algoritmanın elemanları ve çalışma yapısı

3.3.3.1 Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Çözümü aranan problemde bulunan parametrelerin uygunluğunu belirlemek için kullanıcı tarafından bir amaç fonksiyonu tanımlanmaktadır. Parametreler, tanımlanan amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize ederek bulunmaktadır.

3.3.3.2 Toplumun Oluşturulması

Amaç fonksiyonunun belirlenmesinden sonra, genetik algoritma ile çözüm yapılabilmesi için toplumun (çözüm kümelerinin) oluşturulması gerekmektedir. Toplumdaki bireyler (kromozomlar), genetik algoritmanın çözmesi istenen problemin her bir çözümünü, yani çözümü yapılacak parametreleri temsil etmektedirler. İlk toplumdaki bireyler rastgele belirlenir. Belirlenen bireyler genetik

algoritma ile, belirli kurallar dahilinde amaç fonksiyonunu optimum hale getirecek şekilde değiştirilir.

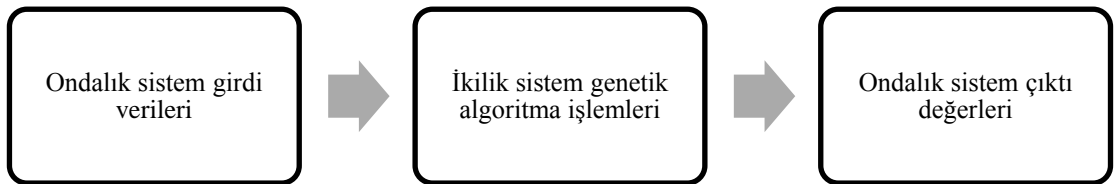
Bir kromozomu oluşturmak için sıralanmış her bir değişkene gen adı verilmektedir. Gen başka bir ifadeyle, kendi başına anlamlı genetik bilgiyi taşıyan en küçük genetik yapıdır. Her gen ait olduğu kromozomu temsil eden dizi içersine yerleştirilmiştir. Burada kromozomu temsil eden diziler kodlamalar ile tanımlanmaktadır. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için verilerin uygun bir şekilde kodlanması gerekmektedir. Kodlama için kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda verilmektedir.

İkili Kodlama: Genetik algoritma uygulamalarında sıklıkla kullanılan kodlama yöntemidir. İkili kodlamada kromozomlar iki tabanında yazılarak ifade edilir. Buradaki kromozomların reel değerleri 0 ile 1 olarak tanımlanan ikilik sistemdedir. Tam sayı değerlerin ikili kodlamalı kromozom hallerine ait örnekler Tablo 3.1 de verilmektedir.

Tablo 3.1 Tam sayı değerleri ikili kodlamalı kromozom halinde gösterimi

Tam sayı değeri	Tam sayı değerinin ikili kodlamaya dönüştürülmesi	İkili kodlamalı kromozom
6	$0x2^4$ $0x2^3$ $1x2^2$ $1x2^1$ $0x2^0$	00110
9	$0x2^4$ $1x2^3$ $0x2^2$ $0x2^1$ $1x2^0$	01001
25	$1x2^4$ $1x2^3$ $0x2^2$ $0x2^1$ $1x2^0$	11001

Ondalık sistemdeki girdi verileri ikilik sisteme çevrilerek genetik algoritma işlemleri yapılabilmektedir. Genetik algoritmanın, ikilik sistemdeki işleyişi Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10 İkili sistemde genetik algoritma sistem işleyişi

İkilik sistemde hesaplanan çıktı değerlerinin çözüm uzayındaki karşılığı, çözüm uzayının minimum, maksimum ve ikili kodlamadaki basamak sayısına bağlı olarak Denklem 3.17 ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_i = \psi_{i,\min} + \phi_i \frac{\psi_{i,\max} - \psi_{i,\min}}{2^{l_i} - 1} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3.17)$$

Burada, $\psi_{i,\min}$ ve $\psi_{i,\max}$, kromozomların çözüm uzayında alabileceği sınır değerlerini, ϕ_i , ikilik sistemden elde edilen tamsayı değerini, l_i , ikilik kodlamadaki basamak sayısını, k ise çözümü yapılan problemdeki parametre sayısını yani kromozom sayısını göstermektedir. Örneğin, çözüm uzayında belirlenen minimum ve maksimum değerler sırası ile 4 ve 30 olması durumunda Tablo 3.1’de tanımlanan değerlerin çözüm uzayındaki karşılıkları Denklem 3.17 yardımıyla Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2 Tam sayı değerlerinin ikili kodlamada ve çözüm uzayındaki karşılığı

Tam sayı değeri	İkili kodlamalı kromozom	Çözüm uzayındaki karşılığı
6	00110	9.032
9	01001	11.548
25	11001	24.968

Permütasyonla Kodlama: Sıralama problemleri olan iş yeri düzenleme, montaj hattı düzenleme, en kısa yol gibi problemlerin genetik algoritma ile çözümlenmesinde kullanılır. Permütasyonla kodlamada bireyler çözüm uzayında problemin çözümü olarak kabul edilebilecek sıra dizilerinden oluşmaktadır ve permütasyon kodlamadaki her bir gen sıralama problemlerindeki her bir işi göstermektedir. Permütasyonla kodlanmış bireyler Tablo 3.3’te gösterilmektedir.

Tablo 3.3 Tam sayı değerleri ikili kodlamalı kromozom halinde gösterimi

Bireyler	Permütasyonla kodlama
1. Birey	275498
2. Birey	7823095
3. Birey	216356

İkili kodlamalı genetik algoritmalarda kullanılan operatörler permütasyon kodlamalı genetik algoritmalarda kullanılması durumunda çözüm değerleri uygun olmayan uzaya kayabileceğinden dejenerasyon gerçekleşir. Bunu önlemek için permütasyon kodlamaya yönelik birçok çaprazlama ve mutasyon operatörleri mevcuttur (Keskintürk, 2006).

Değer Kodlama: Reel sayılar gibi değerlerin kodlandığı problemlerde ikili kodlama ile kromozom uzunluğu çok fazla olacağından bu sayıların kodlanmasında kendi değerleri aynen alınmaktadır. Değer kodlamalı bireyler Tablo 3.4'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Değer kodlamalı bireyler

Değer kodlamalı bireyler	Değer kodlama
1. Birey	1,2324
2. Birey	5,3252
3. Birey	0,4550

Ağaç Kodlama: Bu kodlama yöntemi gelişen, değişen programlar veya ifadeler için kullanılmaktadır. Burada her bir birey bazı nesillerin ağacıdır.

3.3.3.3 Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Toplumdan gelecek nesillere hangi bireylerin aktarılacağı belirlenmesi için kromozomların uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Kromozomların ne kadar iyi olduğunu hesaplayan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denilmektedir. Uygunluk fonksiyonu bir sonraki nesile aktarılacak en iyi bireyleri belirlediğinden genetik algoritmanın başarısını da önemli ölçüde etkilemektedir.

3.3.3.4 Yeniden Üretim

Genetik algoritmanın üç temel operatörlerinden biri olan yeniden üretimde, seçim operatörleri kullanılarak toplumdan hangi bireylerin çaprazlama ve mutasyona tabi tutulacağı belirlenmektedir. Bireylerin seçimi, her bir kromozom için hesaplanan

uygunluk değerleriyle yapılmaktadır. Uygunluk değeri yüksek olan iyi bireyler eşleme havuzuna atılarak yeni neslin üretiminde kullanılır, geriye kalan zayıf bireyler ölüme terk edilir. Yeniden üretim için çeşitli seçim operatörleri bulunmaktadır. Bu operatörlerden bazıları aşağıda açıklanmaktadır.

Rulet Teker: Rulet tekeri seçiminde bireyler uygunluk değerine göre daire etrafında sıralanmaktadır. Burada bireylerin yerlerinin boyutu bireylerin uygunluk değerleri ile orantılıdır.

Rulet tekeri seçiminde, tüm bireylerin uygunluk değerleri toplanarak toplumun toplam uygunluğu (rulet tekerinin çevresi) hesaplanır. Bireylerin uygunluk değerleri toplumun toplam uygunluk değerlerine bölünerek her bir bireyin rulet tekerinde seçilme ihtimali [0-1] aralığında belirlenmiş olur. Rulet tekerleğinde seçilme ihtimallerinin bulunmasına dair örnek Tablo 3.5'te verilmektedir.

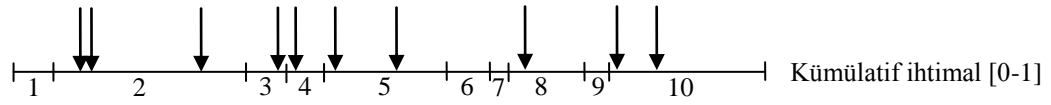
Tablo 3.5 Rulet tekerleğinde seçilme ihtimalleri

Sıra no	Sayı	Uygunluk değeri	Seçilme ihtimali	Kümülatif ihtimal
1	3	12	0,006	0,006
2	32	617	0,310	0,316
3	15	145	0,073	0,389
4	7	27	0,014	0,403
5	21	378	0,190	0,593
6	12	88	0,044	0,637
7	6	24	0,012	0,649
8	18	242	0,121	0,770
9	9	42	0,021	0,791
10	24	418	0,209	1,000

Bireylerin rulet tekerleğinde seçilme ihtimalleri belirlendikten sonra [0-1] aralığında rastgele sayılar türetilir. Üretilen sayılar rulet tekerleğinde hangi değere denk geliyor ise o değer aralığına sahip birey seçilir. Örnek olarak Tablo 3.6'daki gibi 10 sayı ürettiğimizde, bu sayılara karşılık seçilen bireylerin seçimi rulet tekerleğinin açılmış şekliyle Şekil 3.11'de gösterilmektedir.

Tablo 3.6 Rulet tekerleğinde rastgele üretilen bireyler

Rastgele birey	
0,272	0,512
0,100	0,392
0,412	0,692
0,792	0,842
0,375	0,115



Şekil 3.11 Rulet tekerleğinde bireylerin seçimi.

Şekil 3.11’de verilen rulet tekerleğinde bireylerin seçiminde seçilen sayılar ve kaç defa seçildikleri Tablo 3.7’de verilmektedir.

Tablo 3.7 Rulet tekerleğinde seçilen sayılar ve seçilme adetleri

Sıra no	Seçilen sayı	Seçilme adeti
2	32	3
3	15	1
4	7	1
5	21	2
8	28	1
10	24	2

Tablo 3.7 incelendiğinde uygunluk değeri yüksek olan bireyler yeni neslin oluşturulmasında baskın olmakta, uygunluk değeri düşük olan bireyler ise ölüme terk edilmektedir.

Sıralı Seçim: Rulet tekerleği ile bireylerin seçiminde, bireylerden bazılarının tekerlek üzerinde temsil ettiği alan arttıkça yani seçilme ihtimali yüksek olması durumunda, diğer bireylerin seçilme ihtimalleri azalmaktadır. Diğer bireylerinde seçilme ihtimalini arttırmak için sıralı seçim yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde Tablo 3.8’de olduğu gibi bireyler büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır. Sıralama

işleminde sonra en küçük uygunluk değerine sahip bireye yeni uygunluk değeri olarak 1 değeri atanır. Diğer bireylerin yeni uygunluk değerleri küçükten büyüğe 1'er arttırılarak atanır.

Tablo 3.8 Sıralı seçimde yeni uygunluk değerlerinin atanması

Sayı	Uygunluk değeri	Yeni uygunluk değeri
32	617	10
24	418	9
21	378	8
18	242	7
15	145	6
12	88	5
9	42	4
7	27	3
6	24	2
3	12	1

Sıralı seçimde bireylere yeni uygunluk değerleri atandıktan sonra rulet tekerinde seçimde olduğu gibi bireylerin yeni uygunluk değerleri toplanıp toplam uygunluk değeri bulunur. Bireylerin seçilme ihtimalleri yeni uygunluk değerlerinin toplam uygunluk değerlerine bölünerek hesaplanmaktadır. Bireylerin temsil ettiği alan kümülatif seçilme ihtimallerine göre belirlenir ve Tablo 3.9 da gösterilmektedir.

Tablo 3.9 Sıralı seçimde bireylerin seçilme ihtimalleri

Sayı	Uygunluk değeri	Yeni uygunluk değeri	Seçilme ihtimali	Kümülatif seçilme ihtimali
32	617	10	0,018	0,018
24	418	9	0,036	0,054
21	378	8	0,055	0,109
18	242	7	0,072	0,181
15	145	6	0,091	0,272
12	88	5	0,109	0,381
9	42	4	0,127	0,508
7	27	3	0,146	0,653
6	24	2	0,164	0,818
3	12	1	0,182	1,000

Sabit Durum Seçimi (Yerine Geçme): Bu seçim yöntemi uygunluk değeri iyi olan bireyleri bir sonraki nesile aktarmakta ve uygunluk değeri kötü olan bireylerin yerine yeni çocukların yerleştirilmesi esasına göre çalışmaktadır. Yeni çocukların oluşturulmasında ise, her yeni nesilde yüksek uygunluk değerine sahip bireyler seçilmektedir. Bu bireyler ile yeni çocuklar oluşturulup uygunluk değeri düşük olan bireylerin yerlerine yerleştirilmektedir.

Turnuva Seçimi: Bu yöntemde bir grup birey mevcut toplumdan rastgele seçilir ve seçilen grubun büyüklüğüne *Turnuva büyüklüğü* denilir. Seçilen bireyler arasında uygunluk değeri yüksek olanlar eşleme havuzuna gönderilir. Bu işleme yeni toplumun büyüklüğü doluncaya kadar devam edilir. Bu yöntemin rulet tekerleğine göre avantajı ise, seçim sırasında uygun bir bireyin kaybedilme olasılığının daha az olmasıdır.

Seçkinlik (Elitizm): Mevcut toplumdaki uygunluk değeri en yüksek olan birey genetik algoritma operatörlerinde (çaprazlama, mutasyon) kaybolmaması için birey hiçbir işleme tabi tutulmadan bir sonraki nesile aktarılır. Böylece yeni nesildeki en iyi bireyin eski nesildeki en iyi bireyden kötü olması ihtimali engellenmiş olunur.

3.3.3.5 Çaprazlama

Çaprazlama operatöründe, yeni neslin oluşturulması için seçilmiş bireyler çaprazlama oranına göre çaprazlanarak yeni bireyler oluşturulmaktadır. Çaprazlama, iki bireyin birbirleri arasında gen alışverişinde bulunup iki yeni birey oluşturmasıdır. Çaprazlama operatöründeki amaç, yüksek uygunluk değerine sahip iki bireyi birleştirerek daha iyi yeni çocuk bireyler elde etmektir. Yalnız çaprazlama rastgele yapıldığından en kötü genlerin toplandığı bir çocuk bireyin oluşma ihtimali de vardır ve bu durumda çocuk birey elenecektir.

Eşleme havuzu oluşturulduktan sonra çaprazlama operatörü rassal olarak havuzdan bireyleri (ebeveynleri) seçmektedir. Seçilen ebeveynlerin benzerliği veya farklılığı önemli değildir. Bu aşamadan sonra, çaprazlamanın ne kadar yapılacağı

çaprazlama oranı (olasılığı) ile belirlenmektedir. Çaprazlama olasılığının %0 olması çaprazlamanın yapılmayacağını ve çocuk bireylerin ebeveyn bireyler ile aynı olduğunu gösterir. Fakat yeni neslin eski nesille aynı olduğu anlamına gelmemektedir. Eğer çaprazlama olasılığı %100 olarak seçilir ise, yeni çocukların hepsi ebeveynlerin çaprazlamasıyla elde edileceğini göstermektedir. Yüksek çaprazlama oranı toplum değişkenliğinin hızlı bir şekilde gerçekleşmesine, düşük çaprazlama oranı da aramanın çok yavaş gerçekleşmesine sebep olmaktadır (Goldberg, 1989). Çaprazlama olasılığının belirlenmesinden sonra çaprazlamanın nasıl yapılacağına karar verilmelidir. Çaprazlama operatörlerinde kullanılan bazı çaprazlama yöntemleri aşağıda anlatılmaktadır.

Tek Noktalı Çaprazlama: Eşleme havuzundan rassal seçilen ebeveynler tek noktadan kesilerek genlerinin yer değiştirilmesi ile yapılmaktadır. Tek noktalı çaprazlamanın ikili kodlamalı ebeveynlerde uygulanması Şekil 3.12’de gösterilmektedir.

1. Ebeveyn	110 <u>1011</u>	1100 <u>100</u>	1. Çocuk
2. Ebeveyn	011 <u>0100</u>	011 <u>1011</u>	2. Çocuk
	Kesim noktası		

Şekil 3.12 Tek noktalı çaprazlama

İki Noktalı Çaprazlama: Havuzundan rassal seçilen ebeveynler iki noktadan kesilerek, kesilen noktalar arasındaki genlerin yer değiştirilmesiyle yapılır. İki noktadan çaprazlamanın uygulanması Şekil 3.13’te gösterilmektedir.

1. Ebeveyn	110 <u>101</u> 1	1100 <u>111</u>	1. Çocuk
2. Ebeveyn	011 <u>0100</u>	011 <u>1000</u>	2. Çocuk
	Kesim noktaları		

Şekil 3.13 İki noktalı çaprazlama

Çok Noktalı Çaprazlama: Bu yöntem iki noktalı çaprazlamanın geliştirilmiş bir halidir. Çok noktalı çaprazlamada, ebeveynler daha fazla parçaya ayrılır. Ebeveynlerinin genlerinin çaprazlanması Şekil 3.14'te gösterildiği gibi kesim noktalarından birer atlayarak yapılmaktadır.

1. Ebeveyn	<u>1</u> 10 <u>1</u> 0 <u>1</u> 1	1 <u>1</u> 1 <u>1</u> 0 <u>0</u> 1	1. Çocuk
2. Ebeveyn	0 <u>1</u> 1 <u>0</u> 1 <u>0</u> 0	0 <u>1</u> 0 <u>0</u> 1 <u>1</u> 0	2. Çocuk
	Kesim noktaları		

Şekil 3.14 Çok noktalı çaprazlama

Pozisyona Dayalı Çaprazlama: Eşlenecek ebeveynlerden birincisinde rassal olarak seçilen genler pozisyonlarını koruyarak oluşturulacak çocuk bireye aktarılır. Kalan genler ikinci ebeveynden sırası bozulmadan çocuk bireye aktarılır.

Şekil 3.15'te koyu belirtilen genler çaprazlama esnasında pozisyonlarını koruyarak, ebeveynlerdeki diğer genlerin çaprazlanmasıyla oluşan çocuk bireyler gösterilmektedir.

1. Ebeveyn	<u>1</u> 10 <u>1</u> 0 <u>1</u> 1	<u>1</u> 1 <u>1</u> 1 <u>0</u> 0 <u>1</u>	1. Çocuk
2. Ebeveyn	<u>0</u> 1 <u>1</u> 0 <u>1</u> 0 <u>0</u>	<u>0</u> 1 <u>0</u> 0 <u>1</u> 1 <u>0</u>	2. Çocuk

Şekil 3.15 Pozisyona dayalı çaprazlama

Sıraya Dayalı Çaprazlama: Bireyi oluşturan genlerin sayı ve sıralarının önem taşıdığı durumlarda kullanılan yöntemde, bir grup nokta rastgele belirlenir. Birinci ebeveynde belirlenen noktalardaki genler karakterlerini aynen korumaktadır ve ikinci ebeveynin seçilen noktalardaki genlerin arkasına getirilir. Geriye kalan genler birinci ebeveynde kullanılmayan genler ile doldurularak çocuk birey oluşturulur.

Şekil 3.16 da gösterilen sıraya dayalı çaprazlamada 2. ve 7. noktalar belirlenmiştir. Çocuk birey oluşturulurken bu noktalara ait genler 2. ebeveyninden aynı

noktanın önünden çaprazlanmıştır. Geriye kalan gen yapısı sırasıyla yerleştirilerek 1. çocuk birey oluşturulmuştur.

1. Ebeveyn	1 <u>1</u> 0101 <u>1</u>	1001010	1. Çocuk
2. Ebeveyn	0 <u>1</u> 1010 <u>0</u>	<u>11</u> 100 <u>10</u>	2. Çocuk

Şekil 3.16 Sıraya dayalı çaprazlama

3.3.3.6 Mutasyon

Genetik algoritmanın temel operatörü olan mutasyon operatöründe çaprazlama sonucunda meydana gelen yeni nesildeki bireylerin bir önceki nesilden değişmeden gelmesini engellemek ve çaprazlamada oluşması güç olan bireylerin oluşmasını sağlamak için bireyler mutasyona tabi tutulur (Goldberg 1989). Mutasyon işlemi, bireylerin çeşitliliğini sağlamak için bireydeki bir genin veya genlerin değiştirilmesiyle yapılmaktadır. İkili kodlama sisteminde çaprazlamadan oluşan çocuk bireyin mutasyonu Şekil 3.20’de gösterilmektedir.

Orijinal çocuk birey	110 <u>0</u> 100
Mutasyonlu çocuk birey	110 <u>1</u> 100

Şekil 3.20 İkili kodlamalı çocuk bireyde mutasyon işlemi

Toplumdaki bireylerin ne kadarının mutasyona uğrayacağı mutasyon oranı (olasılığı) ile belirlenmektedir. Mutasyon olasılığının sıfır olması toplumdaki bireylerde mutasyon olmayacağını göstermektedir. Bu durumda çaprazlama operatöründen gelen nesilde herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır. Yalnız çaprazlama operatörü ne kadar iyi uygulanırsa uygulansın ilerleyen nesillerde bireylerin çeşitliliği sağlanamamaktadır. Bu durumda mutasyon oranı sıfır olarak tanımlandığında arama uzayında yeni çözüm noktalarına ulaşılmasını güçleştirecektir. Mutasyon oranının %100 olması ise toplumdaki bireylerin tamamının mutasyona uğratılacağını göstermektedir. Bu durumda ise arama uzayı çok genişletilerek sistemin çözümü yanlış yerlerde aramasına neden olmaktadır. Bu

nedenlerle mutasyon oranının çözümlü aranan probleme göre doğru olarak belirlenmelidir.

Genetik algoritma uygulamalarında çözümlü aranan problem tipine göre mutasyon işlemi farklı şekillerde yapılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmaktadır.

Komşu İki Geni Değiştirme: Genellikle permütasyon kodlama ile oluşturulmuş çocuk bireylerde kullanılan bu yöntemde, çocuk bireylerden rassal olarak belirlenen iki komşu genin yer değiştirilmesi şeklinde yapılmaktadır. Şekil 3.21’de yonteme ait uygulama gösterilmektedir.

Orijinal çocuk birey	123 <u>45</u> 67
Mutasyonlu çocuk birey	123 <u>54</u> 67

Şekil 3.21 Komşu iki geni değiştirme ile yapılan mutasyon

Keyfi İki Geni Değiştirme: Rassal olarak belirlenen iki genin yer değiştirmesi şeklinde yapılmaktadır ve Şekil 3.22’de sunulmaktadır.

Orijinal çocuk birey	1 <u>2</u> 345 <u>6</u> 7
Mutasyonlu çocuk birey	1 <u>6</u> 354 <u>2</u> 7

Şekil 3.22 Keyfi iki geni değiştirme ile yapılan mutasyon

Keyfi Üç Geni Değiştirme: Rassal olarak belirlenen üç genin yine rassal olarak yer değiştirmesi şeklinde yapılmaktadır ve gösterimi Şekil 3.23’de sunulmaktadır.

Orijinal çocuk birey	1 <u>2</u> 3 <u>4</u> 5 <u>6</u> 7
Mutasyonlu çocuk birey	1 <u>6</u> 3 <u>2</u> 4 <u>4</u> 7

Şekil 3.23 Keyfi üç geni değiştirme ile yapılan mutasyon

Yer Değişim Mutasyon: Bu tür mutasyon, çocuk bireyde rassal olarak belirlenen bir gen dizisinin rastgele kaydırılarak yapılmaktadır. Permütasyon kodlamalı çocuk bireylerde uygulanması Şekil 3.24’te gösterilmektedir.

Orijinal çocuk birey	1 <u>234</u> 567
Mutasyonlu çocuk birey	1567 <u>234</u>

Şekil 3.24 Yer değişim mutasyon

Sınır Mutasyon: Çocuk bireyin bir geni rassal olarak belirlenir. Belirlenen gen çözüm aralığının maksimum ve minimum değerlerinden biri ile yer değiştirilir. Sınır mutasyonun değer kodlamalı çocuk bireylerde uygulandığı Şekil 3.25'te gösterilmektedir.

Orijinal çocuk birey	1,2324	5,3243	0,4550	2,4931	Min	Mak
Mutasyonlu çocuk birey	1,2324	5,3243	6,3952	2,4931	0.3000	6,3952

Şekil 3.25 Sınır mutasyon

3.3.3.7 Amaca Uygunluk

Genetik algoritma operatörlerindeki işlemlerin tamamlanmasıyla, oluşturulan çözüm kümelerindeki bireylerin, arama uzayında problemin çözümünü ne kadar temsil ettiği amaç fonksiyonu ile bulunur. Çözüm kümelerindeki bireylerin amaç fonksiyonları değerleri karşılaştırılır. Eğer amaç fonksiyonu değerlerinde yeni çözüm kümesi ile bir iyileşme gözleniyorsa bireylerin yeniden üretimi ile genetik algortmada aramaya devam edilir. Amaç fonksiyon değerinde bir iyileşme gözlenmiyorsa genetik algoritma ile yapılan arama tamamlanmış olur ve o çözüm kümesindeki en iyi bireyler problemin çözümünü göstermektedir. Amaç fonksiyonu çözümü aranan probleme dayalı olarak kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

3.3.4 Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Nedenler

Genetik algoritmaların performansını etkileyen nedenlerden bazıları aşağıda sunulmaktadır.

Birey (kromozom) sayısı: Toplumdaki birey sayısının azaltılması çözümü aranan problem için çözüm kümesinde aranacak bireylerin çeşitliliğinin azalmasına, bundan dolayı çözüm uzayında optimum çözümün bulunamamasına neden olmaktadır. Birey

sayısının çok fazla tutulması da problemin çözümü için geçen zamanı arttırmasına sebebiyet vermektedir (Emel ve Taşkın, 2002, Üstün ve Yıldız, 2009).

Kodlama türünün seçimi: Çözümü aranan problemin türüne göre, kodlama türünün doğru seçilmesi gerekmektedir. Genetik algoritma uygulamalarında sıklıkla kullanılan ikili kodlama türü, reel sayılar gibi değerlerin kullanıldığı problemlerde uygulanmasıyla kromozom sayısı çok uzun olacağından, genetik algoritmanın performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Emel ve Taşkın, 2002).

Çaprazlama olasılığı (oranı): Yüksek çaprazlama olasılığı toplum değişkenliğinin hızlı bir şekilde değişmesine, düşük çaprazlama olasılığı ise değişkenliğin çok yavaş gerçekleşmesine neden olur (Goldberg, 1988).

Çaprazlama türü: Çözümü aranan problemin tipine ve kodlama türüne bağlı olarak belirlenmelidir (Engin ve Fırlalı, 2002).

Mutasyon olasılığı (oranı): Mutasyon olasılığının çok yüksek seçilmesi çözüm uzayının çok genişlemesine neden olmaktadır. Bu problemin çözümünün yanlış yerlerde aranmasına sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda bu olasılığın çok düşük seçilmesi çözüm uzayını daraltarak optimum çözümlerin çözüm uzayının dışında kalmasına neden olabilmektedir (Hamilton ve Ridley, 2005, Kocamaz ve Çiçekli, 2010).

Mutasyon türü: Çözümü aranan problemin tipine ve problemin çözümünde kullanılan kodlama tipine bağlı olarak belirlenmelidir. İkili kodlamalı bireylerin mutasyonu, permutasyon kodlamalı bireylerde kullanılan mutasyon operatörleri ile yapılması genetik algoritmaların performansını düşürmektedir (Kocamaz ve Çiçekli, 2010).

Amaç fonksiyonunun belirlenmesi: Genetik algoritma ile bulunan çözüm kümesindeki en iyi bireylerin sonuçlarının karşılaştırıldığı amaç fonksiyonu doğru

olarak sisteme tanıtılmaz ise algoritmanın optimum çözüme ulaşması güçleşmektedir (Emel ve Taşkın, 2002, Liu, 2009).

3.3.5 Genetik Algoritmaların Diğer Optimizasyon Yöntemlerinden Farklılıkları

Genetik algoritmalar problemi çözerken diğer optimizasyon yöntemleri gibi çözüme tek bir noktadan başlamazlar. Genetik algoritmalar çözüme çözüm kümeleri üreterek başlarlar. Genetik algoritmalar çözüm kümeleri ile sonuca ulaşmaya çalışırlar. Bir başka ifadeyle diğer optimizasyon teknikleri gibi çözümü arama uzayında yerel değil global olarak ararlar. Bunun sonucunda genetik algoritmaların yerel minimuma veya maksimuma takılma ihtimali çok düşük olmaktadır (Goldberg, 1989).

Genetik algoritmalar, çözüm uzayında çözüm kümelerindeki bireylerin uygunluk değerlerini bulmak için, sadece amaç-uygunluk fonksiyonlarına ihtiyaç duyarlar. Böylelikle sonuca ulaşmak için diğer optimizasyon yöntemlerinin ihtiyaç duyduğu türev, diferansiyel işlemler gibi başka bilgi veya kabullere gerek duymazlar (Lin ve Wang, 2007).

Genetik algoritmalar diğer optimizasyon yöntemleri gibi doğrudan parametreleri kullanarak çözümü aramazlar. Genetik algoritmalar bu parametreleri kodlar ve kodlanmış parametrelerdeki bilgileri kalıtım yolu ile sonraki nesillere aktararak çözüm uzayında en iyi sonuca ulaşmaya çalışırlar (Wang, 1997).

Genetik algoritmalar deterministik özellik taşımamaktadırlar. Olasılık ihtimallerine dayanarak rastlantısal geçiş kuralları kullanırlar (Cheng ve diğ., 2006).

BÖLÜM DÖRT

KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODEL ve YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU

4.1 Giriş

Kavramsal hidrolojik modeller, yağışın akışa dönüşümü sürecinde meydana gelen sızma, buharlaşma, terleme, yüzey, yüzeyaltı, yeraltısuyu ve zemin depolaması gibi hidrolojik süreçleri parametrelere bağlı olarak matematiksel ifadelerle tanımlamaktadır. Havzada gerçekleşen bu süreçlerin model yapısında detaylı olarak yer alması, model yapısını karmaşıktırmakta ve kalibre edilmesi gereken parametrelerin sayısını arttırarak, modelin kalibrasyonunu güçleştirmektedir (Beven, 1993; Lindström, ve diğ. 1997).

Sunulan çalışmada kavramsal modellerdeki parametrelerin kalibrasyon güçlüklerinin ve hatalarının en aza indirilerek modelin daha iyi akım tahminleri yapılabilmesi açısından, modele yapay zeka teknikleri entegre edilerek; parametreleri otomatik kalibre edilen hibrid bir model geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında kavramsal model olarak GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) (Perrin, 2000) günlük yağış akış modeli seçilmiş ve modelin doğrusal olmayan akım öteleme süreçleri YSA ile entegre edilerek öteleme parametreleri ortadan kaldırılmıştır. Entegre modelin az sayıdaki parametrelerinin kalibrasyonu için en iyi parametre değerlerini çözüm uzayında arayan genetik algoritmalarından yararlanılmış ve model, kendi parametrelerini otomatik olarak kalibre edebilen hibrid bir model haline dönüştürülmüştür.

Geliştirilen entegre modelin, GR4J modelinin performansında sağladığı artışları ortaya koymak amacıyla modelleme çalışmaları öncelikle GR4J modeli ile başlamış ardından YSA ve GA entegrasyonlarıyla devam ettirilerek model sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır.

4.2 GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) Günlük Yağış Akış Modeli

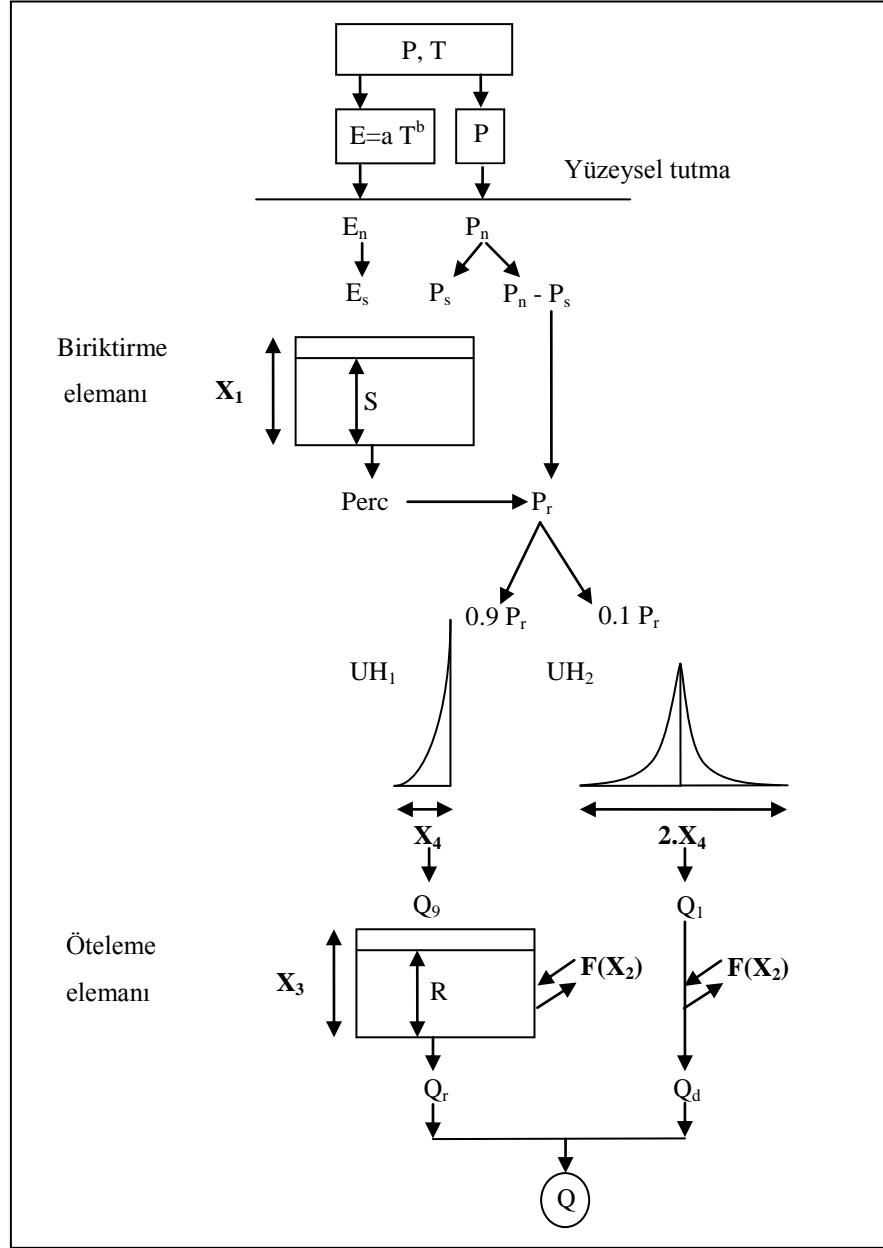
Basit bir yapıya sahip olan GR4J yağış-akış modeli Perrin (2000) tarafından geliştirilen kavramsal, deterministik, toplu ve sürekli bir modeldir (Perrin ve diğ., 2001, Perrin ve diğ., 2003, Vos ve Rientjes, 2005, Simonneaux ve diğ., 2008, Harlan ve diğ., 2010). Model, tüm kavramsal modellerde olduğu gibi temelde biriktirme ve öteleme elemanlarından oluşmaktadır. Modelin şematik yapısı Şekil 1’de sunulmaktadır.

Modelde günlük akımları tahmin edebilmek için X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 olmak üzere dört parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden X_1 (mm) biriktirme elemanının depolama kapasitesini, X_2 (mm) yeraltısu değişimini, X_3 (mm) öteleme elemanının depolama kapasitesini, X_4 (gün) ise öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliğini ifade eden model parametreleridir.

Havzaya düşen ortalama alansal yağış (P , mm/gün) ve havzanın potansiyel evapotranspirasyon değerleri (E , mm/gün) modelin girdilerini oluşturmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon, Penman-Monteith (Monteith, 1965) gibi bilinen herhangi bir evapotranspirasyon metodu ile tahmin edilebileceği gibi, sunulan çalışmada ortalama hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak dikkate alınmıştır. (Denklem 4.1).

$$E = aT^b \quad (4.1)$$

Burada, E (mm/gün) potansiyel evapotranspirasyon yüksekliğini, T ($^{\circ}\text{C}$) havzanın ortalama günlük sıcaklığı, a ve b ise evapotranspirasyon parametrelerini ifade etmektedir. Evapotranspirasyonu, günlük hava sıcaklığının üstel bir fonksiyonu olarak ifade edilmesiyle GR4J modelinin parametre sayısı 4’ten 6’ya çıkmıştır.



Şekil 4.1 GR4J günlük yağış akış modeli

Model, ilk olarak yağış ile potansiyel evapotranspirasyonu karşılaştırarak yüzeyde kalan net yağışı (P_n , mm/gün) ve net evapotranspirasyon açığı (E_n , mm/gün) hesaplamaktadır (Denklemler 4.2).

$$P > E \quad \text{ise} \quad P_n = P - E \quad ; \quad E_n = 0 \quad (4.2)$$

$$P < E \quad \text{ise} \quad P_n = 0 \quad ; \quad E_n = E - P$$

Yüzeyde kalan net yağış miktarının sıfıra eşit olmaması durumunda, bu miktarın P_s (mm/gün) kadarı, biriktirme elemanına gönderilmektedir. P_s , biriktirme elemanının depolama kapasitesinin bir fonksiyonu olarak Denklem 4.3'te tanımlanmaktadır.

$$P_s = \frac{X_1 \left(1 - \left(\frac{S_{t-1}}{X_1} \right)^2 \right) \tanh \left(\frac{P_n}{X_1} \right)}{1 + \frac{S_{t-1}}{X_1} \tanh \left(\frac{P_n}{X_1} \right)} \quad (4.3)$$

Burada P_s , biriktirme elemanına geçen yağış yüksekliğini (mm/gün), S bir gün önceki biriktirme elemanı depolamasını (mm), P_n yüzeyde kalan net yağışı (mm/gün), X_1 ise biriktirme elemanı depolama kapasitesini (mm) tanımlamaktadır.

Net evapotranspirasyon açığının (E_n) sıfıra eşit olmaması durumunda ise, biriktirme elemanından E_s (mm/gün) kadar evapotranspirasyon kaybı gerçekleşmektedir (Denklem 4.4).

$$E_s = \frac{S_{t-1} \left(2 - \frac{S_{t-1}}{X_1} \right) \tanh \left(\frac{E_n}{X_1} \right)}{1 + \left(1 - \frac{S_{t-1}}{X_1} \right) \tanh \left(\frac{E_n}{X_1} \right)} \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te yer alan E_s , biriktirme elemanından çekilen evapotranspirasyonu (mm/gün), E_n ise net evapotranspirasyon açığını (mm/gün) tanımlamaktadır.

Biriktirme elemanına giren (P_s) ve çıkan (E_s) su yüksekliklerinin belirlenmesiyle süreklilik denklemi yazılacak olursa, biriktirme elemanında güncellenen su yüksekliği Denklem 4.5 ile hesaplanmaktadır.

$$S_t = S_{t-1} + P_{s,t} - E_{s,t} \quad (4.5)$$

Burada, S_t , biriktirme elemanında depolanan su yüksekliğini (mm/gün) ifade etmektedir.

Modelde, biriktirme elemanından perkolasyon yoluyla çıkan akım yüksekliği ($Perc_t$, mm/gün) ise Denklem 4.6 ile hesaplanmaktadır.

$$Perc_t = S_t \left[1 - \left[1 + \left(\frac{4 S_t}{9 X_1} \right)^4 \right]^{-1/4} \right] \quad (4.6)$$

Bu durumda, biriktirme elemanında su bütçesi tekrar yazılarak, depolanan su miktarı Denklem 4.7 ile güncellenmektedir.

$$S_t = S_{t-1} - Perc_t \quad (4.7)$$

Ötelenme elemanına giden su yüksekliği, net yağıştan kalan su yüksekliği ($P_n - P_s$) ile perkolasyonla gelen su yüksekliklerinin toplamı şeklinde ifade edilmektedir (Denklem 4.8).

$$P_{r,t} = Perc_t + (P_n - P_s)_t \quad (4.8)$$

Burada P_r , öteleme elemanına gönderilen su yüksekliğini (mm/gün) ifade etmektedir.

Modelde öteleme elemanına gönderilen su miktarı (P_r), iki bileşene ayrılmaktadır. Birinci bileşen, P_r 'nin %90'ını oluşturmaktadır. Bu su yüksekliği, taban genişliği X_4 gün olan birim hidrograf ile akıma dönüştürülerek öteleme elemanının girdi akımını (Q_{90}) oluşturmaktadır. İkinci bileşen, P_r 'nin kalan %10 luk kısmından meydana gelmektedir. İkinci bileşen ise taban genişliği $2.X_4$ gün olan birim hidrograf ile akıma dönüştürülerek Q_{10} akım değeri hesaplanmaktadır.

X_4 ve $2.X_4$ taban genişlikli birim hidrograflar Denklem 4.9'de verilen SH hidrografları kullanılarak elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
 t \leq 0 & \quad SH1(t) = 0 & \quad SH2(t) = 0 \\
 0 < t \leq X_4 & \quad SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2} & \quad SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2} \\
 X_4 < t \leq 2X_4 & \quad SH1(t) = 1 & \quad SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X_4}\right)^{5/2} \\
 t > 2X_4 & \quad SH1(t) = 1 & \quad SH2(t) = 1
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

S hidrografları bulunduktan sonra UH1 ve UH2 birim hidrograflarının ordinatları Denklem 4.10 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 UH1(j) &= SH1(j) - SH1(j-1) \\
 UH2(j) &= SH2(j) - SH2(j-1)
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

X_4 ve $2.X_4$ günlük birim hidrografları kullanılarak Q_{10} ve Q_{90} akım yükseklikleri Denklem 4.11'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 Q_{10} &= 0.1 \sum_{k=1}^l UH1(k) P_r(i-k+1) \\
 Q_{90} &= 0.9 \sum_{k=1}^m UH1(k) P_r(i-k+1)
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Denklem 4.11'de l, X_4 günden büyük en küçük tamsayıyı, m ise $2.X_4$ günden büyük en küçük tamsayıyı ifade etmektedir.

Modelde yeraltısuyu yüksekliğindeki değişimler ise, öteleme elemanı depolamasında ve Q_{10} akım yüksekliğinde değişimlere neden olmaktadır. Yeraltısuyu yüksekliğindeki bu değişimler, öteleme elemanı depolamasının bir fonksiyonu olarak Denklem 4.12'de hesaplanmaktadır.

$$F_t = X_2 \left(\frac{R_t}{X_3} \right)^{7/2} \quad (4.12)$$

Denklem 4.12’de, F yeraltısuyu yüksekliğindeki değişimleri (mm), R öteleme elemanı depolama yüksekliğini (mm), X_2 yeraltısuyu yüksekliği değişim katsayısını (mm), X_3 ise öteleme depolaması kapasitesini (mm) ifade etmektedir.

X_2 model parametresi pozitif ve negatif değerler alabilmektedir. X_2 değerinin pozitif olması öteleme elemanına yeraltısuyundan su girişi olduğunu, negatif değer alması da öteleme depolamasından yeraltısuyuna doğru su çıkışı olduğunu göstermektedir.

Öteleme elemanına giren ve çıkan akım yüksekliklerinin hesaplanmasıyla bu eleman için güncellenen su yüksekliği Denklem 4.13’ten hesaplanmaktadır.

$$R_t = R_{t-1} + Q_{90,t} \mp F_t \quad (4.13)$$

Öteleme elemanından çıkan akım yüksekliği (Q_r) ise Denklem 4.14’te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_{r,t} = R_t \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R_t}{X_3} \right)^4 \right]^{-1/4} \right\} \quad (4.14)$$

Öteleme elemanından çıkan akım yüksekliğinin hesaplanmasıyla bu tabakada depolanan su yüksekliği Denklem 4.15 ile güncellenmektedir.

$$R_t = R_{t-1} - Q_{r,t} \quad (4.15)$$

UH2 birim hidrografi ile hesaplanan Q_{10} akım yüksekliğinin yeraltısuyu yüksekliği ile etkileşimi Denklem 4.16’da verilmiştir.

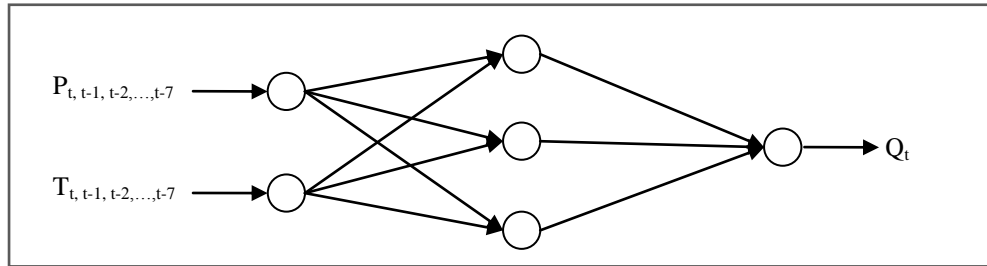
$$Q_{d,t} = Q_{10,t} \mp F_t \quad (4.16)$$

Modelin çıktısını oluşturan toplam akım yüksekliği (Q_m), öteleme elemanından çıkan akım yüksekliği (Q_r) ile Q_d akım yüksekliklerinin toplamı ile (Denklem 4.17) bulunmaktadır.

$$Q_{m,t} = Q_{r,t} + Q_{d,t} \quad (4.17)$$

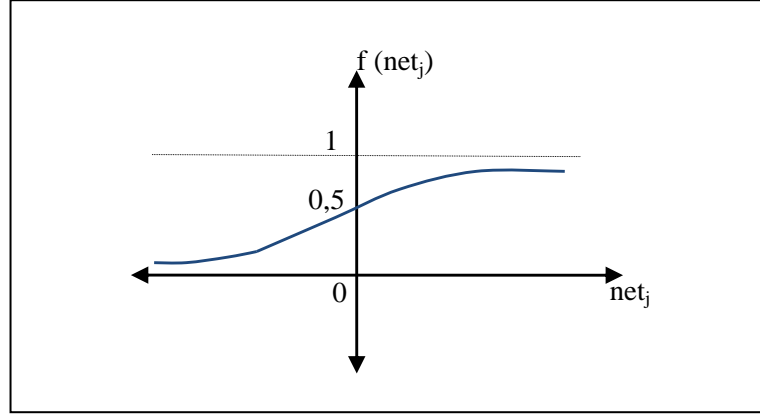
4.3 Yapay Sinir Ağı Günlük Yağış Akış Modeli

Günlük yağış-akış ilişkisinin belirlenmesinde yapay sinir ağı yöntemiyle kurulan modeller uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Minns ve Hall, 1996, Salas ve diğ. 2000, Dawson ve Wilby, 2001, Peters ve diğ., 2006, Ju ve diğ., 2009, Chua ve Wong, 2010, Kagoda ve diğ., 2010, Nourani ve diğ., 2011). Bu modellerin hemen hemen tamamında en iyi model performansının o güne ait yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler yanında bir gün önceki gözlenmiş akımların girdi olarak kullanıldığı model yapılarında elde edildiği görülmektedir. Bir başka ifadeyle, günlük akımların YSA ile modellenmesi söz konusu olduğunda model girdisi olarak bir gün önceki gözlenmiş akımların kullanılması kaçınılmaz olmaktadır (Dibike ve Solomatine, 2000, Raid ve diğ., 2004). Bu ise, söz konusu modeller ile uzun süreli günlük akımların tahmini yapılamayacağı sonucunu doğurmaktadır. Sunulan çalışmada ise, kurulan YSA modelleri GR4J modelinin girdileri olan günlük yağış ve sıcaklık verilerinden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında kurulan YSA tabanlı günlük akım modellerinin şematik yapısı Şekil 4.2’de sunulmaktadır.



Şekil 4.2 Çalışma kapsamında kurulan YSA tabanlı günlük akım modelinin şematik yapısı ($P_{t,t-1,t-2,...,t-7}$, yağış serisini; $T_{t,t-1,t-2,...,t-7}$, sıcaklık serisini; Q_t günlük akımları ifade etmektedir)

YSA tabanlı kurulan günlük yağış akış modellerinde, aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 4.3). Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun formundan ötürü yağış ve sıcaklık serisinden oluşan girdi seti ile akım serisinden oluşan çıktı setindeki tüm veriler Denklem 4.18 ile standardize edilmiştir.



Şekil 4.3 Sigmoid fonksiyonu

$$z_i = c + \frac{d (x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \quad (4.18)$$

Denklem 4.18’de tanımlanan c ve d ölçeklendirme parametreleridir. Yapay sinir ağı uygulamalarında c ve d parametreleri probleme dayalı olarak kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Çalışma kapsamında c değeri 0,1 ve d değeri ise 0,8 alınarak YSA’nın girdi ve çıktı tabakalarındaki veriler $[0,1;0,9]$ aralığına standardize edilmiştir.

Kurulan ağ yapılarının eğitimi Delta öğrenme kuralı ile gerçekleştirilmiş ve eğitime algoritması olarak Levenberg – Marquardt algoritması ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Levenberg – Marquardt eğitime algoritması, ikinci mertebeden Taylor serilerine dayanarak geliştirilmiş Newton metodunun özel bir halidir (Hagan ve Menhaj, 1994, Supharatid, 2003). Levenberg – Marquardt eğitime algoritması ile YSA’nın ağırlık katsayılarının düzeltilmesi Denklem 4.19 ile gerçekleştirilmektedir.

$$w_{t+1} = w_t - A_t^{-1} g_t \quad (4.19)$$

Burada, w_{t+1} ağın yeni ağırlık katsayısı vektörünü, w_t ağın eski ağırlık katsayısı vektörünü, A_t toplam hataya ait (E) Denklem 4.20a,b'de tanımlanan Hessian matrisini, g_t ise hata gradyanını göstermektedir.

$$Hessian = A_t = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 E}{\partial w_1^2} & \frac{\partial^2 E}{\partial w_1 \partial w_2} & \frac{\partial^2 E}{\partial w_1 \partial w_3} & \cdots & \frac{\partial^2 E}{\partial w_1 \partial w_K} \\ \frac{\partial^2 E}{\partial w_2 \partial w_1} & \frac{\partial^2 E}{\partial w_2^2} & \frac{\partial^2 E}{\partial w_2 \partial w_3} & \cdots & \frac{\partial^2 E}{\partial w_2 \partial w_K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial^2 E}{\partial w_K \partial w_1} & \frac{\partial^2 E}{\partial w_K \partial w_2} & \frac{\partial^2 E}{\partial w_K \partial w_3} & \cdots & \frac{\partial^2 E}{\partial w_K^2} \end{bmatrix} \quad (4.20a)$$

$$A_t = \nabla^2 E(w) \Big|_{w=w_t} \quad (4.20b)$$

Gradyan g_t , Jacobian matrisi J 'ye (Denklem 4.21a) bağlı olarak Denklem 4.21b'den hesaplanmaktadır (Denklem 4.21b).

$$Jacobian = J = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_1}{\partial w_{10}} & \frac{\partial v_1}{\partial w_{11}} & \cdots & \frac{\partial v_1}{\partial w_{ML}} & \cdots & \frac{\partial v_1}{\partial w_{NM}} \\ \frac{\partial v_2}{\partial w_{10}} & \frac{\partial v_2}{\partial w_{11}} & \cdots & \frac{\partial v_2}{\partial w_{ML}} & \cdots & \frac{\partial v_2}{\partial w_{NM}} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial v_p}{\partial w_{10}} & \frac{\partial v_p}{\partial w_{11}} & \cdots & \frac{\partial v_p}{\partial w_{ML}} & \cdots & \frac{\partial v_p}{\partial w_{NM}} \end{bmatrix} \quad (4.21a)$$

$$g_t = \nabla E(w) \Big|_{w=w_t} = 2J_{wt}^T V_{wt} \quad (4.21b)$$

Denklem 4.21a'da tanımlanan, L girdi sayısını, M gizli tabakadaki nöron sayısını, N çıktı tabakasındaki nöron sayısını, v yapay sinir ağı çıktı değeri ile ölçülen çıktı arasındaki hatayı göstermektedir. Denklem 4.21b'de, V_{wt} ise hata matrisidir.

Hessian matrisi (A_t), Jacobian matrisi ifade edilirse Denklem 4.22 elde edilir.

$$A_t = \nabla^2 E(w) \Big|_{w=w_t} = 2J_{wt}^T J_{wt} \quad (4.22)$$

Denklem 4.21b ve 4.22, Denklem 4.19'da yerine konduğunda Denklem 4.23'de tanımlanan Gauss–Newton metodu elde edilir.

$$w_{t+1} = w_t - [J_{wt}^T J_{wt}]^{-1} J_{wt}^T V_{wt} \quad (4.23)$$

Denklem 4.23'e, μ skaler büyüklüğü ve birim matris (I) eklendiğinde Denklem 4.24'te tanımlanan Levenberg–Marquardt eğitme algoritması elde edilir.

$$w_{t+1} = w_t - [J_{wt}^T J_{wt} + \mu_t I]^{-1} J_{wt}^T V_{wt} \quad (4.24)$$

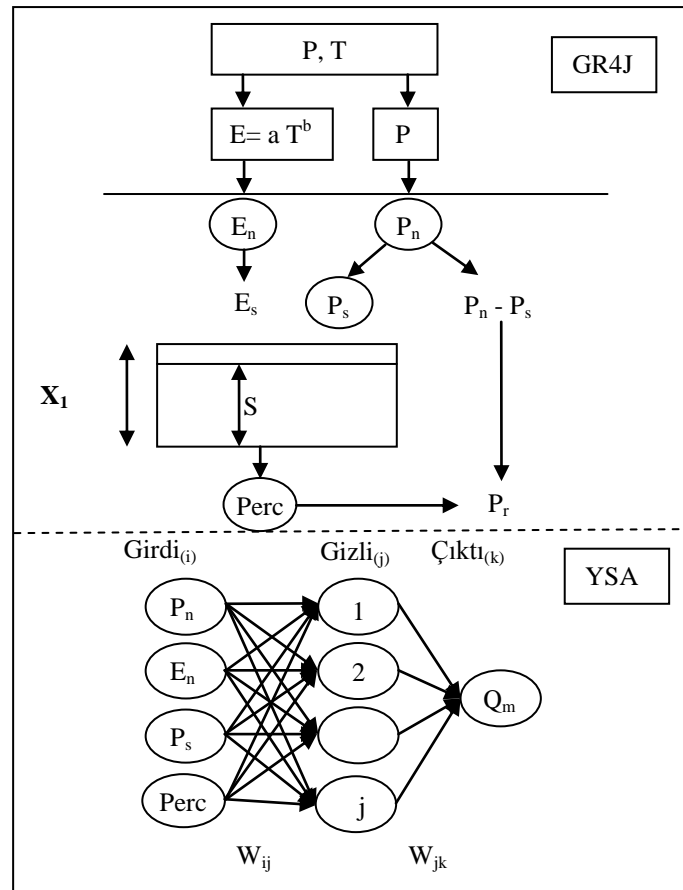
Levenberg – Marquardt eğitme algoritmasında μ değeri öğrenme parametresidir. Ağın eğitiminde tanımlanan μ , öğrenme parametresinin 0'a eşit olması halinde eğitme algoritması Gauss–Newton metoduna, μ değerinin çok büyük olması halinde ise küçük adımlı gradyan azalması yöntemine dönüşmektedir. Levenberg – Marquardt eğitme algoritması ile ağda çok sayıda iterasyon yapmadan hızlı bir şekilde eğitim tamamlanmaktadır (Reddy ve Wilamowski, 2000, Supharatid, 2003, Okkan ve Mollamahmutoğlu, 2010).

4.4 GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli

Çalışma kapsamında, GR4J kavramsal günlük yağış akış modeli ile ilk olarak yapay sinir ağlarının entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Net yağış (P_n) ve biriktirme elemanına giren yağış (P_s), net evapotranspirasyon açığı (E_n) ve biriktirme elemanından çıkan akım (Perc), YSA'nın temel girdilerini oluşturmakta ve GR4J modelinin öteleme elemanı yerine öteleme işlemini YSA'nın gerçekleştirmesi sağlanmıştır (Şekil 4.4).

Modelde kullanılan yapay sinir ağları 1 gizli tabakadan oluşmakta ve gizli tabakadaki nöron sayıları 1'den 10'a kadar değişmektedir. GR4J–YSA entegre

modelinde kullanılan ağlarda yine sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve eğitim algoritması olarak bir önceki bölümde detayları verilen Levenberg – Marquardt algoritması kullanılmıştır. GR4J-YSA entegrasyonu sayesinde GR4J modelinin X_2 , X_3 ve X_4 model parametreleri ortadan kaldırılmıştır. Böylece model X_1 , a ve b olmak üzere 3 parametrelili hale dönüştürülmüştür.

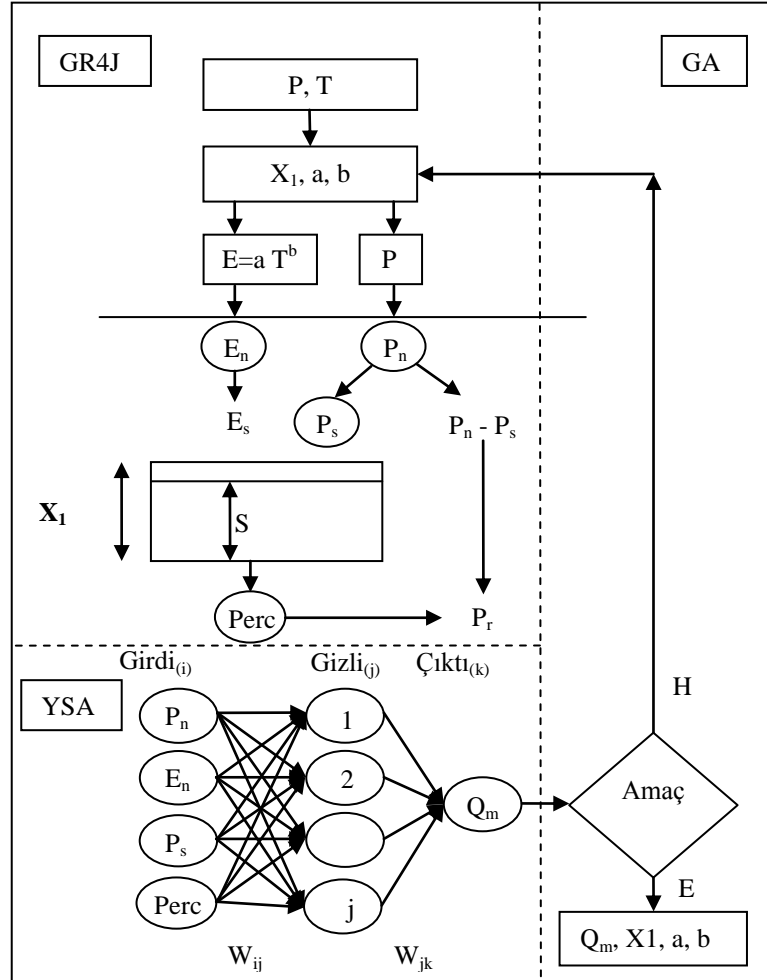


Şekil 4.4 Çalışma kapsamında geliştirilen GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli

4.5 GR4J YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli

GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinde yapay sinir ağının girdilerini oluşturan P_n , E_n , P_s ve $Perc$ verileri, GR4J modeli kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu girdi değerlerin GR4J modelinden bağımsız olarak hesaplanıp ağa girilmesi için GR4J-YSA modelindeki parametrelerin kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla GR4J-YSA modeline, genetik algoritmaların

entegrasyonu gerçekleştirilerek model parametrelerinin otomatik kalibrasyonu sağlanmıştır. GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modelinin şematik yapısı Şekil 4.5'te sunulmaktadır.



Şekil 4.5 Çalışma kapsamında geliştirilen GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli

Modele genetik algoritmanın da entegre edilmesi sonucunda, GR4J modelinden gelen biriktirme elemanı depolama kapasitesini tanımlayan X_1 ve evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b parametreleri GA ile kalibre edilmektedir.

GR4J-YSA-GA entegre modelinin girdi verileri günlük yağış ve günlük potansiyel evapotranspirasyon değerleridir. Model genetik algoritma ile nihai parametreler olan X_1 , a ve b 'yi tanımlayıp yapay sinir ağlarının girdilerini oluşturan P_n , E_n , P_s ve Perc değerleri hesaplanmaktadır. Yapay sinir ağları bu değerleri

kullanarak model akım yüksekliklerini hesaplanmaktadır. Model, ağın ürettiği sonuçlar ile ölçülen akımlar arasında tanımlanan amaç fonksiyonlarının uygunluğunu kontrol ederek GA ile model parametrelerinin en uygun değerlerini aramaktadır

4.6 Modellerin Performans Kriterleri

Gerek tez kapsamında geliştirilen GR4J-YSA-GA modelinde gerekse bireysel GR4J ve YSA yağış akış modellerinde aynı performans kriterleri kullanılmış ve modellerin kalibrasyon ve verifikasyon performansları belirlenirken model sonuçları ile gözlenen akımlar arasındaki hataların minimum olması amaçlanmıştır. Çalışmada, Nash– Sutcliffe (NS) (1970) kriteri (Denklem 4.24), determinasyon katsayısı (R^2) (Denklem 4.25), karesel hataların toplamını (KH) (Denklem 4.26) ve ortalama karesel hataların karekökü (OKHK) (Denklem 4.27) performans kriterleri olarak belirlenmiş, NS ve R^2 değerlerinin maksimum ve KH ve OKHK değerlerinin de minimum olduğu model parametreleri araştırılmıştır.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - \bar{Q}_g)^2} \quad (4.24)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_{t=1}^N Q_{g,t}^2} \quad (4.25)$$

$$KH = \sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2 \quad (4.26)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2} \quad (4.27)$$

Denklemlerde, Q_g , gözlenen günlük akım yüksekliğini, Q_m , modelden elde edilen günlük akım yüksekliğini, $\overline{Q_g}$, gözlenen günlük akım yüksekliklerinin ortalamasını, N veri sayısını ifade etmektedir.

BÖLÜM BEŞ

GÜNLÜK YAĞIŞ AKIŞ MODELLERİNİN GEDİZ HAVZASINDA

UYGULANMASI

5.1 Giriş

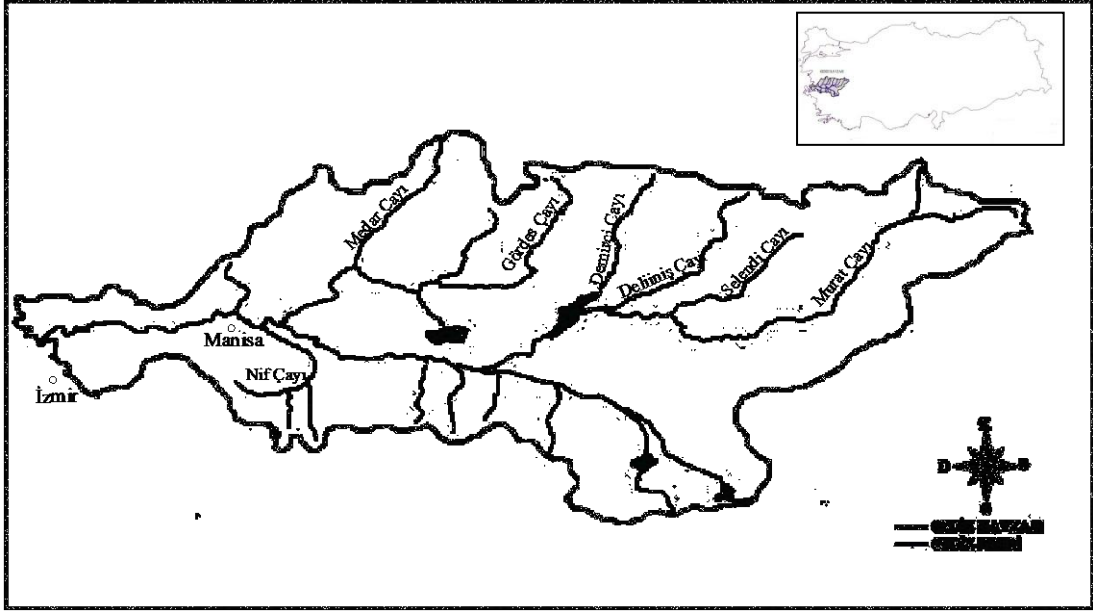
Çalışmada, Gediz Havzası'nın günlük akımları GR4J, YSA ve tez kapsamında geliştirilen GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA akım modelleri kullanılarak modellenmiştir. Modellerin Gediz Havzası'ndaki uygulama alt havzaları belirlenirken, modellenecek akım kolu üzerinde doğal akışları etkileyecek herhangi bir akarsu yapısının bulunmamasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle, Gediz Havzası'nın günlük akımlarının modellenmesi çalışmaları Murat, Selendi, Deliiniş, Demirci, Gördes, Medar ve Yiğitler althavzalarının akımlarını oluşturan kollar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Modellerde kullanılan meteorolojik veriler, althavzaları temsil eden Uşak, Gediz, Simav, Selendi, Demirci, Gördes, Akhisar ve Kemalpaşa DMİ gözlem istasyonlarından, akım gözlemleri ise ilgili kollar üzerindeki EİE istasyonlarından temin edilmiştir.

5.2 Gediz Havzası ve Günlük Akımlarının Modellenmesi

Ege Bölgesi'nde yer alan Gediz Havzası, coğrafi bakımdan 38° 34' ve 39° 13' kuzey enlemleri ile 26° 42' ve 29° 45' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüz ölçümü yaklaşık 18000 km² olan Gediz Havzası, Türkiye yüzölçümünün %2,2'sini oluşturmaktadır. Havzanın kuzeyinde Bakırçay ve Susurluk Havzaları, güneyinde ise Küçük ve Büyük Menderes Havzaları yer almaktadır.

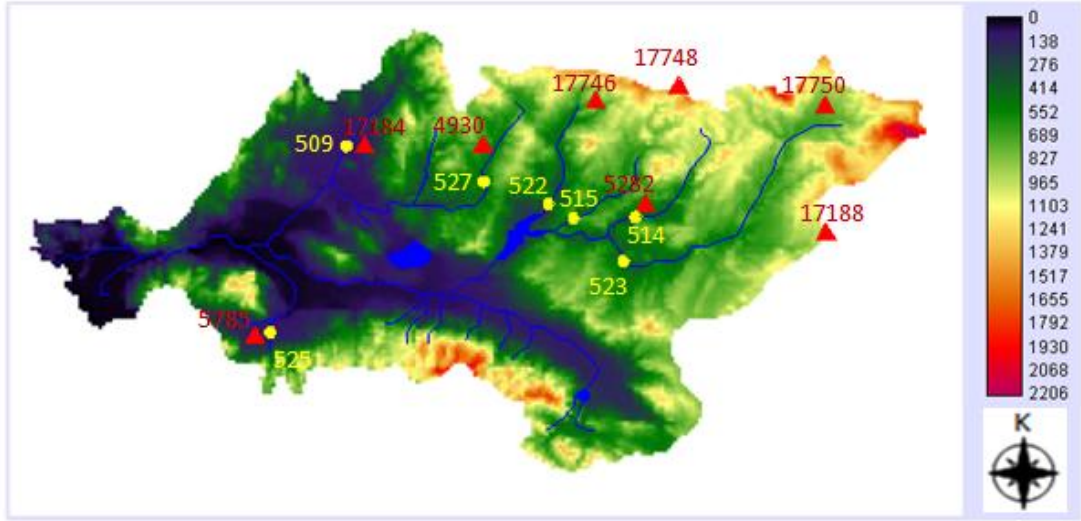
Havzanın yüzey sularını Murat Dağı eteklerinden doğan Gediz Nehri oluşturmaktadır. Gediz Nehri, Murat Dağı eteklerinde başlayıp batıya doğru Selendi, Deliiniş, Demirci Çayları ile güneyden Alaşehir Çayı ile birleşmektedir. Gediz Nehri'ne Manisa ilininin kuzeyinden Gördes, Kayacık ve Medar Çayları, güneyinden Nif Çayı dahil olmaktadır. Bu çayların da dahil olmasından sonra Gediz Nehri

Foça'nın güneydoğusundan Ege Denizi'ne ulaşmaktadır (Şekil 5.1). Havzanın uzun dönem yıllık ortalama akımı yaklaşık 1,95 milyon m³'tür.

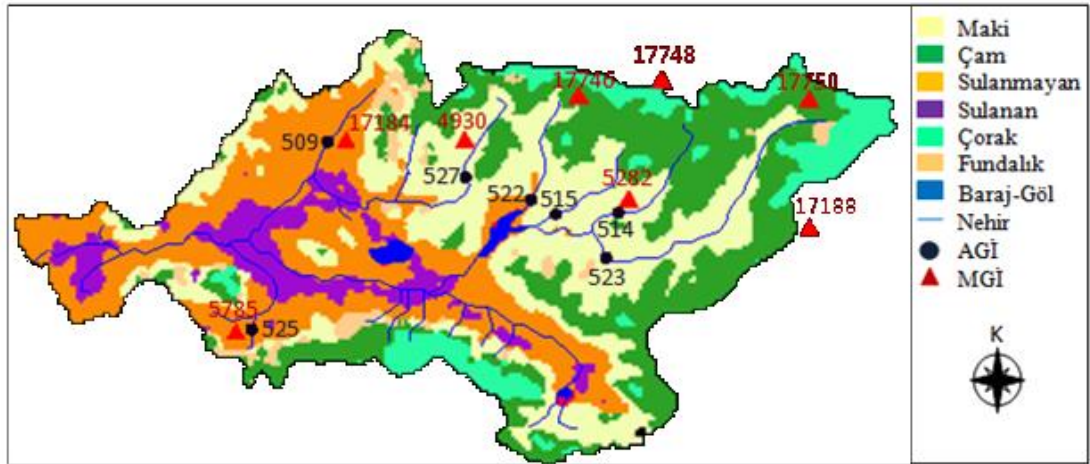


Şekil 5.1 Gediz Havzası ve modelleme çalışmalarının gerçekleştirildiği althavzalar

Gediz havzasına ait sayısal yükselti modeli ve bitki deseni dağılımları Şekil 5.2 ve 5.3'te sunulmaktadır. Şekil 5.2 ve 5.3 birlikte değerlendirildiğinde havzanın yüksek kotlarında yer alan Murat, Selendi, Delimış ve Demirci althavzalarının benzer bitki desenine sahip olduğu ve bu havzaların üst kesimlerinin çorak alanlardan oluştuğu, mansaba doğru inildikçe çam ve makilik alanların artış gösterdiği görülmektedir. Havzanın ortalama kot seviyelerinde yer alan Gördes althavzasında bitki deseninin çam ve makiden oluştuğu, düşük kotlu Medar ve Yiğitler (Nif) althavzalarında ise fundalık alanların çoğunlukta olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2 Gediz Havzası arazi yükseklikleri



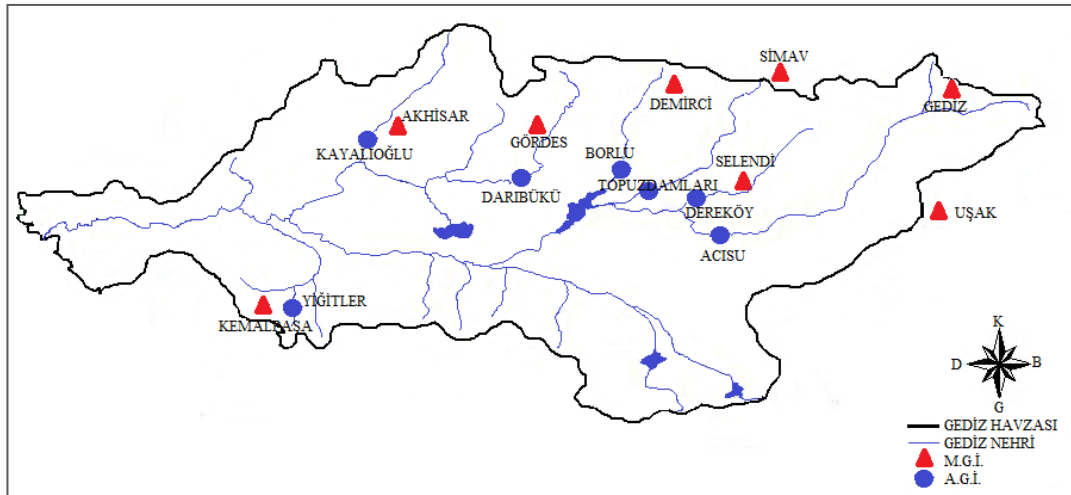
Şekil 5.3 Gediz havzası bitki deseni

5.2.1 Modelleme Çalışmalarında Kullanılan Akım Gözlem ve Meteoroloji İstasyonları

Çalışmada, Gediz Havzası'nda üzerinde herhangi bir akarsu yapısı (baraj, bağlama) bulunmayan Murat (Acısu AGİ), Selendi (Dereköy AGİ), Deliiniş (Topuzdamları AGİ), Demirci (Borlu AGİ), Gördes (Daribükü AGİ), Medar (Kayalıoğlu AGİ) ve Yiğitler (Yiğitler AGİ) althavzalarına ait günlük akımlar, GR4J, YSA, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA modelleri kullanılarak modellenmiştir. Günlük akımların modellenmesinde kullanılan yağış ve sıcaklık değerleri alt havzaları temsil eden Uşak, Gediz, Simav, Selendi, Demirci, Gördes, Akhisar ve Kemalpaşa

meteoroloji gözlem istasyonlarından alınmıştır. Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan akım gözlem istasyonları (AGİ) ve meteoroloji istasyonlarının (MGİ) konum ve isimleri Şekil 5.4'te ve akım istasyonlarının, koordinatları, drenaj alanları ve istasyonlarda ölçülen uzun dönem ortalama, minimum ve maksimum akımlar Tablo 5.1'de verilmektedir.

Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde girdi verilerini oluşturan sıcaklık ve yağış değerleri Uşak, Gediz, Simav, Selendi, Demirci, Gördes, Akhisar ve Kemalpaşa MGİ'ından temin edilmiştir (Şekil 5.4). Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan meteoroloji gözlem istasyonları, istasyonların konumları ve istasyonlarda ölçülen günlük ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıklar ve istasyonlarda gözlenen yıllık ortalama yağış yükseklikleri ve maksimum yağış yükseklikleri Tablo 5.2'de özetlenmiştir.



Şekil 5.4 Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan akım gözlem istasyonları ve meteoroloji gözlem istasyonları

Tablo 5.1 Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan akım gözlem istasyonları, istasyonların konumları, drenaj alanları ve istasyonda ölçülen uzun dönem ortalama, minimum ve maksimum akımlar

Althavza	İstasyon adı ve numarası	Coğrafi konumu	Drenaj alanı (km²)	Ortalama günlük akım (m³/s)	Minimum akım (m³/s)	Maksimum akım (m³/s)	Mevcut veri aralığı
Murat	Acısu (EİE 523)	28° 43' D 38° 38' K	3272	9,36	0,006	1290	1970 2007
Selendi	Dereköy (EİE 514)	28° 42' D 38° 41' K	689,6	2,36	KURU	860	1960 2007
Deliiniş	Topuzdamları (EİE 515)	28° 33' D 38° 43' K	739,6	3,30	0,001	1025	1960 2006
Demirci	Borlu (EİE 522)	28° 28' D 38° 45' K	818,8	182,95	KURU	890	1970 2007
Gördes	Darıbükü (EİE 527)	27° 57' D 38° 46' K	1430,5	4,38	KURU	1555	1978 2007
Medar	Kayalıoğlu (EİE 509)	27° 46' D 38° 53' K	901,6	2,86	KURU	433	1951 2007
Yiğitler	Yiğitler (EİE 525)	27° 36' D 38° 24' K	64	0,68	KURU	153	1975 2007

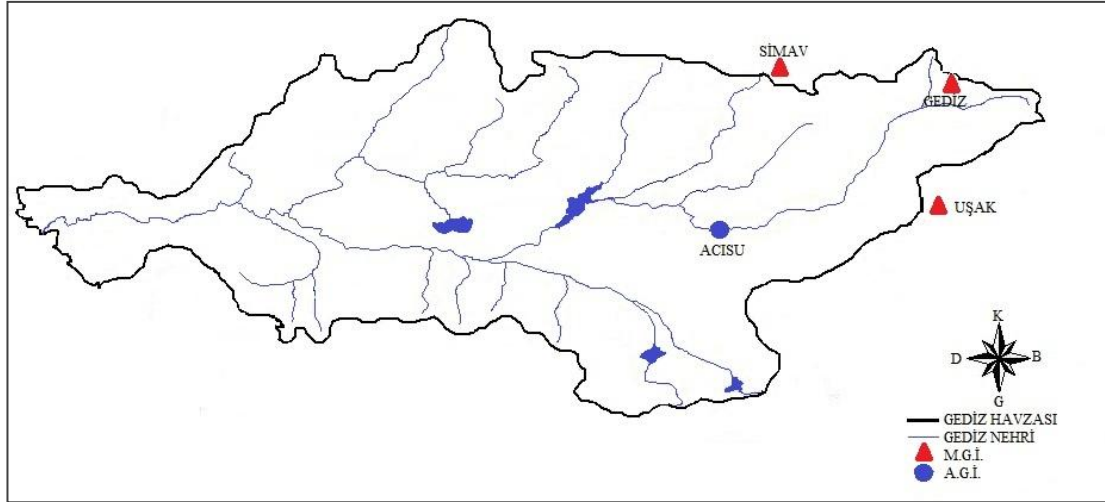
Tablo 5.2 Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan meteoroloji gözlem istasyonları

İstasyon	Coğrafi konumu	Kot (m)	Ort. günlük sıcaklık (°C)	Min. günlük sıcaklık (°C)	Mak. günlük sıcaklık (°C)	Ort. yıllık yağış (mm)	Mak. yağış (mm)	Mevcut veri aralığı
Uşak (17188)	29° 24' D 38° 41' K	919	12,5	-15,4	40,2	528,9	64,3	1972 2006
Gediz (17750)	29° 25' D 39° 03' K	736	12,5	-22,0	42,4	564,9	75	1972 2006
Simav (17748)	28° 59' D 39° 05' K	809	11,7	-19,0	38,8	783,4	165	1972 2006
Selendi (5282)	28° 86' D 38° 75' K	575	14,1	-9,2	42,0	505,6	60,2	1984 1991
Demirci (17746)	28° 39' D 39° 03' K	851	13,2	-12,6	38,6	604,1	58	1991 2006
Gördes (4930)	28° 30' D 38° 93' K	550	13,0	-7,4	31,0	550,6	117,6	1980 1997
Akhisar (17184)	27° 51' D 38° 54' K	93	16,1	-13,2	44,6	559,5	123	1970 2006
Kemalpaşa (5785)	27° 41' D 38° 43' K	200	16,0	-2,2	34,9	820,1	185,3	1970 1997

Ort: Ortalama; Min: Minimum; Mak: Maksimum

5.2.2 Murat Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi

Murat althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Acısu (EİE 523) AGİ'nde ölçülen akımlar kullanılmıştır. Günlük akımların modellenmesi çalışmalarında, model parametrelerinin kalibrasyonunda 2003-2004 su yılları, verifikasyonunda ise 2005-2006 su yılları kullanılmıştır. Modellerde kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Uşak (17188), Gediz (17750) ve Simav (17748) MGI'ları kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 5.5'te Murat althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Acısu (EİE 522) AGİ ile Uşak (17188), Gediz (17750) ve Simav (17746) MGI'ları gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Murat althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Acısu AGİ ile Uşak, Gediz ve Simav MGİ'leri

Murat althavzasının alansal yağış değerleri Thiessen Metodu ile hesaplanmıştır. Uşak, Gediz ve Simav MGİ arasında çizilen Thiessen çokgenleri ile istasyonların althavzayı ne oranda temsil ettikleri hesaplanıp, alansal ortalama yağış değerleri elde edilmiştir. Meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları Tablo 5.3'te verilmektedir.

Tablo 5.3 Murat althavzası günlük akımların modellenmesinde kullanılan meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları

	Meteoroloji gözlem istasyonları		
	Uşak (17188)	Gediz (17750)	Simav (17748)
Thiessen oranı (%)	62,08	3,33	34,59

Murat althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yükseklikleri (mm/yıl) Tablo 5.4'te sunulmaktadır.

Tablo 5.4 Murat althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)

Dönem	Su yılı	Yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)
Kalibrasyon	2003	564,3
	2004	509,5
Verifikasyon	2005	572,7
	2006	542,3

Günlük akımların modellenmesinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Uşak, Gediz ve Simav istasyonlarında ölçülen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon süreçlerinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Tablo 5.5'te verilmektedir.

Tablo 5.5 Murat althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki alansal ortalama sıcaklık değerleri

Dönem	Su yılı	Alansal ortalama sıcaklık (⁰C/gün)
Kalibrasyon	2003	12,49
	2004	12,59
Verifikasyon	2005	12,77
	2006	12,56

Murat althavzası günlük akımlarının tahmini için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki akım yüksekliklerinin ortalaması Tablo 5.6'da verilmektedir.

Tablo 5.6 Murat althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama akım yükseklikleri

Dönem	Su yılı	Günlük ortalama akım yüksekliği (mm/gün)
Kalibrasyon	2003	0,231
	2004	0,167
Verifikasyon	2005	0,129
	2006	0,207

5.2.2.1 Murat althavzası günlük akımlarının GR4J günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

Murat althavzasının günlük akımları, GR4J günlük yağış akış modeli kullanılarak modellenmiştir. GR4J günlük yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Modelde althavzanın biriktirme elemanı doygunluk oranı başlangıçta %30 olarak kabul edilmiştir. 2003 ve 2004 su yılları kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda, GR4J modeline ait X_1 ,

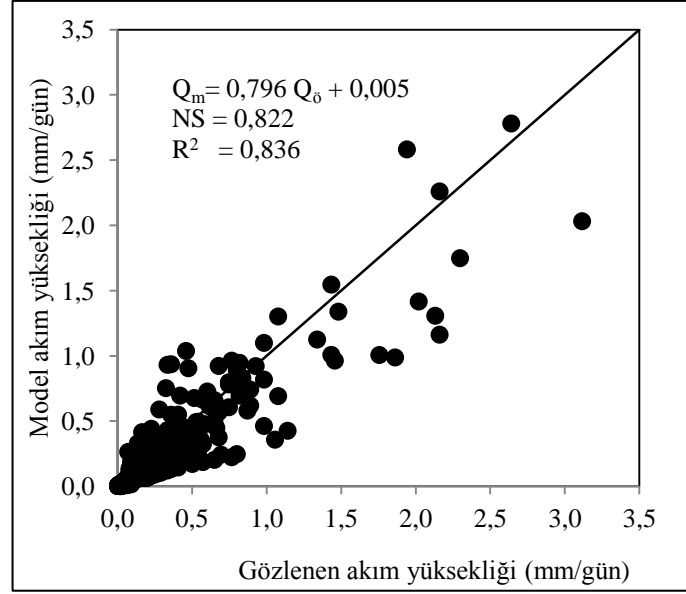
X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Tablo 5.7’de verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametrelerin uygunluk göstergesi olan NS değeri 0,822; determinasyon katsayısı (R^2) değeri 0,836 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.7 Murat althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sonucunda hesaplanan model parametreleri

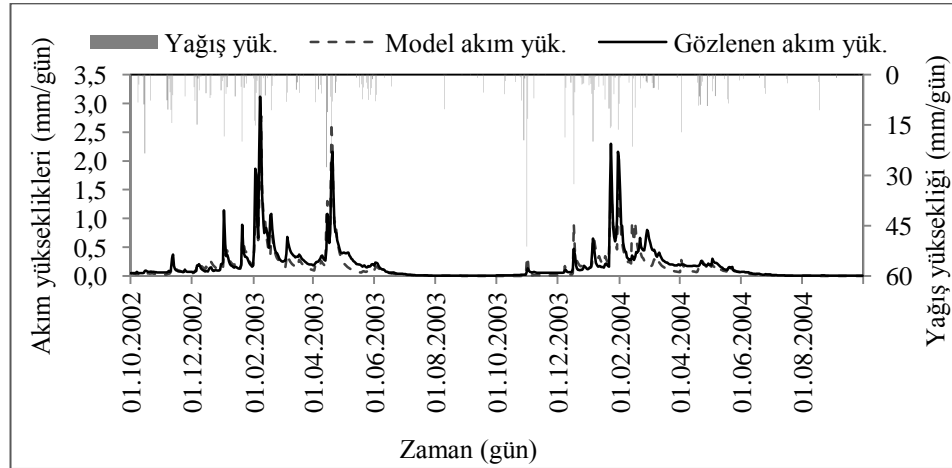
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
184,28	-25,20	91,21	0,99	0,0869	0,1694

Kalibrasyon sonucunda, GR4J modeli biriktirme elemanının depolama kapasitesi (X_1) 184,28 mm olarak bulunmuştur. Yeraltısuyu değişimi (X_2) -25,20 mm olarak bulunmuş, bu da öteleme elemanının ve Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 91,21 mm ve öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliği (X_4) 0,99 gün olarak bulunmuştur. Modelin alansal potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinden a değeri 0,0869 ve b değeri 0,1694 olarak hesaplanmıştır.

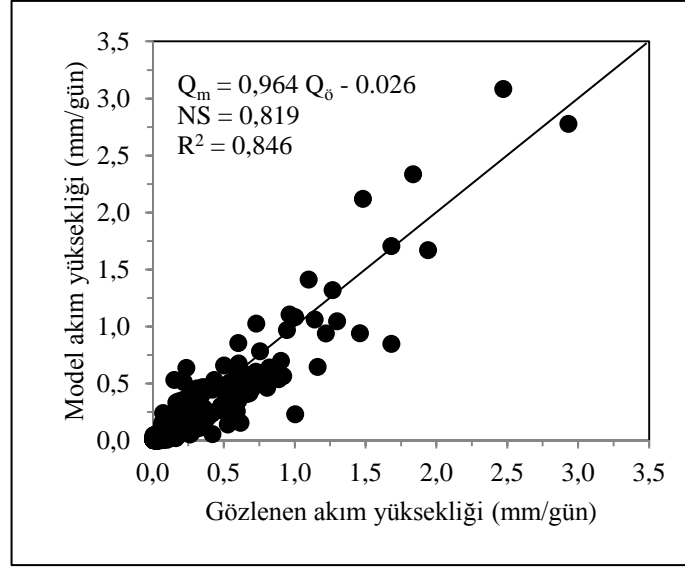
GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.6’da, akımların gidiş eğrileri ise Şekil 5.7’de sunulmaktadır. 2005–2006 su yılları kullanılarak gerçekleştirilen verifikasyon sürecinde ise, GR4J modeli ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS değeri 0.819; R^2 değeri ise 0,846 olarak hesaplanmıştır. Model tahminleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.8’de, gidiş grafikleri ise Şekil 5.9’da sunulmaktadır.



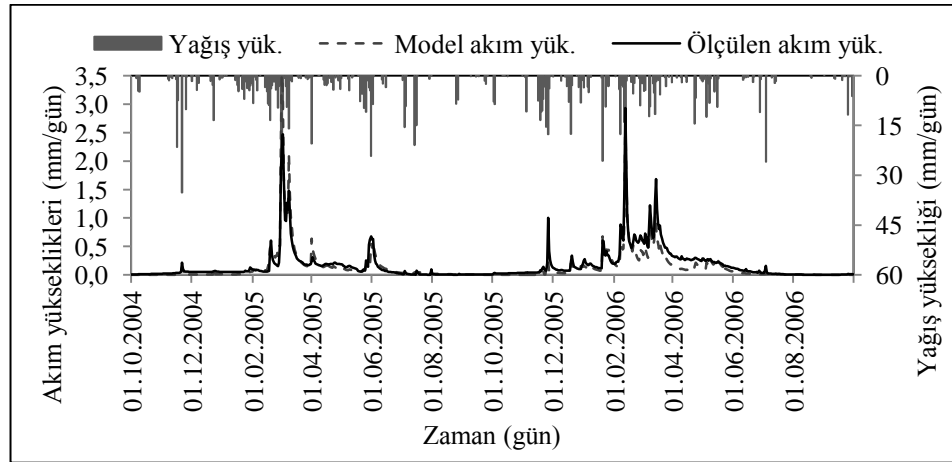
Şekil 5.6 Murat althavzasında GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.7 Murat althavzasında GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.8 Murat althavzasında GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.9 Murat althavzasında GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyonu sonucunda hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.8'de özetlenmektedir.

Tablo 5.8 Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyon süresinde hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J	Gözlenen	GR4J
Ortalama (mm/gün)	0,199	0,163	0,168	0,136
Standart Sapma (mm/gün)	0,328	0,285	0,292	0,306
Çarpıklık	4,206	4,315	4,266	6,340
NS	0,822		0,819	
R ²	0,836		0,846	
KH	13,986		11,379	
OKHK	0,195		0,176	

5.2.2.2 Murat althavzası günlük akımlarının YSA tabanlı günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

Yapay sinir ağları ile kurulan Murat althavzası günlük akım modellerinde girdi tabakaları yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyondan, çıktı tabakası ise, akım yüksekliğinden oluşmaktadır. Girdi tabakasının yapısına göre temelde 2 farklı yapay sinir ağı esaslı günlük akım modeli geliştirilmiştir. Bunlardan birincisinde (YSA1), girdi tabakası yağış ve sıcaklık verilerinden, ikincisinde (YSA2) ise, girdi tabakası yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerinden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ile kurulan akım modellerinde yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin etkilerini modele dahil etmek için akım modelleri iki adımda geliştirilmiştir. İlk adımda, YSA1 ve YSA2 modellerinde yağışın geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi, ikinci adımda ise YSA1 modelinde sıcaklığın, YSA2 modelinde ise potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi kurulan modellere dahil edilmiştir.

Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdi veri yapıları, ağ yapıları, akım modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performansları Tablo 5.9'da özetlenmektedir. Tablo 5.9 incelendiğinde, sıcaklık ve yağış verileri ile kurulan YSA1 akım modelinde, en iyi sonuçlar yağışın geçmiş 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t , T_t)

elde edilmiştir. En iyi sonucu veren ağ yapısı, girdi tabakasında 9 girdi hücrelerinden, gizli tabakada 10 hücreden ve çıktı tabakasında 1 hücreden oluşmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,90 alınarak 45 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS ve R^2 değerleri 0,729; test sonucunda ise NS değeri 0,492 ve R^2 değeri 0,518 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, YSA1'de olduğu gibi yağışın bugünden 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t , PE_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısı ise, girdi tabakasında 9 girdi hücrelerinden, gizli tabakada 7 hücreden ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücrelerinden oluşmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,007 alınarak 25 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS ve R^2 değerleri 0,643; test sonucunda ise NS değeri 0,473 ve R^2 değeri 0,516 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.9 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, yapay sinir ağı akım modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki performansları

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
YSA1	P_t, T_t	2-8-1	0,436	0,436	0,230	0,280
	P_{t-1}, P_t, T_t	3- 5-1	0,592	0,592	0,372	0,416
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	4-10-1	0,670	0,670	0,416	0,447
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	5-10-1	0,690	0,690	0,432	0,470
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	6-10-1	0,606	0,606	0,412	0,442
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	7-7-1	0,595	0,595	0,435	0,459
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	8-10-1	0,685	0,685	0,492	0,514
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	9-10-1	0,729	0,729	0,492	0,518
YSA2	P_t, PE_t	2-4-1	0,365	0,365	0,258	0,277
	P_{t-1}, P_t, PE_t	3-4-1	0,478	0,479	0,404	0,416
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	4-9-1	0,643	0,643	0,435	0,468
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	5-9-1	0,631	0,631	0,459	0,495
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	6-9-1	0,681	0,682	0,442	0,468
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	7-10-1	0,644	0,644	0,462	0,484
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	8-5-1	0,653	0,653	0,462	0,516
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	9-7-1	0,643	0,643	0,473	0,516

Murat althavzası günlük akımları için ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdi veri yapıları, ağ yapıları, yapay sinir ağı akım modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.10'da özetlenmektedir.

Tablo 5.10 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, yapay sinir ağı akım modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki performansları

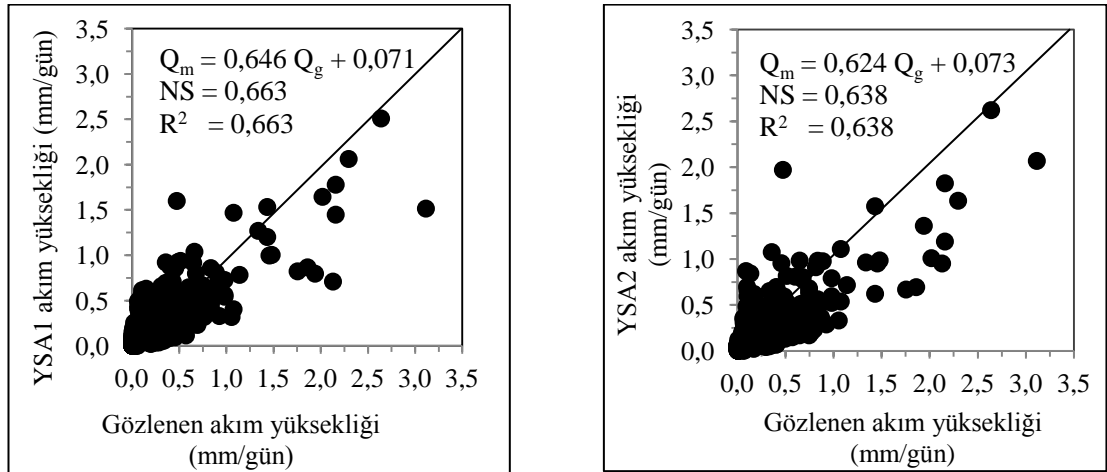
YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
YSA1	$T_t, P_{t-7;t}$	9-6-1	0,625	0,625	0,507	0,528
	$T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	10-4-1	0,594	0,595	0,507	0,521
	$T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	11-7-1	0,691	0,692	0,504	0,528
	$T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	12-8-1	0,634	0,635	0,491	0,518
	$T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	13-3-1	0,632	0,634	0,471	0,502
	$T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	14-7-1	0,669	0,670	0,461	0,512
	$T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	15-2-1	0,538	0,574	0,501	0,502
$T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	16-5-1	0,663	0,663	0,494	0,538	
YSA2	$PE_t, P_{t-7;t}$	9- 8-1	0,530	0,530	0,491	0,510
	$PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	10-6-1	0,726	0,726	0,494	0,534
	$PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	11- 6-1	0,674	0,674	0,500	0,547
	$PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	12-7-1	0,641	0,644	0,500	0,530
	$PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	13- 6 -1	0,696	0,696	0,454	0,514
	$PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	14- 4-1	0,608	0,610	0,496	0,530
	$PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	15-5- 1	0,672	0,673	0,464	0,554
$PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	16-3-1	0,638	0,638	0,471	0,567	

$P_{t-7;t} = P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$

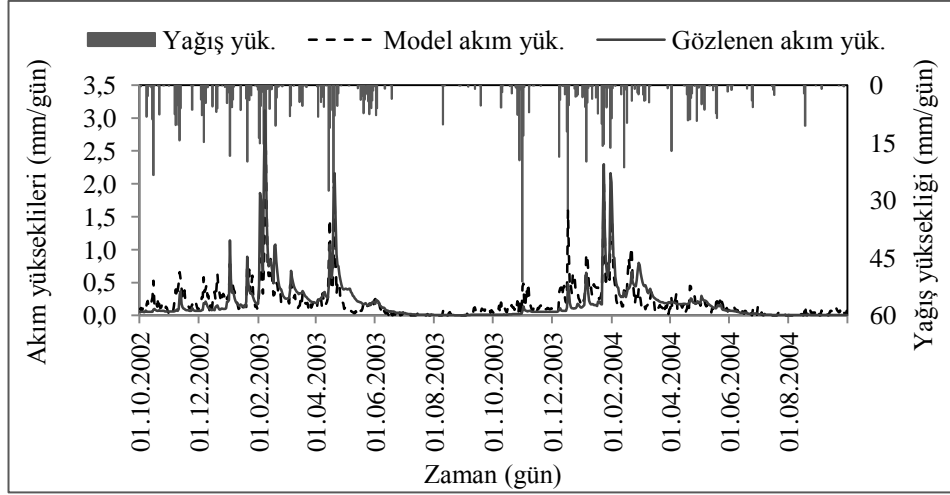
Tablo 5.10 incelendiğinde Tablo 5.9'da verilen sonuçlara göre YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin performans kriterlerinde iyileşmenin az olduğu görülmektedir. YSA1 akım modelinde en iyi sonuçlar, yağışın ve sıcaklığın 7 günlük geçmiş değerlerinin girdi olarak dikkate alınması halinde ($T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren ağ yapısında, girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 5 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresi bulunmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,12

alınarak 24 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS ve R^2 değerleri 0,663; test sonucunda ise NS değeri 0,494, R^2 değeri 0,538 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, ağa yağış ve evapotranspirasyonun 7 gün öncesine giden değerleri dikkate alındığında (PE_{t-7} , PE_{t-6} , PE_{t-5} , PE_{t-4} , PE_{t-3} , PE_{t-2} , PE_{t-1} , P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısında ise girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 3 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresi yer almaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,08 alınarak 18 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS ve R^2 değerleri 0,638, test sonucunda ise NS değeri 0,471 ve R^2 değeri 0,567 olarak hesaplanmıştır.

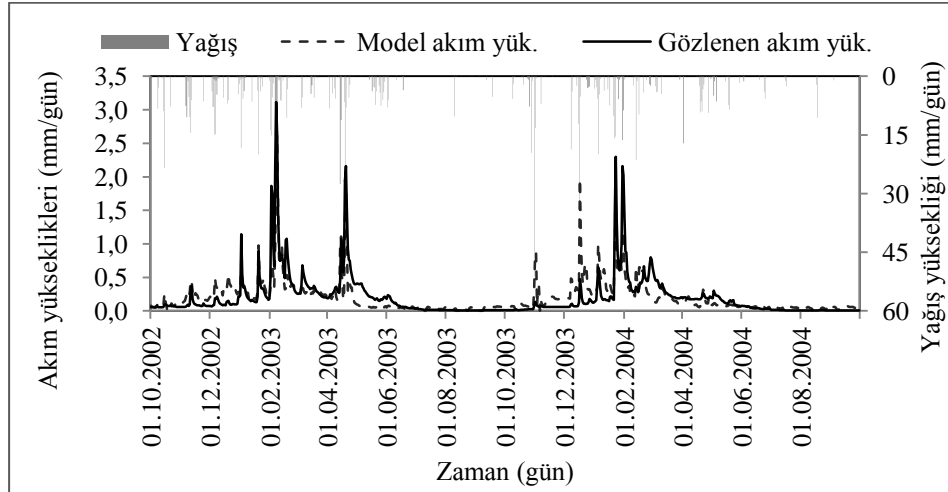
Murat althavzasının günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.10'da, gidiş grafikleri ise Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmektedir.



Şekil 5.10 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı

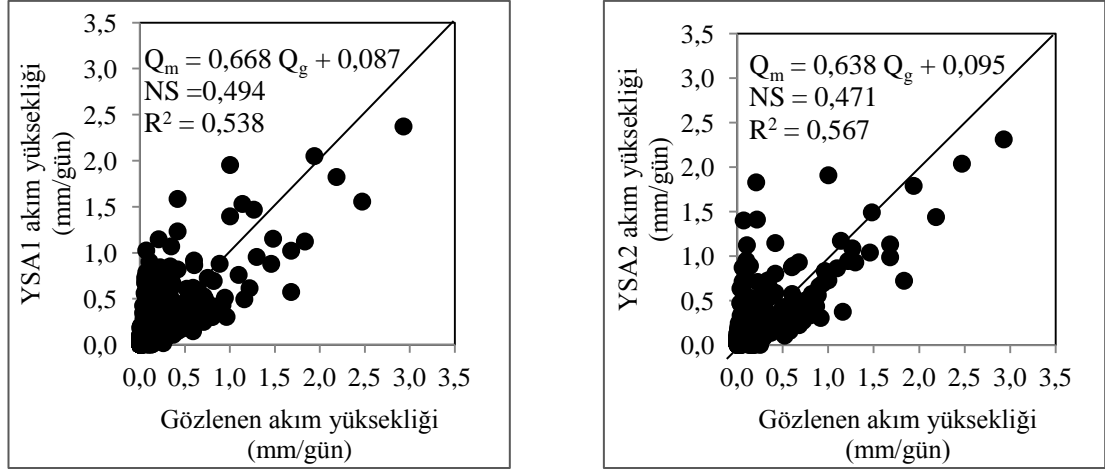


Şekil 5.11 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 modelinin eğitimi ile bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

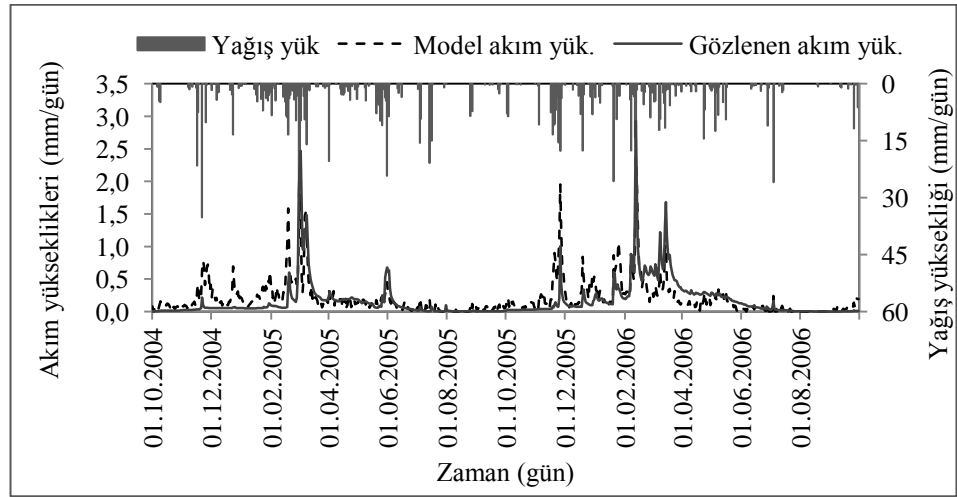


Şekil 5.12 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin eğitimi ile bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

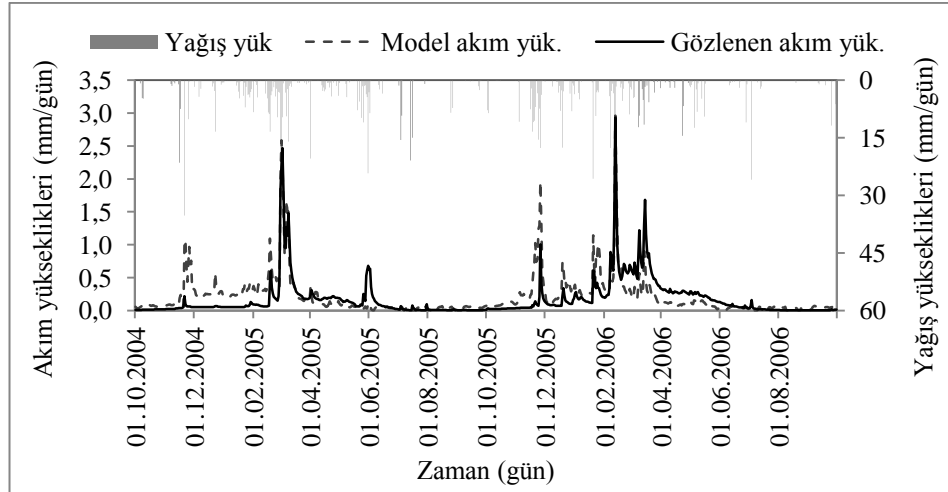
YSA1 ve YSA2 ağlarının testinden elde edilen model akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.13'te, gidiş grafikleri ise Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te verilmektedir.



Şekil 5.13 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı



Şekil 5.14 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 günlük akım modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.15 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 günlük akım modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitim ve testinde elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri Tablo 5.11’de özetlenmektedir.

Tablo 5.11 Murat althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve testinde elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim			Test		
	Gözlenen	YSA1	YSA2	Gözlenen	YSA1	YSA2
Ortalama (mm/gün)	0,199	0,199	0,196	0,168	0,200	0,202
Standart Sapma (mm/gün)	0,328	0,261	0,258	0,292	0,266	0,260
Çarpıklık	4,206	3,588	4,520	4,266	3,522	3,658
NS		0,663	0,643		0,494	0,473
R ²		0,663	0,643		0,538	0,516
KH		26,534	28,556		31,458	32,954
OKHK		0,191	0,198		0,208	0,212

5.2.2.3 Murat althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinde, GR4J kavramsal modeli ile hesaplanan net yağış yüksekliği (P_n), net evapotranspirasyon yüksekliği (E_n), net yağıştan biriktirme tabakasına giden yağış yüksekliği (P_s) ve biriktirme tabakasından sızan akım yüksekliği ($Perc$), YSA'nın girdi verilerini oluşturmaktadır. P_n , E_n , P_s , $Perc$ değerleri ile kurulan YSA'larında eğitime algoritması olarak Levenberg – Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve veriler Denklem 4.18 ile [0,1-0,9] arasında standardize edilmiştir. Kurulan ağlarda girdi verileri “t” günden başlayarak her bir ağda birer gün geriye gidilerek denenmiştir. Bu denemeler sırasında girdilerin 3 günden daha fazla geriye götürülmesinin ağ performansını attırmadığı görülmüştür. Kurulan tüm ağlarda gizli tabakadaki hücre sayısı 1'den başlatılıp 10 hücreye kadar denenerek en iyi ağ yapısı araştırılmıştır. Girdilere göre en iyi sonuçları veren ağ yapıları ve bu ağlardan hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS ve R^2 değerleri Tablo 5.13'de özetlenmektedir.

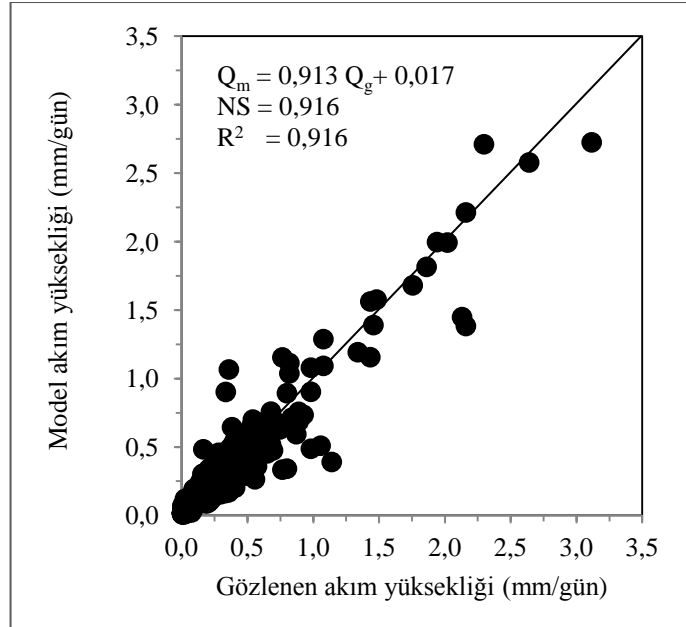
Tablo 5.13 Murat althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA günlük akım modellerinin girdi yapıları ve model performansları

Model	Girdi yapıları	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
GR4J YSA	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	4-5-1	0,796	0,797	0,789	0,793
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	8-9-1	0,874	0,874	0,845	0,849
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1}$	12-8-1	0,875	0,875	0,858	0,864
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$					
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-3} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2}$ $(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	16-4-1	0,916	0,916	0,871	0,875

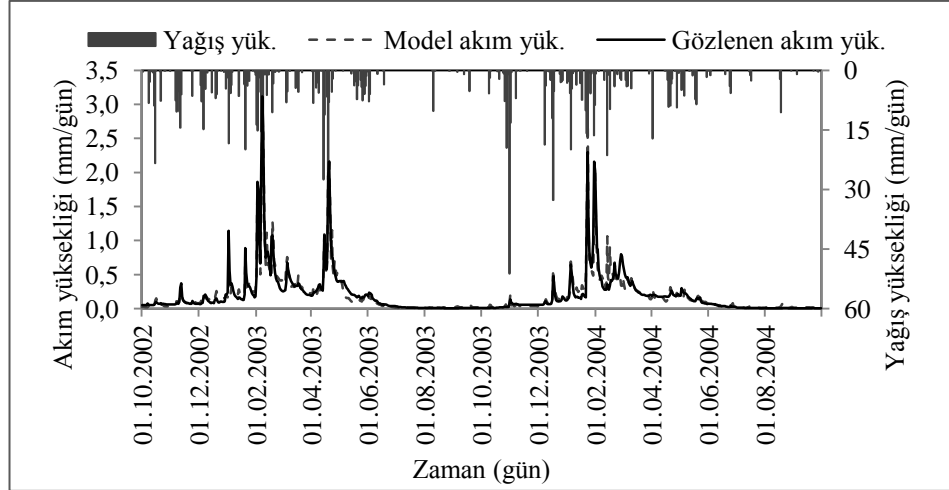
GR4J-YSA entegre akım modeli ile Murat althavzası günlük akımlarının modellenmesinde en iyi sonuçlar, geçmiş 3 güne ait $P_n-E_n-P_s-Perc$ girdileriyle elde edilmiştir. En iyi model performansı veren ağın girdi tabakasında 16 hücre, gizli tabakasında 4 hücre ve çıktı tabakasında model akım yüksekliğini oluşturan 1 hücre

bulunmaktadır. Bu ağın eğitimi 55 iterasyon ile öğrenme oranı (μ) 0,12 alınarak gerçekleştirilmiştir. Ağın eğitimi sonucunda elde edilen model akım yükseklikleri ile ölçülen akım yükseklikleri arasındaki NS ve R^2 değerleri 0,916; test sonucunda ise NS değeri 0,871, R^2 değeri ise 0,875 olarak hesaplanmıştır.

Murat althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA entegre akım modelinin eğitiminde bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.16'da akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.17'de verilmektedir.

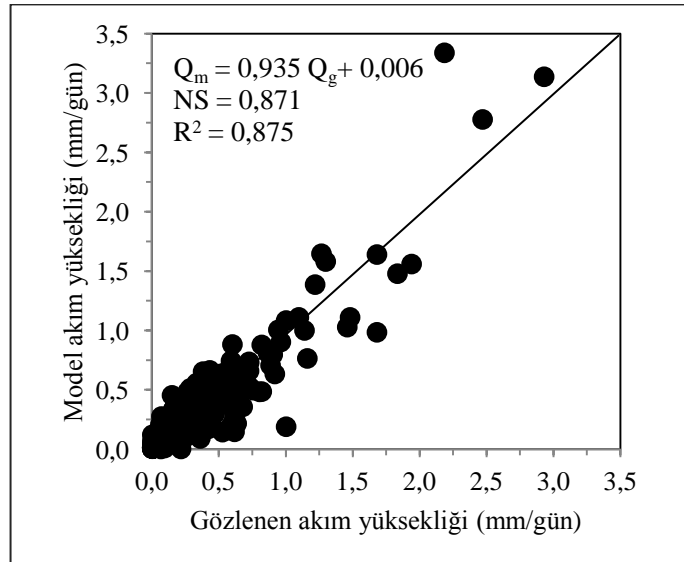


Şekil 5.16 Murat althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

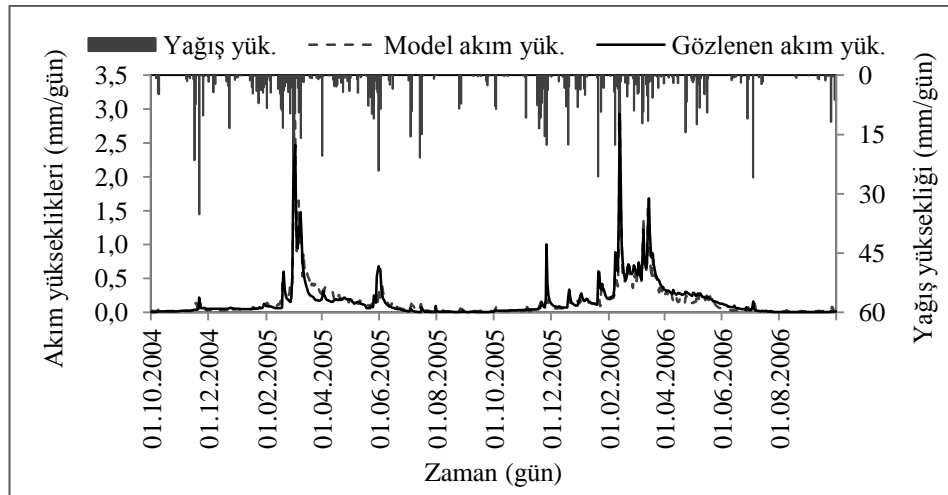


Şekil 5.17 Murat althavzasında kurulan GR4J – YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin test aşamasından bulunan model akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.18'de, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.19'da verilmektedir.



Şekil 5.18 Murat althavzasında kurulan GR4J–YSA entegre günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.17 Murat althavzası althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akışı modelinin test aşamasında bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.13'te özetlenmektedir.

Tablo 5.13 Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre akım modelinin eğitim ve testinde hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin istatistikleri ve model performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim		Test	
	Gözlenen	GR4J -YSA	Gözlenen	GR4J -YSA
Ortalama (mm/gün)	0,199	0,198	0,168	0,163
Standart Sapma (mm/gün)	0,328	0,313	0,292	0,292
Çarpıklık	4,206	4,160	4,266	5,260
NS	0,916		0,871	
R ²	0,916		0,875	
KH	6,620		8,024	
OKHK	0,135		0,148	

Tablo 5.13'ten de görüleceği gibi GR4J-YSA entegre modeliyle elde edilen sonuçlar sadece GR4J ve YSA tabanlı model sonuçlarına göre büyük ölçüde iyileşme göstermektedir.

5.2.2.4 Murat althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

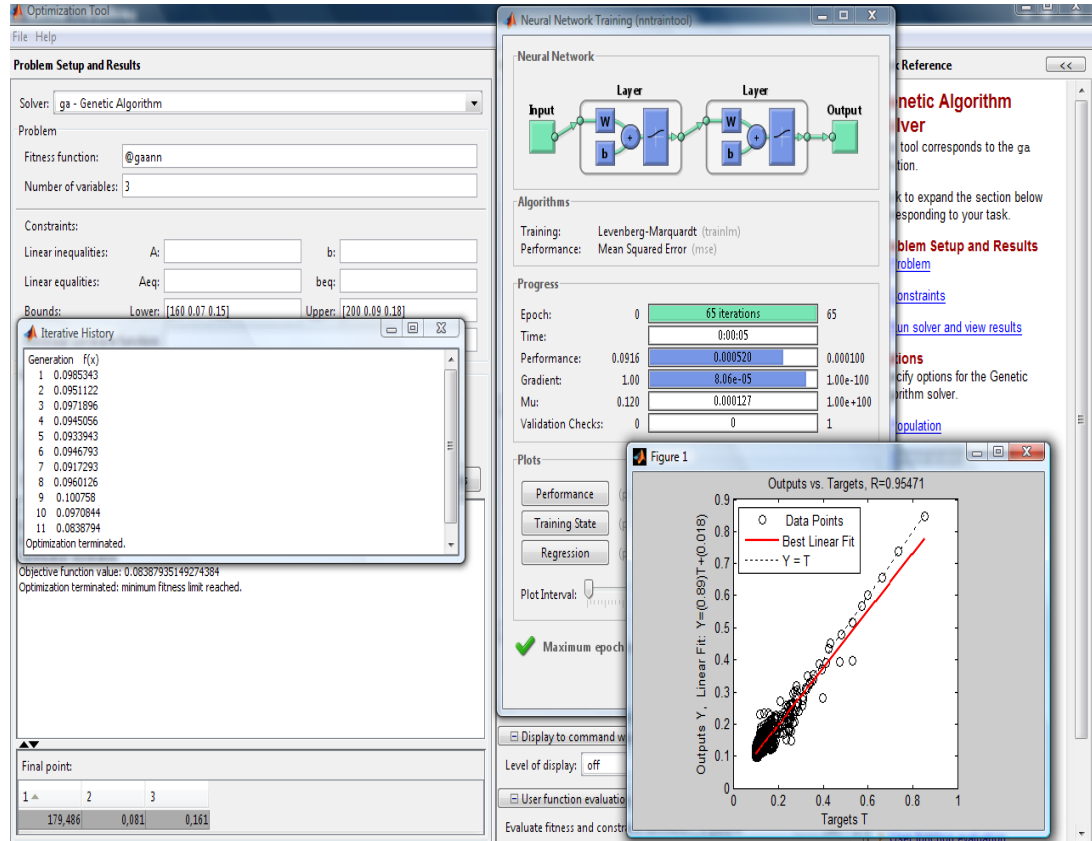
GR4J-YSA modeline genetik algoritmaların entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde, kalibre edilmesi gereken parametreler, GR4J modelinin biriktirme elemanı depolaması (X_1 , mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. Parametrelerin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Murat alt havzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 184 mm, a parametresi 0,0869 ve b parametresi 0,1694 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J -YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 160 mm, üst sınırı 200 mm olarak modele verilmiştir. a parametresinin alt sınırı 0,07 üst sınırı 0,09 ve b parametresinin alt sınırı 0,15 üst sınırı 0,18 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe, popülasyon genişliği 20 ve popülasyonun yeniden üretimi sıralı seçim yöntemiyle yapılmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,5 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde ise mutasyon oranı 0,1 olarak seçilmiştir.

GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s , Perc parametreleri kullanarak elde edilmiştir. Bu ağın eğitimi, gizli tabakasında 4 hücre, öğrenme oranı 0,12 alınarak 55 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonu 11 jenerasyon sonucunda tamamlanmıştır. GR4J-YSA-GA kalibrasyonunda bulunan model parametreleri Tablo 5.14'te ve Şekil 5.20'de sunulmaktadır.

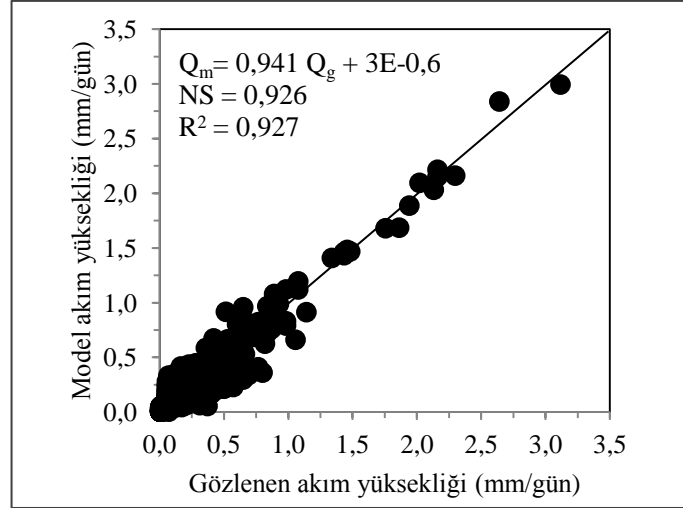
Tablo 5.14 Murat althavzasının günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J- YSA-GA modelinin parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
179,486	0,081	0,161

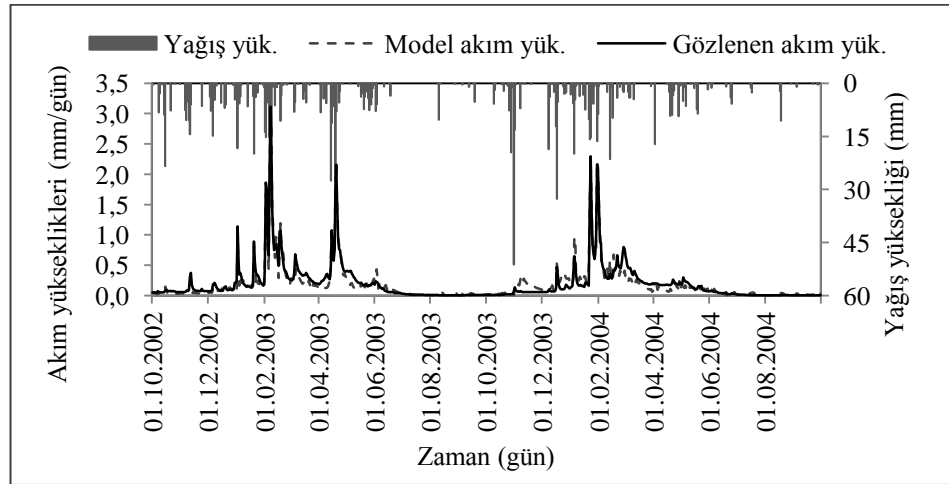


Şekil 5.20 Murat althavzasının günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA-GA modelinin parametre değerleri

Model kalibrasyonunda bulunan model akım yüksekliği ile gözlenen akım arasındaki NS değeri 0,926 ve R^2 0,927 olarak hesaplanmıştır. Modelin kalibrasyon döneminde bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.21’de ve gidiş grafikleri ise Şekil 5.22’de sunulmaktadır.

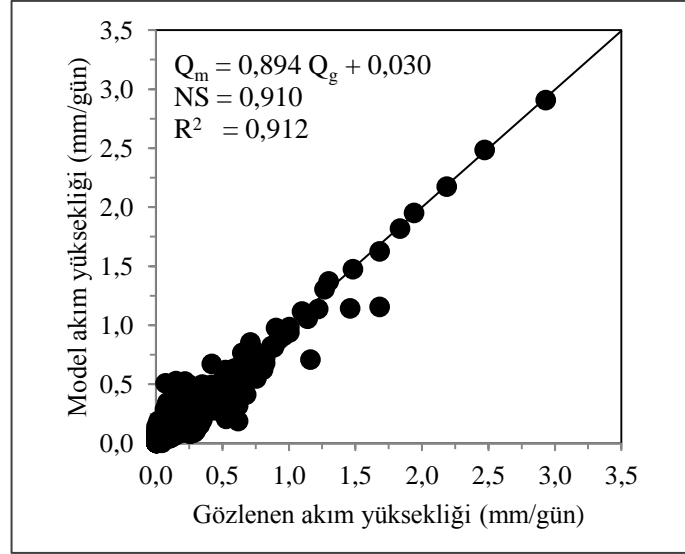


Şekil 5.21 Murat althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

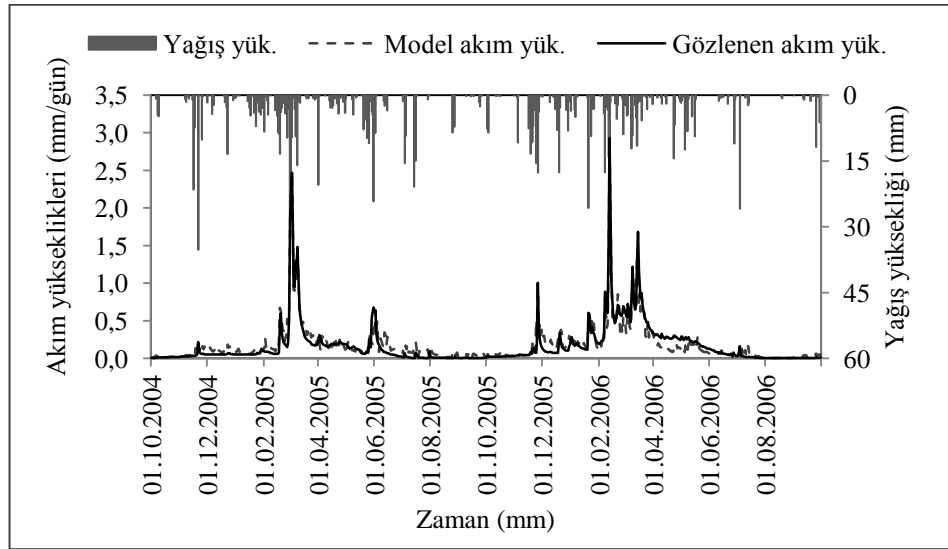


Şekil 5.22 Murat althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Entegre model verifikasyonunda bulunan model akım yüksekliği ile ölçülen akım arasındaki R^2 değeri 0,912, NS değeri ise 0,910 olarak hesaplanmıştır. Modelin verifikasyon dönemindeki akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.23'te ve gidiş grafikleri ise Şekil 5.24'te sunulmaktadır.



Şekil 5.23 Murat althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.24 Murat althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde bulunan akım yüksekliklerinin ve gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ile model performansları Tablo 5.15'te özetlenmektedir.

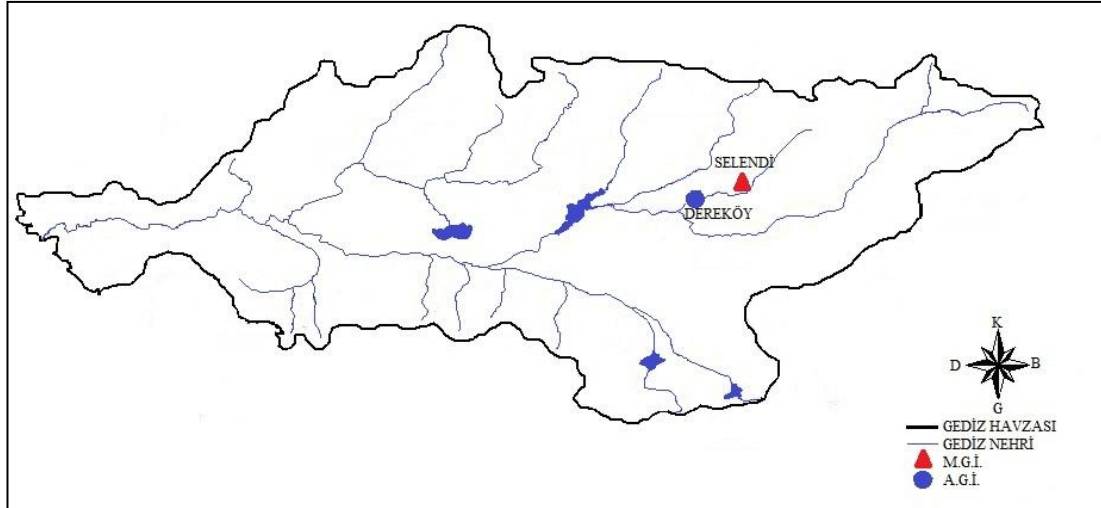
Tablo 5.15 Murat althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J-YSA-GA modelinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait istatistikler

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J-YSA-GA	Gözlenen	GR4J-YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	0,199	0,187	0,168	0,181
Standart Sapma (mm/gün)	0,328	0,321	0,292	0,274
Çarpıklık	4,206	4,492	4,266	4,621
NS	0,926		0,910	
R ²	0,927		0,912	
KH	5,845		5,636	
OKHK	0,127		0,124	

Tablo 5.15'ten de görüleceği gibi GR4J-YSA-GA entegre modeliyle elde edilen sonuçların gerek bireysel olarak kurulan GR4J ve YSA modellerinden gerekse GR4J-YSA entegre modelinden elde edilen sonuçlara göre Murat althavzası akımlarını çok daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

5.2.3 Selendi Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi

Selendi althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Dereköy (EİE 514) AGİ'nda ölçülen akımlar kullanılmıştır. Günlük akımların modellenmesi, kalibrasyonu 1989 su yılı, verifikasyonu ise 1990 su yılı kullanılarak yapılmıştır. Modellemede kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzası temsil eden 5282 nolu Selendi MGİ kullanılmıştır. Şekil 5.25'te Selendi althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Dereköy (EİE 514) AGİ ile Selendi (5282) MGİ gösterilmektedir.



Şekil 5.25 Selendi althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Dereköy AGİ ile Selendi (5282) MGİ

Selendi althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl) Tablo 5.16’da sunulmaktadır.

Tablo 5.16 Selendi althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)

Dönem	Su yılı	Yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)
Kalibrasyon	1989	288,5
Verifikasyon	1990	477,3

Tablo 5.17’de akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri verilmektedir.

Tablo 5.17 Selendi althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama sıcaklık değerleri

Dönem	Su yılı	Alansal ortalama sıcaklık ($^{\circ}$ C/gün)
Kalibrasyon	1989	14,63
Verifikasyon	1990	14,19

Selendi althavzası akımlarının tahmini için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük akım yüksekliklerinin ortalaması Tablo 5.18’de verilmektedir.

Tablo 5.18 Selendi althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama akım yüksekliği (mm/gün)

Dönem	Su yılı	Günlük ortalama akım yüksekliği (mm/gün)
Kalibrasyon	1989	0,082
Verifikasyon	1990	0,117

5.2.3.1 Selendi althavzası günlük akımlarının GR4J günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

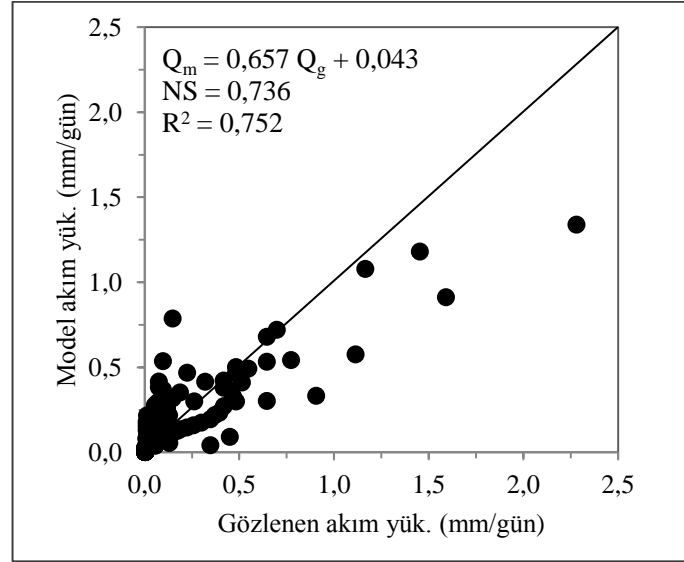
Selendi althavzasının günlük akımlarının modellenmesinde, GR4J günlük yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Modelde althavzanın biriktirme elemanı doygunluk oranı başlangıçta %50 olarak kabul edilmiştir. GR4J modelinin 1989 su yılı kullanılarak yapılan kalibrasyonu sonucunda modelin X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Tablo 5.19’da verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametrelerin uygunluk göstergesi olan NS değeri 0,736; R^2 değeri ise 0,752 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.19 Selendi althavzasında GR4J modelinin kalibrasyonu sonucunda hesaplanan model parametreleri

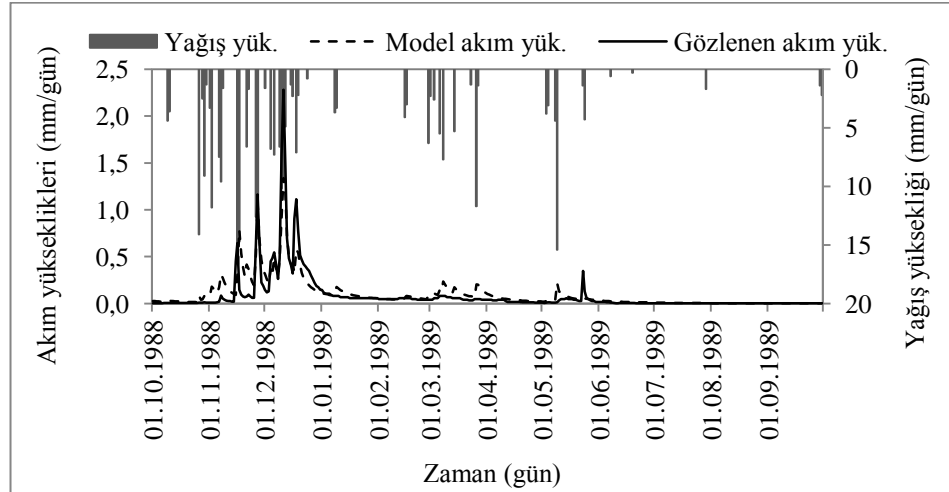
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
221,48	-13,20	46,31	1,02	0,1500	0,0882

Kalibrasyon sonucunda, GR4J modeli biriktirme elemanının depolama kapasitesi (X_1) 221,48 mm olarak bulunmuştur. Yeraltısuyu değişimi (X_2) -13,20 mm olarak bulunmuş, bu da öteleme elemanının ve Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 46,31 mm ve öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliği (X_4) 1,02 gün olarak bulunmuştur. Modelin alansal potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinden a değeri 0,1500 ve b değeri ise 0,0882 olarak hesaplanmıştır.

GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.26'da, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.27'de sunulmaktadır.



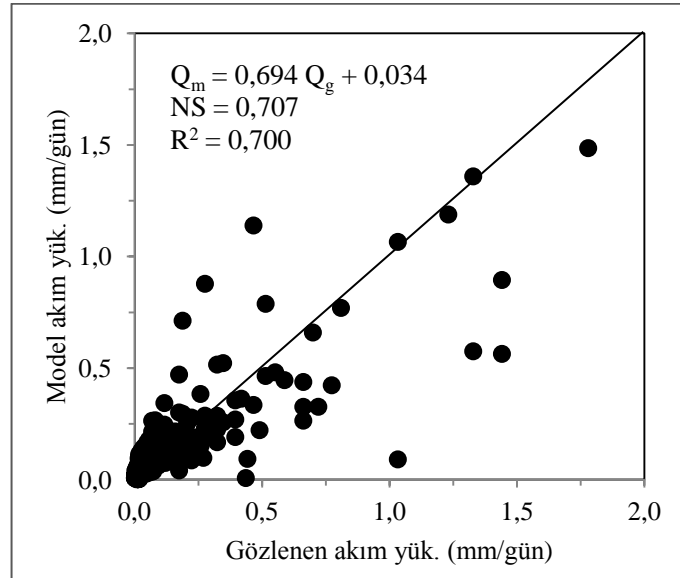
Şekil 5.26 Selendi althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



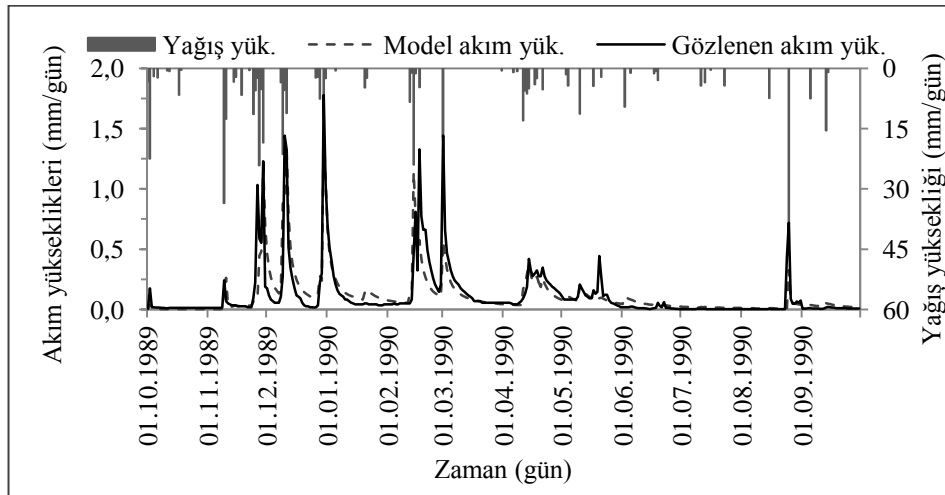
Şekil 5.27 Selendi althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri gidiş grafikleri

1990 su yılı ile geliştirilen verifikasyon sürecinde ise, GR4J modeli ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki R^2 değeri 0,700; NS

değeri ise 0.707 olarak hesaplanmıştır. Model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.28’de, gidiş grafikleri ise Şekil 5.29’da sunulmaktadır.



Şekil 5.28 Selendi althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.29 Selendi althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Tablo 5.20’de, Selendi althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu ve verifikasyonu sonucunda hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen

akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri özetlenmektedir.

Tablo 5.20 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyon süresinde hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J	Gözlenen	GR4J
Ortalama (mm/gün)	0,082	0,097	0,117	0,116
Standart Sapma (mm/gün)	0,217	0,165	0,231	0,192
Çarpıklık	5,755	3,895	3,978	3,966
NS	0,736		0,707	
R ²	0,752		0,700	
KH	4,539		5,283	
OKHK	0,079		0,126	

5.2.3.2 Selendi althavzası günlük akımlarının YSA tabanlı günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

Yapay sinir ağları ile kurulan Selendi althavzası günlük yağış akış modellerinde girdi tabakaları yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyondan, çıktı tabakası ise akım yüksekliğinden oluşmaktadır. Girdi tabakasının yapısına göre temelde 2 farklı yapay sinir ağı esaslı günlük akış modeli geliştirilmiştir. Bunlardan birincisinde (YSA1), girdi tabakası yağış ve sıcaklık verilerinden, ikincisinde (YSA2), girdi tabakası yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerinden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ile kurulan akım modellerinde yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin etkilerini modele dahil etmek için akım modelleri iki adımda geliştirilmiştir. İlk adımda, YSA1 ve YSA2 modellerinde yağışın geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi, ikinci adımda ise YSA1 modelinde sıcaklığın, YSA2 modelinde ise potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi kurulan modellere dahil edilmiştir.

Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performansları Tablo 5.21’de özetlenmektedir.

Tablo 5.21 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, yapay sinir ağı akım modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki performansları

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
YSA1	P _t , T _t	2-5-1	0,324	0,324	0,292	0,308
	P _{t-1} , P _t , T _t	3-7-1	0,420	0,445	0,339	0,345
	P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	4-10-1	0,648	0,650	0,379	0,434
	P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	5-5-1	0,665	0,672	0,395	0,444
	P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	6-8-1	0,673	0,679	0,398	0,439
	P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	7-4-1	0,659	0,670	0,412	0,451
	P _{t-6} , P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	8-9-1	0,696	0,712	0,426	0,460
	P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t	9-10-1	0,706	0,709	0,447	0,458
YSA2	P _t , PE _t	2-5-1	0,344	0,344	0,317	0,319
	P _{t-1} , P _t , PE _t	3-9-1	0,395	0,418	0,356	0,362
	P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	4-7-1	0,452	0,486	0,415	0,463
	P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	5-10-1	0,527	0,548	0,436	0,472
	P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	6-3-1	0,617	0,626	0,475	0,486
	P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	7-8-1	0,659	0,670	0,492	0,501
	P _{t-6} , P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	8-10-1	0,675	0,680	0,499	0,505
		P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t	9-8-1	0,684	0,687	0,511

Tablo 5.21 incelendiğinde, sıcaklık ve yağış verileri ile kurulan YSA1 akım modelinde, en iyi sonuçlar yağışın geçmiş 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA1 ağı yapısı, girdi tabakasında 10 girdi hücrelerinden, gizli tabakada 10 hücreden ve çıktı tabakasında 1 hücreden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,12 alınarak 25 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda hesaplanan performans değerlerinden NS değeri 0,706 ve R² değeri 0,709; test sonucunda ise NS değeri 0,447 ve R² değeri 0,458 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış girdi verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, YSA1’de olduğu gibi yağışın bugünden 7 gün

öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t , PE_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağı yapısını ise, girdi tabakasında 9 girdi hücresi, gizli tabakada 8 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresi bulunmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,1 alınarak 25 iterasyon sonucunda tamamlanmış ve eğitim sonucunda NS değeri 0,684, R^2 değeri 0,687; test sonucunda ise NS değeri 0,511 ve R^2 değeri 0,519 olarak hesaplanmıştır.

Selendi althavzası günlük akımları için ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.22’de özetlenmektedir.

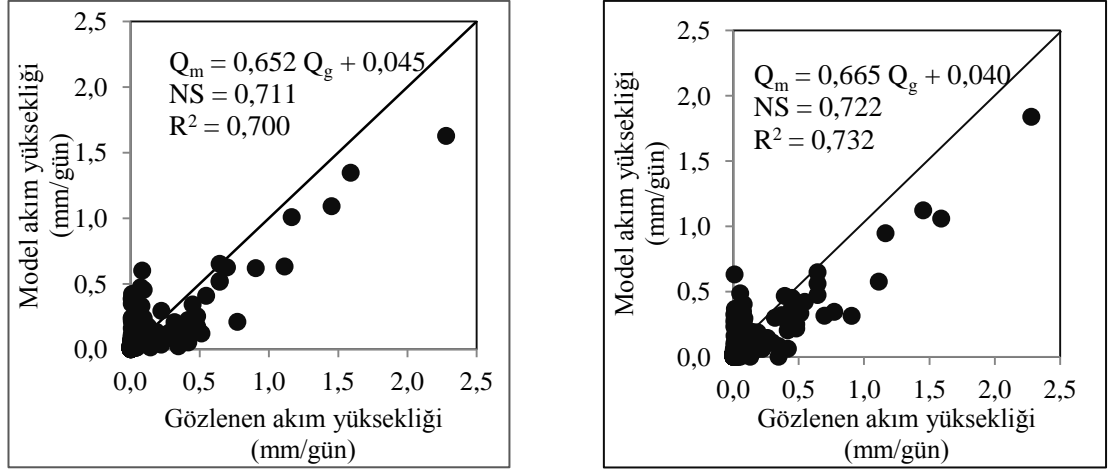
Tablo 5.22 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performansları

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
YSA1	$T_t, P_{t-7;t}$	9-10-1	0,706	0,709	0,447	0,458
	$T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	10-4-1	0,708	0,708	0,415	0,416
	$T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	11-7-1	0,718	0,715	0,422	0,417
	$T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	12-8-1	0,690	0,705	0,432	0,443
	$T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	13-8-1	0,700	0,692	0,445	0,440
	$T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	14-9-1	0,725	0,732	0,461	0,472
	$T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	15-4-1	0,698	0,702	0,472	0,466
	$T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	16-10-1	0,711	0,700	0,485	0,476
YSA2	$PE_t, P_{t-7;t}$	9-8-1	0,684	0,687	0,511	0,519
	$PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	10-4-1	0,695	0,706	0,424	0,434
	$PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	11-6-1	0,703	0,718	0,500	0,467
	$PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	12-7-1	0,717	0,728	0,488	0,497
	$PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	13-6-1	0,715	0,721	0,454	0,497
	$PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	14-10-1	0,720	0,735	0,496	0,530
	$PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	15-8-1	0,725	0,738	0,514	0,522
	$PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	16-6-1	0,722	0,732	0,537	0,530

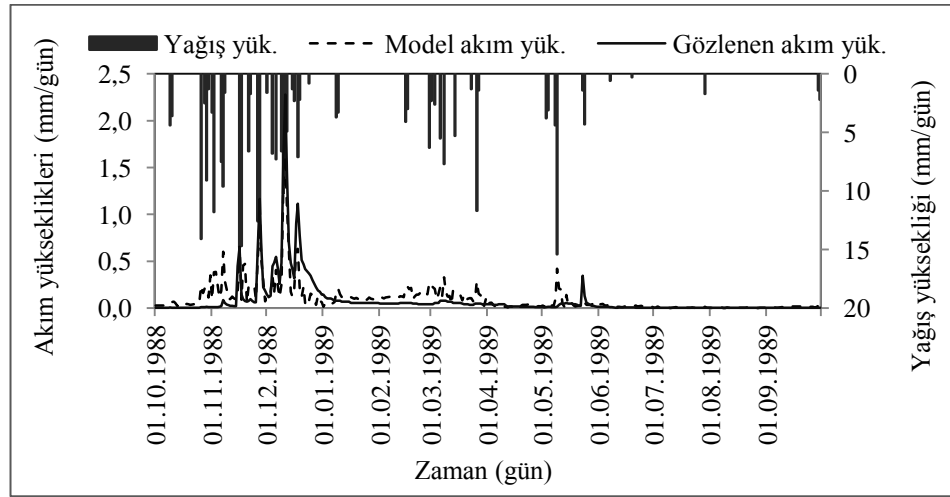
$$P_{t-7;t} = P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$$

Tablo 5.22 incelendiğinde Tablo 5.21’de verilen sonuçlara göre YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin performans kriterlerinde iyileşmenin az olduğu görülmektedir. YSA1 akım modelinde en iyi sonuçlar, yağışın ve sıcaklığın 7 günlük geçmiş değerlerinin girdi olarak dikkate alınması halinde ($T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$) elde edilmiştir. Ağ yapısı, girdi tabakasında 16 girdi hücresinden, gizli tabakada 10 hücreden ve çıktı tabakasını model akım yüksekliğinden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi öğrenme oranını (μ) 0,3 alınarak 28 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS değeri 0,711 ve R^2 değeri 0,700; test sonucunda ise NS değeri 0,485 ve R^2 değeri 0,476 olarak hesaplanmıştır. YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, yağış ve evapotranspirasyon 7 gün öncesine giden değerleri dikkate alındığında ($PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısında ise girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 6 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresi yer almaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,09 alınarak 30 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda hesaplanan performans değerlerinden NS değeri 0,722 ve R^2 değeri 0,732; test sonucunda ise NS değeri 0,471, r^2 değeri 0.567 olarak hesaplanmıştır.

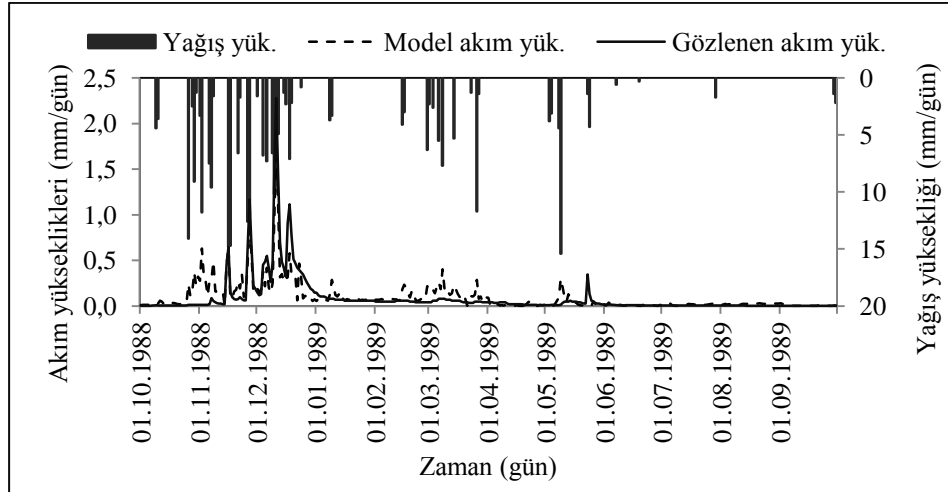
YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.30’da, gidiş grafikleri ise Şekil 5.31 ve Şekil 5.32’de verilmektedir.



Şekil 5.30 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı

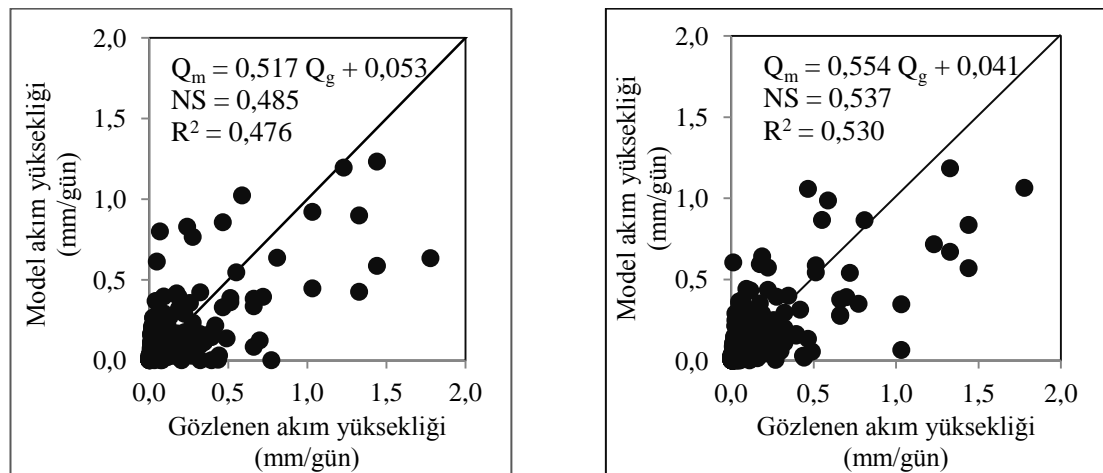


Şekil 5.31 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 modelinin eğitimi ile bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

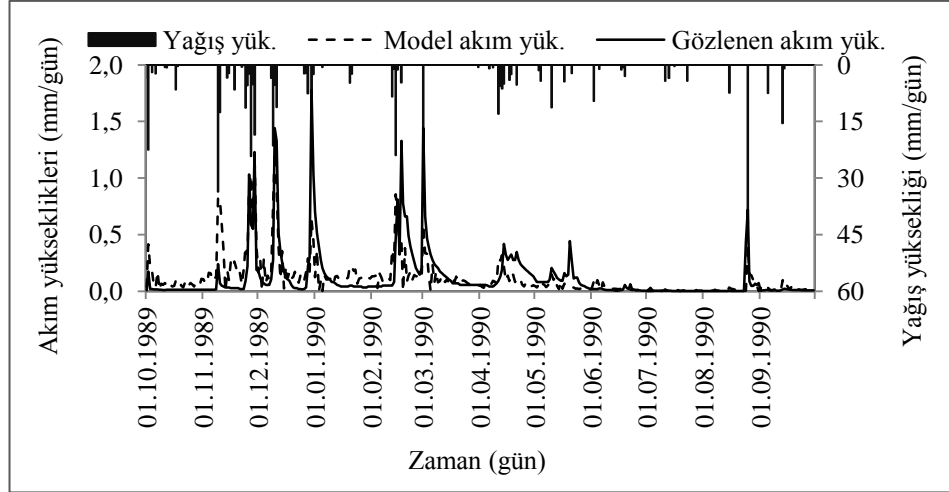


Şekil 5.32 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin eğitimi ile bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

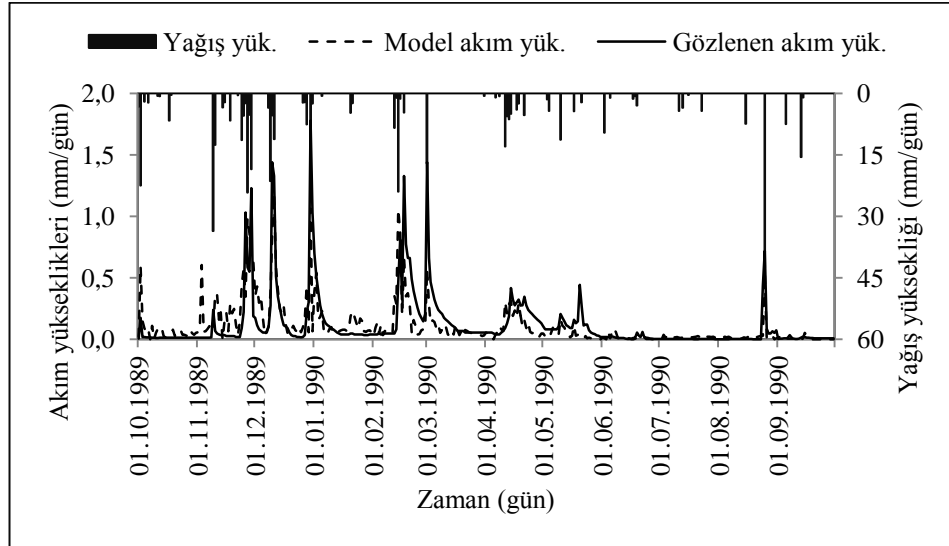
YSA1 ve YSA2 ağlarının testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.33'te, gidiş grafikleri ise Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'te verilmektedir.



Şekil 5.33 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı



Şekil 5.34 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin testi ile bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.35 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin testi ile bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri Tablo 5.23'te özetlenmektedir.

Tablo 5.23 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim			Test		
	Gözlenen	YSA1	YSA2	Gözlenen	YSA1	YSA2
Ortalama (mm/gün)	0,082	0,099	0,095	0,117	0,114	0,106
Standart Sapma (mm/gün)	0,217	0,168	0,169	0,231	0,173	0,176
Çarpıklık	5,755	4,855	5,096	3,978	3,540	3,298
NS		0,711	0,722		0,485	0,537
R ²		0,700	0,732		0,476	0,530
KH		5,153	4,770		10,225	9,174
OKHK		0,119	0,114		0,159	0,159

5.2.3.3 Selendi althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

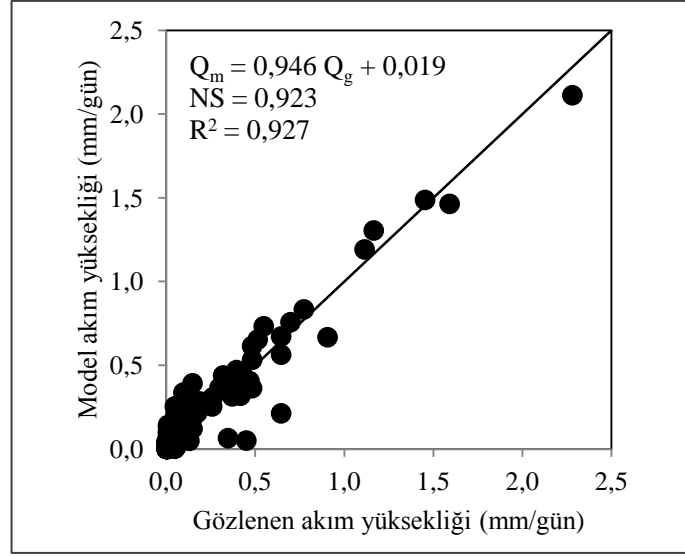
GR4J-YSA entegre günlük akım modelinde, GR4J kavramsal model ile hesaplanan net yağış yüksekliği (P_n), net evapotranspirasyon yüksekliği (E_n), net yağıştan biriktirme tabakasına giden yağış yüksekliği (P_s) ve biriktirme tabakasından sızan akım yüksekliği (P_{erc}), YSA'nın girdi verilerini oluşturmaktadır. P_n , E_n , P_s , P_{erc} değerleri ile kurulan YSA'larında eğitime algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve veriler Denklem 4.18 ile [0,1-0,9] arasında standardize edilmiştir. Kurulan ağlarda girdi değerleri "t" gününden başlayarak her bir ağda birer gün geriye gidilerek denenmiştir. Bu denemeler sırasında girdilerin 3 günden daha fazla geriye götürülmelerinin ağ performanslarını arttırmadığı görülmüştür. Kurulan tüm ağların gizli tabakadaki hücre sayısı 1'den başlatılıp 10 hücreye kadar denenerek en iyi ağ yapısı araştırılmıştır. Girdilere göre en iyi sonuçları veren ağ yapıları ve bu ağlardan hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS ve R² değerleri Tablo 5.24'te verilmektedir.

Tablo 5.24 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre akım modellerinin girdi yapıları ve model performansları

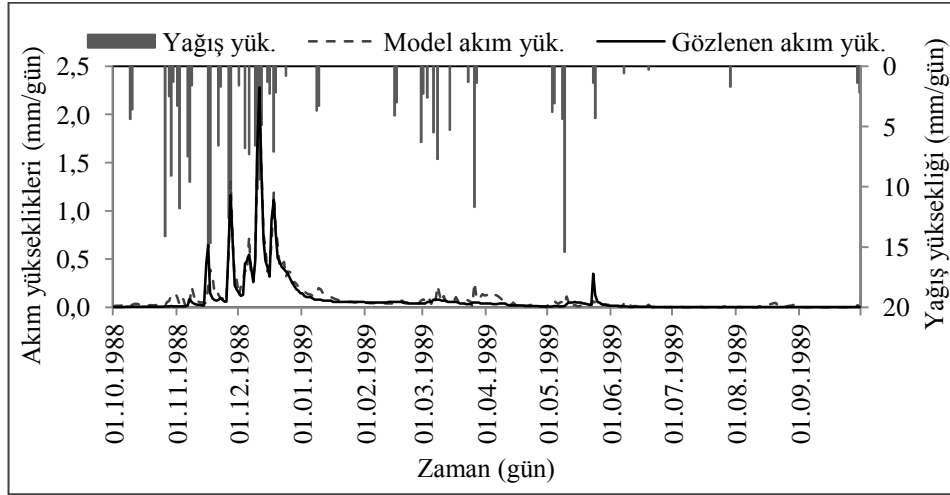
Model	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
GR4J - YSA	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	4-10-1	0,871	0,885	0,663	0,680
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	8-10-1	0,914	0,922	0,776	0,786
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1}$	12-8-1	0,907	0,915	0,858	0,864
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$					
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-3} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2}$ $(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	16-9-1	0,923	0,927	0,843	0,846

GR4J-YSA entegre günlük akım modeli ile Selendi althavzası akımlarının modellenmesinde en iyi sonuçlar, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s ve $Perc_t$ girdileriyle elde edilmiştir. En iyi model performansı veren ağın girdi tabakasında 16 hücre, gizli tabakasında 9 hücre ve çıktı tabakasında model akım yüksekliğini oluşturan 1 hücre bulunmaktadır. Bu ağın eğitimi, 20 iterasyon ile öğrenme oranı (μ) 0,5 alınarak yapılmıştır. Ağın eğitimi sonucunda elde edilen akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasında NS değeri 0,923, R² değeri 0,927; test sonucunda ise NS değeri 0,843 ve R² değeri 0,846 olarak hesaplanmıştır.

Selendi althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitiminde bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.36'da ve akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.37'de verilmektedir.

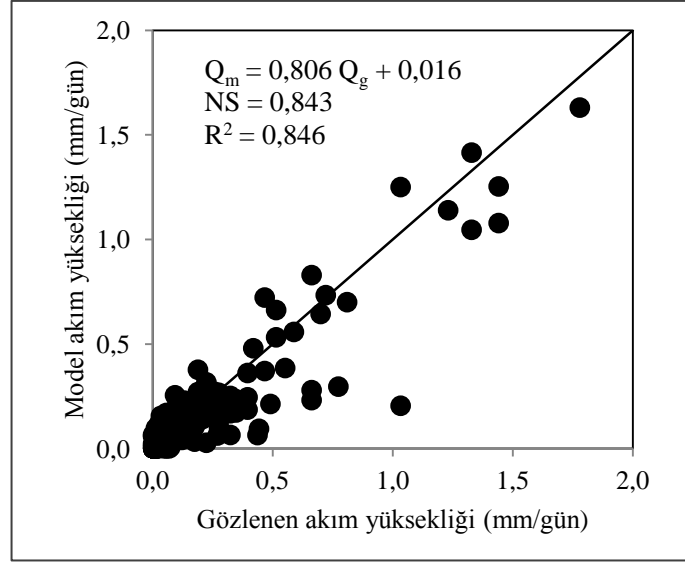


Şekil 5.36 Selendi althavzasında kurulan GR4J–YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

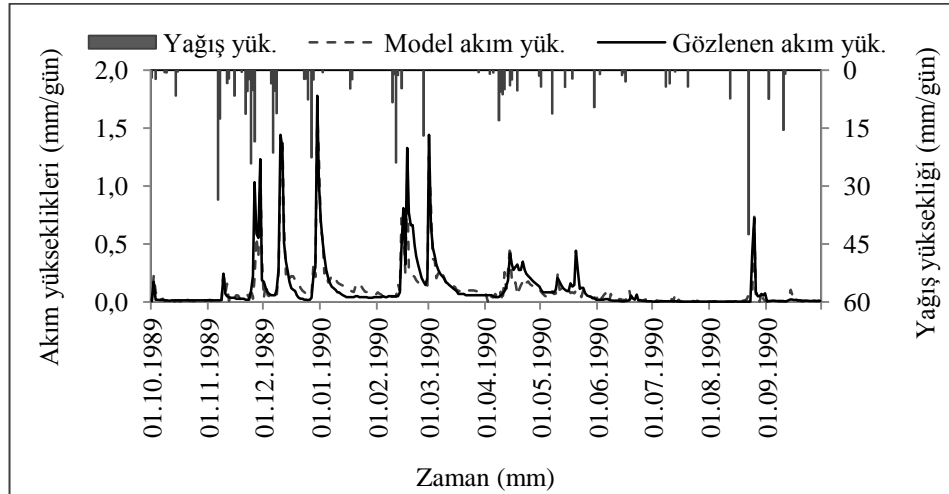


Şekil 5.37 Selendi althavzası günlük akımların modellenmesinde kullanılan GR4J–YSA entegre günlük yağış akış modeli eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin test aşamasından bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.38’de ve akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.39’da verilmektedir.



Şekil 5.38 Selendi althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.39 Selendi althavzası günlük akımların modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Selendi althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performans kriterleri Tablo 5.25'te özetlenmektedir.

Tablo 5.25 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim		Test	
	Gözlenen	GR4J -YSA	Gözlenen	GR4J -YSA
Ortalama (mm/gün)	0,082	0,097	0,117	0,110
Standart Sapma (mm/gün)	0,217	0,213	0,231	0,202
Çarpıklık	5,755	5,275	3,978	4,373
R ²	0,927		0,846	
NS	0,923		0,843	
KH	1,331		3,046	
OKHK	0,060		0,091	

Tablo 5.25'ten görüleceği gibi GR4J-YSA entegrasyonu ile elde edilen sonuçlar sadece GR4J ve YSA tabanlı model sonuçlarına göre büyük ölçüde iyileşme görülmektedir.

5.2.3.4 Selendi althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

GR4J-YSA entegre modeline genetik algoritmaların entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA entegre günlük akım modelinde, kalibre edilmesi gereken parametreler, GR4J modelinin biriktirme elemanı depolaması (X_1 , mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Selendi althavzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 221,48 mm, a parametresi 0,1500 ve b parametresi 0,0882 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 200 mm, üst sınırı 240 mm olarak modele verilmiştir. a parametresinin alt sınırı 0,13 üst sınırı 0,17 ve b parametresinin alt sınırı 0,07 üst sınırı 0,095 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 20 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile

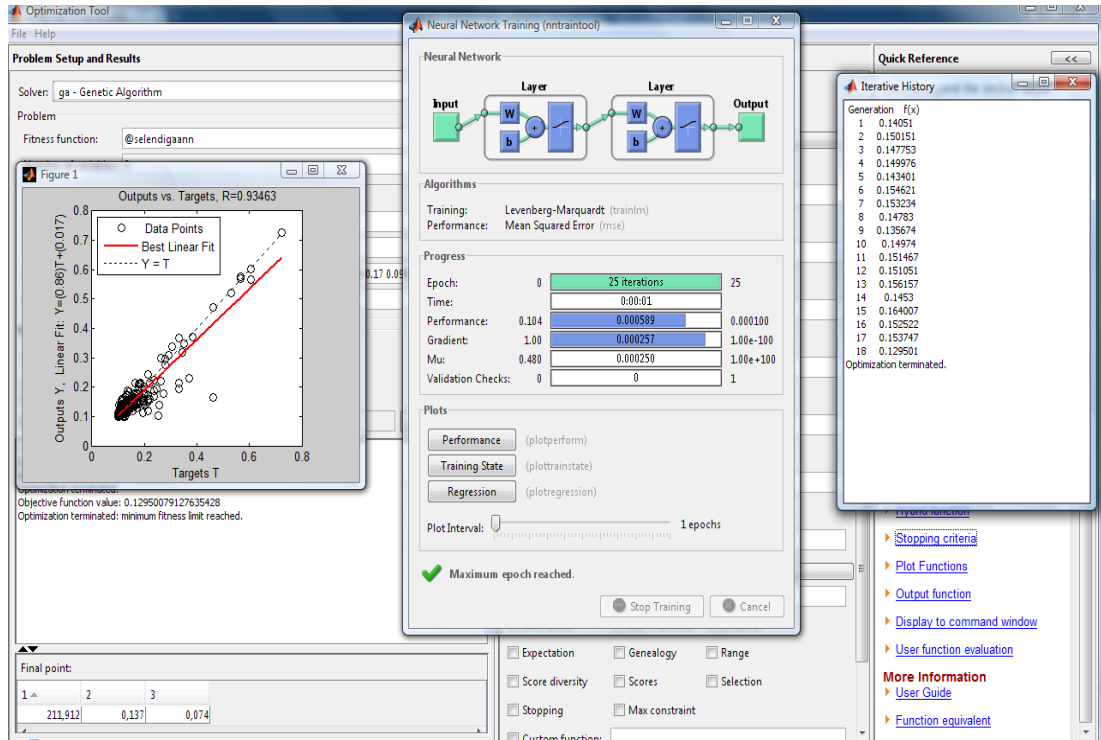
yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,6 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde ise mutasyon oranı 0,15 olarak seçilmiştir.

GR4J-YSA-GA akım modelinin YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s , Perc parametreleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu ağın eğitimi, gizli tabakasında 9 hücre, öğrenme oranı 0,10 alınarak 17 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Selendi althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modelinin 18 jenerasyon sonucunda bulunan parametre değerleri Tablo 5.26'da ve Şekil 5.40'ta sunulmaktadır.

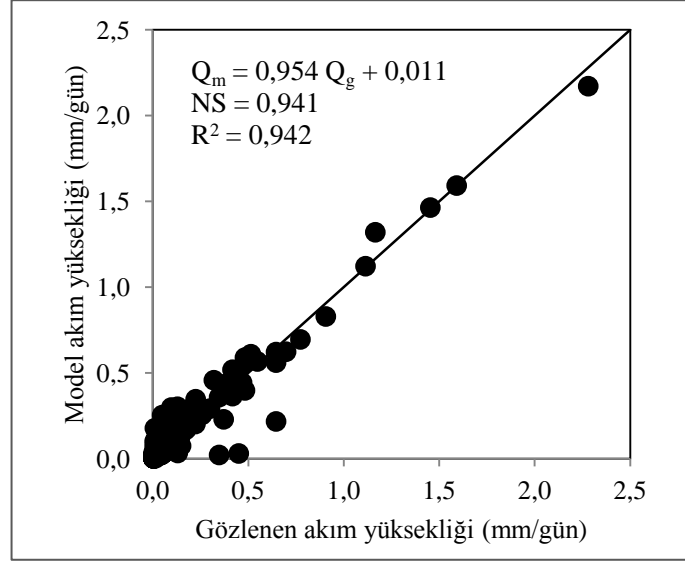
Tablo 5.26 Selendi althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA-GA modelinin parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
211,912	0,137	0,074

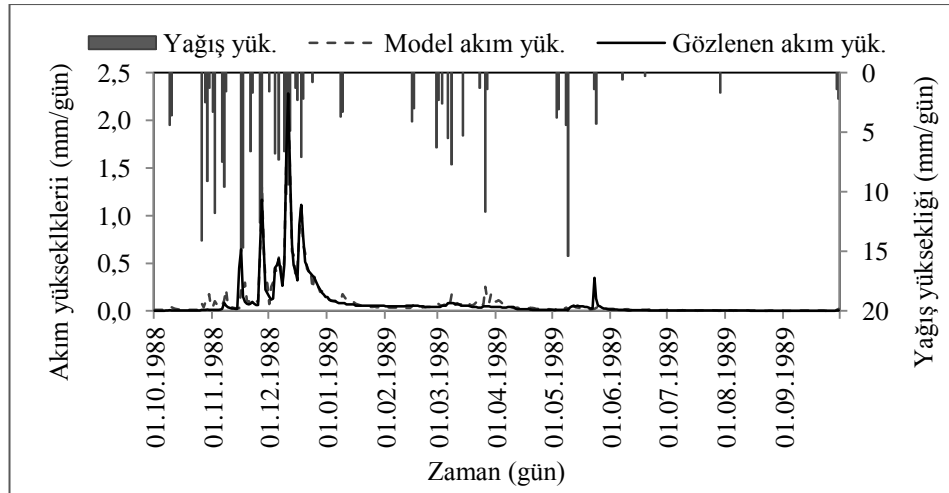


Şekil 5.40 Selendi althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyonunda bulunan model parametre değerleri

Entegre modelin kalibrasyonunda bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS değeri 0,941; R^2 değeri ise 0,942 olarak hesaplanmıştır. Modelin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.41’de ve akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.42’de sunulmaktadır.

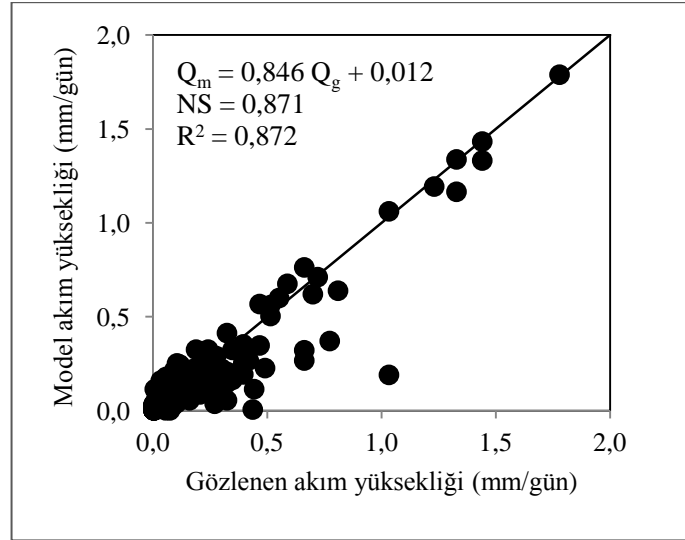


Şekil 5.41 Selendi althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modeli kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

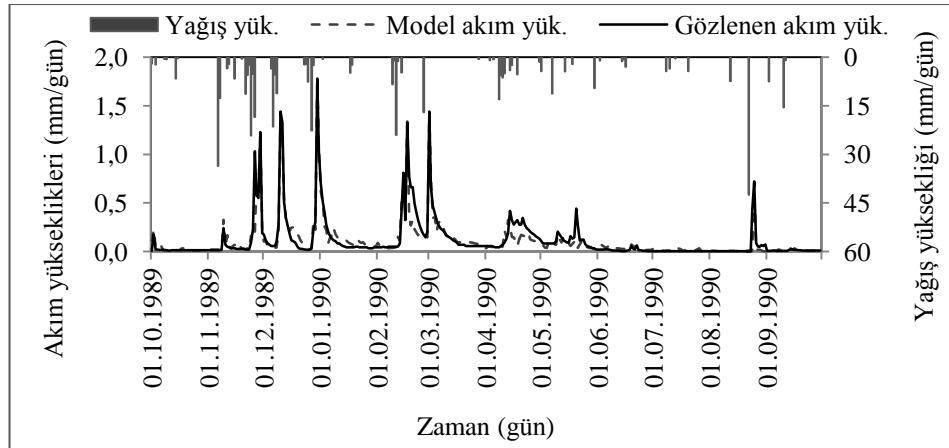


Şekil 5.42 Selendi althavzası GR4J-YSA-GA modeli kalibrasyonunda bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Entegre modelin verifikasyonunda bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS değeri 0,871; R^2 değeri ise 0,872 olarak hesaplanmıştır. Modelin verifikasyon döneminde bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.43'te, gidiş grafikleri ise Şekil 5.44'te sunulmaktadır.



Şekil 5.43 Selendi althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modeli verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.44 Selendi althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Selendi althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA entegre günlük akım modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde bulunan model sonuçları

ve gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ile model performansları 5.27’de özetlenmektedir.

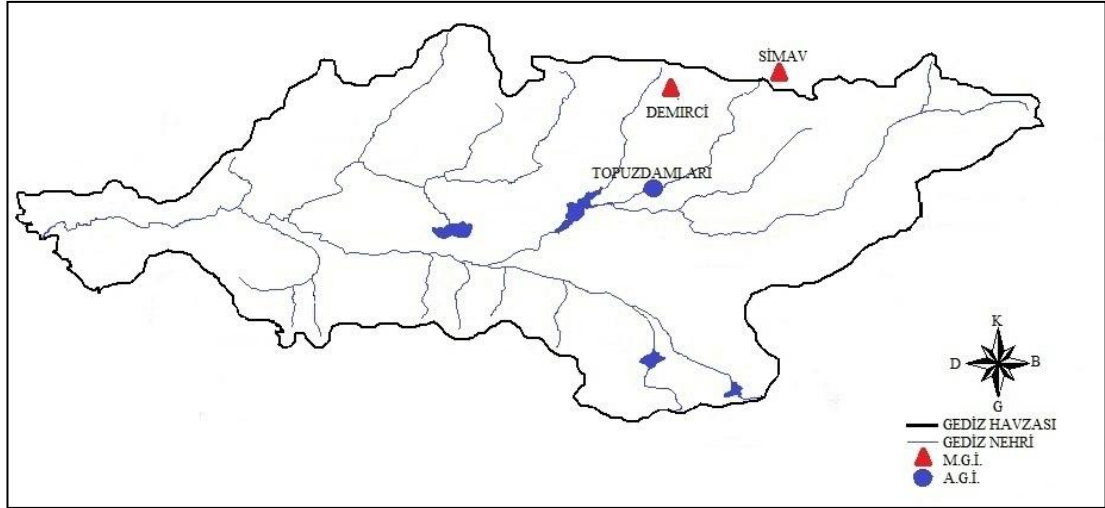
Tablo 5.27 Selendi althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J-YSA-GA modelinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait istatistikler ve model performansları

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J – YSA-GA	Gözlenen	GR4J-YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	0,082	0,090	0,117	0,110
Standart Sapma (mm/gün)	0,217	0,213	0,231	0,209
Çarpıklık	5,755	5,617	3,978	4,464
R ²	0,942		0,872	
NS	0,941		0,871	
KH	1,018		2,525	
OKHK	0,053		0,083	

Tablo 5.27’den de görüleceği gibi GR4J-YSA-GA entegre modeliyle elde edilen sonuçların gerek bireysel olarak kurulan GR4J ve YSA modellerinden gerekse GR4J-YSA entegre modelinden elde edilen sonuçlara göre Selendi althavzası akımlarını çok daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

5.2.4 Deliiniş Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi

Deliiniş althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Topuzdamları (EİE 515) AGİ’nda gözlenen akımlar kullanılmıştır. Günlük akımların modellenmesi çalışmalarında, model parametrelerinin kalibrasyonu 1995 su yılı, verifikasyonu ise 1996 su yılı kullanılarak yapılmıştır. Modellerde kullanılan günlük alansal yağış ve günlük alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Simav ve Demirci MGİ’larındaki rasatlar kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 5.45’te, Deliiniş althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Topuzdamları (EİE 515) AGİ ile Simav (17748) ve Demirci (17746) MGİ’ları gösterilmektedir.



Şekil 5.45 Deliniş althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Topuzdamları (EİE 515) AGİ ile Simav (17748) ve Demirci (17746) MGİ'leri

Deliniş althavzasının alansal yağış değerleri Thiessen Metodu ile hesaplanmıştır. Simav ve Demirci MGİ arasında çizilen Thiessen çokgenleri ile istasyonların althavzayı ne oranda temsil ettikleri hesaplanıp, alansal ortalama yağış değerleri elde edilmiştir. Meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları Tablo 5.28'de verilmektedir.

Tablo 5.28 Deliniş althavzasının günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları

	Meteoroloji gözlem istasyonları	
	Simav (17748)	Demirci (17746)
Thiessen oranı (%)	30,74	69,26

Tablo 5.29'da, Deliniş althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yükseklikleri (mm/yıl) sunulmaktadır.

Tablo 5.29 Deliniş althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yükseklikleri (mm/yıl)

Dönem	Su yılı	Yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)
Kalibrasyon	1995	721,22
Verifikasyon	1996	662,2

Deliiniş althavzası akım modellerinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Simav ve Demirci MGI'larında gözlenen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon süreçlerinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Tablo 5.30'da verilmektedir.

Tablo 5.30 Deliiniş althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama sıcaklık değerleri

Dönem	Su yılı	Alansal ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}/\text{gün}$)
Kalibrasyon	1995	12,50
Verifikasyon	1996	12,31

Deliiniş althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde günlük akım yüksekliklerinin ortalaması Tablo 5.31'de verilmektedir.

Tablo 5.31 Deliiniş althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama akım yükseklikleri

Dönem	Su yılı	Günlük ortalama akım (mm/gün)
Kalibrasyon	1995	0,363
Verifikasyon	1996	0,284

5.2.4.1 GR4J günlük yağış akış modeli ile Deliiniş althavzası günlük akımlarının modellenmesi

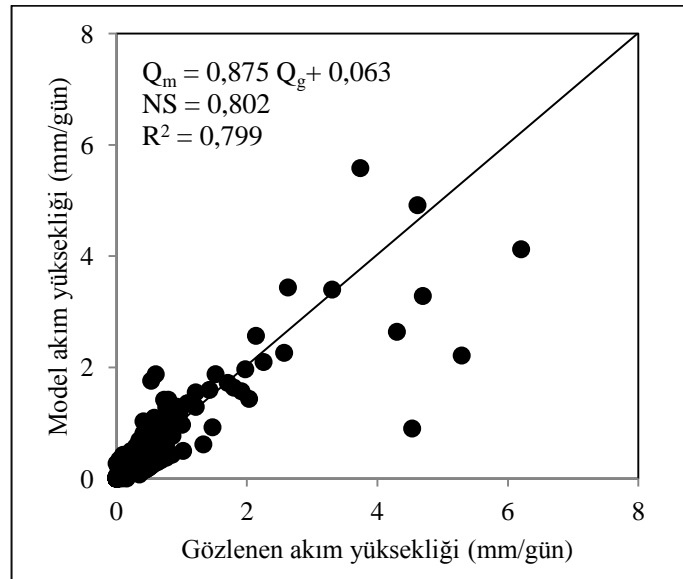
Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan, GR4J günlük yağış akış modelinin girdisini oluşturan, alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Modelde althavzanın biriktirme elemanı doygunluk oranı başlangıçta %20 olarak kabul edilmiştir. 1995 su yılı kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonunda, GR4J modeline ait X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Tablo 5.32'de verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametre uygunluk göstergeleri olan NS değeri 0,802; R^2 değeri ise 0,799 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.32 Deliiniş althavzasında GR4J modelinin kalibrasyonunda hesaplanan model parametreleri

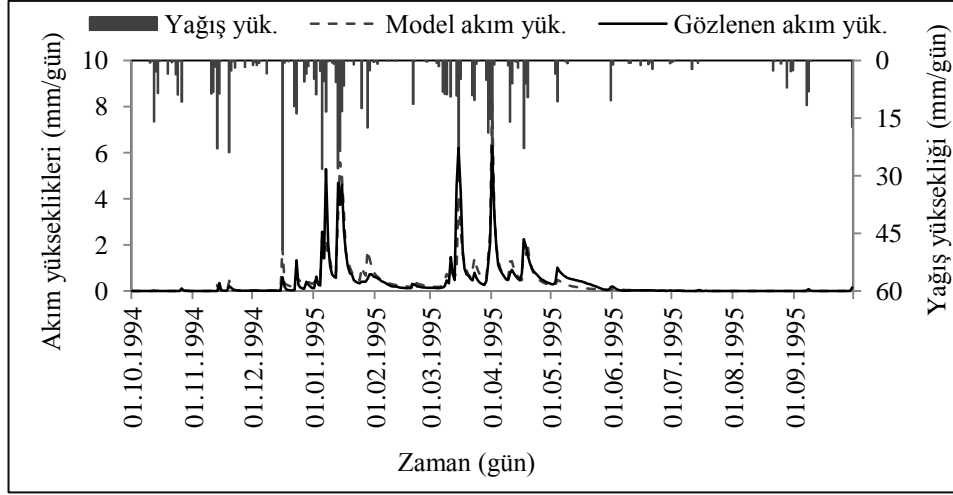
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
251,03	-17,30	83,31	0,50	0,0643	0,2156

Kalibrasyon sonucunda, GR4J modeli, biriktirme elemanının depolama kapasitesi (X_1) 251,03 mm olarak bulunmuştur. Yeraltısuyu değişimi (X_2) -17,30 mm olarak bulunmuş, bu da öteleme elemanının ve Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 83,31 mm ve öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliği (X_4) 0,50 gün olarak bulunmuştur. Modelin alansal potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinden a değeri 0,0643 ve b değeri 0,2156 olarak hesaplanmıştır.

GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.46'da, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri Şekil 5.47'de sunulmaktadır.

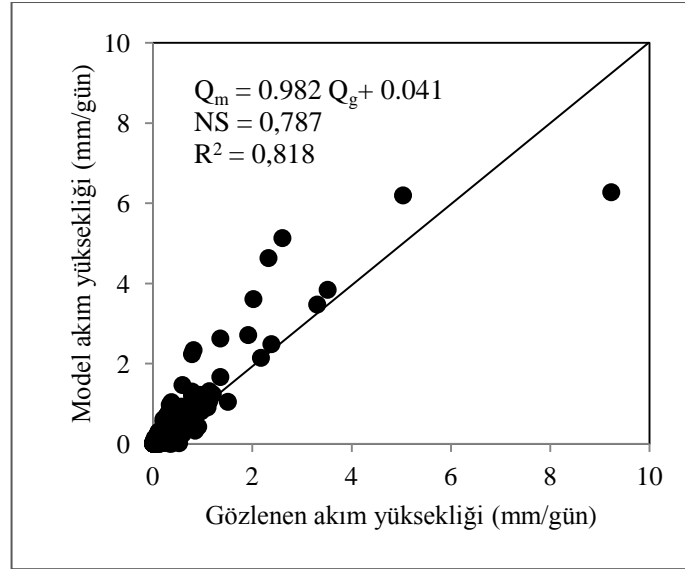


Şekil 5.46 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

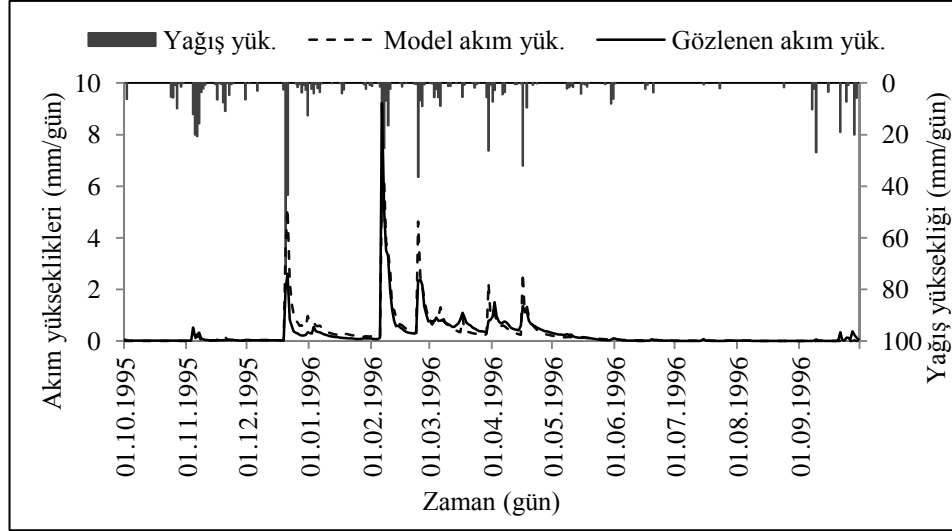


Şekil 5.47 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

1996 su yılı kullanılarak gerçekleştirilen verifikasyon sürecinde GR4J modeli ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasında NS değeri 0,787; R^2 değeri 0,818 olarak hesaplanmıştır. Model tahminleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.48'de, gidiş grafikleri ise Şekil 5.49'da sunulmaktadır.



Şekil 5.48 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.49 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyonu sonucunda hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.33'te özetlenmektedir.

Tablo 5.33 Deliiniş althavzası GR4J modeli kalibrasyonu ve verifikasyonu süresinde hesaplanan günlük akım yükseklikleri ile ölçülen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J	Gözlenen	GR4J
Ortalama (mm/gün)	0,363	0,374	0,284	0,320
Standart Sapma (mm/gün)	0,832	0,798	0,697	0,757
Çarpıklık	4,495	5,024	7,623	4,955
NS	0,802		0,787	
R ²	0,799		0,828	
KH	51,914		38,451	
OKHK	0,377		0,325	

5.2.4.2 *Deliiniş althavzası günlük akımlarının YSA tabanlı günlük yağış akış modeli ile modellenmesi*

Yapay sinir ağları ile kurulan Deliiniş althavzası günlük yağış akış modellerinde girdi tabakaları yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyondan ve çıktı tabakası model akım yüksekliğinden oluşmaktadır. Girdi tabakasının yapısına göre temelde 2 farklı yapay sinir ağı günlük akış modeli geliştirilmiştir. Bunlardan ilkinde (YSA1), girdi tabakası yağış ve sıcaklık verilerinden, ikincisinde (YSA2), girdi tabakası yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerinden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ile kurulan akım modellerinde geçmiş yağış, geçmiş sıcaklık ve geçmiş potansiyel evapotranspirasyonun etkilerini modele dahil etmek için akım modelleri iki adımda geliştirilmiştir. İlk adımda, YSA1 ve YSA2 modellerinde yağışın geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi, ikinci adımda ise YSA1 modelinde sıcaklığın, YSA2 modelinde ise potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi kurulan modellere dahil edilmiştir.

Deliiniş althavzası günlük akımları için ilk adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.34'te özetlenmektedir. Tablo 5.34 incelendiğinde, sıcaklık ve yağış verileri ile kurulan YSA1 akım modelinde, en iyi sonuçlar yağışın 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t , T_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren ağ yapısı, girdi tabakasında 9 girdi hücreden, gizli tabakada 7 hücreden ve çıktı tabakası 1 hücreden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,20 alınarak 28 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda hesaplanan NS değeri 0,608 ve R^2 değeri 0,609; test sonucunda ise NS değeri 0,489 ve R^2 değeri 0,492 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, YSA1'de olduğu gibi yağış değerlerinin bugünden 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t , PE_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısında ise, girdi tabakasında 9 girdi hücresi, gizli tabakada 7 hücre ve çıktı tabakasında 1 hücre yer almaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,14 alınarak 25 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın

eğitimi sonucunda hesaplanan NS ve R^2 değerleri 0,640; test sonucunda ise NS değeri 0,490 ve R^2 değeri 0,491 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.34 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
YSA1	P_t, T_t	2-5-1	0,396	0,396	0,375	0,375
	P_{t-1}, P_t, T_t	3-9-1	0,411	0,411	0,386	0,386
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	4-3-1	0,456	0,456	0,406	0,408
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	5-8-1	0,507	0,515	0,429	0,435
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	6-9-1	0,529	0,538	0,461	0,479
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	7-10-1	0,562	0,578	0,482	0,487
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	8-10-1	0,585	0,592	0,486	0,490
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	9-7-1	0,608	0,609	0,489	0,492
YSA2	P_t, PE_t	2-6-1	0,425	0,425	0,412	0,412
	P_{t-1}, P_t, PE_t	3-8-1	0,495	0,495	0,465	0,466
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	4-5-1	0,537	0,539	0,417	0,423
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	5-10-1	0,557	0,575	0,429	0,435
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	6-5-1	0,600	0,608	0,458	0,462
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	7-8-1	0,629	0,629	0,468	0,469
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	8-6-1	0,636	0,639	0,475	0,480
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	9-7-1	0,640	0,640	0,490	0,491

Deliiniş althavzası günlük akımları için ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları ve modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5. 35'te verilmektedir. Tablo 5.35 incelendiğinde Tablo 5.34'te verilen sonuçlara göre YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin performans kriterlerinde iyileşmenin az olduğu görülmektedir. YSA1 akım modelinde en iyi sonuçlar, yağış değerlerinin yanı sıra sıcaklık değerlerinin de 7 günlük geçmiş değerlerinin girdi olarak dikkate alınması halinde ($T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren ağ yapısında, girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 5 hücre ve çıktı tabakasında ise model akım yksekliliğini oluşturan 1 çıktı hücresi yer almaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,2 alınarak 20 iterasyon sonucunda

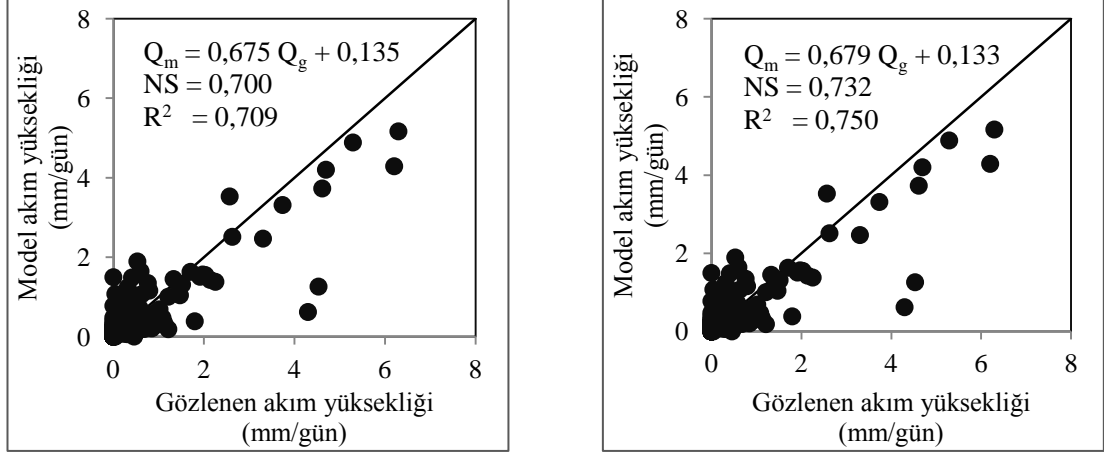
tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda hesaplanan performans kriterlerinden NS değeri 0,700 ve R^2 değeri 0,709; test sonucunda ise NS değeri 0,505 ve R^2 değeri 0,501 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış girdi verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, yağış ve evapotranspirasyon değerlerinin bugünden 7 gün öncesine ait değerlerinin girdi olarak verilmesi halinde (PE_{t-7} , PE_{t-6} , PE_{t-5} , PE_{t-4} , PE_{t-3} , PE_{t-2} , PE_{t-1} , P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısını ise, girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 7 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresi oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,10 alınarak 24 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS değeri 0,732, R^2 değeri 0,750; test sonucunda ise NS değeri 0,581 ve R^2 değeri 0,578 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.35 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları ve modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri

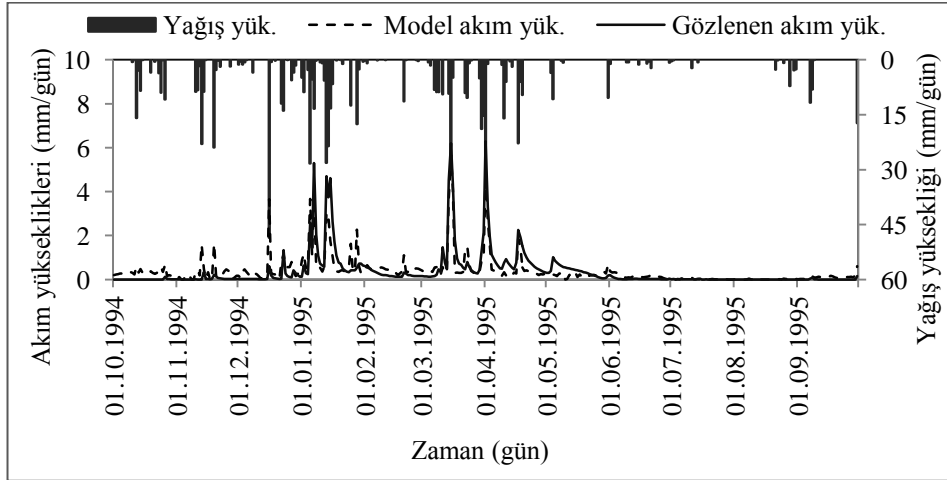
YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
YSA1	$T_t, P_{t-7;t}$	9-7-1	0,608	0,609	0,489	0,492
	$T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	10-7-1	0,638	0,638	0,491	0,494
	$T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	11-3-1	0,655	0,657	0,490	0,496
	$T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	12-8-1	0,678	0,682	0,496	0,496
	$T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	13-5-1	0,699	0,706	0,502	0,505
	$T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	14-9-1	0,705	0,715	0,496	0,499
	$T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	15-10-1	0,698	0,705	0,502	0,506
	$T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	16-5-1	0,700	0,709	0,505	0,501
YSA2	$PE_t, P_{t-7;t}$	9-6-1	0,640	0,640	0,490	0,491
	$PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	10-9-1	0,644	0,644	0,495	0,495
	$PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	11-5-1	0,672	0,679	0,502	0,503
	$PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	12-10-1	0,695	0,695	0,510	0,512
	$PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	13-7-1	0,715	0,715	0,521	0,521
	$PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	14-6-1	0,719	0,722	0,534	0,536
	$PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	15-8-1	0,730	0,757	0,546	0,546
		$PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	16-7-1	0,732	0,750	0,581

$P_{t-7;t}=P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$

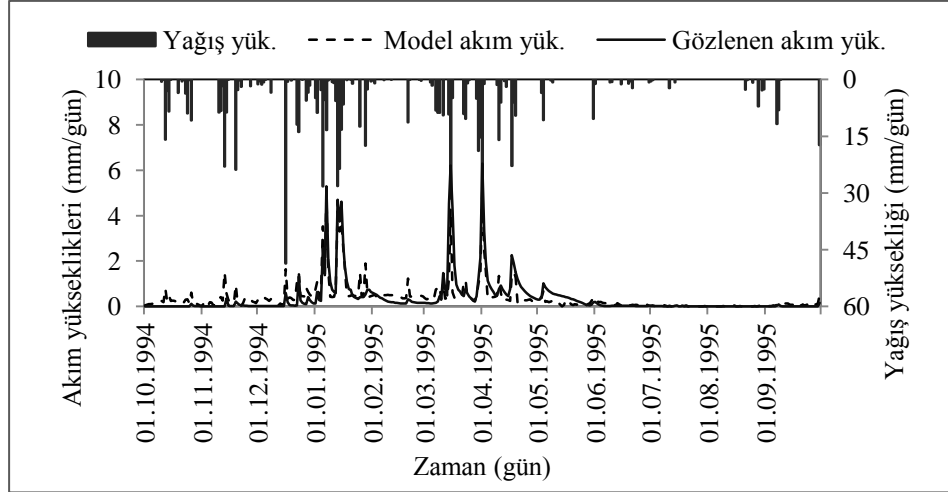
YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.50'de ve gidiş grafikleri ise Şekil 5.51 ve Şekil 5.52'de verilmektedir.



Şekil 5.50 Deliiniş althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

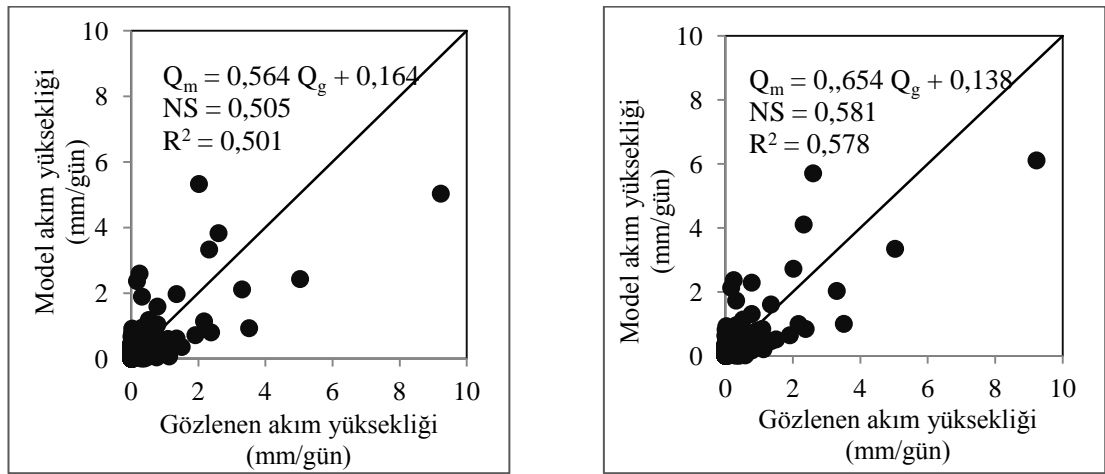


Şekil 5.51 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 modelinin eğitimi sırasında elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

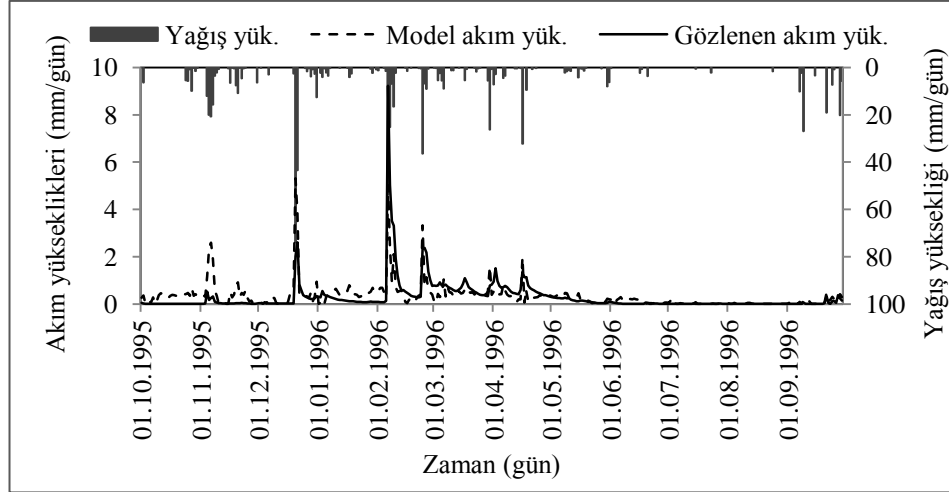


Şekil 5.52 Deliniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin eğitimi sırasında elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

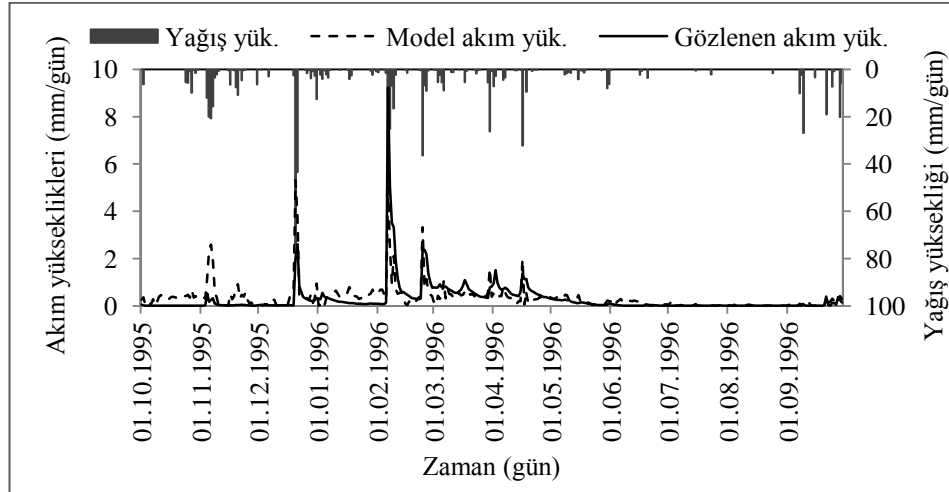
YSA1 ve YSA2 ağlarının testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.53'te, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.54 ve Şekil 5.55'te verilmektedir.



Şekil 5.53 Deliniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin testleri sırasında elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.54 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 modelinin testi sonucu elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.55 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin testi sonucu elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitim ve testinde elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri Tablo 5.36'da özetlenmektedir.

Tablo 5.36 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim			Test		
	Gözlenen	YSA1	YSA2	Gözlenen	YSA1	YSA2
Ortalama (mm/gün)	0,363	0,380	0,379	0,284	0,324	0,325
Standart Sapma (mm/gün)	0,832	0,666	0,652	0,697	0,557	0,602
Çarpıklık	4,495	4,536	4,456	7,623	5,503	6,030
NS		0,700	0,732		0,504	0,581
R ²		0,709	0,750		0,500	0,577
KH		73,832	64,730		90,581	77,222
OKHK		0,450	0,721		0,492	0,460

5.3.4.3 Deliiniş althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

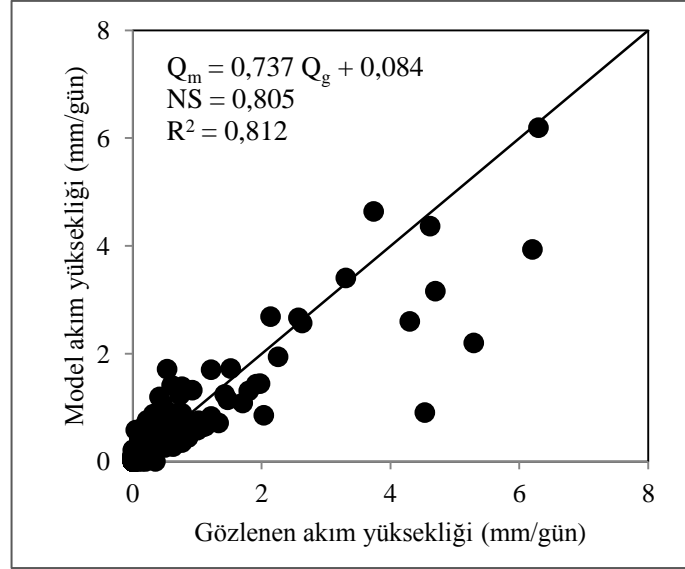
GR4J-YSA entegre günlük akım modelinde, GR4J kavramsal model ile hesaplanan net yağış yüksekliği (P_n), net evapotranspirasyon yüksekliği (E_n), net yağıştan biriktirme elemanına giden yağış yüksekliği (P_s) ve biriktirme elemanından sızan akım yüksekliği (P_{erc}) YSA'nın girdi verilerini oluşturmaktadır. P_n , E_n , P_s , P_{erc} değerleri ile kurulan YSA'larında eğitim algoritması olarak Levenberg–Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve veriler Denklem 4.18 ile [0,1-0,9] arasında standardize edilmiştir. Kurulan ağlarda girdi değerleri “t” günden başlayarak her bir ağda birer gün geriye gidilerek denenmiştir. Bu denemeler sırasında girdileri 3 günden daha fazla geriye götürülmesinin ağ performanslarını arttımadığı görülmüştür. Kurulan tüm ağlarda gizli tabakasındaki hücre sayısı 1'den başlatılıp 10 hücreye kadar denenerek en iyi ağ yapısı araştırılmıştır. Girdilere göre bulunan en iyi ağ yapıları ve bu ağlardan hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasında hesaplanan NS ve R² değerleri Tablo 5.37'de özetlenmektedir.

Tablo 5.37 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre akım modellerinin girdi ve ağ yapıları ve model performans kriterleri

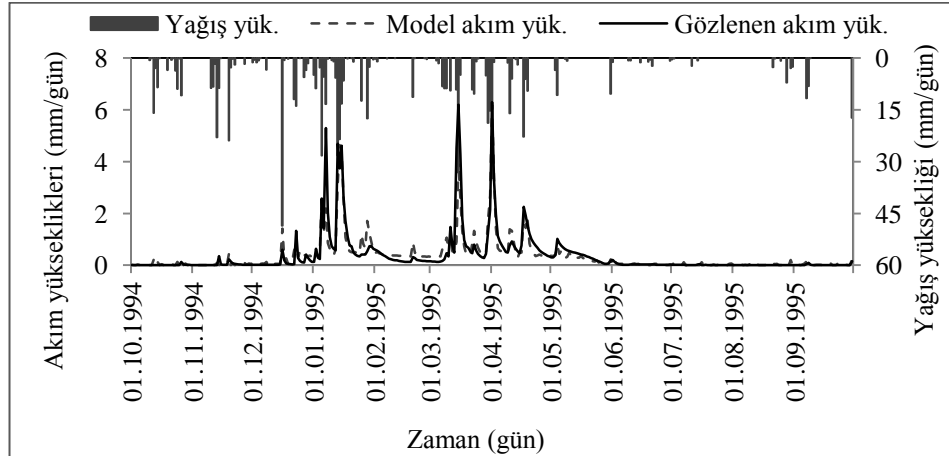
Model	Girdi yapıları	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
GR4J YSA	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	4-8-1	0,702	0,702	0,738	0,774
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	8-10-1	0,772	0,772	0,782	0,787
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1}$	12-10-1	0,804	0,810	0,818	0,822
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$					
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-3} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2}$ $(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	16-8-1	0,805	0,812	0,834	0,839

GR4J-YSA entegre akım modeli ile Deliiniş althavzası günlük akımlarının modellenmesinde en iyi sonuçlar, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s , $Perc$ girdileriyle elde edilmiştir. En iyi model performansı veren ağın yapısında girdi tabakasında 16 hücre, gizli tabakasında 8 hücre ve çıktı tabakasında 1 hücre bulunmaktadır. Bu ağın eğitimi 25 iterasyon ile öğrenme oranı (μ) 0,8 alınarak yapılmıştır. Ağın eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS değeri 0,805, R² değeri 0,812; test sonucunda ise NS değeri 0,834, R² değeri ise 0,839 olarak hesaplanmıştır.

Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitiminde bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.56'da, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri Şekil 5.57'de verilmektedir.

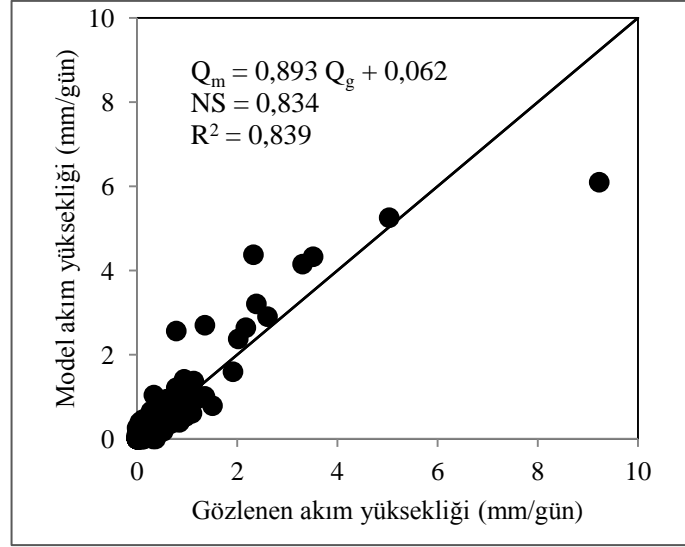


Şekil 5.56 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

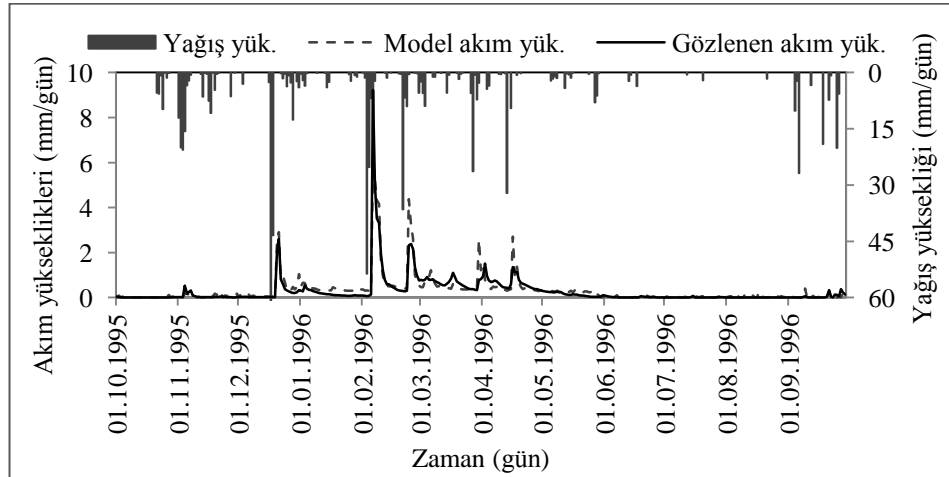


Şekil 5.57 Deliiniş althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafiği

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin test aşamasında bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.58'de akım yükseklikleri gidiş grafikleri ise Şekil 5.59'da verilmektedir.



Şekil 5.58 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.59 Deliiniş althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.38’te özetlenmektedir.

Tablo 5.38 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim ve testinde hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performansları

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J-YSA	Gözlenen	GR4J-YSA
Ortalama (mm/gün)	0,363	0,351	0,284	0,316
Standart Sapma (mm/gün)	0,832	0,680	0,697	0,681
Çarpıklık	4,495	4,481	7,623	5,201
NS	0,805		0,834	
R ²	0,812		0,839	
KH	49,159		29,580	
OKHK	0,367		0,285	

GR4J-YSA entegre akım modeliyle elde edilen sonuçlar sadece GR4J ve YSA tabanlı model sonuçlarına göre büyük ölçüde iyileşme gösterdiği Tablo 5.38'den görülmektedir.

5.3.4.4 Deliiniş althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

GR4J-YSA modeline genetik algoritmaların entegrasyonu ile gerçekleştirilen GR4J-YSA-GA entegre akım modelinde, kalibre edilmesi gereken parametreler, GR4J modelinin biriktirme elemanı depolaması (X_1 ,mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. GR4J-YSA-GA entegre günlük akım modelinin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Deliiniş alt havzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 251,03 mm, a parametresi 0,0643 ve b parametresi 0,2156 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 220 mm, üst sınırı 270 mm, a parametresinin alt sınırı 0,05 üst sınırı 0,07 ve b parametresinin ise alt sınırı 0,20 üst sınırı 0,22 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi, sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 20 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan

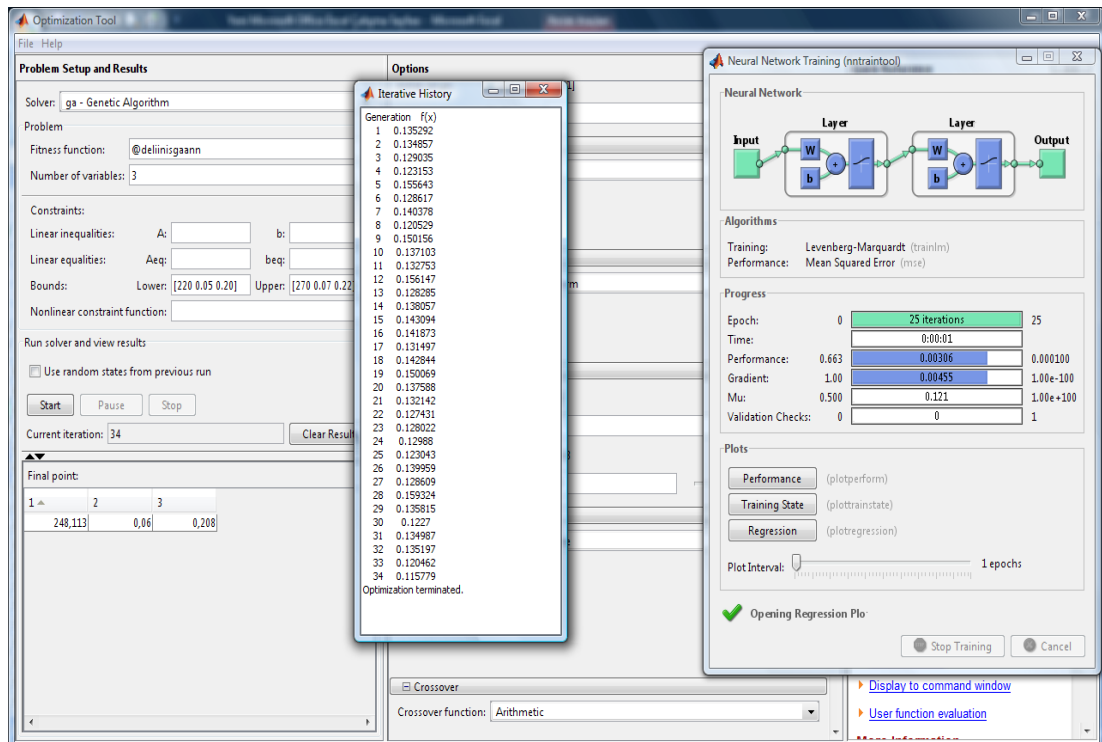
çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,3 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde ise mutasyon oranı 0,05 olarak seçilmiştir.

GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s , Perc parametreleri kullanılarak elde edilmiştir. YSA operatöründe ağırlık eğitimi, gizli tabakasında 8 hücre, öğrenme oranı 0,8 alınarak 25 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelinin 34 jenerasyon sonucunda bulunan parametreleri değerleri Tablo 5.39'da ve Şekil 5.60'ta sunulmaktadır.

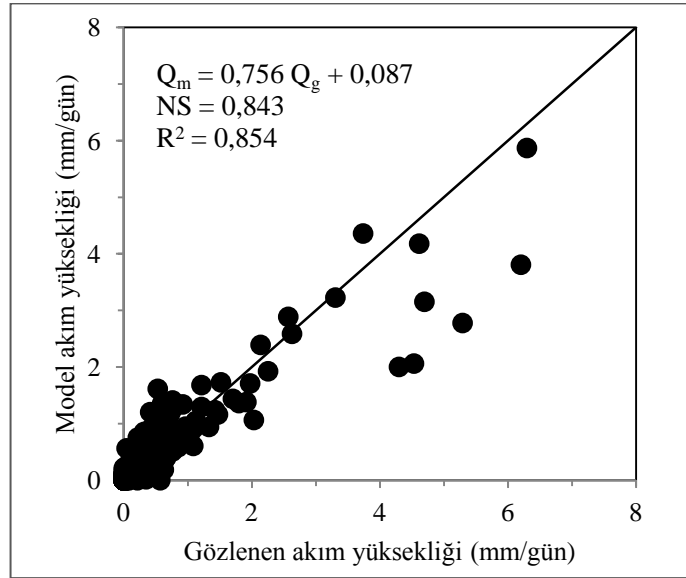
Tablo 5.39 Deliiniş althavzasının günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA-GA modelinin parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
248,113	0,060	0,208

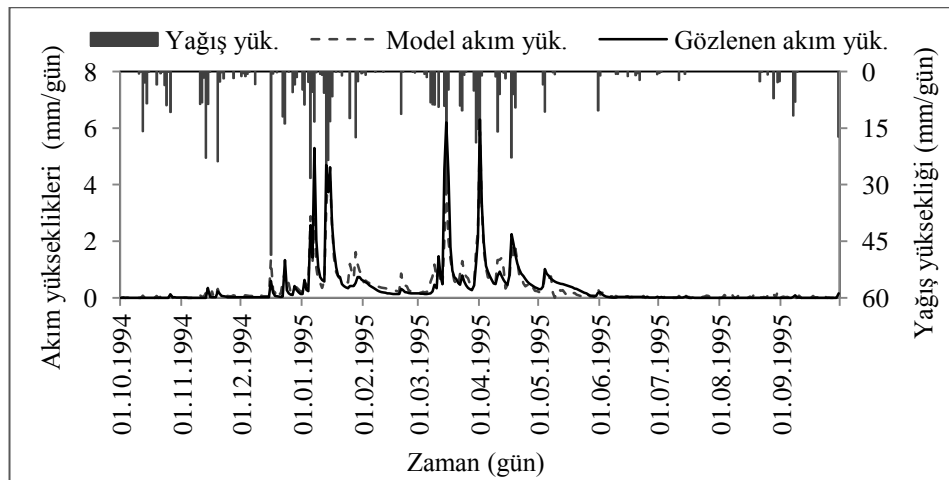


Şekil 5.60 Deliiniş althavzasının günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA-GA modelinin parametre değerleri

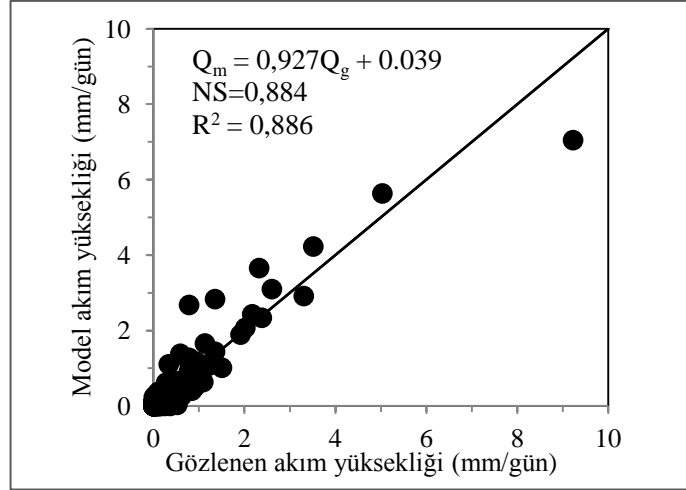
Entegre modelin kalibrasyonunda bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki R^2 değeri 0,854 ve NS değeri 0,843; verifikasyonunda ise R^2 değeri 0,886 ve NS değeri 0,884 olarak hesaplanmıştır. Entegre modelin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.61 ve Şekil 5.63'te ve akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.62 ve Şekil 5.64'te verilmektedir.



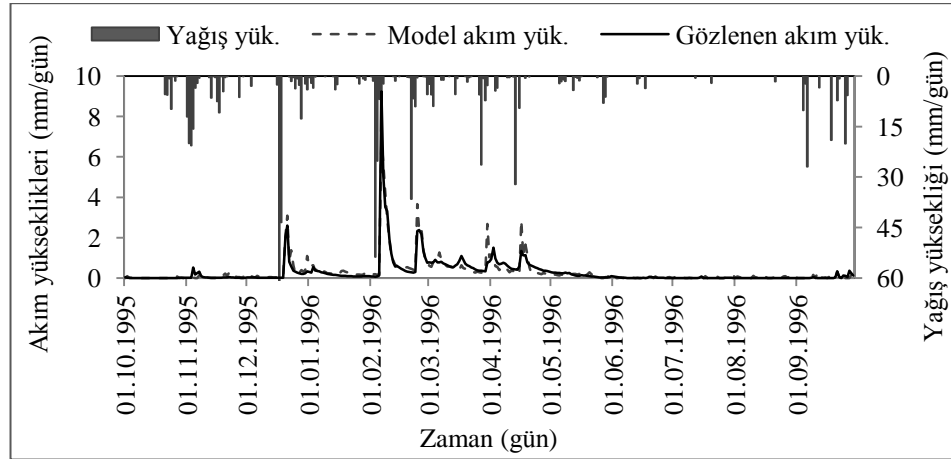
Şekil 5.61 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre akım modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.62 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modeli kalibrasyonunda hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.63 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre akım modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.64 Deliiniş althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Deliiniş althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J-YSA-GA modelinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait temel istatistikler ile model performans kriterleri Tablo 5.40'ta özetlenmektedir.

Tablo 5.40 Deliiniş althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J-YSA-GA modelinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait temel istatistikler ve model performans kriterleri

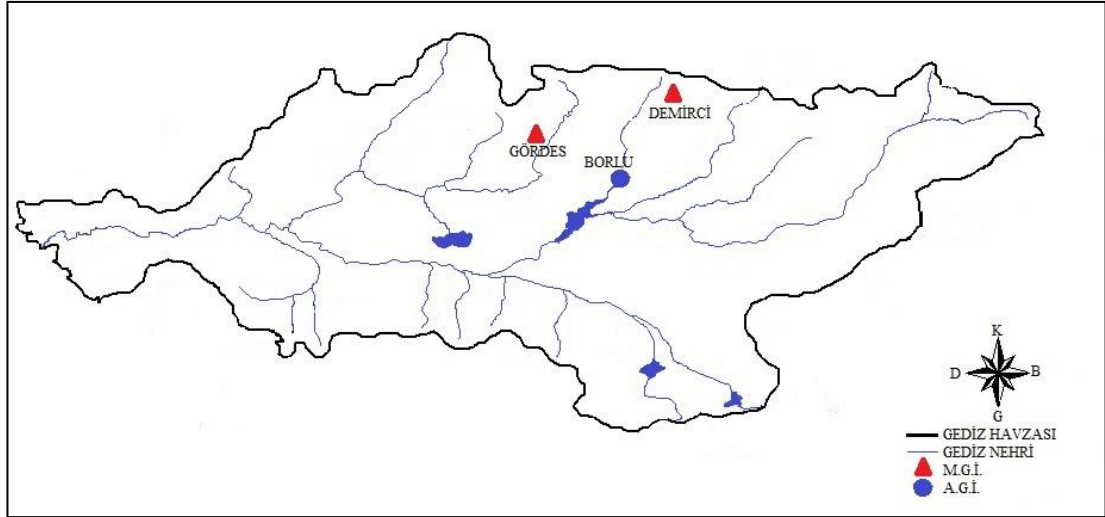
İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J-YSA-GA	Gözlenen	GR4J-YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	0,363	0,361	0,284	0,302
Standart Sapma (mm/gün)	0,832	0,680	0,697	0,687
Çarpıklık	4,495	3,970	7,623	5,562
NS	0,843		0,884	
R ²	0,854		0,886	
KH	39,646		20,609	
OKHK	0,330		0,238	

Tablo 5.40'tan da görüleceği gibi GR4J-YSA-GA entegre modeliyle elde edilen sonuçların gerek bireysel olarak kurulan GR4J ve YSA modellerinden gerekse GR4J-YSA entegre modelinden elde edilen sonuçlara göre Deliiniş althavzası akımlarını çok daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

5.2.5 Demirci Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi

Demirci althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Borlu (EİE 522) AGİ'nda gözlenen akımlar kullanılmıştır. Günlük akımların modellenmesi çalışmalarında model parametrelerinin kalibrasyonunda 1995 su yılı ve verifikasyonunda ise 1996 su yılı kullanılmıştır. Modellerde kullanılan günlük alansal yağış ve günlük alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Demirci ve Gördes MGİ'larındaki rasatlar kullanılarak bulunmuştur. Şekil 5.65'te Demirci althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Borlu (522) AGİ ile Demirci (17746) ve Gördes (4930) MGİ'ları gösterilmektedir.

Demirci althavzasının alansal yağış değerleri Thiessen Metodu ile hesaplanmıştır. Demirci ve Gördes MGİ arasında çizilen Thiessen çokgenleri ile istasyonların althavzayı ne oranda temsil ettikleri hesaplanıp, alansal ortalama yağış değerleri elde edilmiştir. Meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları Tablo 5.41'de verilmektedir.



Şekil 5.65 Demirci althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Borlu (522) AGİ ile Demirci (17746) ve Gördes (4930) MGİ'leri

Tablo 5.41 Demirci althavzası günlük akımların modellenmesinde kullanılan meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları

	Meteoroloji gözlem istasyonları	
	Demirci (17746)	Gördes (4930)
Thiessen oranı (%)	60,72	39,28

Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yükseklikleri (mm/yıl) Tablo 5.42'de verilmektedir.

Tablo 5.42 Demirci althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yükseklikleri (mm/yıl)

Dönem	Su yılı	Yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)
Kalibrasyon	1995	663,3
Verifikasyon	1996	600,4

Günlük akımların modellenmesinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Demirci ve Gördes istasyonlarında gözlenen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Tablo 5.43'te modellerin kalibrasyon ve verifikasyonunda kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri verilmektedir.

Tablo 5.43 Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama sıcaklık değerleri

Dönem	Su yılı	Ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}/\text{gün}$)
Kalibrasyon	1995	13.32
Verifikasyon	1996	12,37

Tablo 5.44'te ise, Demirci althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük akım yüksekliklerinin ortalaması verilmektedir.

Tablo 5.44 Demirci althavzası akım modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama akım yükseklikleri (mm/gün)

Dönem	Su yılı	Günlük ortalama akım (mm/gün)
Kalibrasyon	1995	0,266
Verifikasyon	1996	0,384

5.3.5.1 Demirci althavzası günlük akımlarının GR4J günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

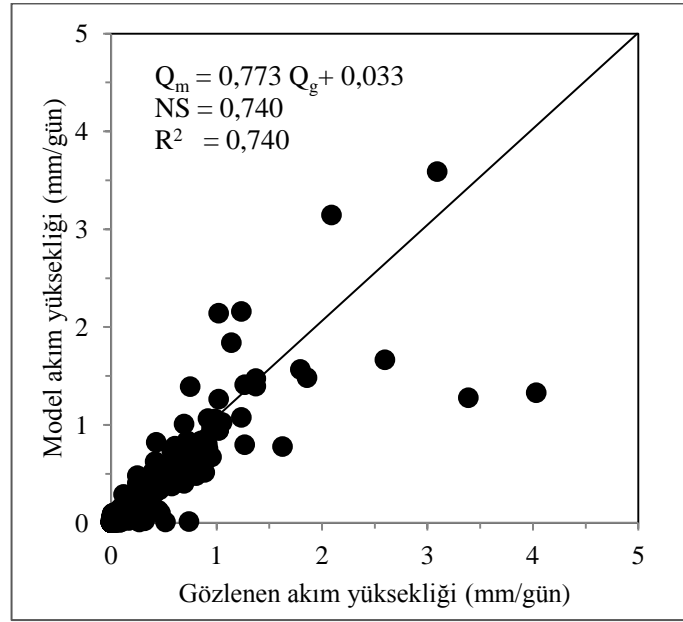
Demirci althavzasının günlük akımları, GR4J günlük yağış akış modeli kullanılarak modellenmiştir. GR4J günlük yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Modelin kalibrasyon aşamasının başlangıcında, Borlu (EİE 523) AGİ'nunda akım gözlenmediğinden, modelde althavzanın biriktirme elemanında, başlangıçta depolama olmadığı kabul edilmiştir. 1995 su yılı kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda bulunan, GR4J modeline ait X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Tablo 5.45'te verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametre uygunluk göstergeleri olan NS ve R^2 değerleri 0,740 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.45 Demirci althavzasında kurulan GR4J günlük akım modelinin kalibrasyonunda bulunan model ve evapotranspirasyon parametre değerleri

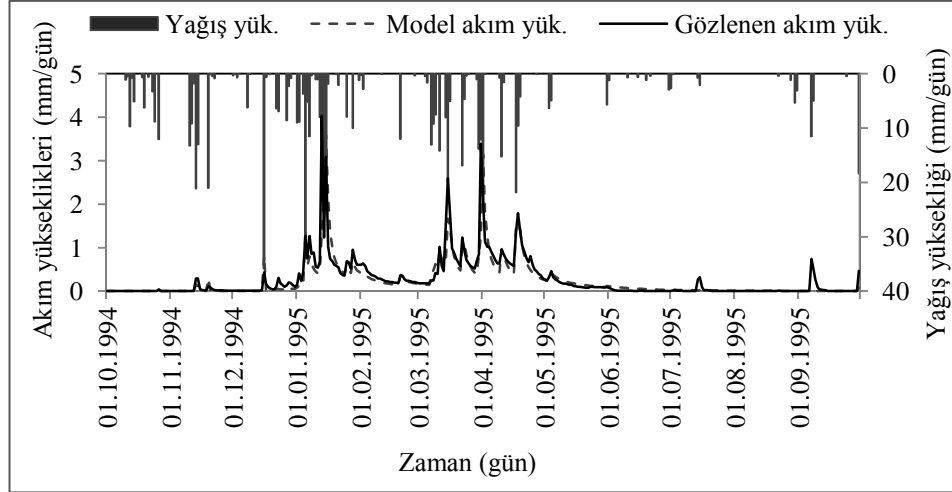
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
281,57	-26,17	103,74	0,50	0,0030	0,2852

Kalibrasyon sonucunda, GR4J modeli, biriktirme elemanının depolama kapasitesi (X_1) 281,57 mm olarak bulunmuştur. Yeraltısuyu değişimi (X_2) -26,17 mm olarak bulunmuş, bu da öteleme elemanının ve Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 103,74 mm ve öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliği (X_4) 0,50 gün olarak bulunmuştur. Modelin alansal potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinden a değeri 0,003 ve b değeri ise 0,2852 olarak hesaplanmıştır.

GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.66'da, akımların gidiş grafikleri ise Şekil 5.67'de sunulmaktadır.

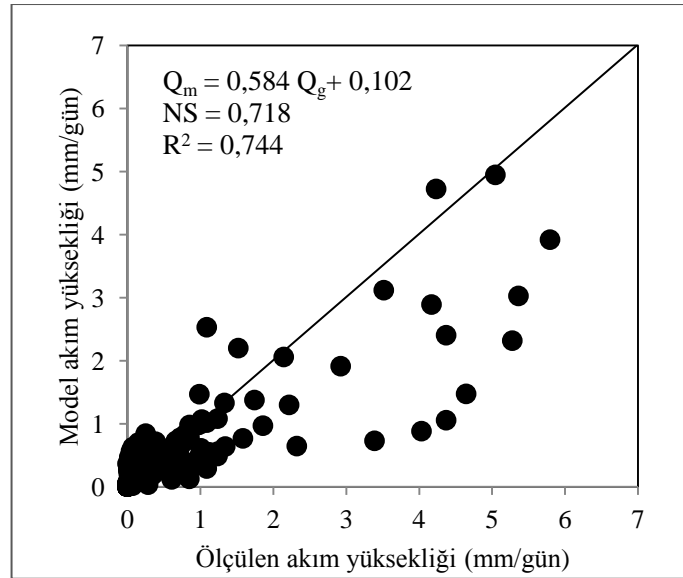


Şekil 5.66 Demirci althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

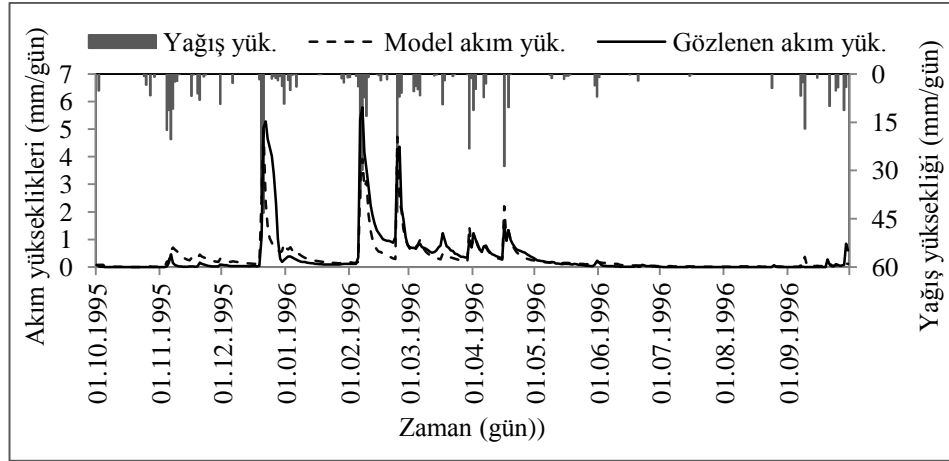


Şekil 5.67 Demirci althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

1996 su yılı ile kullanılarak gerçekleştirilen model verifikasyonu sürecinde hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlemler R^2 değeri 0,744; NS değeri 0,718 olarak bulunmuştur. Model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.68'de, akımların gidiş grafikleri ise Şekil 5.69'da sunulmaktadır.



Şekil 5.68 Demirci althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.69 Demirci althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş eğrileri

Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyonu sonucunda hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.46'da özetlenmektedir.

Tablo 5.46 Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modeli kalibrasyon ve verifikasyon sürecinde hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J	Gözlenen	GR4J
Ortalama (mm/gün)	0,266	0,238	0,384	0,326
Standart Sapma (mm/gün)	0,476	0,428	0,874	0,591
Çarpıklık	3,757	3,591	3,978	4,504
NS	0,740		0,718	
R ²	0,740		0,744	
KH	21,928		82,180	
OKHK	0,245		0,475	

5.2.6.2 Demirci althavzası günlük akımlarının YSA tabanlı günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

Yapay sinir ağları ile kurulan Demirci althavzası günlük yağış akış modellerinde girdi tabakaları yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyondan ve çıktı tabakası

model akım yüksekliğinden oluşmaktadır. Girdi tabakasının yapısına göre temelde 2 farklı yapay sinir ağı günlük akış modeli geliştirilmiştir. Bunlardan ilkinde (YSA1), girdi tabakası yağış ve sıcaklık verilerinden, ikincisinde (YSA2), girdi tabakası yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerinden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ile kurulan akım modellerinde geçmiş yağış, geçmiş sıcaklık ve geçmiş potansiyel evapotranspirasyonun etkilerini modele dahil etmek için akım modelleri iki adımda geliştirilmiştir. İlk adımda, YSA1 ve YSA2 modellerinde yağışın geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi, ikinci adımda ise YSA1 modelinde sıcaklığın, YSA2 modelinde ise potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi kurulan modellere dahil edilmiştir.

Demirci althavzası günlük akımları için ilk adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdi yapıları, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.47’de özetlenmektedir.

Tablo 5.47 Demirci althavzasında ilk adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
YSA1	P _t , T _t	2-5-1	0,386	0,386	0,220	0,244
	P _{t-1} , P _t , T _t	3-7-1	0,412	0,412	0,361	0,365
	P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	4-9-1	0,538	0,538	0,416	0,419
	P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	5-10-1	0,597	0,600	0,432	0,435
	P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	6-8-1	0,648	0,649	0,458	0,458
	P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	7-6-1	0,685	0,685	0,465	0,465
	P _{t-6} , P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , T _t	8-9-1	0,708	0,709	0,479	0,481
	P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t	9-10-1	0,718	0,718	0,487	0,489
YSA2	P _t , PE _t	2-7-1	0,395	0,395	0,295	0,299
	P _{t-1} , P _t , PE _t	3-4-1	0,468	0,468	0,414	0,422
	P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	4-9-1	0,559	0,559	0,445	0,452
	P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	5-9-1	0,673	0,673	0,459	0,475
	P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	6-9-1	0,694	0,694	0,456	0,460
	P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	7-10-1	0,719	0,719	0,462	0,469
	P _{t-6} , P _{t-5} , P _{t-4} , P _{t-3} , P _{t-2} , P _{t-1} , P _t , PE _t	8-5-1	0,738	0,738	0,482	0,506
	P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t	9-7-1	0,759	0,759	0,493	0,529

Tablo 5.47 incelendiğinde, sıcaklık ve yağış verileri ile kurulan YSA1 akım modelinde, en iyi sonuçlar yağışın geçmiş 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında ($P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$) elde edilmiştir. Ağ yapısı, girdi tabakasında 9 girdi hücresinden, gizli tabaka 10 hücreden ve çıktı tabakası 1 hücreden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,12 alınarak 32 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS ve R^2 değerleri 0,718; test sonucunda ise NS değeri 0,487 ve R^2 değeri 0,489 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, YSA1'de olduğu gibi yağış değerlerinin bugünden 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında ($P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısını ise, girdi tabakasında 9 girdi hücresi, gizli tabakada 7 hücre ve çıktı tabakası 1 çıktı hücresi oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,09 alınarak 30 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS ve R^2 değerleri 0,759; test sonucunda ise NS değeri 0,493 ve R^2 değeri 0,529 olarak hesaplanmıştır.

Demirci althavzası için ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.48'de verilmektedir. Tablo 5.48 incelendiğinde Tablo 5.47'de verilen sonuçlara göre YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin performans kriterlerinde iyileşmenin az olduğu görülmektedir. YSA1 akım modelinde en iyi sonuçlar, yağışın sıcaklığın 7 günlük geçmiş değerleri girdi olarak dikkate alınması halinde ($T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren ağ yapısında, girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 8 hücre ve çıktı tabakası 1 hücreden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi öğrenme oranını (μ) 0,55 alınarak 20 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir. Ağın eğitimi sonucunda, NS değeri 0,747 ve R^2 değeri 0,751; test sonucunda ise NS değeri 0,522 ve R^2 değeri 0,557 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, yağış ve evapotranspirasyon değerlerinin geçmiş 7 gün öncesine ait değerleriyle ($PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısında ise, girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli

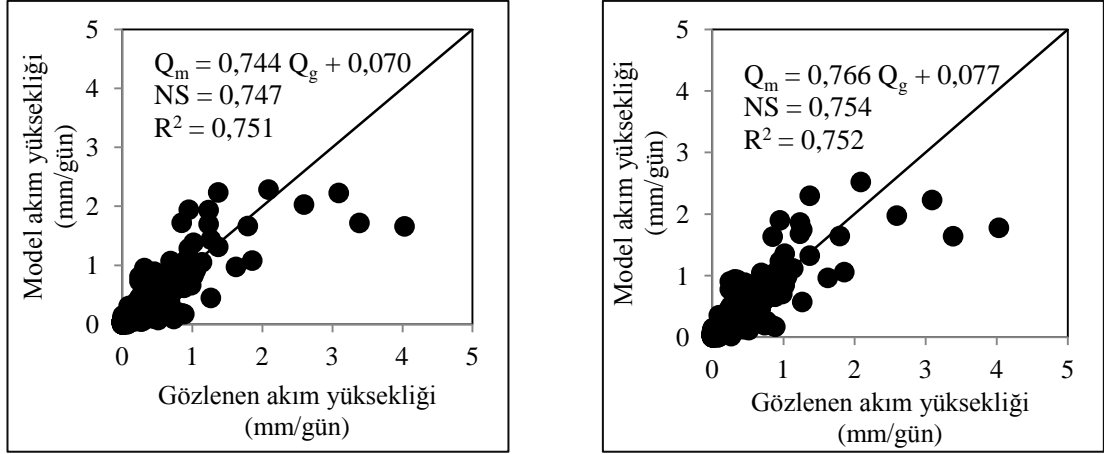
tabakada 4 hücre ve çıktı tabakasında 1 hücreden oluşturmaktadır. Bu ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,65 alınarak 18 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir. Ağın eğitimi sonucunda hesaplanan NS ve R^2 değerleri 0,638; test sonucunda ise NS değeri 0,539 ve R^2 değeri 0,566 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.48 Demirci althavzasında ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri

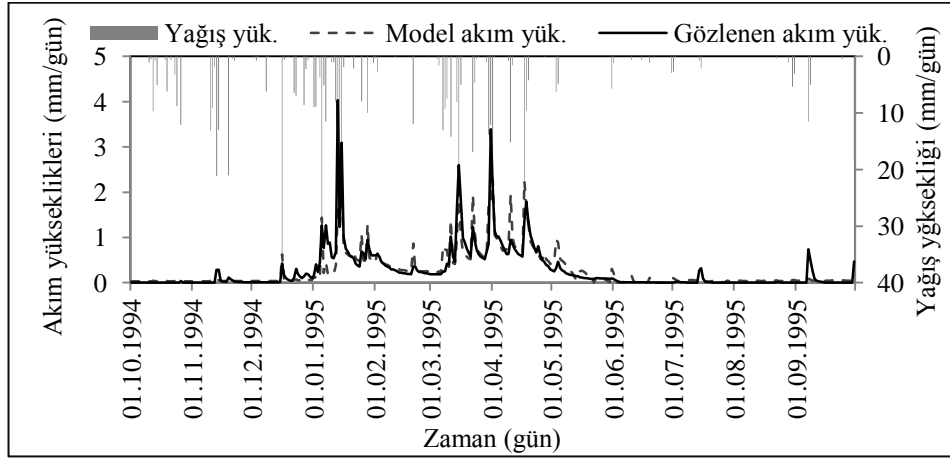
YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
YSA1	$T_t, P_{t-7;t}$	9-10-1	0,718	0,718	0,487	0,489
	$T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	10-4-1	0,722	0,722	0,490	0,496
	$T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	11-7-1	0,728	0,729	0,504	0,509
	$T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	12-8-1	0,734	0,737	0,498	0,511
	$T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	13- 3-1	0,739	0,745	0,509	0,524
	$T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	14-7-1	0,752	0,755	0,512	0,547
	$T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	15-2-1	0,748	0,758	0,518	0,542
	$T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	16-8-1	0,747	0,751	0,522	0,557
YSA2	$PE_t, P_{t-7;t}$	9-7-1	0,759	0,759	0,493	0,529
	$PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	10-6-1	0,748	0,752	0,498	0,534
	$PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	11- 6-1	0,736	0,739	0,500	0,547
	$PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	12-7-1	0,741	0,749	0,507	0,532
	$PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	13-6-1	0,755	0,762	0,511	0,525
	$PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	14- 4-1	0,743	0,743	0,517	0,537
	$PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	15-5- 1	0,750	0,753	0,522	0,544
	$PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	16-4-1	0,754	0,752	0,539	0,566

$$P_{t-7;t}=P_{t7}, P_{t6}, P_{t5}, P_{t4}, P_{t3}, P_{t2}, P_{t1}, P_t,$$

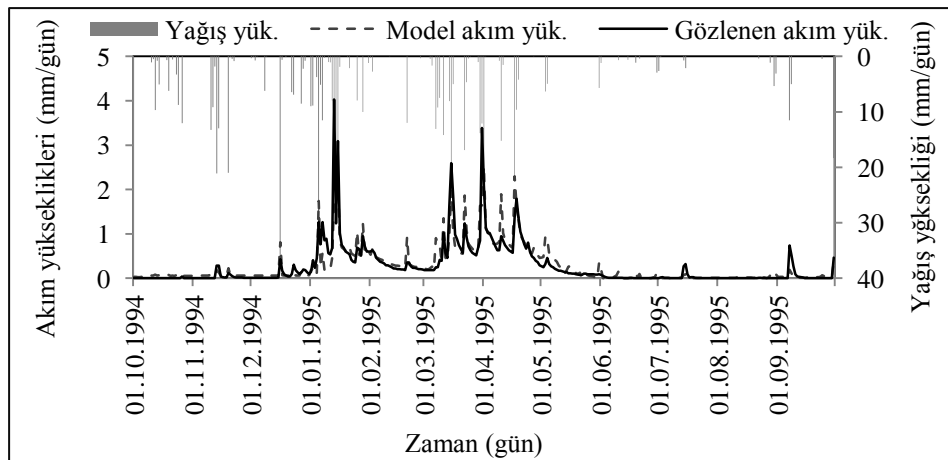
Şekil 5.70'te Demirci althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı ve Şekil 5.71 ve Şekil 5.72'te ise akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri verilmektedir.



Şekil 5.70 Demirci althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

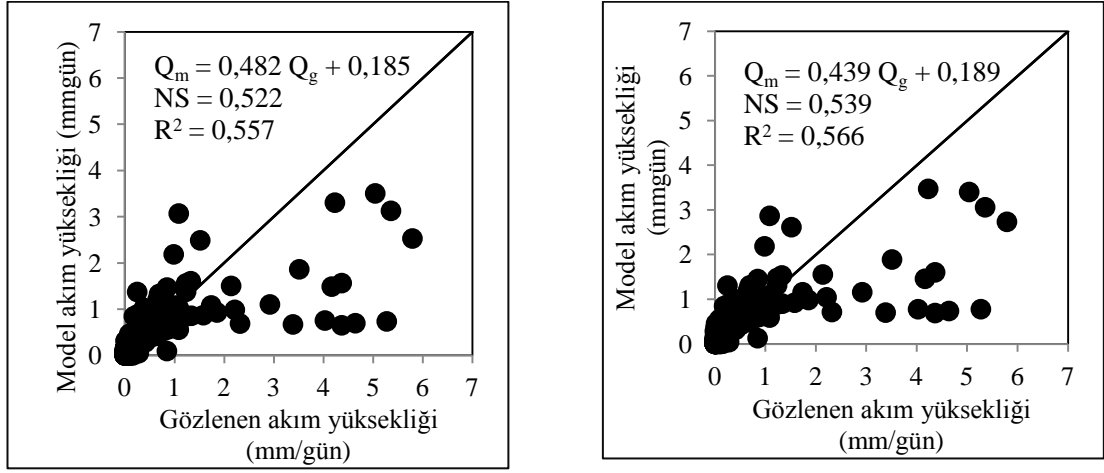


Şekil 5.71 Demirci althavzasında kurulan YSA1 modelinin eğitimi ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

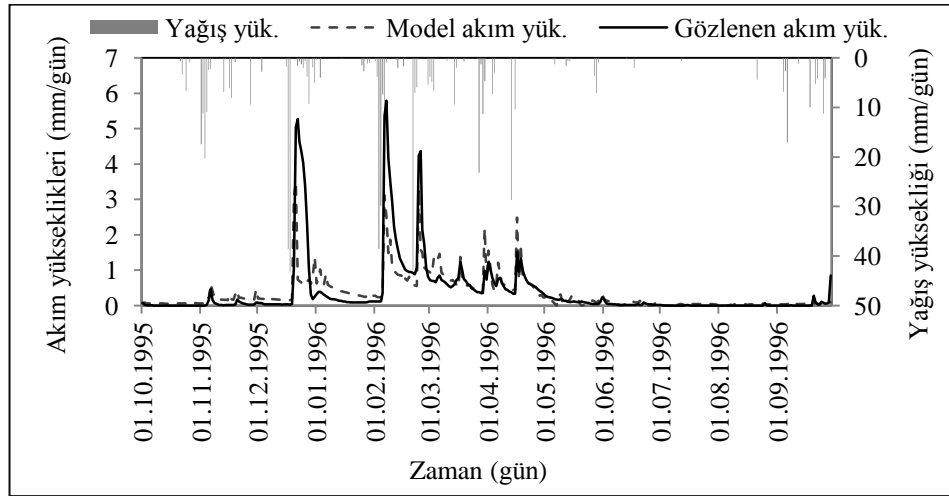


Şekil 5.72 Demirci althavzasında kurulan YSA2 modelinin eğitimi ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri.

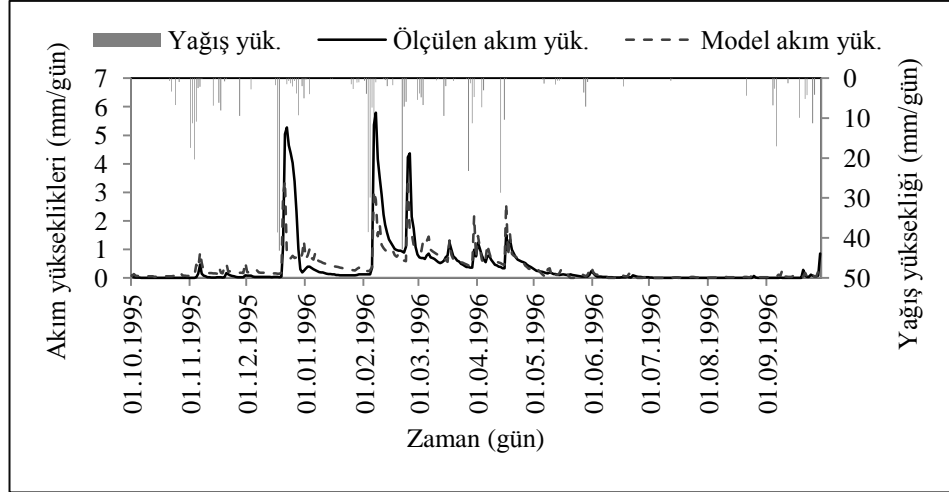
Demirci althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 ağlarının testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 73'te, gidiş grafikleri ise Şekil 5.74 ve Şekil 5.75'te verilmektedir.



Şekil 5.73 Demirci althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin testleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.74 Demirci althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 modelinin testi ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.75 Demirci althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin testi ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Demirci althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitim ve test sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve performans kriterleri Tablo 5.49'da özetlenmektedir.

Tablo 5.49 Demirci althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve test sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim			Test		
	Gözlenen	YSA1	YSA2	Gözlenen	YSA1	YSA2
Ortalama (mm/gün)	0,266	0,268	0,280	0,384	0,349	0,352
Standart Sapma (mm/gün)	0,476	0,410	0,421	0,874	0,502	0,510
Çarpıklık	3,757	2,518	2,418	3,978	3,159	2,976
NS		0,747	0,754		0,522	0,534
R ²		0,751	0,752		0,557	0,566
KH		20,867	20,616		132,070	128,988
OKHK		0,239	0,238		0,602	0,595

5.2.5.3 Demirci althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinde, GR4J kavramsal model ile hesaplanan net yağış yüksekliği (P_n), net evapotranspirasyon yüksekliği (E_n), net yağıştan biriktirme elemanına giden yağış yüksekliği (P_s) ve biriktirme elemanından sızan akım yüksekliği (P_{erc}) YSA'nın girdi verilerini oluşturmaktadır. P_n , E_n , P_s , P_{erc} değerleri ile kurulan YSA'larında eğitime algoritması olarak Levenberg–Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve veriler Denklem 4.1 ile [0,1-0,9] arasında standardize edilmiştir. Kurulan ağlarda girdi değerleri “t” günden başlayarak her bir ağda birer gün geriye gidilerek denenmiştir. Bu denemeler sırasında girdilerin 3 günden daha fazla geriye götürülmesinin ağ performanslarını arttırmadığı görülmüştür. Kurulan tüm ağlarda gizli tabakasındaki hücre sayısı 1’den başlatılıp 10 hücreye kadar denenerek en iyi ağ yapısı araştırılmıştır. Girdilere göre bulunan en iyi ağ yapıları ve bu ağlardan hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS ve R^2 değerleri Tablo 5.50’de özetlenmektedir.

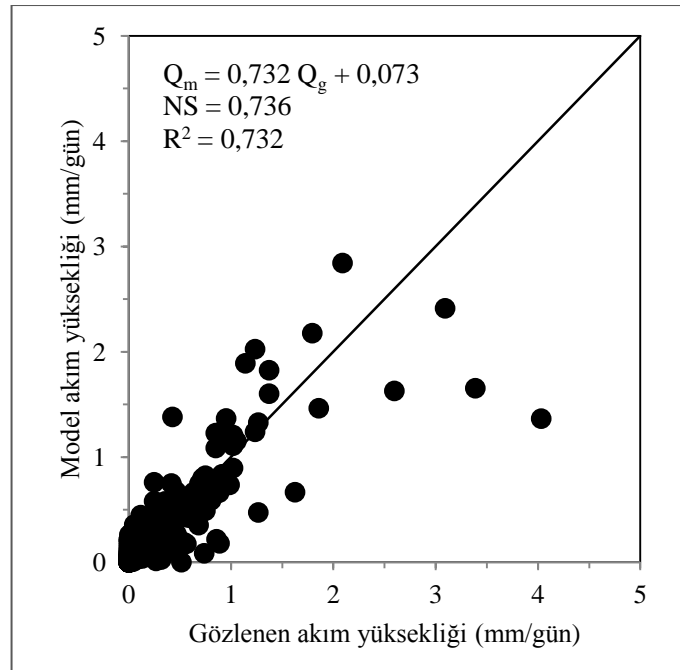
Tablo 5.50 Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre akım modellerinin girdileri, ağ yapıları ve model performans kriterleri

Model	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
GR4J YSA	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_t$	4-2-1	0,710	0,706	0,558	0,594
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-1} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_t$	8-7-1	0,740	0,736	0,668	0,673
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-2} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-1}$	12-8-1	0,768	0,765	0,665	0,692
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_t$					
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-3} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-2}$ $(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-1} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_t$	16-3-1	0,736	0,732	0,703	0,758

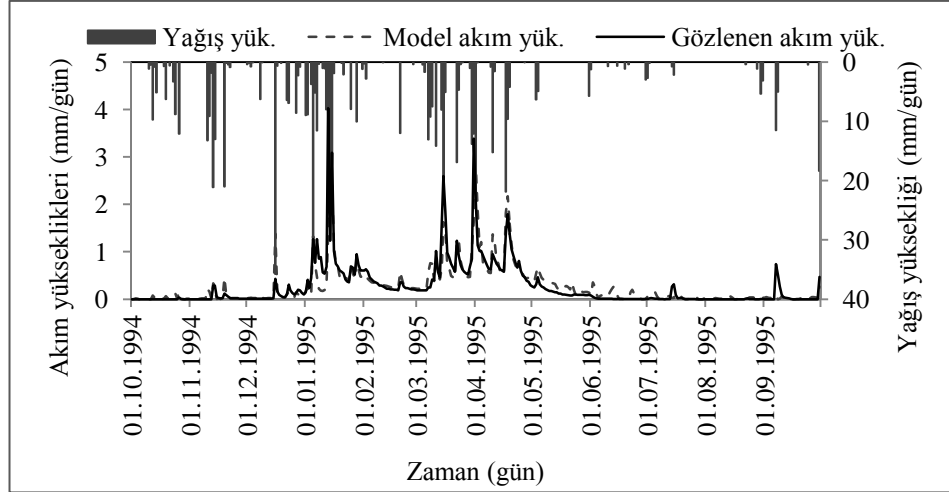
GR4J-YSA entegre akım modeli ile Demirci althavzası günlük akımlarının modellenmesinde en iyi sonuçlar, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s ve P_{erc} girdileriyle elde edilmiştir. En iyi model performansı veren ağın girdi tabakasında 16 hücre, gizli tabakasında 3 hücre ve çıktı tabakasından 1 hücre bulunmaktadır. Ağın eğitimi, 25

iterasyon ile öğrenme oranı (μ) 0,7 alınarak gerçekleştirilmiştir. Ağın eğitiminden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasında NS değeri 0,732, R^2 değeri 0,736; test sonucunda ise NS değeri 0,703 ve R^2 değeri 0,758 olarak hesaplanmıştır.

Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre akım modelinin eğitiminde hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.76'da, akımların gidiş grafikleri Şekil 5.77'de verilmektedir.

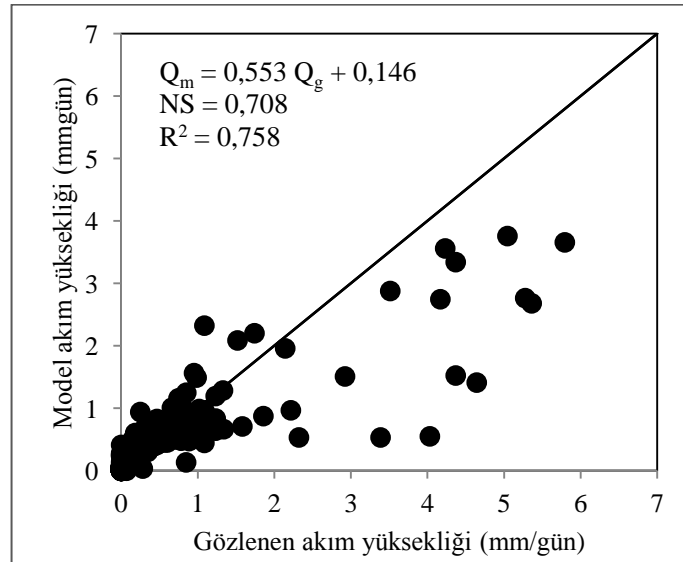


Şekil 5.76 Demirci althavzasında kurulan GR4J –YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

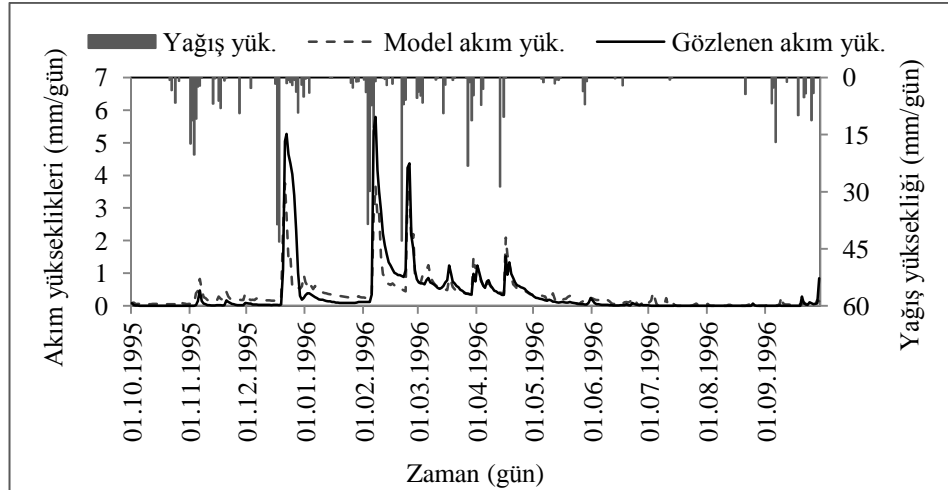


Şekil 5.77 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin test aşamasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.78’de, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.79’da verilmektedir.



Şekil 5.78 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.79 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.51’de özetlenmektedir.

Tablo 5.51 Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J -YSA	Gözlenen	GR4J -YSA
Ortalama (mm/gün)	0,266	0,267	0,384	0,358
Standart Sapma (mm/gün)	0,476	0,407	0,874	0,555
Çarpıklık	3,757	2,782	3,978	3,601
NS	0,736		0,703	
R ²	0,732		0,758	
KH	22,125		83,066	
OKHK	0,246		0,477	

Tablo 5.51’den Demirci althavzası için kurulan GR4J-YSA entegre model sonuçlarının GR4J model sonuçlarına benzer olduğu görülmektedir.

5.3.5.4 Demirci althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

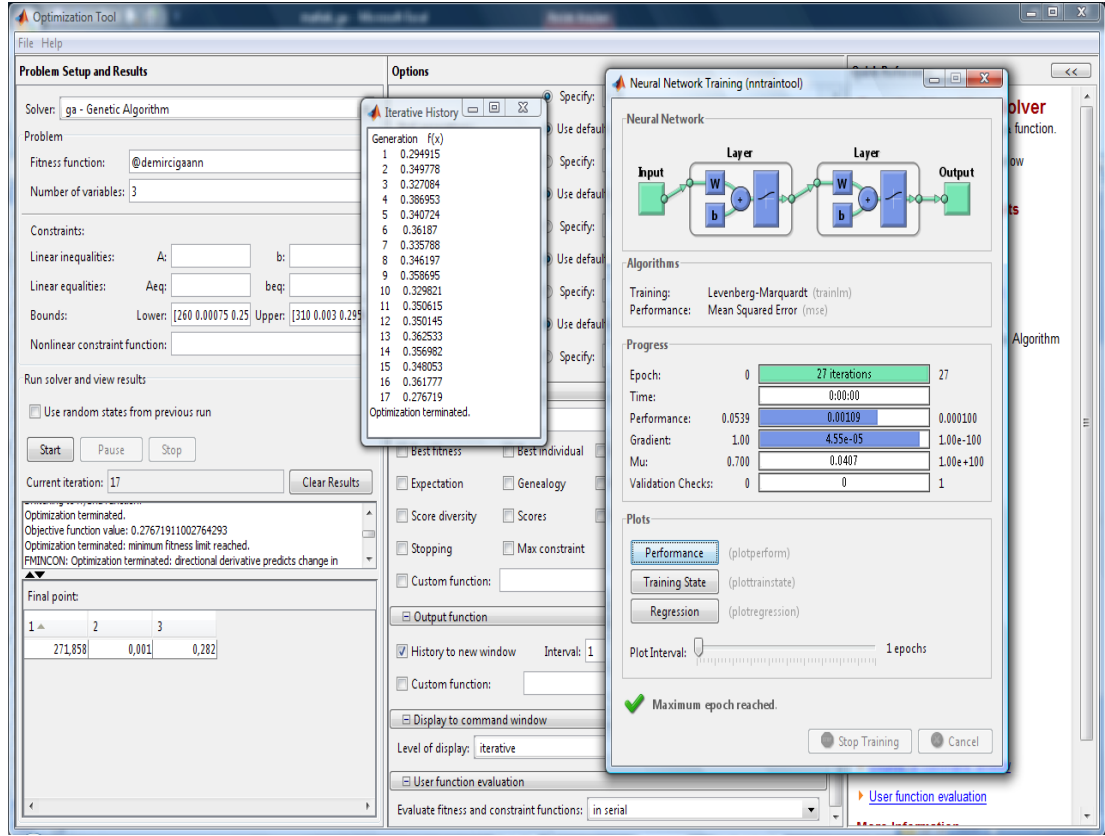
GR4J-YSA modeline genetik algoritmaların entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde, kalibre edilmesi gereken parametreler, GR4J modelinin biriktirme elemanı depolaması (X_1 , mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Demirci althavzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 281,57 mm, a parametresi 0,003 ve b parametresi 0,2852 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 260 mm, üst sınırı 310 mm, a parametresinin alt sınırı 0,00075 üst sınırı 0,003 ve b parametresinin alt sınırı 0,25 üst sınırı 0,295 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi, sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 25 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,4 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde ise mutasyon oranı 0,1 olarak alınmıştır.

GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s , Perc parametreleri kullanılarak elde edilmiştir. YSA operatöründe ağırlık eğitimi, gizli tabakasında 4 hücre, öğrenme oranı 0,7 alınarak 27 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelinin 17 jenerasyon sonucunda bulunan parametreleri değerleri Tablo 5.52’de ve Şekil 5.80’de sunulmaktadır.

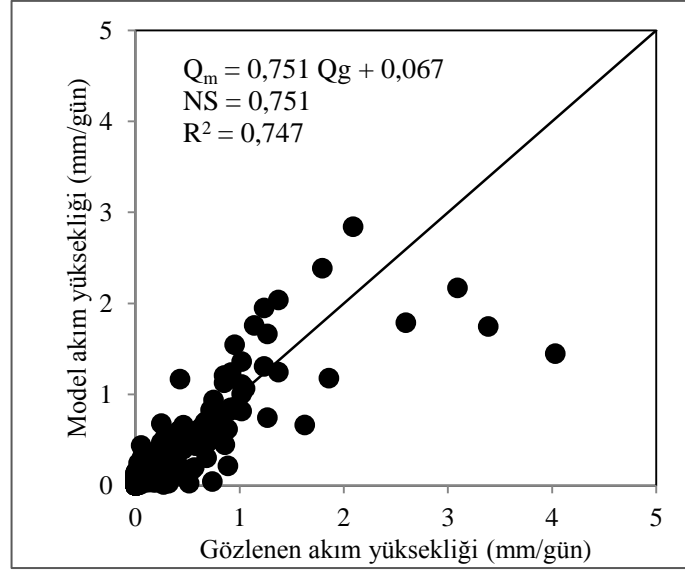
Tablo 5.52 Demirci althavzasında kurulan GR4J- YSA-GA modeli parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
271,858	0,001	0,282

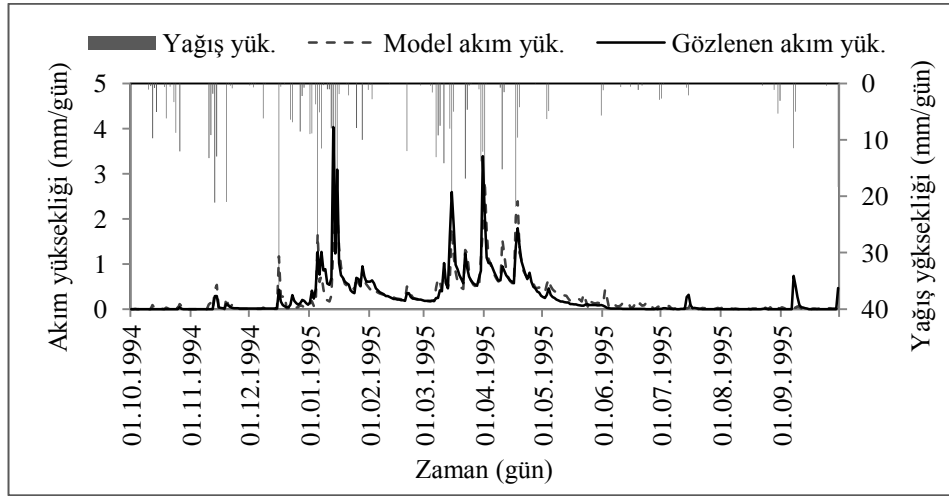


Şekil 5.80 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modeli parametre değerleri

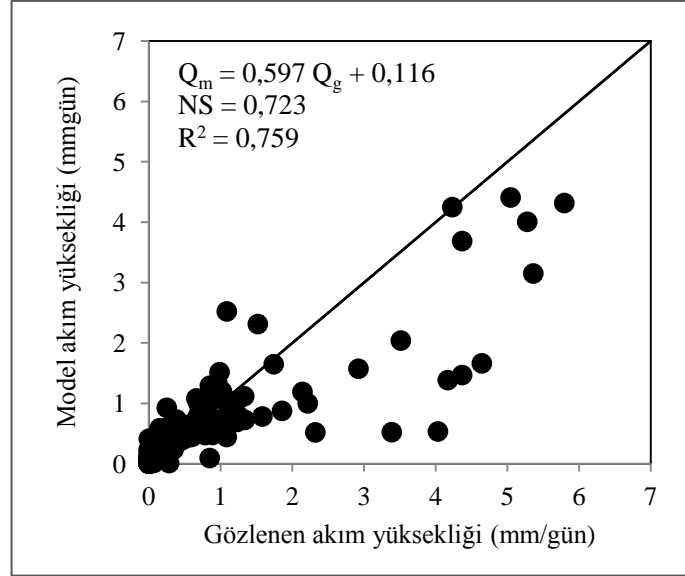
Entegre modelin kalibrasyonunda bulunan akım yükseklikleri ile ölçülen akım yükseklikleri arasında NS değeri 0,751 ve R^2 değeri 0,747; verifikasyonunda ise NS değeri 0,723 ve R^2 değeri 0,759 olarak hesaplanmıştır. Modelin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.81 ve Şekil 5.83'te ve akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.82 ve Şekil 5.84'te sunulmaktadır.



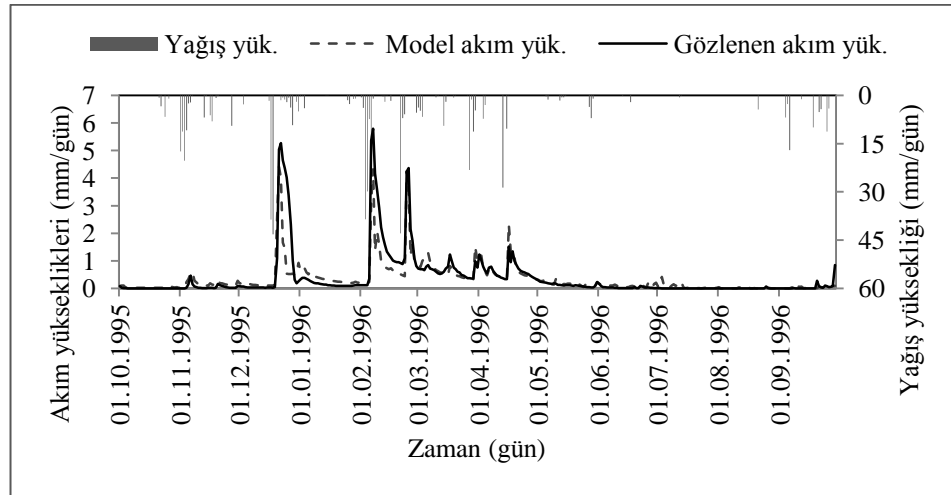
Şekil 5.81 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.82 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.83 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.84 Demirci althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Demirci althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde bulunan akım yüksekliklerinin ve gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ile model performans kriterleri Tablo 5.53'te özetlenmektedir.

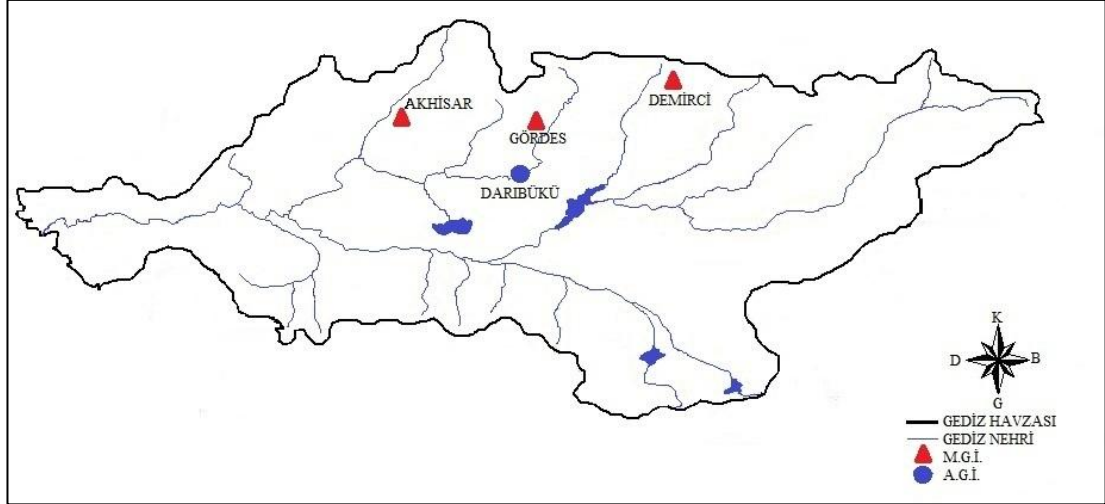
Tablo 5.53 Demirci althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J-YSA-GA modelinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait temel istatistikler ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J-YSA GA	Gözlenen	GR4J-YSA GA
Ortalama (mm/gün)	0,266	0,267	0,384	0,345
Standart Sapma (mm/gün)	0,476	0,414	0,874	0,599
Çarpıklık	3,757	2,724	3,978	4,286
NS	0,751		0,723	
R ²	0,747		0,759	
KH	20,851		77,418	
OKHK	0,239		0,461	

Tablo 5.53'ten Demirci althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan GR4J-YSA-GA entegre modelinin hem kalibrasyon hem de verifikasyon dönemlerindeki model sonuçlarının GR4J ve GR4J-YSA entegre model sonuçların benzer olduğu görülmektedir.

5.2.6 Gördes Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi

Gördes althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Darıbüğü (EİE 527) AGİ'nda gözlenen akımlar kullanılmıştır. Günlük akımların modellenmesi çalışmalarında model parametrelerinin kalibrasyonunda 1995 su yılı ve verifikasyonunda ise 1996 su yılı kullanılmıştır. Modellerde kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Gördes, Demirci ve Akhisar MGİ'larındaki rasatlar kullanılarak hesaplanmıştır. Gördes althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Darıbüğü (EİE 527) AGİ ile Gördes (4930), Demirci (17746) ve Akhisar (17184) MGİ'ları Şekil 5.85'te gösterilmektedir.



Şekil 5.85 Gördes althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Darıbüğü (527) AGİ ile Gördes (4930), Demirci (17746) ve Akhisar (17184) MGİ'leri

Gördes althavzasının alansal yağış değerleri Thiessen Methodu ile hesaplanmıştır. Demirci, Gördes ve Akhisar MGİ arasında çizilen Thiessen çokgenleri ile istasyonların althavzayı ne oranda temsil ettikleri hesaplanıp, alansal yağış değerleri elde edilmiştir. Meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları Tablo 5.54'te verilmektedir.

Tablo 5.54 Gördes althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan meteoroloji istasyonlarının Thiessen temsil oranları

	Meteoroloji gözlem istasyonları		
	Gördes (4930)	Demirci (17746)	Akhisar (17184)
Thiessen oranı (%)	88,00	8,00	4,00

Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yükseklikleri (mm/yıl) Tablo 5.55'te verilmektedir.

Tablo 5.55 Gördes althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)

Dönem	Su yılı	Yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)
Kalibrasyon	1995	643,2
Verifikasyon	1996	605,7

Günlük akımların modellenmesinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Demirci, Gördes ve Akhihar meteoroloji istasyonlarında gözlenen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Tablo 5.56'da verilmektedir.

Tablo 5.56 Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama sıcaklıklar

Dönem	Su yılı	Alansal ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}/\text{gün}$)
Kalibrasyon	1995	14,5
Verifikasyon	1996	13,5

Tablo 5.57'de, Gördes althavzasında modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük akım yüksekliklerinin ortalaması verilmektedir.

Tablo 5.57 Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama akım yükseklikleri (mm/gün).

Dönem	Su yılı	Günlük ortalama akım yüksekliği (mm/gün)
Kalibrasyon	1995	0,204
Verifikasyon	1996	0,237

5.2.6.1 Gördes althavzası günlük akımlarının GR4J günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

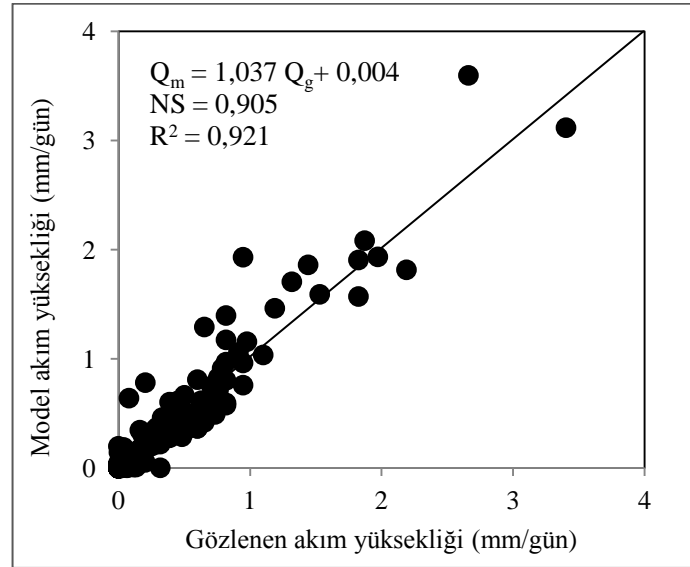
Gördes althavzasının günlük akımları, GR4J günlük yağış akış modeli kullanılarak modellenmiştir. GR4J modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri, alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Model kalibrasyonunun başlangıcında, Gördes Çayı'nda akım gözlenmediği için modelin biriktirme elemanında mevcut bir depolama olmadığı kabul edilmiştir. 1995 su yılı kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda, GR4J modeline ait X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Tablo 5.58'de verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda performans uygunluk gösterleri olan NS değeri 0,905 ve R^2 değeri ise 0,921 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.58 Gördes althavzasında kurulan GR4J günlük akım modelinin kalibrasyonunda bulunan model parametreleri

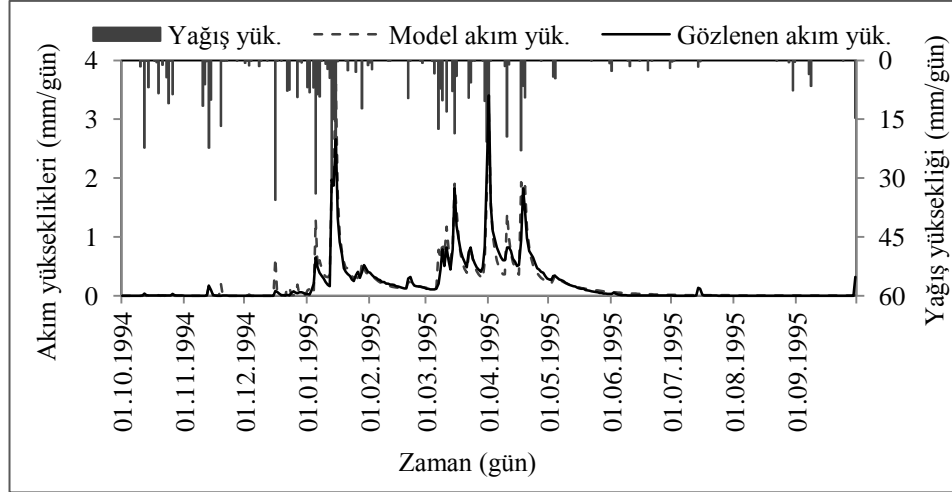
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
314,75	-20,29	74,64	0,50	0,0120	0,2413

Kalibrasyon sonunda, GRJ4 modeli biriktirme elemanının depolama kapasitesi (X_1) 314,75 mm olarak bulunmuştur. Yeraltısuyu değişimi (X_2) -20,29 mm olarak bulunmuş, bu da öteleme elemanının ve Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 74,64 mm ve öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliği (X_4) 0,50 gün olarak bulunmuştur. Modelin alansal potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinden a değeri 0,012 ve b değeri ise 0,2413 olarak hesaplanmıştır.

GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.86'da, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleride Şekil 5.87'de sunulmaktadır.

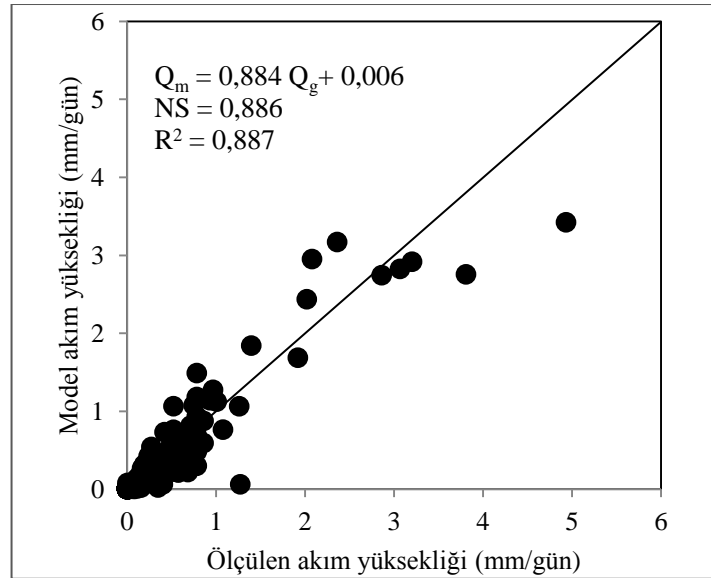


Şekil 5.86 Gördes althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

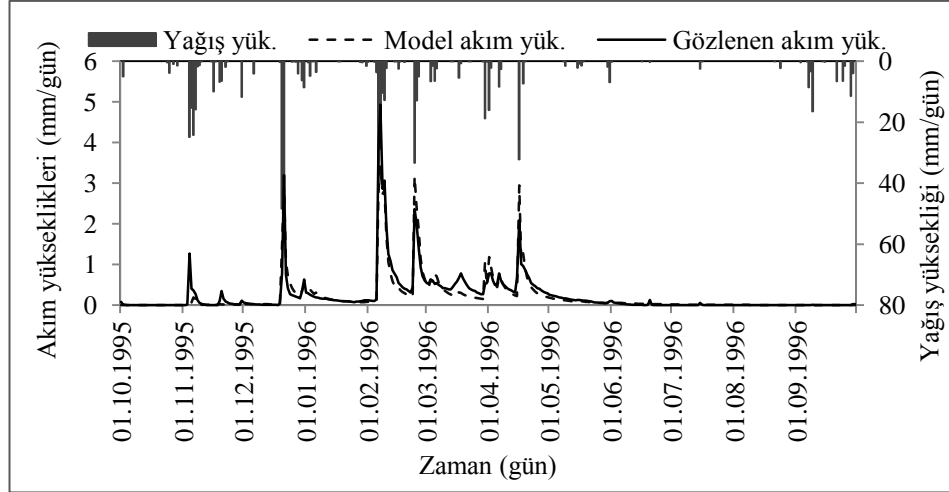


Şekil 5.87 Gördes althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

1996 su yılı ile gerçekleştirilen model verifikasyonu sonucunda, gözlenen akım yükseklikleri ile model sonuçları arasındaki performans kriterlerinden NS değeri 0,886 ve R^2 değeri 0,887 olarak hesaplanmıştır. Model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.88'de, gidiş grafikleri ise Şekil 5.89'da sunulmaktadır.



Şekil 5.88 Gördes althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.89 Gördes althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Gördes althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyonu sonucunda hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.59'da özetlenmektedir.

Tablo 5.59 Gördes althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyon sürecinde hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J	Gözlenen	GR4J
Ortalama (mm/gün)	0,204	0,216	0,237	0,216
Standart Sapma (mm/gün)	0,399	0,432	0,515	0,483
Çarpıklık	3,717	3,806	5,016	4,296
NS	0,905		0,886	
R ²	0,921		0,887	
KH	5,512		11,074	
OKHK	0,087		0,123	

5.2.6.2 Gördes althavzası günlük akımlarının YSA tabanlı günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

Yapay sinir ağları ile kurulan Gördes althavzası günlük yağış akış modellerinde girdi tabakaları yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyondan ve çıktı tabakası model akım yüksekliğinden oluşmaktadır. Girdi tabakasının yapısına göre temelde 2 farklı yapay sinir ağı günlük akış modeli geliştirilmiştir. Bunlardan birincisinde (YSA1), girdi tabakası yağış ve sıcaklık verilerinden, ikincisinde (YSA2), girdi tabakası yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerinden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ile kurulan akım modellerinde geçmiş yağış, geçmiş sıcaklık ve geçmiş potansiyel evapotranspirasyonun etkilerini modele dahil etmek için akım modelleri iki adımda geliştirilmiştir. İlk adımda, YSA1 ve YSA2 modellerinde yağışın geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi, ikinci adımda ise YSA1 modelinde sıcaklığın, YSA2 modelinde ise potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi kurulan modellere dahil edilmiştir.

Gördes althavzası günlük akımları için ilk adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.60'ta özetlenmektedir. Tablo 5.60 incelendiğinde, sıcaklık ve yağış verileri ile kurulan YSA1 akım modelinde, en iyi sonuçlar yağışın geçmiş 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t , T_t) elde edilmiştir. Bu ağ yapısı, girdi tabakasında 9 girdi hücresi, gizli tabakada 6 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresinden oluşmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,15 alınarak, 25 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda hesaplanan performans kriterlerinden NS ve R^2 değerleri 0,563 ve test sonucunda ise NS ve R^2 değerleri 0,485 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, YSA1'de olduğu gibi yağış değerlerinin bugünden 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t , PE_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısı ise girdi tabakasında 9 girdi hücresi, gizli tabakada 7 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresinden oluşmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,10 alınarak 25 iterasyon

sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS değeri 0,599 ve R^2 değeri 0,603; testi sonucunda ise NS değeri 0,503 ve R^2 değeri 0,505 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.60 Gördes althavzası günlük akımları için ilk adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
YSA1	P_t, T_t	2-8-1	0,510	0,510	0,356	0,356
	P_{t-1}, P_t, T_t	3- 5-1	0,518	0,518	0,384	0,984
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	4-10-1	0,525	0,525	0,403	0,403
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	5-10-1	0,519	0,522	0,411	0,411
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	6-10-1	0,536	0,536	0,426	0,427
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	7-7-1	0,549	0,550	0,436	0,436
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	8-10-1	0,556	0,556	0,468	0,469
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	9-6-1	0,563	0,563	0,485	0,485
YSA2	P_t, PE_t	2-8-1	0,526	0,526	0,372	0,372
	P_{t-1}, P_t, PE_t	3-7-1	0,535	0,535	0,398	0,403
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	4-9-1	0,548	0,548	0,417	0,417
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	5-10-1	0,560	0,560	0,438	0,438
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	6-8-1	0,555	0,559	0,446	0,449
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	7-8-1	0,568	0,572	0,485	0,488
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	8-10-1	0,582	0,586	0,498	0,503
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	9-7-1	0,599	0,603	0,503	0,505

Gördes althavzası günlük akımları için ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.61’de özetlenmektedir. Tablo 5.61 incelendiğinde Tablo 5.60’ta verilen sonuçlara göre, YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin performans kriterlerinde iyileşmenin az olduğu görülmektedir. YSA1 akım modelinde en iyi sonuçlar, yağış ve sıcaklık değerlerinin 7 günlük geçmiş değerlerinin girdi olarak dikkate alınması halinde ($T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$) elde edilmiştir. Ağ yapısı, girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 9 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresinden oluşmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,08 alınarak 20 iterasyon

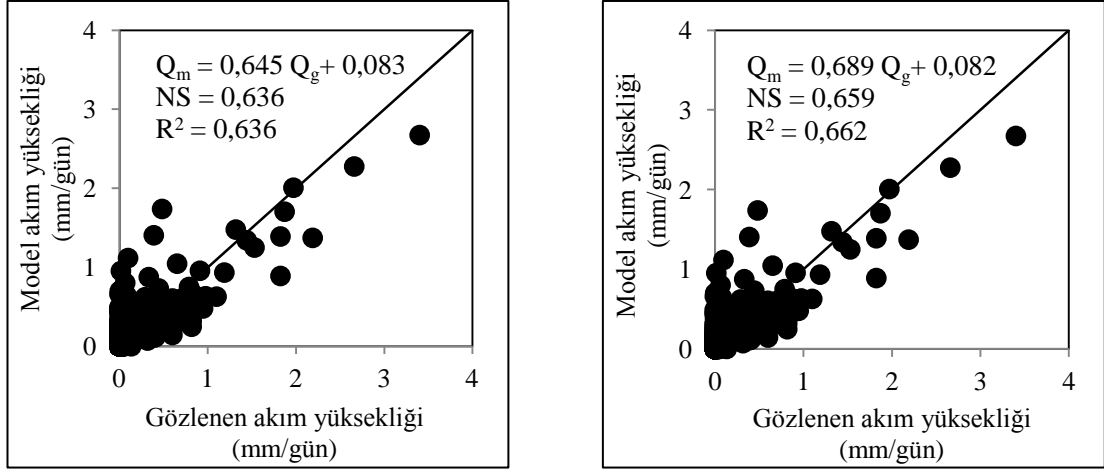
sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS ve R^2 değerleri 0,636; testi sonucunda ise NS değeri 0,528 ve R^2 değeri 0,531 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, yağış ve evapotranspirasyon değerlerinin 7 gün öncesine giden değerleri dikkate alındığında (PE_{t-7} , PE_{t-6} , PE_{t-5} , PE_{t-4} , PE_{t-3} , PE_{t-2} , PE_{t-1} , P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısı ise, girdi tabakasında 16 girdi hücresi, gizli tabakada 3 hücre ve çıktı tabakasında 1 çıktı hücresinden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,10 alınarak 20 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS değeri 0,659 ve R^2 değeri 0,662; test sonucunda ise NS değeri 0,553 ve R^2 değeri 0,558 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.61 Gördes althavzası günlük akımları için ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performansları

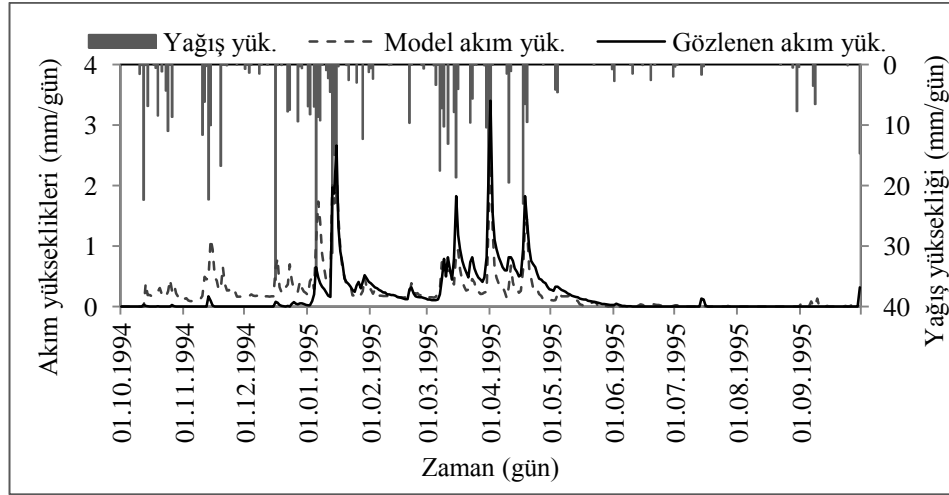
YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
YSA1	$T_t, P_{t-7;t}$	9-6-1	0,563	0,563	0,485	0,485
	$T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	10-8-1	0,575	0,575	0,498	0,498
	$T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	11-7-1	0,582	0,582	0,506	0,506
	$T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	12-10-1	0,598	0,599	0,501	0,501
	$T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	13-8-1	0,612	0,612	0,511	0,511
	$T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	14-9-1	0,623	0,625	0,516	0,518
	$T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	15-6-1	0,632	0,632	0,527	0,527
	$T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7;t}$	16-9-1	0,636	0,636	0,531	0,528
YSA2	$PE_t, P_{t-7;t}$	9-7-1	0,599	0,603	0,503	0,505
	$PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	10-8-1	0,628	0,630	0,507	0,507
	$PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	11-6-1	0,621	0,621	0,515	0,516
	$PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	12-10-1	0,639	0,640	0,522	0,525
	$PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	13-10-1	0,645	0,646	0,530	0,533
	$PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	14-9-1	0,658	0,660	0,545	0,549
	$PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	15-5-1	0,665	0,670	0,548	0,552
	$PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7;t}$	16-8-1	0,659	0,662	0,553	0,558

$P_{t-7;t} = P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t$

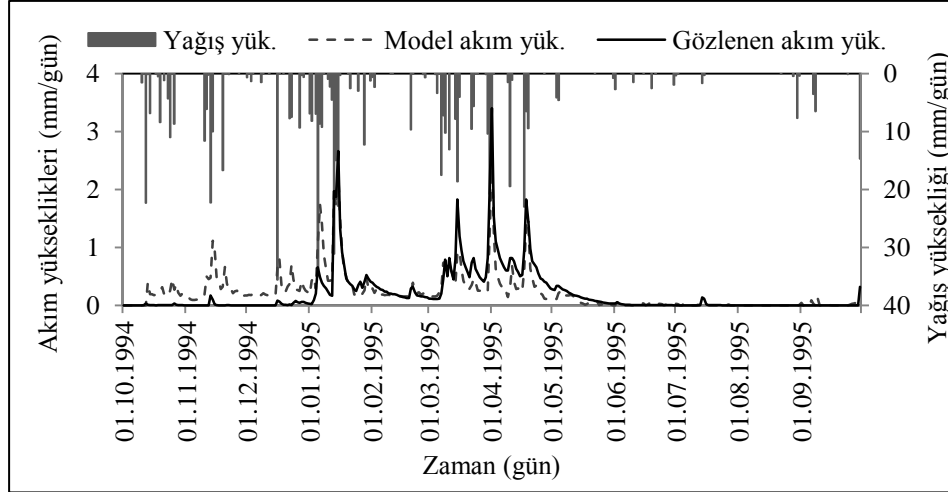
Gördes althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.90'da, gidiş grafikleri ise Şekil 5.91 ve Şekil 5.92'de verilmektedir.



Şekil 5.90 Gördes althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

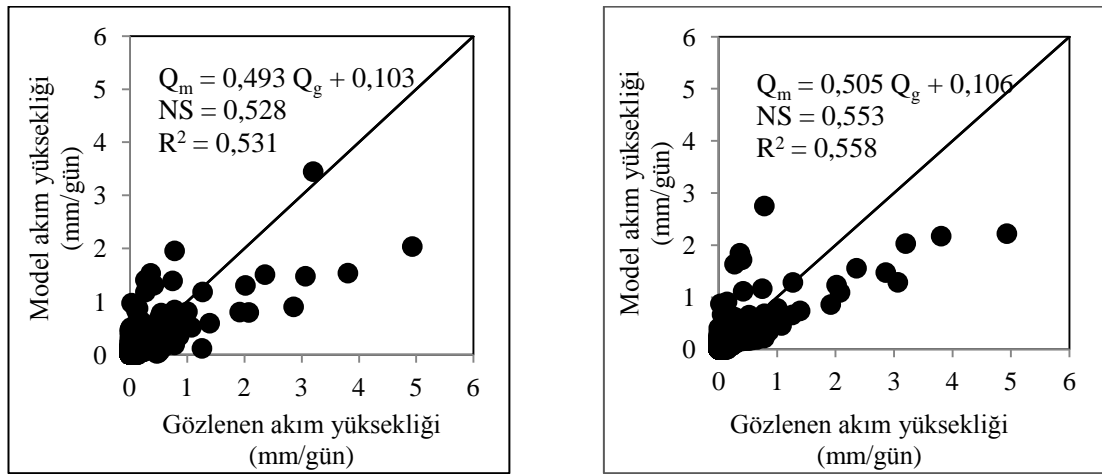


Şekil 5.91 Gördes althavzasında kurulan YSA1 modelinin eğitimi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

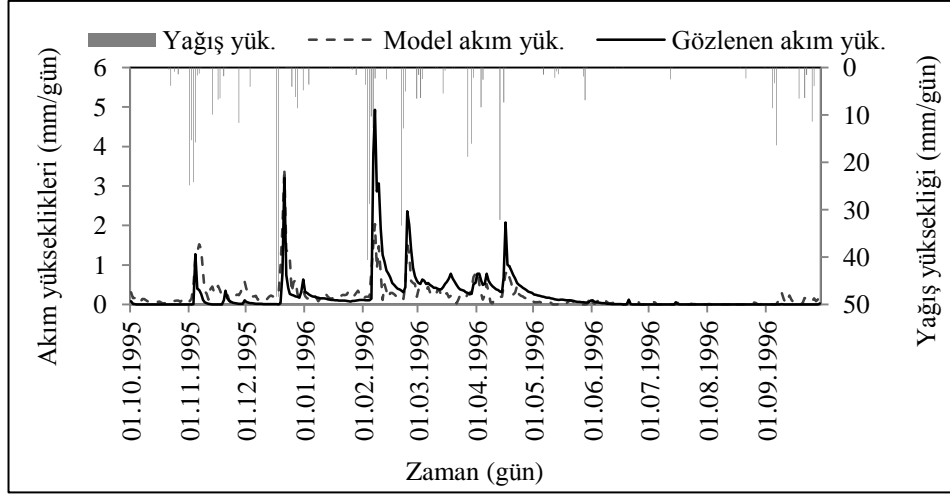


Şekil 5.92 Gördes althavzasında kurulan YSA2 modelinin eğitimi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

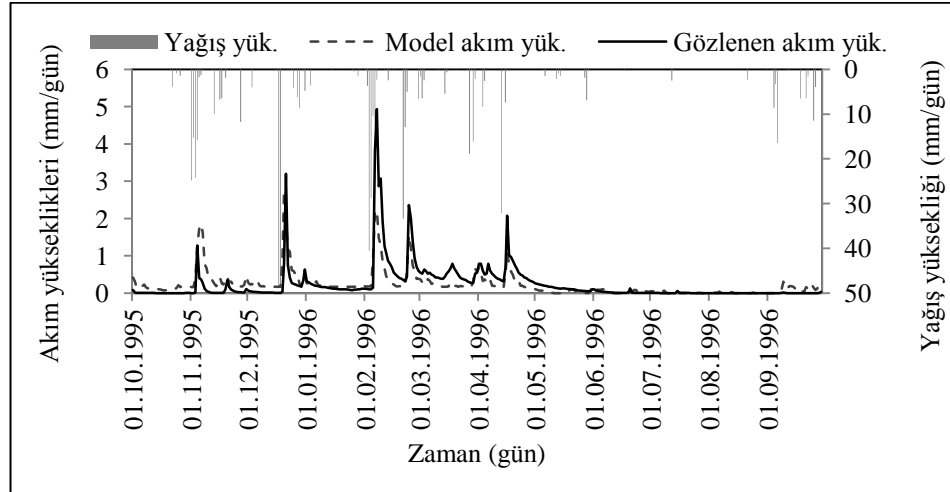
Gördes althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 ağlarının testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.93'te, gidiş grafikleri ise Şekil 5.94 ve Şekil 5.95'te verilmektedir.



Şekil 5.93 Gördes althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin testleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.94 Gördes althavzasında kurulan YSA1 modelinin testi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.95 Gördes althavzasında kurulan YSA2 modelinin testi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Gördes althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performans kriterleri Tablo 5.62'de özetlenmektedir.

Tablo 5.62 Gördes althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim			Test		
	Gözlenen	YSA1	YSA2	Gözlenen	YSA1	YSA2
Ortalama (mm/gün)	0,204	0,215	0,222	0,237	0,220	0,226
Standart Sapma (mm/gün)	0,400	0,323	0,338	0,515	0,349	0,349
Çarpıklık	3,717	3,174	3,436	5,010	4,179	3,786
NS		0,636	0,659		0,528	0,553
R ²		0,636	0,662		0,531	0,558
KH		21,219	19,848		45,699	43,297
OKHK		0,241	0,233		0,354	0,344

5.2.6.3 Gördes althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

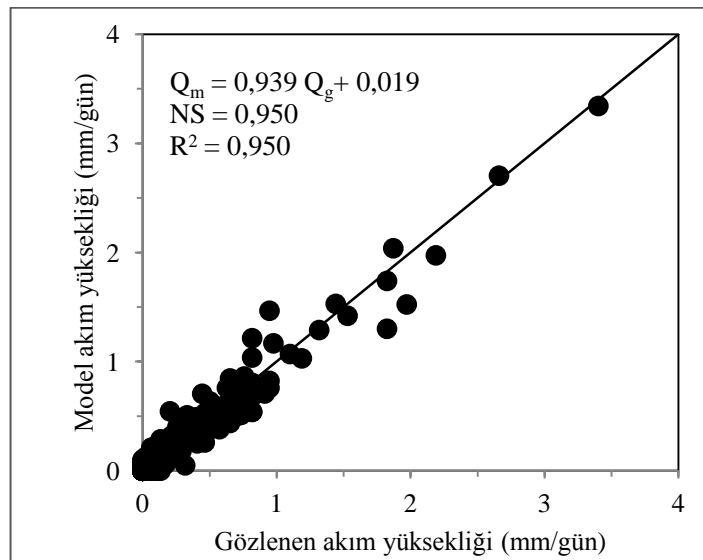
GR4J-YSA entegre günlük akım modelinde, GR4J kavramsal model ile hesaplanan net yağış yüksekliği (P_n), net evapotranspirasyon (E_n), net yağıştan biriktirme tabakasına giden yağış yüksekliği (P_s) ve biriktirme tabakasından sızan akım yüksekliği (P_{rc}), YSA'nın girdi verilerini oluşturmaktadır. P_n , E_n , P_s , P_{rc} değerleri ile kurulan YSA'larında eğitim algoritması olarak Levenberg–Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve veriler Denklem 4.18 ile [0,1-0,9] arasında standardize edilmiştir. Kurulan ağlarda girdi verileri “t” günden başlayarak her bir ağda birer gün geriye gidilerek denenmiştir. Bu denemeler sırasında girdilerin 3 günden daha fazla geriye götürülmesinin ağ performanslarını arttırmadığı görülmüştür. Kurulan tüm ağların gizli tabakadaki hücre sayısı 1'den başlatılıp 10 hücreye kadar denenerek en iyi ağ yapısı araştırılmıştır. Girdilere göre bulunan en iyi ağ yapıları ve bu ağlardan hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasında hesaplanan NS ve R² değerleri Tablo 5.63'te özetlenmektedir. Gördes althavzasının akımlarının modellenmesinde en iyi sonuçlar GR4J-YSA entegre akım modeline, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s ve P_{rc} girdileriyle elde edilmiştir. En iyi model performansı veren ağın girdi tabakasında 16 hücre, gizli tabakasında 8 hücre ve çıktı tabakasında model akım yüksekliğini oluşturan 1 hücre bulunmaktadır. Bu ağın eğitimi 14 iterasyon ile

öğrenme oranı (μ) 0,005 alınarak gerçekleştirilmiştir. Ağın eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki performans kriterlerinden NS ve R^2 değerleri 0,950 ve testi sonucunda ise NS değeri 0,910 ve R^2 değeri 0,913 olarak hesaplanmıştır.

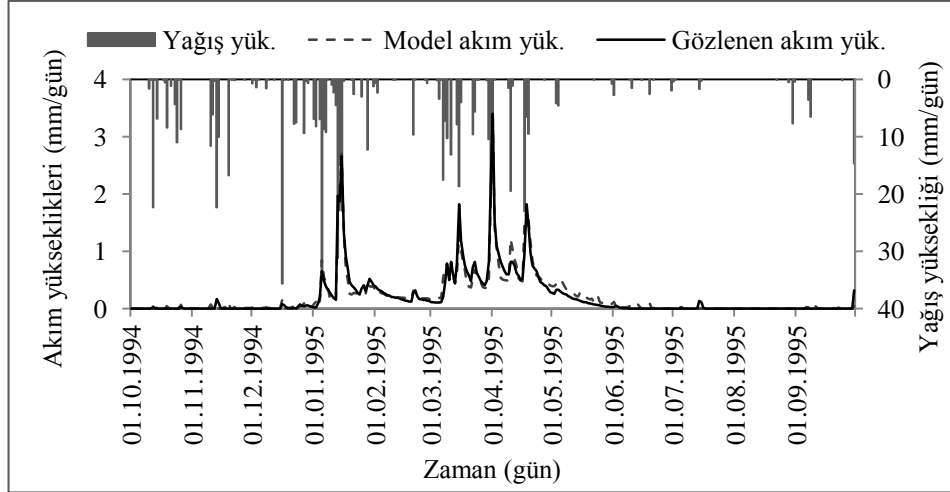
Tablo 5.63 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA günlük akım modellerinin girdileri, ağ yapıları ve model performansları

Model	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R^2	NS	R^2
GR4J YSA	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_t$	4-8-1	0,841	0,842	0,806	0,807
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-1} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_t$	8-10-1	0,943	0,943	0,870	0,871
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-2} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-1}$	12-7-1	0,948	0,948	0,903	0,908
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_t$					
	$(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-3} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-2}$ $(P_n - E_n - P_s - Perc)_{t-1} - (P_n - E_n - P_s - Perc)_t$	16-8-1	0,950	0,950	0,910	0,913

Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA günlük akım modelinin eğitiminde bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.96'da, gidiş eğrileri ise Şekil 5.97'de verilmektedir.

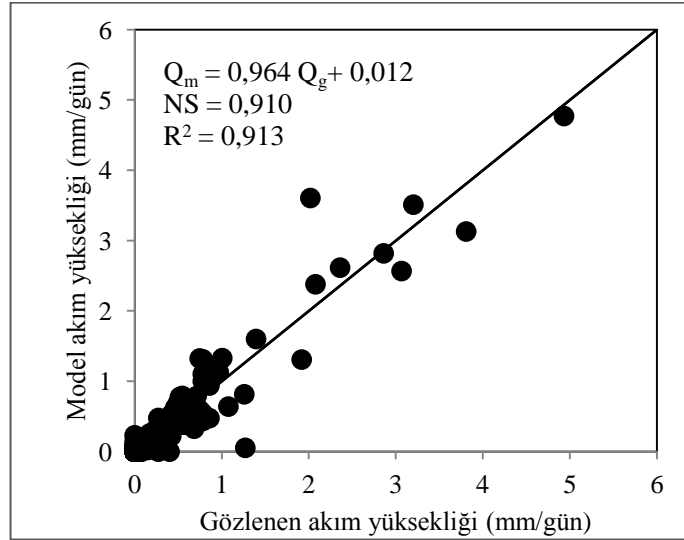


Şekil 5.96 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

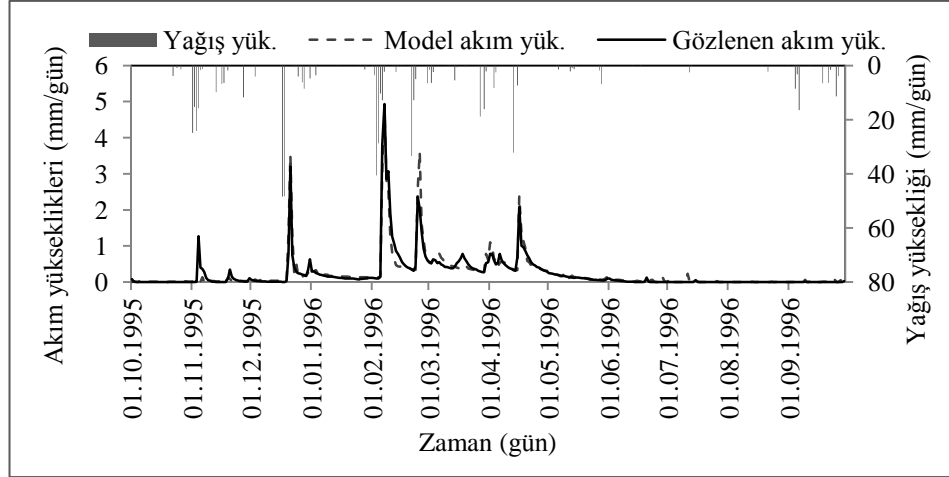


Şekil 5.97 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin test aşamasından bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.98’de, gidiş grafikleri ise Şekil 5.99’da verilmektedir.



Şekil 5.98 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.99 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Gördes althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.64'te özetlenmektedir.

Tablo 5.64 Gördes althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre modelin eğitim ve testinden hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J -YSA	Gözlenen	GR4J -YSA
Ortalama (mm/gün)	0,204	0,210	0,237	0,241
Standart Sapma (mm/gün)	0,400	0,385	0,515	0,520
Çarpıklık	3,717	3,761	5,010	4,964
NS	0,950		0,910	
R ²	0,950		0,913	
KH	2,911		8,750	
OKHK	0,089		0,155	

Tablo 5.64'te verilen model sonuçlarından, GR4J-YSA entegrasyonu ile Gördes althavzası günlük akımlarını sadece GR4J ve YSA tabanlı akım modellerinin sonuçlarına göre çok daha iyi modellediği görülmektedir.

5.2.6.4 Gördes althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

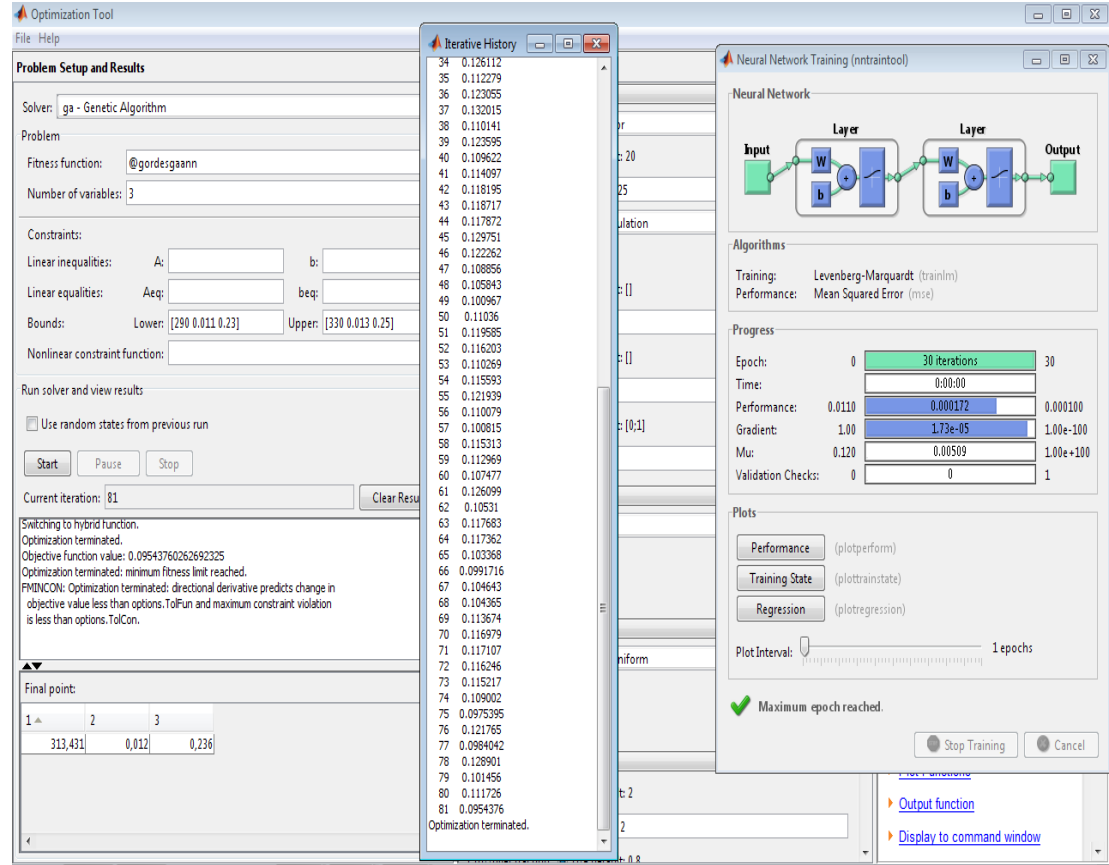
GR4J-YSA modeline genetik algoritmaların entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde, kalibre edilmesi gereken parametreler biriktirme elemanı depolaması (X_1 , mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Gördes althavzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 314,75 mm, a parametresi 0,0120 ve b parametresi 0,2413 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 290 mm, üst sınırı 330 mm, a parametresinin alt sınırı 0,011, üst sınırı 0,013 ve b parametresinin alt sınırı 0,23, üst sınırı 0,25 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi, sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 30 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,5 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde mutasyon olasılığı ise 0,1 olarak seçilmiştir.

GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s , ve Perc parametreleri kullanılarak elde edilmiştir. YSA operatöründe ağın eğitimi, gizli tabakasında 9 hücre kullanıldığında, öğrenme oranı 0,15 alınarak 30 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Gördes althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelinin 81 jenerasyon sonucunda bulunan parametreleri değerleri Tablo 5.65'de ve Şekil 5.100'de sunulmaktadır.

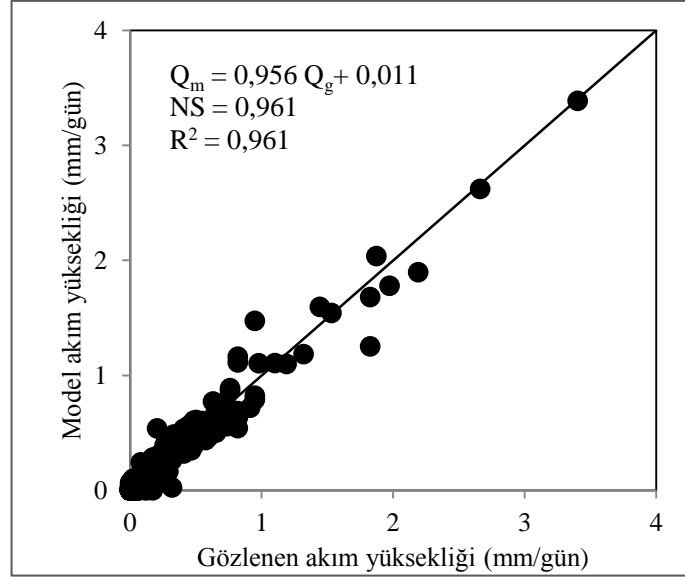
Tablo 5.65 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
313,431	0,012	0,236

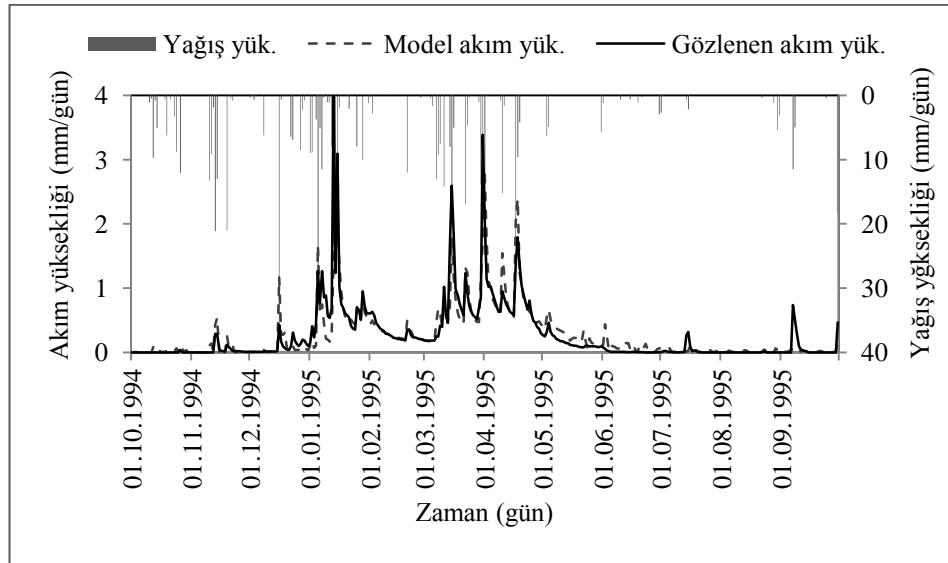


Şekil 5.100 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin parametre değerleri

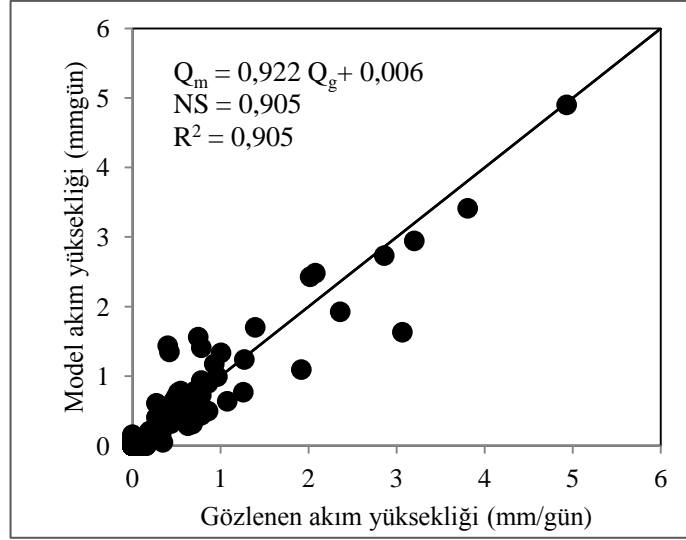
Modelin kalibrasyonunda hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasında NS ve R^2 değerleri 0,961; verifikasyonunda ise NS ve R^2 değerleri 0,905 olarak hesaplanmıştır. Modelin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.101 ve Şekil 5.103'te, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.102 ve Şekil 5.104'te sunulmaktadır.



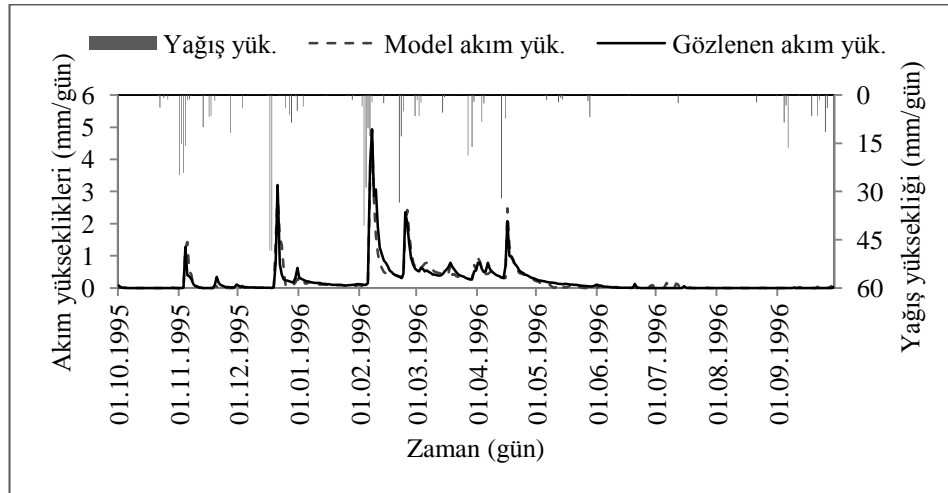
Şekil 5.101 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.102 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.103 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.104 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Gördes althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ve gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ile model performans kriterleri Tablo 5.66'da özetlenmektedir.

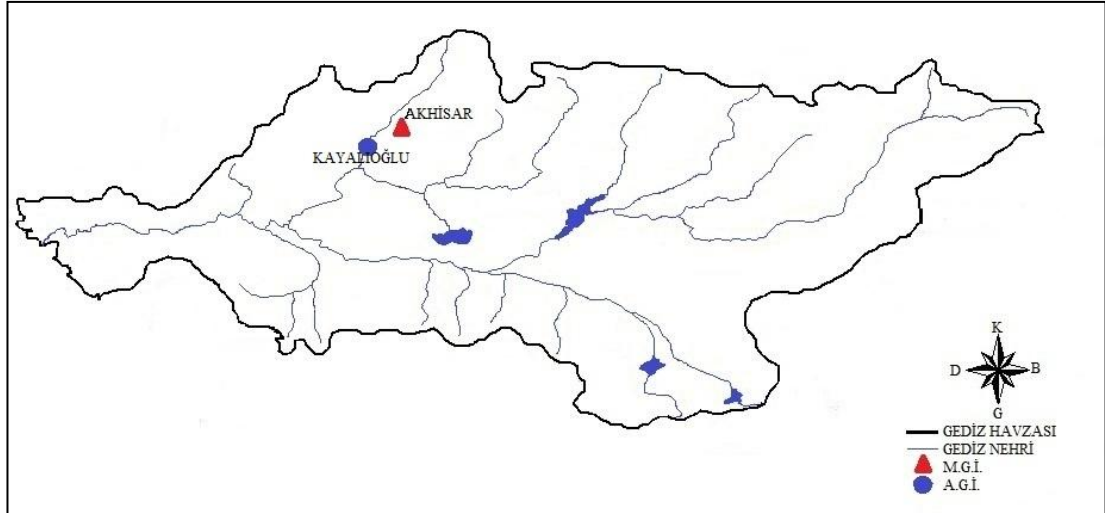
Tablo 5.66 Gördes althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait temel istatistikler ile model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J –YSA-GA	Gözlenen	GR4J –YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	0,204	0,206	0,237	0,225
Standart Sapma (mm/gün)	0,400	0,390	0,515	0,499
Çarpıklık	3,717	3,684	5,010	4,796
NS	0,961		0,905	
R ²	0,961		0,905	
KH	2,297		9,239	
OKHK	0,079		0,159	

Tablo 5.66’tan da görüleceği gibi GR4J-YSA-GA entegre modeliyle elde edilen sonuçların gerek bireysel olarak kurulan GR4J ve YSA tabanlı modellerden gerekse GR4J-YSA entegre modelinden elde edilen sonuçlara göre Gördes althavzası günlük akımlarını çok daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

5.2.7 Medar Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi

Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Kayalıoğlu (EİE 509) AGİ’nda gözlenen akımlar kullanılmıştır. Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesi çalışmalarında, model parametrelerinin kalibrasyonunda 2005 su yılı ve verifikasyonunda ise 2006 su yılı kullanılmıştır. Modellerde kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Akhisar MGİ’ndaki rasatlardan yararlanılmıştır. Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Kayalıoğlu (EİE 509) AGİ ile Akhisar (17184) MGİ Şekil 5.105’te gösterilmektedir.



Şekil 5.105 Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Kayalıoğlu (EİE 509) AGİ ile Akhisar (17184) MGİ

Medar althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl) Tablo 5.67’de verilmektedir.

Tablo 5.67 Medar althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)

Dönem	Su yılı	Yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)
Kalibrasyon	2005	552,2
Verifikasyon	2006	582,3

Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Tablo 5.68’de sunulmaktadır.

Tablo 5.68 Medar althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama sıcaklık

Dönem	Su yılı	Alansal ortalama sıcaklık ($^{\circ}$ C/gün)
Kalibrasyon	2005	17,1
Verifikasyon	2006	16,5

Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük akım yüksekliklerinin ortalaması Tablo 5.69’da verilmektedir.

Tablo 5.69 Medar althavzası kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama akım yüksekliği (mm/gün)

Dönem	Su yılı	Günlük ortalama akım yüksekliği (mm/gün)
Kalibrasyon	2005	0,149
Verifikasyon	2006	0,151

5.3.7.1 Medar althavzası günlük akımlarının GR4J günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

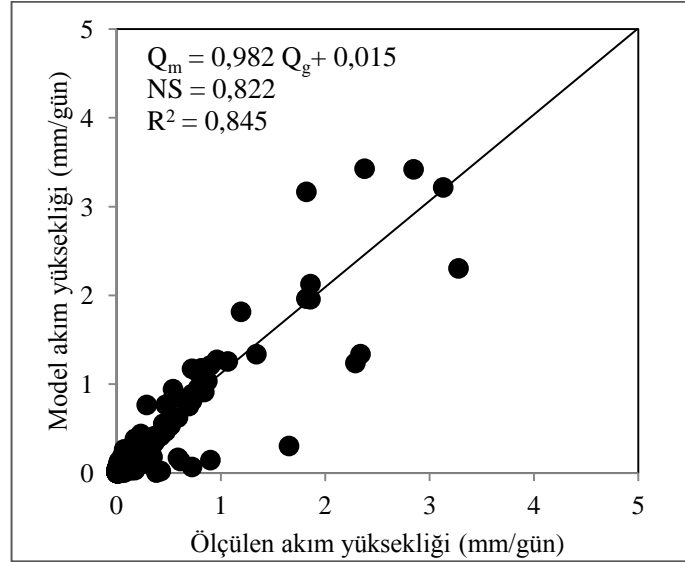
GR4J günlük yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Model kalibrasyonunun başlangıcında, Medar Çayı'nda akım gözlenmediği için modelin biriktirme elemanında mevcut bir depolama olmadığı kabul edilmiştir. 2005 su yılı kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda, GR4J modeline ait X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Tablo 5.70'te verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametrelerin performans uygunluk kriterleri olan NS değeri 0,822 ve R^2 değeri ise 0,845 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.70 GR4J günlük akım modelinin kalibrasyonun bulunan model parametreleri

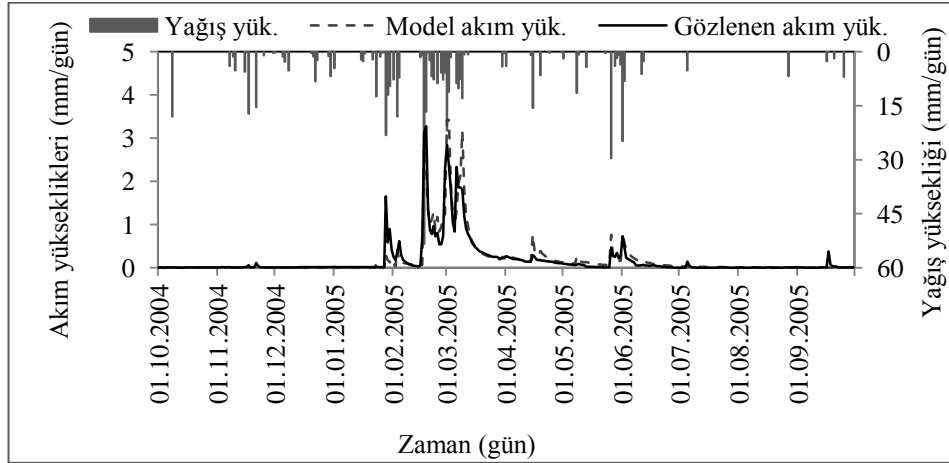
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
285,11	-9,93	55,24	0,51	0,0688	0,1722

Kalibrasyon sonucunda, GR4J modelinin biriktirme elemanının depolama kapasitesi (X_1) 285,11 mm olarak bulunmuştur. Yeraltısuyu değişimi (X_2) -9,93 mm olarak bulunmuş, bu da öteleme elemanının ve Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 55,24 mm ve öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliği (X_4) 0,51 gün olarak bulunmuştur. Modelin alansal potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinden a değeri 0,0688 ve b değeri 0,1722 olarak hesaplanmıştır.

GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.106'da ve akımların gidiş grafikleri ise Şekil 5.107'de sunulmaktadır.



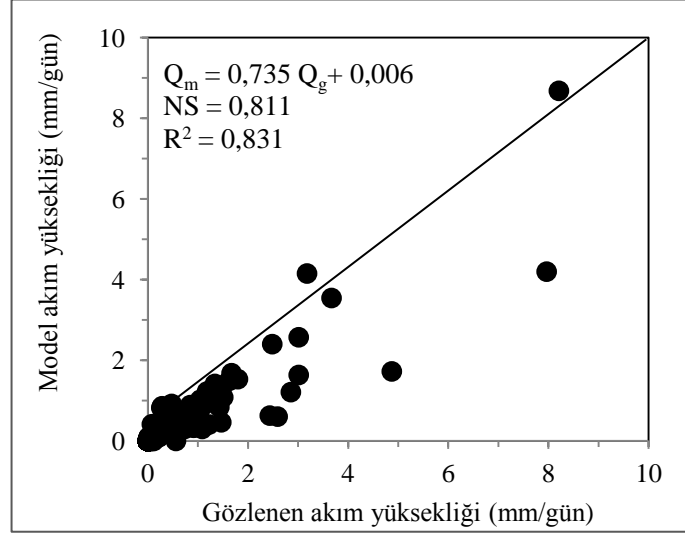
Şekil 5.106 Medar althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



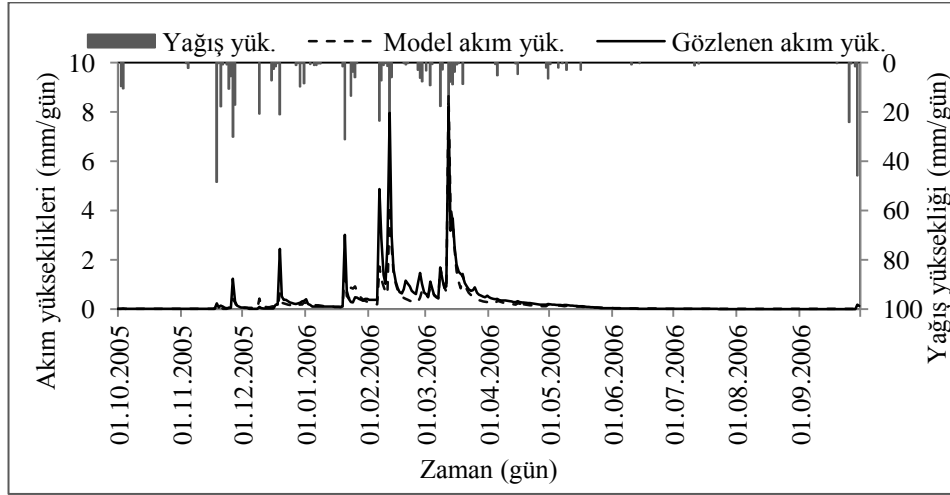
Şekil 5.107 Medar althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

2006 su yılı ile kullanılarak gerçekleştirilen verifikasyon sürecinde GR4J modeliyle bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS değeri 0,811 ve R^2 değeri ise 0,831 olarak hesaplanmıştır. Model tahminleri ile

gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.108’de ve gidiş grafikleri ise Şekil 5.109’da sunulmaktadır.



Şekil 5.108 Medar althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.109 Medar althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyonu sonucunda hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.71’de sunulmaktadır.

Tablo 5.71 Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyon sürecinde hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J	Gözlenen	GR4J
Ortalama (mm/gün)	0,172	0,184	0,312	0,235
Standart Sapma (mm/gün)	0,437	0,467	0,812	0,654
Çarpıklık	4,407	4,546	6,192	7,922
NS	0,822		0,811	
R ²	0,845		0,831	
KH	12,405		45,444	
OKHK	0,130		0,249	

5.2.7.2 Medar althavzası günlük akımlarının YSA tabanlı günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

Yapay sinir ağları ile kurulan Medar althavzası günlük yağış akış modellerinde girdi tabakaları yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyondan ve çıktı tabakası model akım yüksekliğinden oluşmaktadır. Girdi tabakasının yapısına göre temelde 2 farklı yapay sinir ağı günlük akış modeli geliştirilmiştir. Bunlardan birincisinde (YSA1), girdi tabakası yağış ve sıcaklık verilerinden, ikincisinde (YSA2), girdi tabakası yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerinden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları ile kurulan akım modellerinde geçmiş yağış, geçmiş sıcaklık ve geçmiş potansiyel evapotranspirasyonun etkilerini modele dahil etmek için akım modelleri iki adımda geliştirilmiştir. İlk adımda, YSA1 ve YSA2 modellerinde yağışın geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi, ikinci adımda ise YSA1 modelinde sıcaklığın, YSA2 modelinde ise potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş değerlerinin akıma olan etkisi kurulan modellere dahil edilmiştir.

Medar althavzası günlük akımları için ilk adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.72’de verilmektedir. Tablo 5.72 incelendiğinde, sıcaklık ve yağış verileri ile kurulan YSA1 akım modelinde en iyi sonuçlar, yağışın geçmiş 7

gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında ($P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$) elde edilmiştir.

Tablo 5.72 Medar althavzasında ilk adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
YSA1	P_t, T_t	2-8-1	0,442	0,442	0,369	0,369
	P_{t-1}, P_t, T_t	3- 5-1	0,452	0,452	0,385	0,385
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	4-10-1	0,448	0,448	0,398	0,398
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	5-10-1	0,462	0,463	0,413	0,414
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	6-10-1	0,470	0,470	0,427	0,435
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	7-7-1	0,479	0,481	0,441	0,453
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	8-10-1	0,495	0,499	0,456	0,478
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, T_t$	9-8-1	0,501	0,512	0,471	0,493
YSA2	P_t, PE_t	2-4-1	0,465	0,465	0,375	0,375
	P_{t-1}, P_t, PE_t	3-4-1	0,486	0,486	0,386	0,386
	$P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	4-9-1	0,505	0,507	0,403	0,406
	$P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	5-9-1	0,519	0,526	0,411	0,419
	$P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	6-9-1	0,538	0,552	0,429	0,438
	$P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	7-10-1	0,543	0,565	0,445	0,457
	$P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	8-5-1	0,545	0,569	0,465	0,489
	$P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$	9-5-1	0,552	0,579	0,478	0,504

En iyi sonucu veren ağın yapısı, girdi tabakasında 9 girdi hücrelerinden, gizli tabakada 10 hücreden ve çıktı tabakası model akım yüksekliğinden meydana gelmektedir. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,20 alınarak 25 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS değeri 0,501 ve R² değeri 0,512; test sonucunda ise NS değeri 0,471 ve R² değeri 0,493 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, yağışın geçmiş 7 günlük değerleri dikkate alındığında ($P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t, PE_t$) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısını ise girdi tabakasında 9 girdi hücresi, gizli tabakada 5 hücre ve çıktı tabakasında model akım yükseklikleri yer almaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,18 alınarak 25 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın

eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS değeri 0,552 ve R² değeri 0,579; test sonucunda ise NS değeri 0,478 ve R² değeri 0,504 olarak hesaplanmıştır.

Medar althavzası günlük akımları için ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5. 73'te verilmektedir.

Tablo 5.73 Medar althavzasında ikinci adımda kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdi yapıları, ağ yapıları, yapay sinir ağı akım modellerinin eğitim ve test aşamalarındaki performansları

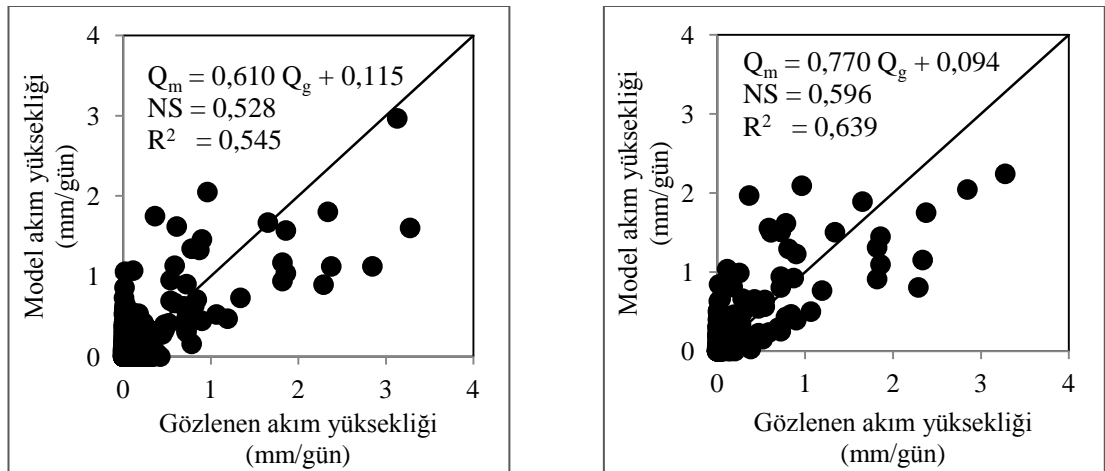
YSA	Girdi değerleri	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
YSA1	T _t , P _{t-7; t}	9-8-1	0,501	0,512	0,471	0,493
	T _{t-1} , T _t , P _{t-7; t}	10-6-1	0,505	0,515	0,472	0,499
	T _{t-2} , T _{t-1} , T _t , P _{t-7; t}	11-9-1	0,515	0,523	0,479	0,495
	T _{t-3} , T _{t-2} , T _{t-1} , T _t , P _{t-7; t}	12-7-1	0,529	0,534	0,483	0,511
	T _{t-4} , T _{t-3} , T _{t-2} , T _{t-1} , T _t , P _{t-7; t}	13-10-1	0,536	0,557	0,489	0,502
	T _{t-5} , T _{t-4} , T _{t-3} , T _{t-2} , T _{t-1} , T _t , P _{t-7; t}	14-5-1	0,519	0,532	0,485	0,509
	T _{t-6} , T _{t-5} , T _{t-4} , T _{t-3} , T _{t-2} , T _{t-1} , T _t , P _{t-7; t}	15-6-1	0,525	0,537	0,493	0,515
	T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7; t}	16-10-1	0,528	0,545	0,497	0,512
YSA2	PE _t , P _{t-7; t}	9-5-1	0,552	0,579	0,478	0,504
	PE _{t-1} , PE _t , P _{t-7; t}	10-9-1	0,563	0,586	0,482	0,499
	PE _{t-2} , PE _{t-1} , PE _t , P _{t-7; t}	11-10-1	0,576	0,598	0,490	0,495
	PE _{t-3} , PE _{t-2} , PE _{t-1} , PE _t , P _{t-7; t}	12-3-1	0,579	0,609	0,495	0,505
	PE _{t-4} , PE _{t-3} , PE _{t-2} , PE _{t-1} , PE _t , P _{t-7; t}	13-8-1	0,593	0,625	0,500	0,492
	PE _{t-5} , PE _{t-4} , PE _{t-3} , PE _{t-2} , PE _{t-1} , PE _t , P _{t-7; t}	14-4-1	0,602	0,629	0,492	0,503
	PE _{t-6} , PE _{t-5} , PE _{t-4} , PE _{t-3} , PE _{t-2} , PE _{t-1} , PE _t , P _{t-7; t}	15-9-1	0,605	0,642	0,501	0,517
	PE_{t-7}, PE_{t-6}, PE_{t-5}, PE_{t-4}, PE_{t-3}, PE_{t-2}, PE_{t-1}, PE_t, P_{t-7; t}	16-10-1	0,596	0,639	0,506	0,521

P_{t-7; t}=P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t,

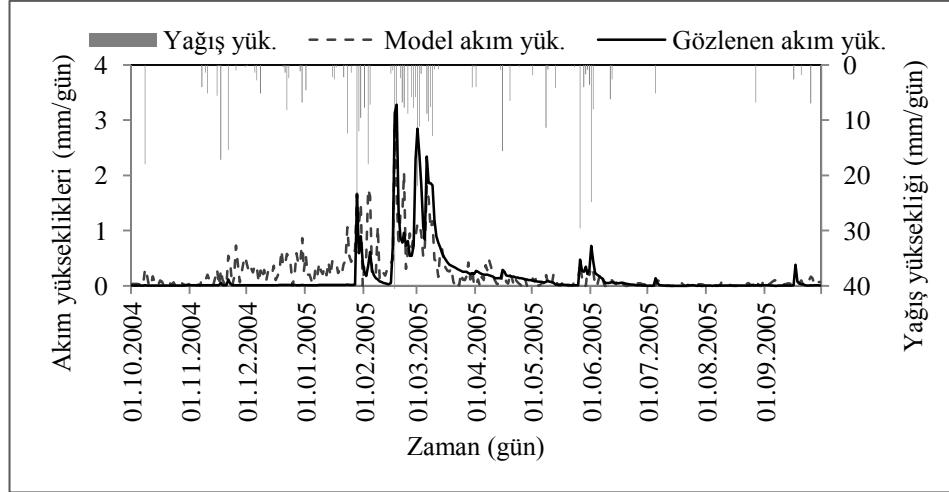
Tablo 5.73 incelendiğinde Tablo 5.72'de verilen sonulara gre YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin sonuçlarında çok az bir iyileşme olduğu görülmektedir. YSA1 akım modelinde en iyi sonuçlar, yağışın ve sıcaklığın geçmiş 7 günlük değerleri dikkate alınmasıyla (T_{t-7}, T_{t-6}, T_{t-5}, T_{t-4}, T_{t-3}, T_{t-2}, T_{t-1}, T_t, P_{t-7}, P_{t-6}, P_{t-5}, P_{t-4}, P_{t-3}, P_{t-2}, P_{t-1}, P_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren ağ yapısı, girdi tabakasında 16

girdi hücresinden, gizli tabakada 10 hücreden ve çıktı tabakasını model akım yüksekliğinden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,16 alınarak 24 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS değeri 0,528 ve R^2 değeri 0,545; test sonucunda ise NS değeri 0,497 ve R^2 değeri 0,512 olarak hesaplanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan YSA2 günlük akım modelinde ise en iyi sonuçlar, yağış ve evapotranspirasyonun 7 gün öncesine ait değerleri dikkate alındığında (PE_{t-7} , PE_{t-6} , PE_{t-5} , PE_{t-4} , PE_{t-3} , PE_{t-2} , PE_{t-1} , P_{t-7} , P_{t-6} , P_{t-5} , P_{t-4} , P_{t-3} , P_{t-2} , P_{t-1} , P_t) elde edilmiştir. En iyi sonucu veren YSA2 ağının yapısı ise, girdi tabakasında 16 girdi hücresinden, gizli tabakada 10 hücreden ve çıktı tabakası model akım yüksekliğinden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,18 alınarak 24 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda NS değeri 0,596 ve R^2 değeri 0,639; test sonucunda ise NS değeri 0,506 ve R^2 değeri 0,521 olarak hesaplanmıştır.

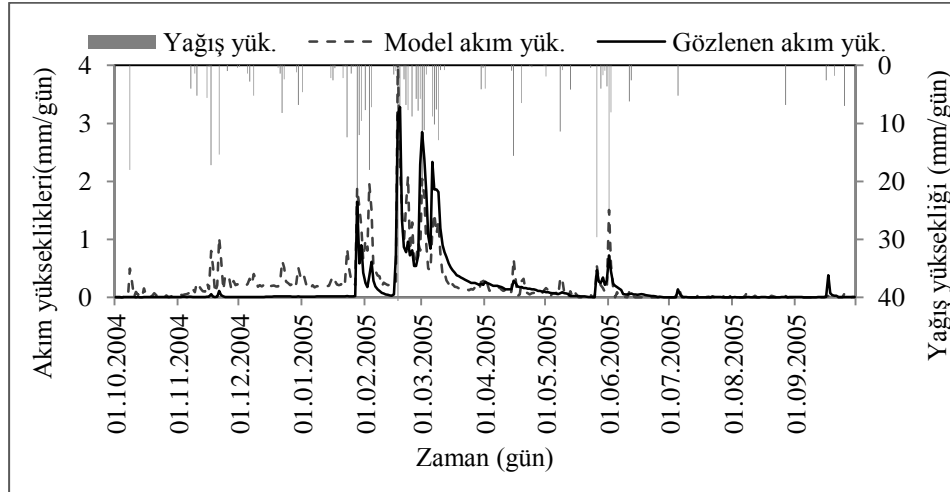
Medar althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.110'da, gidiş grafikleri ise Şekil 5.111 ve Şekil 5.112'de verilmektedir.



Şekil 5.110. Medar althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitimleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

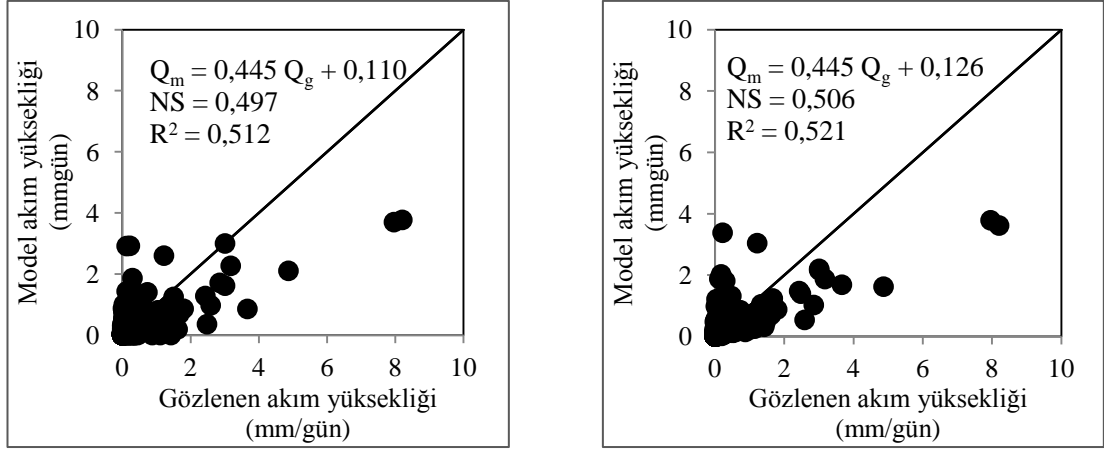


Şekil 5.111 Medar althavzasında kurulan YSA1 modelinin eğitimi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

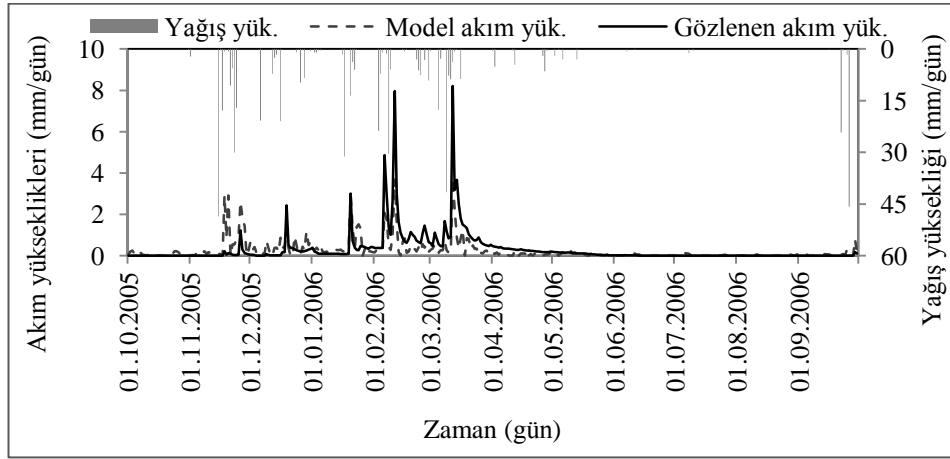


Şekil 5.112 Medar althavzası günlük akımları için kurulan YSA2 modelinin eğitimi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

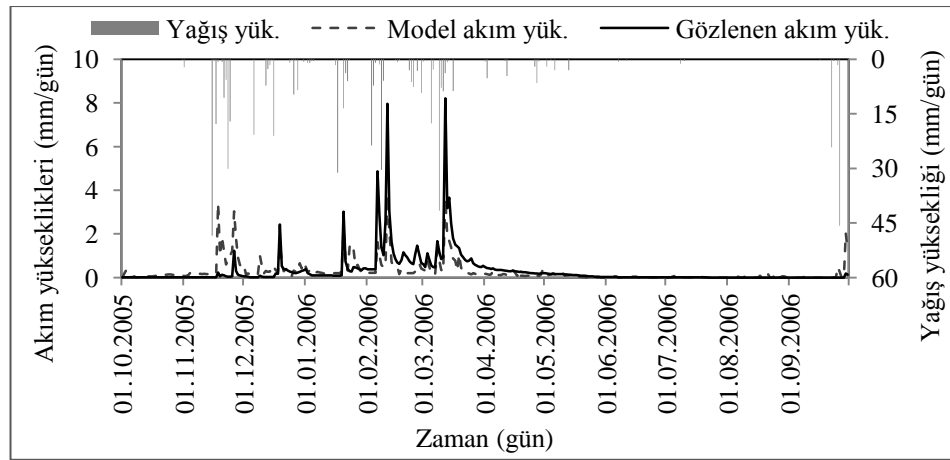
Medar althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 yağış akış modellerinin testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.113'te, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.114 ve Şekil 5.115'te verilmektedir.



Şekil 5.113 Medar althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin testleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.114 Medar althavzasında kurulan YSA1 modelinin testi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.115 Medar althavzasında kurulan YSA2 modelinin testi ile hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Medar althavzası günlük akımları için kurulan, YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri Tablo 5.74'te özetlenmektedir.

Tablo 5.74 Medar althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim			Test		
	Gözlenen	YSA1	YSA2	Gözlenen	YSA1	YSA2
Ortalama (mm/gün)	0,172	0,220	0,227	0,312	0,249	0,265
Standart Sapma (mm/gün)	0,437	0,361	0,421	0,812	0,506	0,501
Çarpıklık	4,407	3,320	4,167	6,192	4,129	3,977
NS		0,528	0,596		0,497	0,506
R ²		0,547	0,639		0,512	0,521
KH		32,878	28,113		120,758	118,487
OKHK		0,300	0,278		0,576	0,570

5.2.7.3 Medar althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

Medar althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre modeli ile tahmin edilmesinde, GR4J kavramsal model ile hesaplanan net yağış yüksekliği (P_n), net evapotranspirasyon yüksekliği (E_n), net yağıştan biriktirme tabakasına giden yağış yüksekliği (P_s) ve biriktirme tabakasından sızan akım yüksekliği (P_{erc}), YSA'nın girdi verilerini oluşturmaktadır. P_n , E_n , P_s , P_{erc} değerleri ile kurulan YSA'larında eğitime algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve veriler Denklem 4.18 ile [0,1-0,9] arasında standardize edilmiştir. Kurulan ağlarda girdi değerleri "t" günden başlayarak her bir ağda birer gün geriye gidilerek denenmiştir. Bu denemeler sırasında girdilerin 3 günden daha fazla geriye götürülmesinin ağ performanslarını arttırmadığı görülmüştür. Kurulan tüm ağların gizli tabakadaki hücre sayısı 1'den başlatılıp 10 hücreye kadar denenerek en iyi ağ yapısı araştırılmıştır. En iyi girdi ve

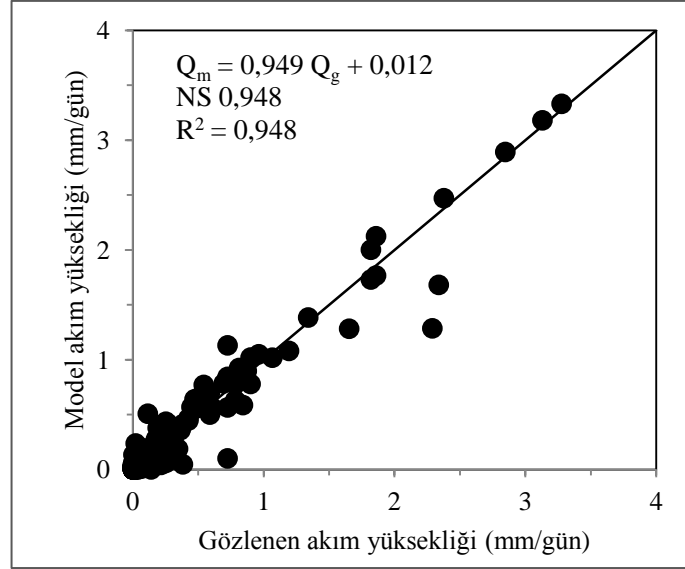
ağ yapıları ve bu ağlardan hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki performans kriterleri Tablo 5.75'te özetlenmektedir.

Tablo 5.75 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA günlük akım modellerinin girdi ve ağ yapıları ve model performans kriterleri

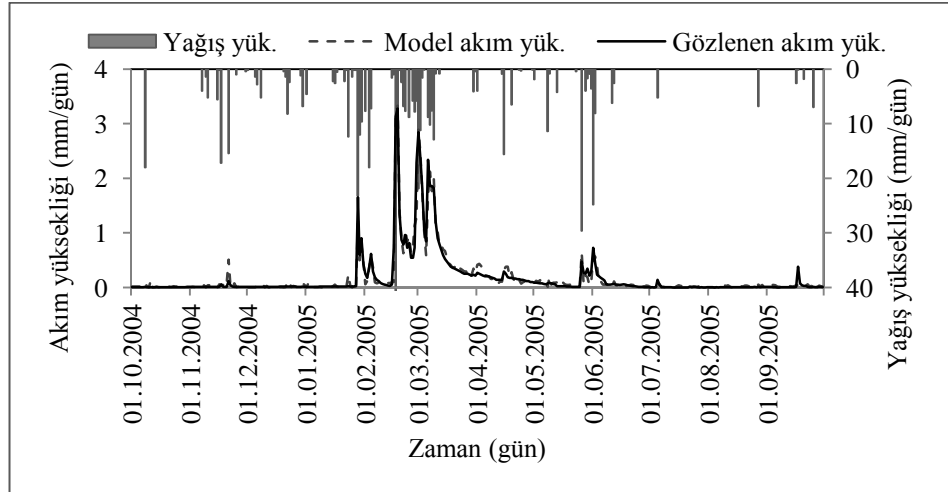
Model	Girdi yapıları	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
GR4J YSA	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	4-8-1	0,781	0,781	0,768	0,831
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	8-9-1	0,839	0,839	0,792	0,833
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1}$	12-10-1	0,886	0,886	0,796	0,868
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_t$					
	$(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-3} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-2}$ $(P_n-E_n-P_s-Perc)_{t-1} - (P_n-E_n-P_s-Perc)_t$	16-8-1	0,948	0,948	0,818	0,829

GR4J-YSA entegre akım modeliyle Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesinde en iyi sonuçlar, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s ve Perc girdileri ile elde edilmiştir. En iyi model performansı veren ağın girdi tabakasında 16 hücre, gizli tabakasında 8 hücre ve çıktı tabakasında model akım yüksekliğini oluşturan 1 hücre yer almaktadır. Bu ağın eğitimi 30 iterasyon ile öğrenme oranı (μ) 0,01 alınarak yapılmıştır. Ağın eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki performans kriterlerinden NS ve R² değerleri 0,948, test sonucunda ise NS değeri 0,818 ve R² değeri ise 0,829 olarak hesaplanmıştır.

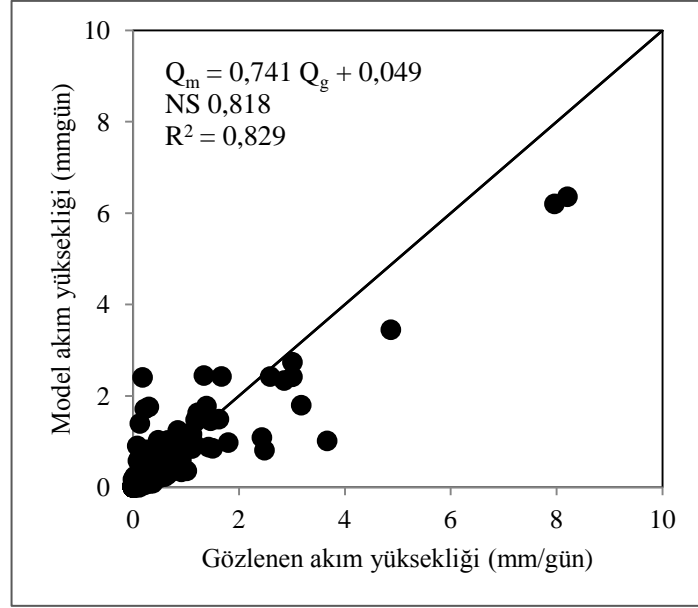
Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre akım modelinin eğitiminde ve testinde bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.116 ve Şekil 5.118'de, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.117 ve Şekil 5.119'de verilmektedir.



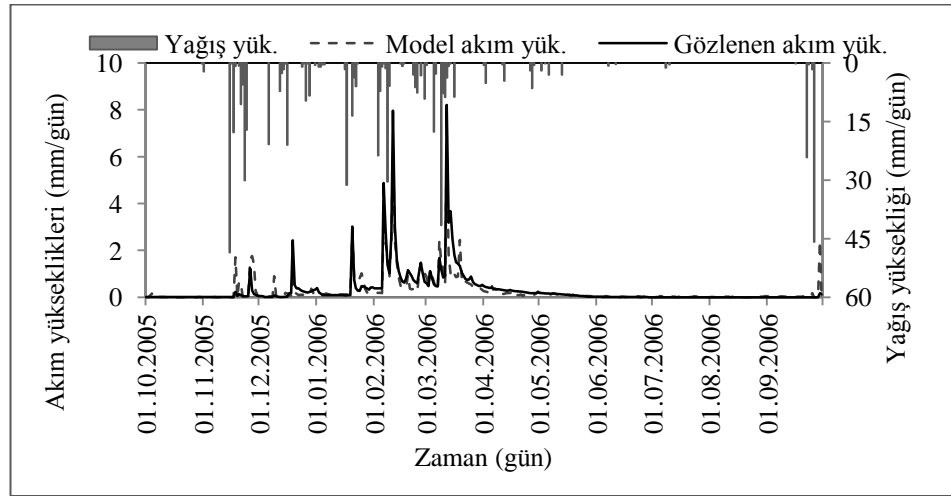
Şekil 5.116 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.117 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA günlük yağış akış modelinin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.118 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.119 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA günlük yağış akış modelinin test aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.76'da özetlenmektedir.

Tablo 5.76 Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA modelinin eğitim ve testinden hesaplanan günlük akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J -YSA	Gözlenen	GR4J -YSA
Ortalama (mm/gün)	0,172	0,176	0,312	0,281
Standart Sapma (mm/gün)	0,437	0,426	0,812	0,661
Çarpıklık	4,407	4,478	6,192	5,375
NS	0,948		0,818	
R ²	0,948		0,829	
KH	3,607		43,672	
OKHK	0,099		0,346	

Tablo 5.76'ten de görüleceği gibi GR4J-YSA entegre modeliyle elde edilen sonuçlar sadece GR4J ve YSA tabanlı model sonuçlarına göre büyük ölçüde iyileşme göstermektedir.

5.2.7.4 Medar althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

GR4J-YSA modeline genetik algoritmaların entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde, kalibre edilmesi gereken parametreler, GR4J modelinin biriktirme elemanı depolaması (X_1 , mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 288,11 mm, a parametresi 0,0688 ve b parametresi 0,1722 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 260 mm, üst sınırı 310 mm, a parametresinin alt sınırı 0,05 üst sınırı 0,07 ve b parametresinin alt sınırı 0,153 üst sınırı 0,19 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi, sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 30 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,3 olarak alınmıştır.

Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde mutasyon olasılığı ise 0,05 olarak seçilmiştir.

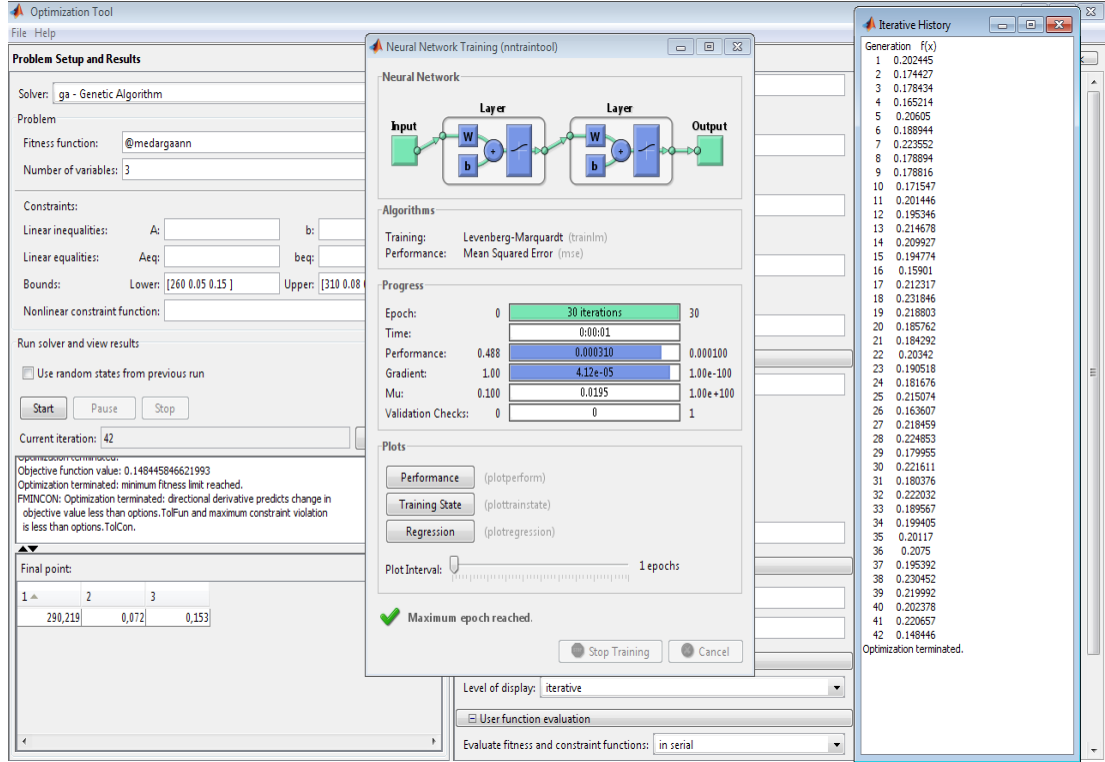
GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s ve Perc girdileri kullanılarak elde edilmiştir. YSA operatöründe ağız eğitimi, gizli tabakasında 8 hücre kullanıldığında, öğrenme oranı 0,1 alınarak 30 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelinin 42 jenerasyon sonucunda bulunan parametreleri değerleri Tablo 5.77’de ve Şekil 5.120’de sunulmaktadır.

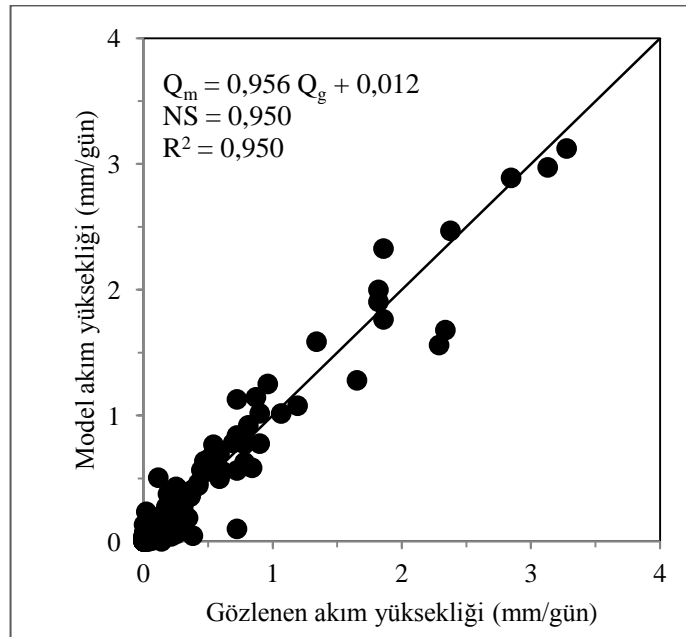
Tablo 5.77 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modelin parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
290,219	0,072	0,153

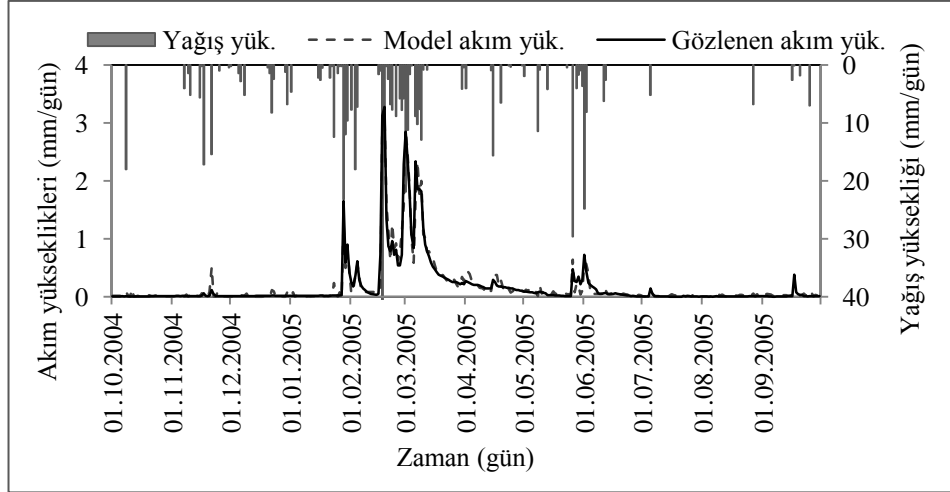
Model kalibrasyonunda bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasında NS ve R^2 0,950 olarak hesaplanmıştır. Modelin kalibrasyon dönemindeki akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.121’te ve akım yükseklikleri gidiş grafikleri Şekil 5.122’te sunulmaktadır.



Şekil 5.120 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modelin parametre değerleri

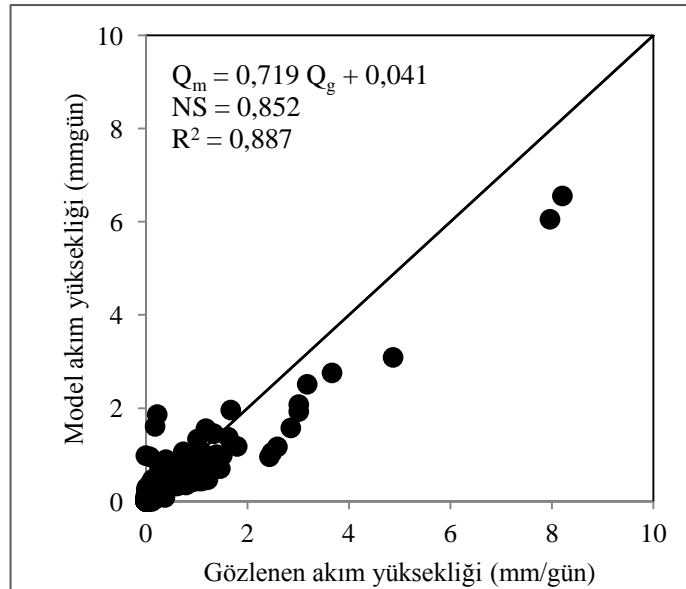


Şekil 5.121 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modelin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

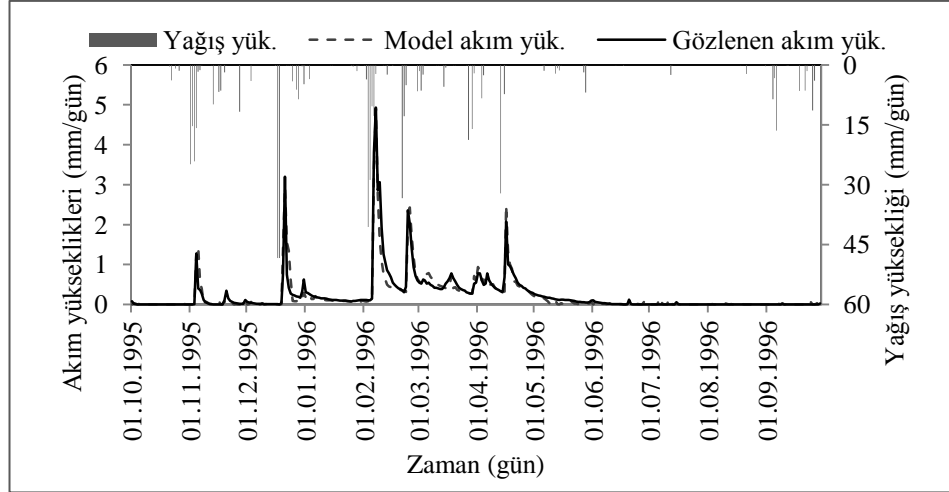


Şekil 5.122 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Entegre modelin verifikasyonunda bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasında NS değeri 0,852 ve R^2 değeri ise 0,887 olarak hesaplanmıştır. Entegre modelin verifikasyonunda bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.123'te, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.124'te sunulmaktadır.



Şekil 5.123 Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modelin verifikasyondaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.124 Medar althavzası GR4J-YSA-GA entegre modelinin verifikasyonunda bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde bulunan akım yüksekliklerinin ve gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve model performans kriterleri Tablo 5.78’de özetlenmektedir.

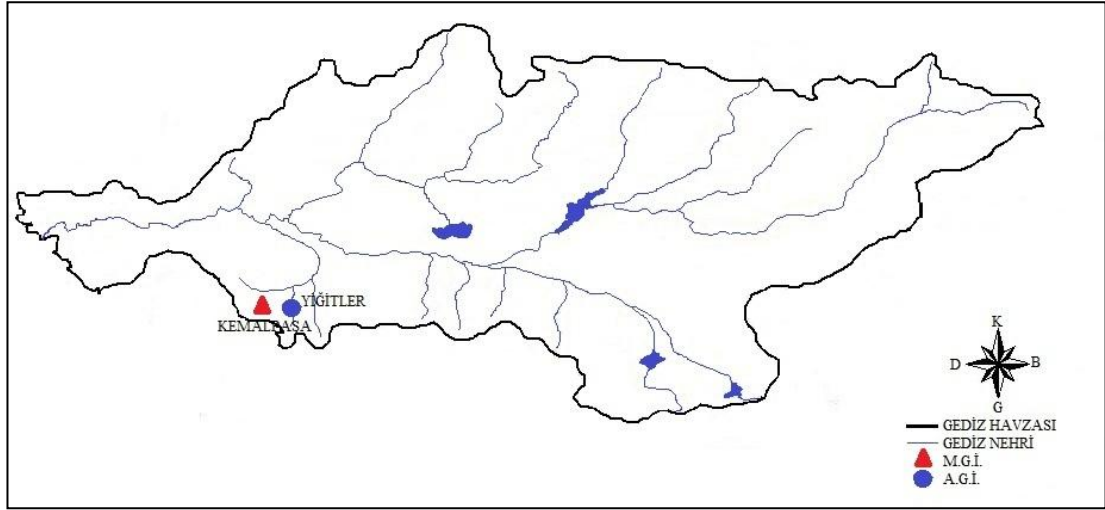
Tablo 5.78 Medar althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J-YSA-GA entegre modeliyle hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait temel istatistikleri ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J –YSA-GA	Gözlenen	GR4J –YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	0,172	0,177	0,312	0,265
Standart Sapma (mm/gün)	0,437	0,429	0,812	0,620
Çarpıklık	4,407	4,240	6,192	6,124
NS	0,950		0,852	
R ²	0,950		0,887	
KH	3,526		35,626	
OKHK	0,098		0,312	

Tablo 5.78’den de görüleceği gibi GR4J-YSA-GA entegre modeliyle elde edilen sonuçların gerek bireysel olarak kurulan GR4J ve YSA tabanlı modellerden gerekse GR4J-YSA entegre modelinden elde edilen sonuçlara göre Medar althavzası günlük akımlarını çok daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

5.2.8 Yiğitler Althavzası Günlük Akımlarının Modellenmesi

Yiğitler althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Yiğitler (EİE 525) AGİ'nda gözlenen akımlar kullanılmıştır. Günlük akımlarının modellenmesi çalışmalarında model parametrelerinin kalibrasyonunda 1995 su yılı ve verifikasyonunda ise 1996 su yılı kullanılmıştır. Modellerde kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Kemalpaşa MGİ'ndeki ölçümler kullanılmıştır. Yiğitler althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Yiğitler (EİE 525) AGİ ile Kemalpaşa (5785) MGİ Şekil 5.125'te gösterilmektedir.



Şekil 5.125 Yiğitler althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Yiğitler (525) AGİ ile Kemalpaşa (5785) MGİ

Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl) Tablo 5.79'da verilmektedir.

Tablo 5.79 Yiğitler althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)

Dönem	Su yılı	Yıllık alansal yağış yüksekliği (mm/yıl)
Kalibrasyon	1995	1118,6
Verifikasyon	1996	863

Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon süreçlerinde kullanılan alansal ortalama sıcaklık değerleri Tablo 5.80’de verilmektedir.

Tablo 5.80 Yiğitler althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama sıcaklık

Dönem	Su yılı	Alansal ortalama sıcaklık ($^{\circ}$C/gün)
Kalibrasyon	1995	16,7
Verifikasyon	1996	15,8

Modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde günlük akım yüksekliklerinin ortalaması Tablo 5.81’te verilmektedir.

Tablo 5.81 Yiğitler althavzasında kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki günlük ortalama akım yükseklikleri (mm/yıl).

Dönem	Su yılı	Günlük ortalama akım yüksekliği (mm/gün)
Kalibrasyon	1995	1,065
Verifikasyon	1996	0,771

5.2.8.1 Yiğitler althavzası günlük akımlarının GR4J günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

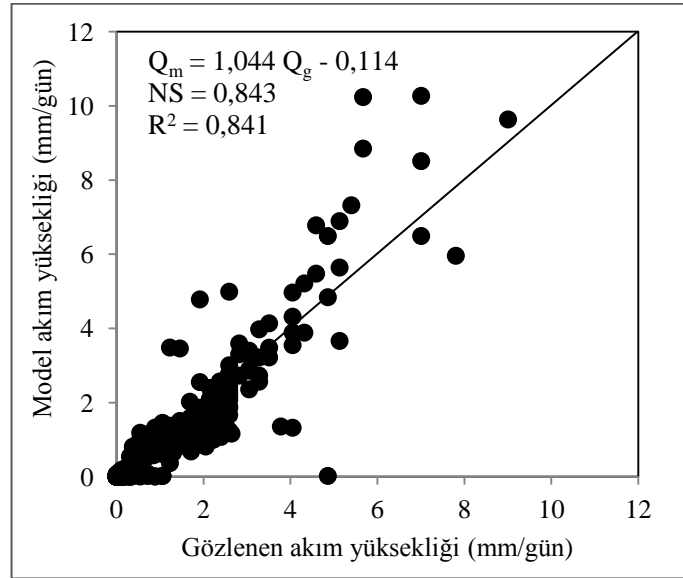
Yiğitler althavzası günlük akımları GR4J yağış akış modeli kullanılarak modellenmiştir. GR4J yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Model kalibrasyonunun başlangıcında, Yiğitler Çayı’nda akım gözlenmediği için modelin biriktirme elemanında mevcut bir depolama olmadığı kabul edilmiştir. 1995 su yılı kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda, GR4J modeline ait X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Tablo 5.82’de verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametre uygunluk göstergeleri olan NS değeri 0,843 ve R^2 değeri ise 0,841 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.82 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonunda bulunan model parametreleri

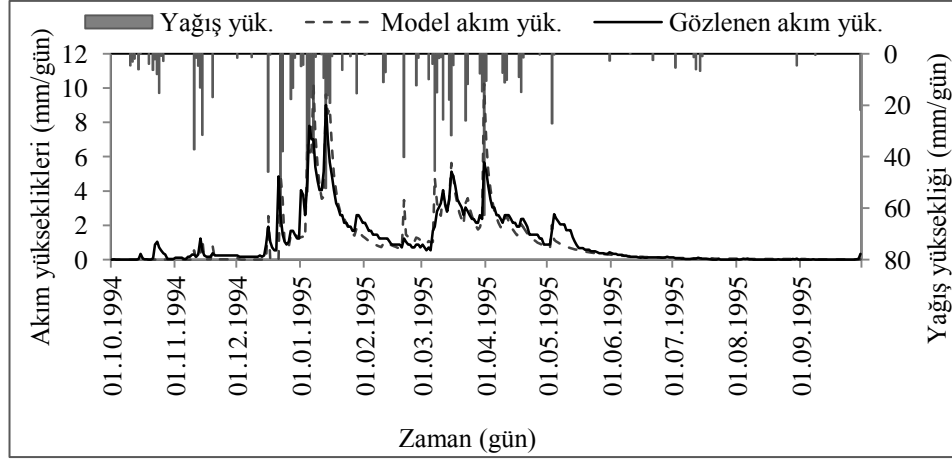
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
175,33	-35,20	325,11	0,47	0,0010	0,3023

Kalibrasyon sonucunda, GR4J modelinin biriktirme elemanının depolama kapasites (X_1) 175,33 mm olarak bulunmuştur. Yeraltısuyu değişimi (X_2) -35,20 mm olarak bulunmuş, bu da öteleme elemanının ve Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 325,11 mm ve öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliği (X_4) 0,47 gün olarak bulunmuştur. Modelin alansal potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinden a değeri 0,0010 ve b değeri ise 0,3023 olarak hesaplanmıştır.

GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 5.126'da, ve akımların gidiş grafikleri ise Şekil 5.127'de sunulmaktadır.

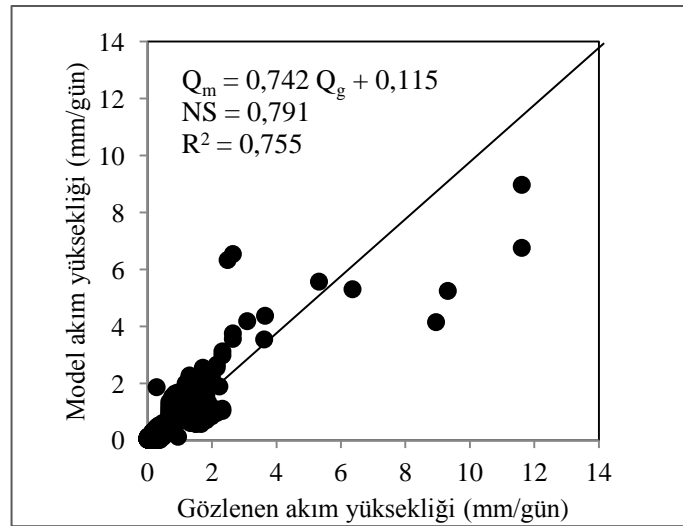


Şekil 5.126 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

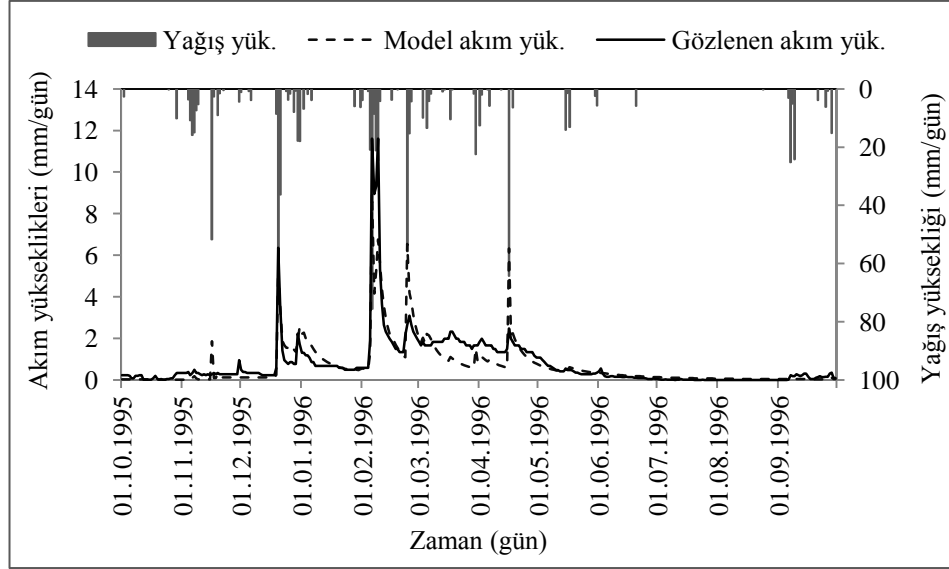


Şekil 5.127 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

1996 su yılı ile geliştirilen verifikasyon sürecinde GR4J modeli ile hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliği arasında NS değeri 0,791 ve R^2 değeri ise 0,755 olarak hesaplanmıştır. Model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.128'de, gidiş grafikleri ise Şekil 5.129'da verilmektedir.



Şekil 5.128 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.129 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J modelinin verifikasyonu sırasında hesaplanan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyonunda hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve performans kriterleri Tablo 5.83'te sunulmaktadır.

Tablo 5.83 Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyonunda hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J	Gözlenen	GR4J
Ortalama (mm/gün)	1,065	0,998	0,771	0,687
Standart Sapma (mm/gün)	1,488	1,693	1,311	1,121
Çarpıklık	2,057	2,827	5,002	3,457
NS	0,843		0,791	
R ²	0,841		0,756	
KH	169,090		156,708	
OKHK	0,481		0,463	

5.2.8.2 *Yiğitler althavzası günlük akımlarının YSA tabanlı günlük yağış akış modeli ile modellenmesi*

Yapay sinir ağları ile kurulan Yiğitler althavzası günlük yağış akış modellerinde girdi tabakaları yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyondan, çıktı tabakası ise model akım yüksekliğinden oluşmaktadır. Girdi tabakasının yapısına göre temelde 2 farklı yapay sinir ağı günlük akış modeli geliştirilmiştir. Bunlardan ilkinde (YSA1), girdi tabakası yağış ve sıcaklık verilerinden, ikincisinde (YSA2), girdi tabakası yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verilerinden oluşmaktadır. Yiğitler althavzası için kurulan yapay sinir ağların girdilerini oluşturan yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyonun geçmiş günlerdeki etkileri modele dahil edildiğinde ağ performanslarını arttırmadığı görülmüştür. Yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyonu geçmiş değerlerinin ağ performanslarını arttırmamasının nedeni ise, 64 km²'lik Yiğitler althavzasının akımlarında herhangi bir gecikme olmamasından kaynaklanmaktadır. YSA1'de bugünkü yağış ve sıcaklık değerleri ile YSA2'de de bugünkü yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerleriyle Yiğitler althavzası günlük akımları tahmin edilmiştir. Kurulan ağların girdileri, ağ yapıları ve modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.84'te özetlenmektedir.

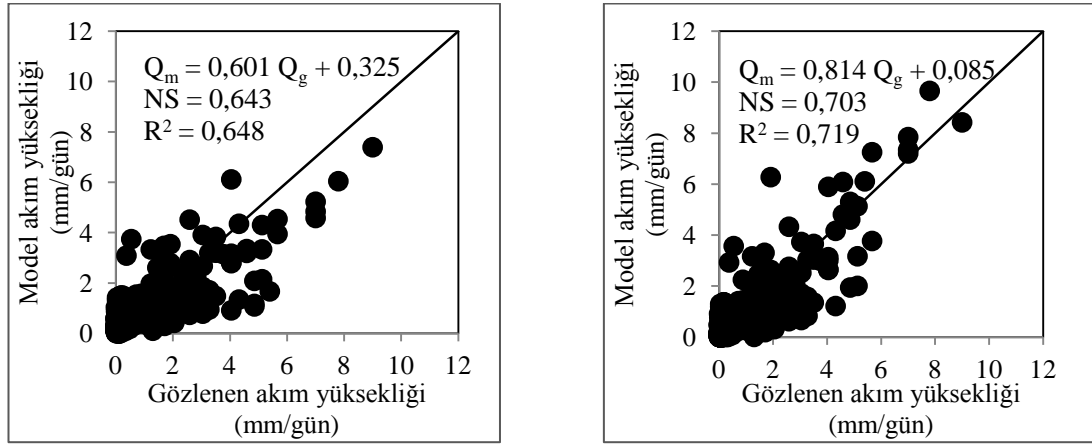
Tablo 5.84 Yiğitler althavzasında kurulan için YSA1 ve YSA2 akım modellerinin girdileri, ağ yapıları, modellerin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri

YSA	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
YSA1	P _t , T _t	2-8-1	0,643	0,648	0,567	0,575
YSA2	P _t , PE _t	2-9-1	0,703	0,719	0,658	0,658

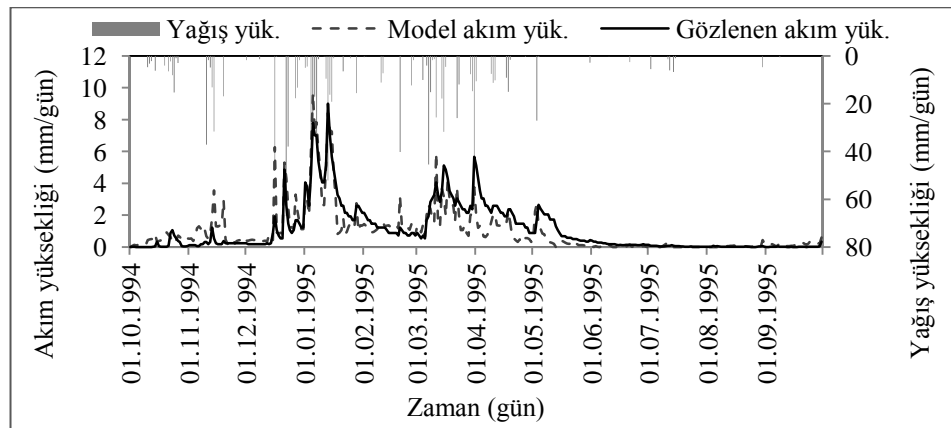
Tablo 5.84 incelendiğinde, sıcaklık ve yağış verileri ile kurulan YSA1 akım modelinin en iyi ağ yapısı, girdi tabakasında 2 girdi hücrelerinden, gizli tabakada 10 hücreden ve çıktı tabakasını model akım yüksekliğinden oluşturmaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,16 alınarak 32 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağın eğitimi sonucunda performans kriterlerinden NS değeri 0,643, R² değeri 0,648; test sonucunda ise NS değeri 0,567 ve R² değeri 0,575 olarak hesaplanmıştır.

Potansiyel evapotranspirasyon ve yağış verileri ile kurulan en iyi YSA2 ağının yapısında ise girdi tabakada 2 girdi hücresi, gizli tabakada 9 hücre ve çıktı tabakasında model akım yükseklikleri yer almaktadır. Ağın eğitimi, öğrenme oranını (μ) 0,18 alınarak 30 iterasyon sonucunda tamamlanmıştır. Ağ eğitimi sonucunda NS değeri 0,703 ve R^2 değeri 0,719; test sonucunda ise NS ve R^2 değerleri 0,658 olarak hesaplanmıştır.

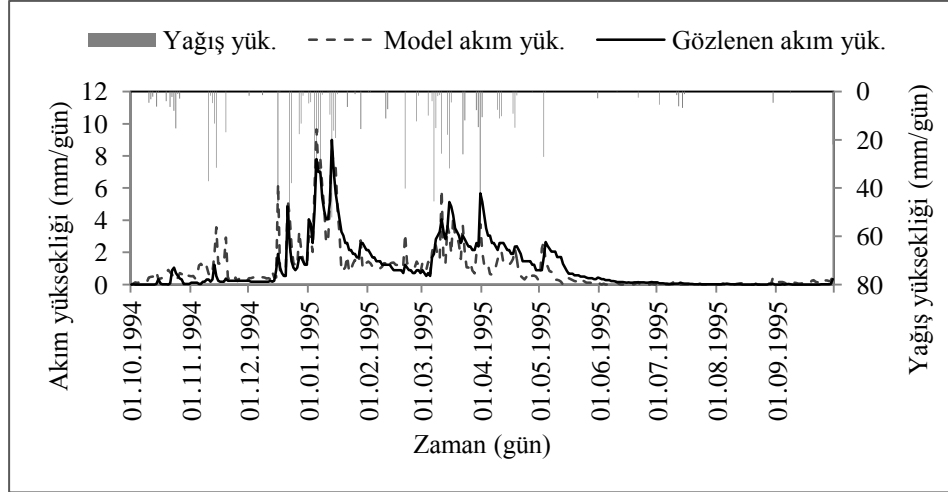
Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.130'da, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.131 ve Şekil 5.132'de verilmektedir.



Şekil 5.130 Yiğitler althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

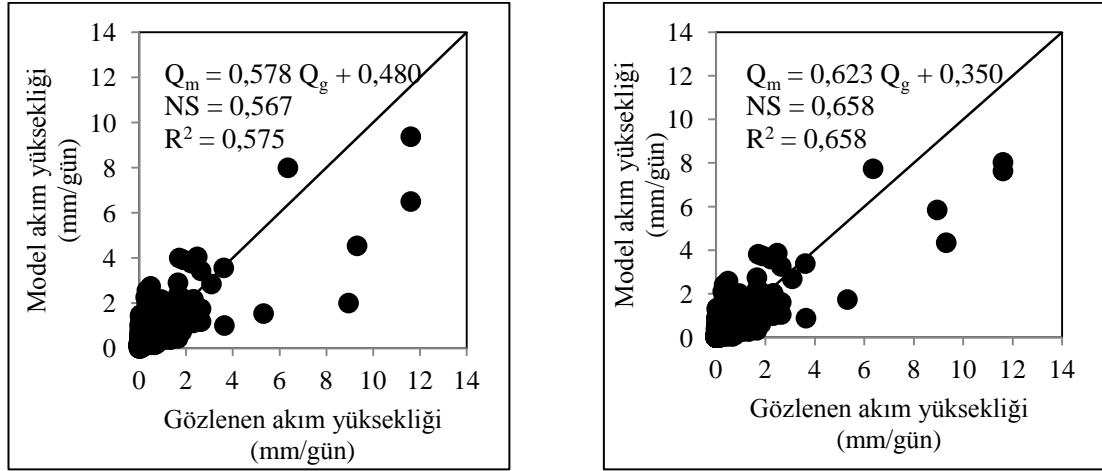


Şekil 5.131 Yiğitler althavzasında kurulan YSA1 modelinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

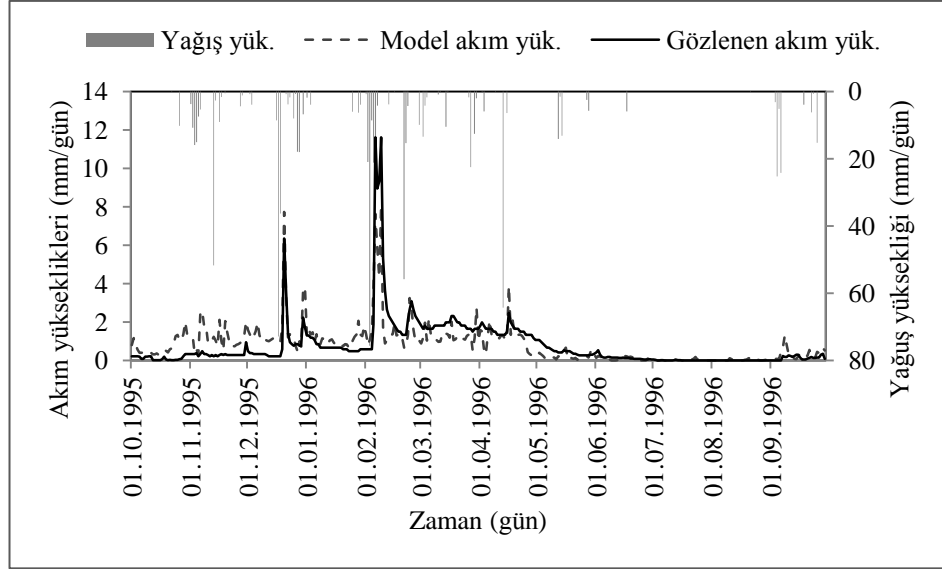


Şekil 5.132 Yiğitler althavzasında kurulan YSA2 modelinin eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

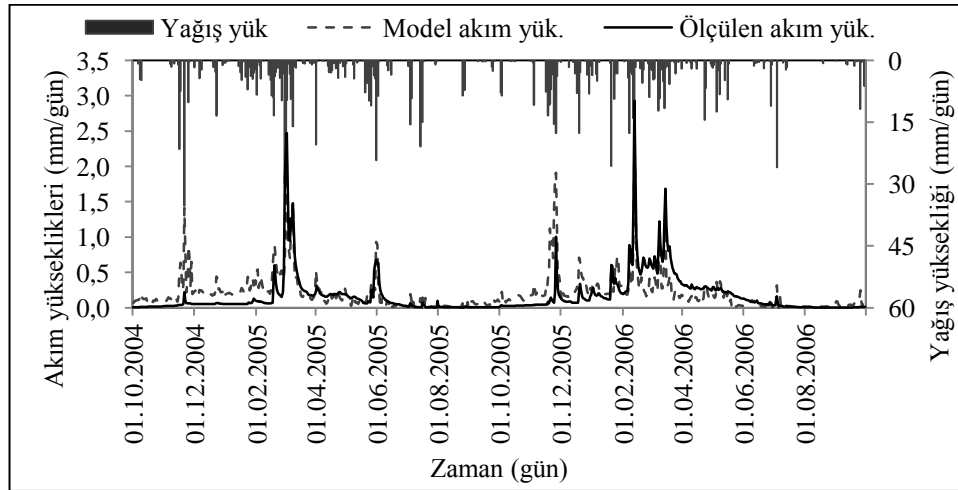
Yiğitler althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 ağlarının testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 133'te, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.134 ve Şekil 5.135'te verilmektedir.



Şekil 5.133 Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 akım modellerinin testleri sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.134 Yiğitler althavzasında kurulan YSA1 modelinin testi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.135 Yiğitler althavzasında kurulan YSA2 modelinin testi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri Tablo 5.85'te sunulmaktadır.

Tablo 5.85 Yiğitler althavzasında kurulan YSA1 ve YSA2 günlük akım modellerinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modellerin performans kriterleri

İstatistikler	Eğitim			Test		
	Gözlenen	YSA1	YSA2	Gözlenen	YSA1	YSA2
Ortalama (mm/gün)	1,065	0,965	0,952	0,771	0,927	0,831
Standart Sapma (mm/gün)	1,488	1,112	1,428	1,311	1,000	1,009
Çarpıklık	2,057	2,216	2,979	5,002	3,632	3,537
NS		0,643	0,703		0,567	0,658
R ²		0,648	0,719		0,575	0,658
KH		290,280	241,284		275,020	217,244
OKHK		0,892	0,813		0,869	0,772

5.2.9.3 Yiğitler althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

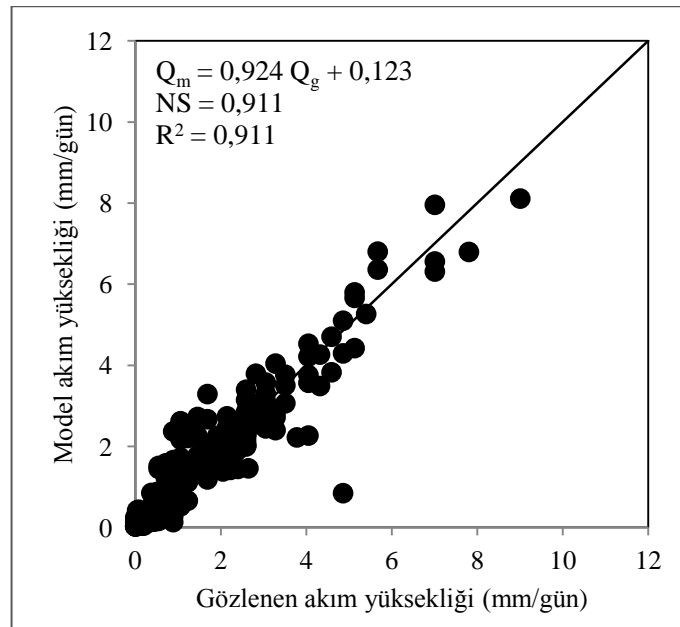
Yiğitler althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA ile modellenmesinde, GR4J kavramsal model ile hesaplanan P_n , E_n , P_s ve Perc, YSA'nın girdi verilerini oluşturmaktadır. P_n , E_n , P_s ve Perc değerleri ile kurulan YSA'larında eğitim algoritması olarak Levenberg–Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve veriler Denklem 4.18 ile [0,1-0,9] arasında standardize edilmiştir. Kurulan ağlarda, girdilerin bugünden geriye gidilerek verilmesinin ağ performanslarını arttırmadığı görülmüş ve ağlar bugünkü girdi değerleri ile oluşturulmuştur. Girdi verilerine göre kurulan tüm ağların gizli tabakasındaki hücre sayısı 1'den başlatılıp 10 hücreye kadar denenerek en iyi ağ yapısı araştırılmıştır. Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA entegre modelinin girdileri, ağ yapısı ve modelin eğitim ve test aşamalarındaki performans kriterleri Tablo 5.86'da verilmektedir.

Tablo 5.86 Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA günlük akım modellerinin girdileri, ağ yapısı ve model performans kriterleri

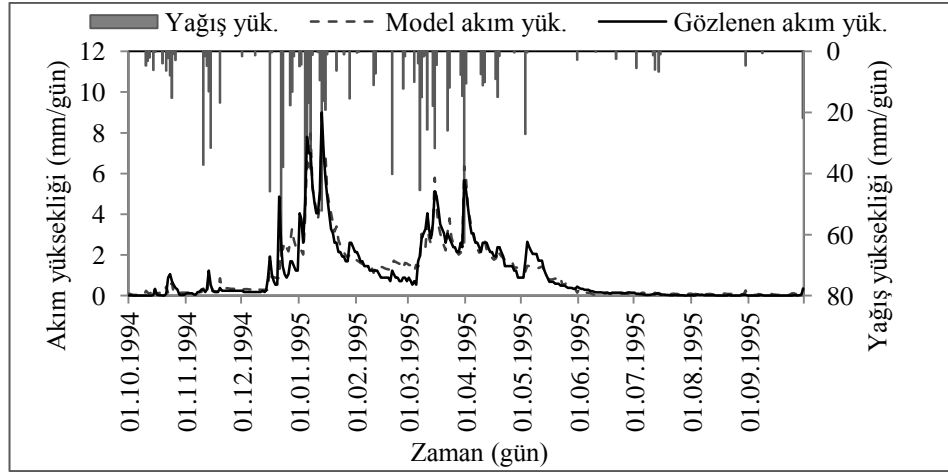
Model	Girdiler	Ağ yapısı	Eğitim		Test	
			NS	R ²	NS	R ²
GR4J -YSA	(P _n -E _n -P _s -Perc) _t	4-8-1	0,911	0,911	0,806	0,808

En iyi model performansı veren ağ yapısında, girdi tabakasında 4 hücre, gizli tabakasında 8 hücre ve çıktı tabakasında model akım yüksekliğini oluşturan 1 hücre yer almaktadır. Bu ağın eğitimi, 45 iterasyon ile öğrenme oranı (μ) 0,04 alınarak yapılmıştır. Ağın eğitimi sonucunda elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS ve R² değerleri 0,911, test sonucunda ise NS değeri 0,806 ve R² değeri 0,808 olarak hesaplanmıştır.

Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA günlük akım modelinin eğitiminden bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.136'da, akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri ise Şekil 5.137'de verilmektedir.

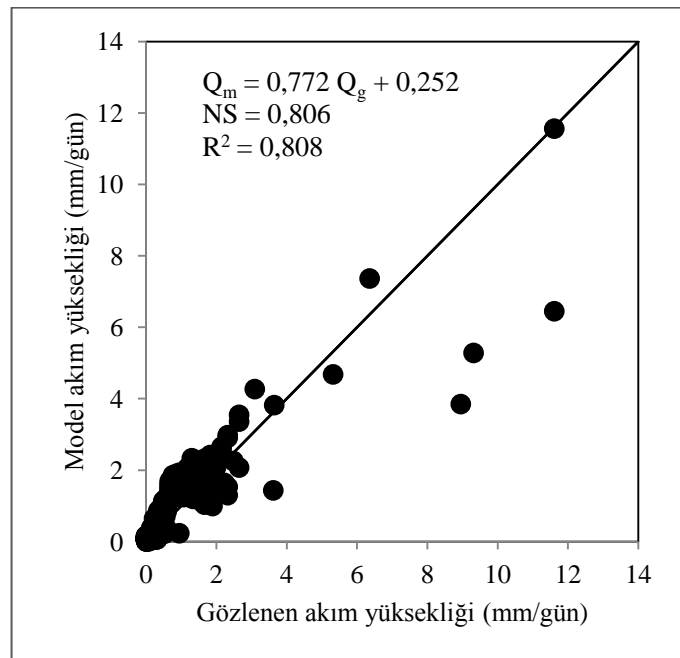


Şekil 5.136 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre modelin eğitim aşamasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

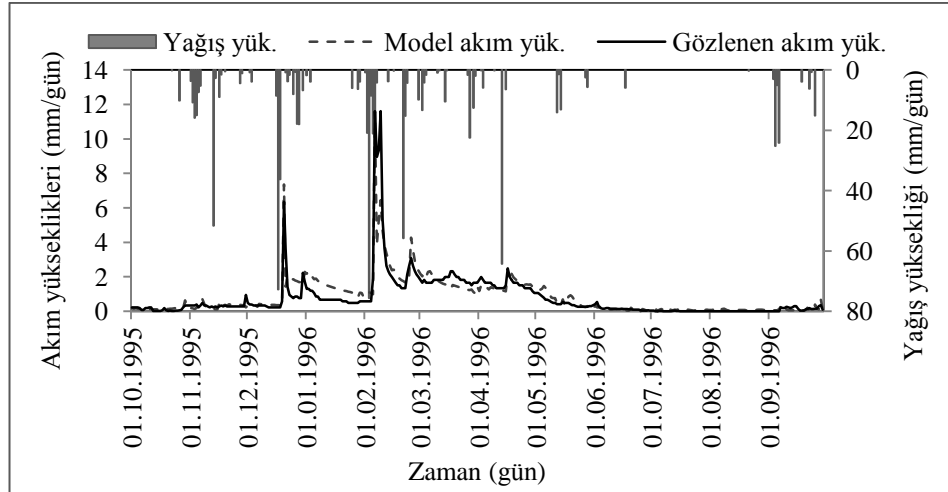


Şekil 5.137 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre modelin eğitim aşamasındaki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

GR4J-YSA entegre günlük akım modelinin testinden bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki saçılma diyagramı Şekil 5.138'de akım yüksekliklerinin gidiş eğrileri Şekil 5.139'da verilmektedir.



Şekil 5.138 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre modelin test aşamasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.139 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA entegre modelin test aşamasında hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA günlük akım modelinin eğitim ve testinden elde edilen model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.87'de sunulmaktadır.

Tablo 5.87 Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA modelinin eğitim ve testinde hesaplanan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin istatistikleri ve model performansları

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J-YSA	Gözlenen	GR4J-YSA
Ortalama (mm/gün)	1,065	1,108	0,771	0,847
Standart Sapma (mm/gün)	1,488	1,445	1,311	1,127
Çarpıklık	2,057	2,014	5,002	3,850
NS	0,911		0,806	
R ²	0,911		0,808	
KH	72,667		123,355	
OKHK	0,446		0,584	

Tablo 5.87'den görüleceği gibi GR4J-YSA entegrasyonu ile elde edilen sonuçlar sadece GR4J ve YSA tabanlı model sonuçlarına göre büyük ölçüde iyileşme olduğu görülmektedir.

5.2.6.4 Yiğitler althavzası günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli ile modellenmesi

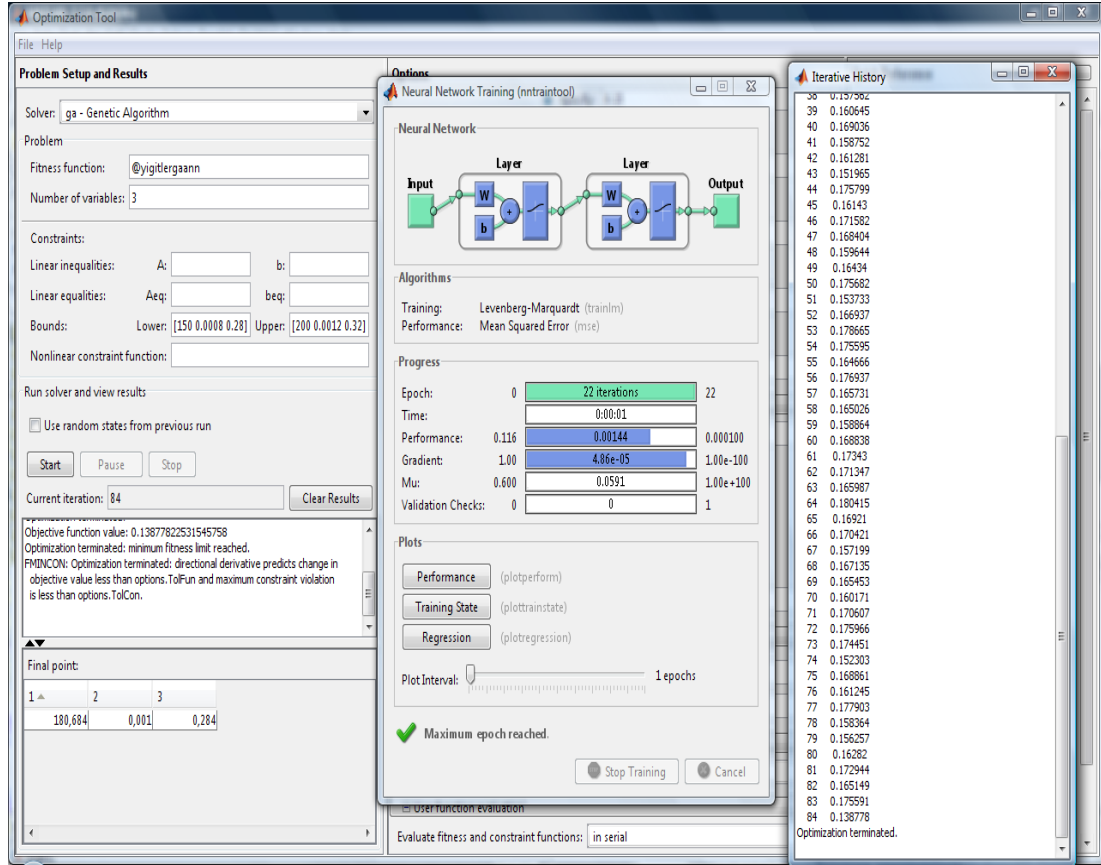
GR4J-YSA modeline genetik algoritmaların entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde kalibre edilmesi gereken parametreler, GR4J modelinin biriktirme elemanı depolaması (X_1 , mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Yiğitler althavzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 175,33 mm, a parametresi 0,0010 ve b parametresi 0,3023 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 150 mm, üst sınırı 200 mm, a parametresinin alt sınırı 0,0008 üst sınırı 0,0012 ve b parametresinin ise alt sınırı 0,28 üst sınırı 0,32 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi, sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 25 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,5 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde mutasyon olasılığı ise 0,1 olarak seçilmiştir.

GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, bugünkü P_n , E_n , P_s ve Perc girdileri ile elde edilmişti. YSA operatöründe ağırlık eğitimi, gizli tabakada 8 hücre kullanıldığında, öğrenme oranı 0,04 alınarak 45 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelinin 84 jenerasyon sonucunda bulunan model parametre değerleri Tablo 5.88'de ve Şekil 5.140'ta sunulmaktadır.

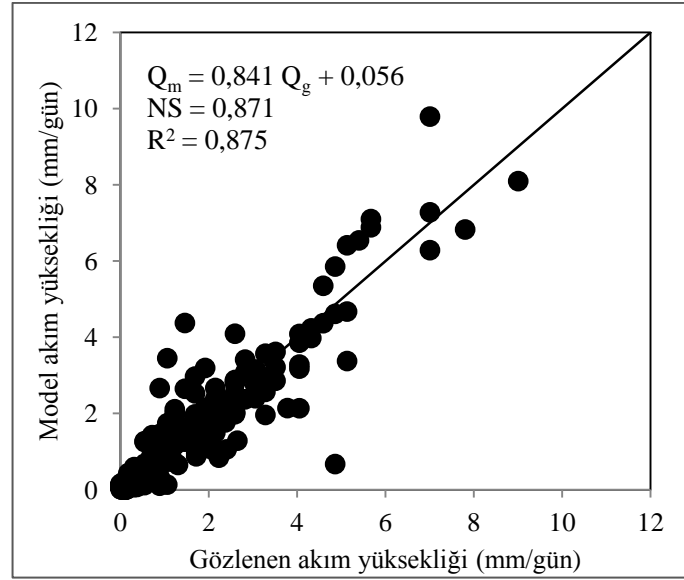
Tablo 5.88 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modeli parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
180,684	0,001	0,284

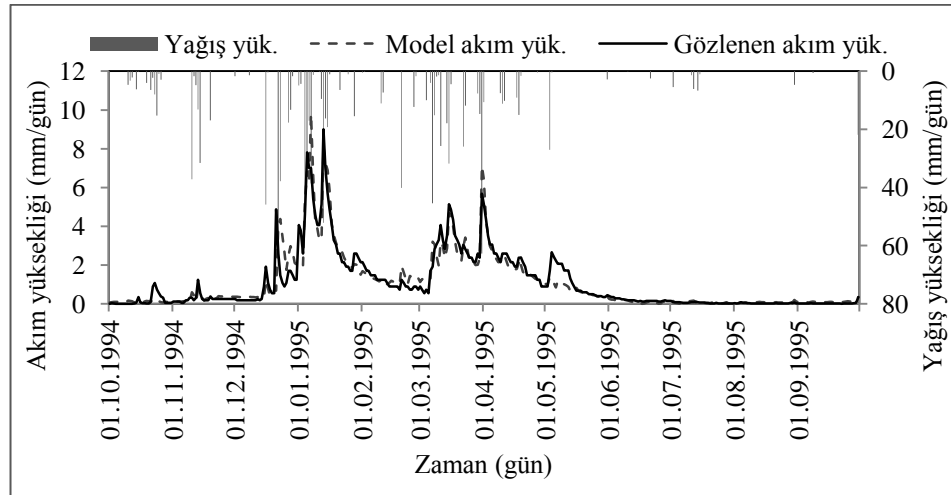


Şekil 5.140Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modeli parametre değerleri

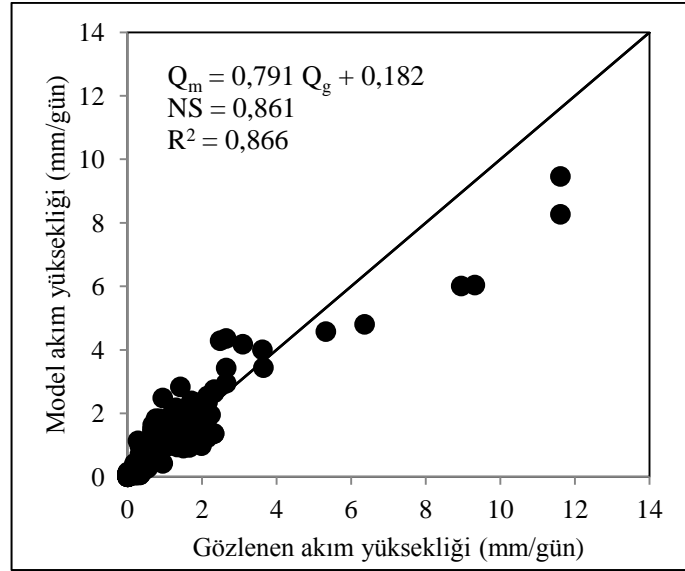
Entegre modelin kalibrasyonunda bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS değeri 0,871 ve R^2 değeri ise 0,875; verifikasyonunda ise NS değeri 0,861 ve R^2 değeri ise 0,866 olarak hesaplanmıştır. Entegre modelin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı Şekil 5.141 ve Şekil 5.143'te, gidiş grafikleri ise Şekil 5.142 ve Şekil 5.144'te sunulmaktadır..



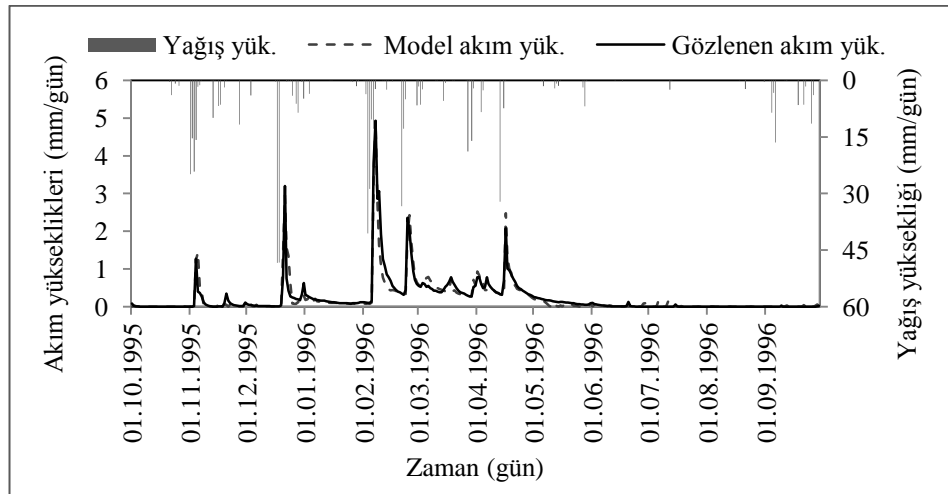
Şekil 5.141 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.142 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyonunda bulunan model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri



Şekil 5.143 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı



Şekil 5.144 Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin verifikasyon dönemindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin gidiş grafikleri

Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde bulunan akım yüksekliklerinin ve gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri Tablo 5.89'da verilmektedir.

Tablo 5.89 Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerinde bulunan akım yüksekliklerinin ve gözlenen akım yüksekliklerinin temel istatistikleri ve modelin performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenen	GR4J-YSA-GA	Gözlenen	GR4J-YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	1,065	1,058	0,771	0,792
Standart Sapma (mm/gün)	1,488	1,496	1,311	1,115
Çarpıklık	2,057	2,392	5,002	3,432
NS	0,872		0,861	
R ²	0,875		0,866	
KH	104,375		88,232	
OKHK	0,535		0,492	

Tablo 5.89'dan da görüleceği gibi GR4J-YSA-GA entegre modeliyle elde edilen sonuçların gerek bireysel olarak kurulan GR4J ve YSA modellerinden gerekse GR4J-YSA entegre modelinden elde edilen sonuçlara göre Yiğitler althavzası akımlarını çok daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

6.1 Genel

Sunulan çalışmada, kavramsal bir hidrolojik modele yapay zeka yöntemleri entegre edilerek, yeni bir günlük yağış akış modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen günlük yağış akış modeli Gediz Havzası'nın Murat, Selendi, Deliiniş, Demirci, Gördes, Medar ve Yiğitler althavzalarının günlük akımlarının modellenmesinde kullanılmıştır.

Çalışmada, yapay zeka yöntemlerinin kavramsal hidrolojik modele entegrasyonu, Perrin (2000) tarafından geliştirilen GR4J günlük yağış akış modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deterministik, ortalanmış, sürekli bir model olan GR4J modeli, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon girdileri ile X_1 , X_2 , X_3 , X_4 model parametrelerine bağlı olarak, günlük akımların modellenmesinde kullanılmaktadır. Biriktirme ve öteleme elemanlarından oluşan modelde, X_1 (mm) biriktirme elemanın depolama kapasitesini, X_2 (mm) yeraltısuyu değişimini, X_3 (mm) öteleme elemanının depolama kapasitesini ve X_4 (gün) öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliğini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında GR4J günlük yağış akış modeli kullanılarak Gediz havzası günlük akımları tahmin edilmiş ve sonuçları çalışma kapsamında geliştirilen entegre modelle karşılaştırılmıştır.

Çalışmada ayrıca, Gediz Havzası günlük akımları yapay sinir ağları ile de modellenmiştir. Yapay sinir ağları ile yapılan modelleme çalışmalarında iki farklı girdi seti kullanılmış, girdi setleri oluşturulurken, GR4J modeli ile aynı girdi setleri kullanılarak parametrik model ile YSA modelleri kıyaslanmıştır. Yapay sinir ağları ile kurulan akım modellerinde iki ağ yapısı incelenmiş ve YSA1'de yağış ve sıcaklık, YSA2 modelinde ise yağış ve potansiyel evapotranspirasyon verileri kullanılmıştır. YSA1 ve YSA2 akım modellerinin sonuçları da birbirleriyle karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Çalışma kapsamında geliştirilen entegre yağış akış modelinde ilk olarak, GR4J parametrik modeline, yapay sinir ağlarının entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı entegrasyonunda, GR4J modelinin parametrelerin azaltılması ve model içerisindeki doğrusal olmayan yapıdaki akım ötelemelerinin yapay sinir ağları ile gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, GR4J modelinden elde edilen net yağış (P_n , mm), net evapotranspirasyon (E_n , mm), net yağıştan biriktirme elemanına giden yağış yüksekliği (P_s , mm) ve biriktirme elemanından sızan akım yüksekliği (P_{erc} , mm) ile girdi seti oluşturulup model akım yükseklikleri tahmin edilmiştir. Böylelikle, doğrusal olmayan yapıdaki akım ötelenmesinin, birim hidrograflar yerine YSA'ları ile yapılmasıyla GR4J modelinin performansı önemli derecede arttırılmıştır. Ayrıca, GR4J modeline YSA'nın entegrasyonu ile birim hidrograflar ile yapılan öteleme işleminin yanı sıra, öteleme elemanı da GR4J modelinden kaldırılarak hem birim hidrograflara ait X_4 parametresi hem de öteleme elemanına ait X_3 parametresi ve öteleme elemanının yeraltısuyu ile arasındaki ilişkiyi gösteren X_2 parametrelerinin kalibrasyonu ortadan kaldırılmıştır. GR4J-YSA modelinde YSA bölümünün girdi setini oluşturan P_n , E_n , P_s ve P_{erc} verilerinin GR4J modelinden bağımsız olarak bulunabilmesi için modelin X_1 (mm) biriktirme elemanın depolama kapasitesini ve a, b potansiyel evapotranspirasyon parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, GR4J-YSA modeline genetik algoritmalar entegre edilmiştir. Kurulan GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA akım modellerinin Gediz Havzasına ait günlük akım tahminleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

6.2 Gediz Havzası Günlük Akım Modellerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Gediz Havzası'na ait Murat, Selendi, Deliiniş, Demirci, Gördes, Medar ve Yiğitler althavzalarının günlük akımları GR4J, YSA, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA günlük akım modelleri ile tahmin edilerek (Bölüm 5) model sonuçları Tablo 6.1 ile 6.7'de karşılaştırılmalı olarak tekrar özetlenmiş ve althavzalarda kurulan tüm modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait saçılma diyagramları Şekil 6.1 ile Şekil 6.7'de verilmiştir.

İlgili tablolarda verilen NS, R^2 , KH ve OKHK gibi model performans göstergeleri incelendiğinde Gediz havzası günlük akımlarının tahmini için kurulan modellerden en iyi sonuçların, çalışma kapsamında geliştirilen GR4J-YSA-GA entegre modeliyle elde edildiği görülmektedir. Gediz havzası günlük akımlarının modellenmesinde, GR4J modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki performanslarının, modele YSA'nın ve ardından GA'nın entegre edilmesiyle, modelin Demirci althavzasındaki uygulanması haricinde artmakta olduğu görülmektedir. Modellerin Demirci althavzasındaki sonuçları Tablo 6.4'ten incelendiğinde model performans göstergelerinin beklenen ölçüde iyi olmadığı belirlenmiştir. Tüm modellerin bu althavzada benzer sonuçlar üretmesi, model girdileri (yağış, sıcaklık) ile çıktılarının (akımların) tutarlı olmadıklarını akla getirmektedir. Bu tutarsızlığın akım ölçümlerindeki sistematik hatalardan veya büyük ölçüde yağış rasatlarının havzaya düşen gerçek yağışları yansıtmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca ilgili tablolardan, kavramsal hidrolojik modele, yapay zeka tekniklerinin entegre edilmesi ile model yapısında bulunan, yağışın akışa dönüşümündeki doğrusal olmayan süreçlerin, entegre model ile daha iyi tanımlandığı; ayrıca, model parametrelerinin azaltılmasıyla, kalibrasyon güçlüklerinin ortadan kalktığı ve kalibrasyonun hızlandığı görülmektedir. Şekil 6.1 ile Şekil 6.7 arası verilen Gediz havzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait saçılma diyagramları incelendiğinde, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon girdi setleri ile kurulan YSA2 akım modelinin hem kalibrasyon hem de verifikasyon dönemlerindeki saçılımlarının diğer modellere göre çok dağınık olduğu görülmektedir. YSA2 modelinde saçılımların bu derece dağınık olması, akım tahminlerinin sadece yağış verileri ile yapılmasından kaynaklanmaktadır. GR4J modelinin Gediz havzasındaki uygulamalarının kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki saçılımlarının, düşük akım seviyelerinde fazla olmadığı fakat akım yüksekliklerinin artması ile saçılımların da arttığı görülmektedir. GR4J modelindeki akım ötelemelerinin YSA entegrasyonu ile elde edildiği GR4J-YSA modelinin Gediz havzasındaki akım tahminleri ile gözlemler arasındaki saçılımlar incelendiğinde, modelin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki saçılımları, GR4J modeline göre çok daha az seviyede olduğu görülmektedir. Buradan, GR4J-YSA modelinin akımları GR4J modeline göre daha iyi tahmin ettiği görülmektedir. GR4J-YSA

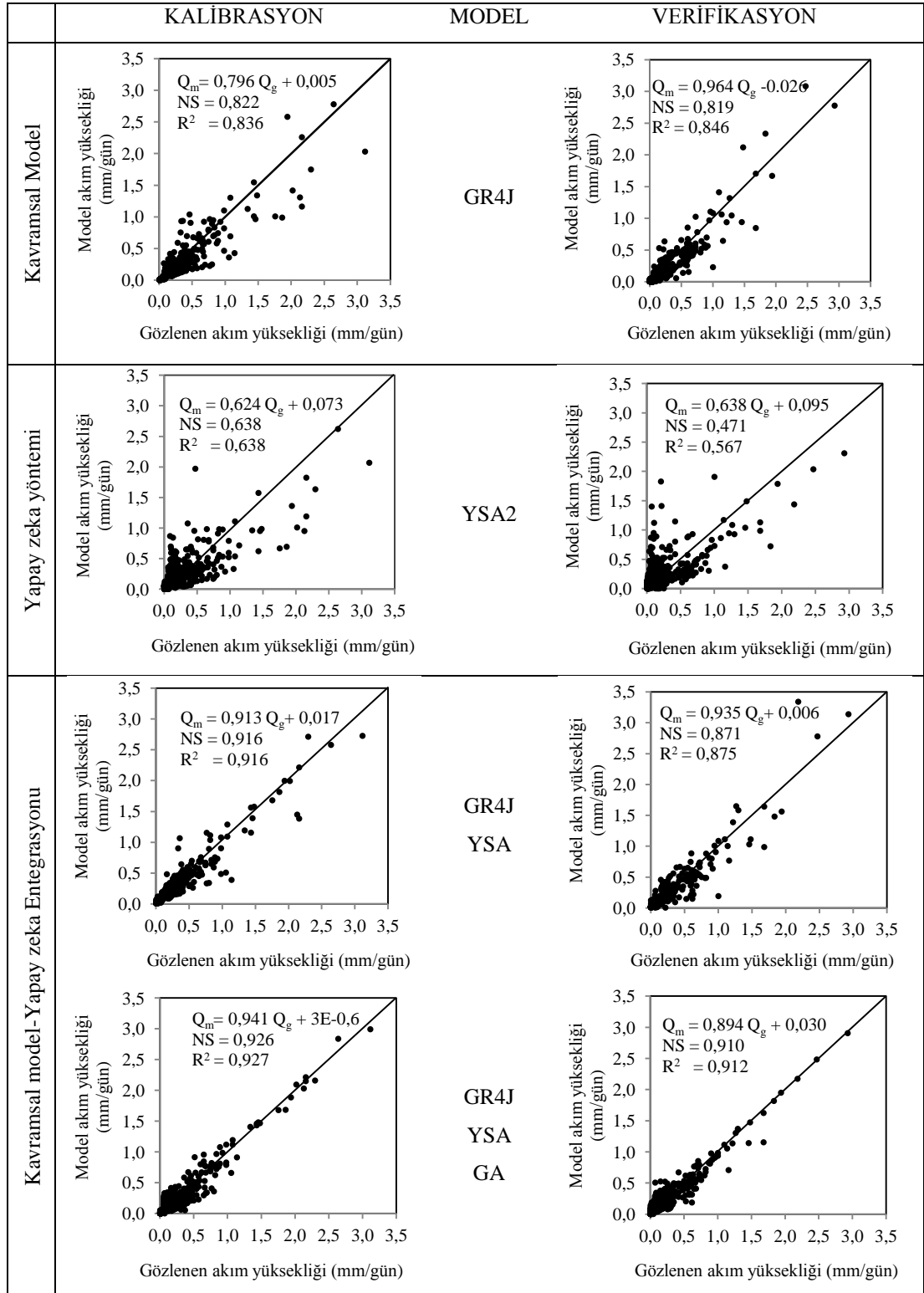
modeline GA'nın entegre edilmesiyle geliştirilen GR4J-YSA-GA akım modelinin, althavzalardaki kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki saçılımlarına bakıldığında, diğer akım modellere göre çok daha az olduğu; althavzaların hem düşük hem de pik akımlarını çok daha iyi tahmin ettiği görülmektedir.

Sonuç olarak çalışma kapsamında geliştirilen GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin, Gediz havzası günlük akımlarının tahmininde diğer dört modele göre daha iyi sonuçlar verdiği; kavramsal hidrolojik modele yapay zeka tekniklerinin entegrasyonu ile model parametrelerinin azaltılarak parametre kalibrasyonunun daha başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği ve model içerisinde bulunan doğrusal olmayan süreçlerin yapay zeka teknikleriyle daha iyi modellendiği görülmektedir.

Tablo 6.1 Murat alt havzası günlük akımlarının GR4J, YSA, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA entegrasyonlu günlük yağış akış model akımlarının temel istatistikleri ve modellerin performansları

Murat alt havzası günlük akım yük.	Kalibrasyon							Verifikasyon						
	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK
Gözlenen akım	0,199	0,328	4,206					0,168	0,292	4,266				
GR4J modeli	0,163	0,285	4,315	0,822	0,836	13,986	0,195	0,136	0,306	6,340	0,819	0,846	11,379	0,176
YSA1 (P, T) modeli	0,199	0,261	3,588	0,663	0,663	26,534	0,191	0,200	0,266	3,522	0,494	0,538	31,458	0,208
YSA2 (P, PE) modeli	0,196	0,258	4,520	0,643	0,643	28,556	0,198	0,202	0,260	3,658	0,473	0,516	31,458	0,212
GR4J-YSA modeli	0,198	0,313	4,160	0,916	0,916	6,620	0,135	0,163	0,292	5,260	0,871	0,875	8,024	0,148
GR4J-YSA-GA modeli	0,187	0,321	4,492	0,926	0,927	5,845	0,127	0,181	0,274	4,621	0,912	0,912	5,636	0,124

Ort: Ortalama; S.Sap: Standart Sapma; Çarp: Çarpıklık katsayısı; NS: Nash Stoulliffe katsayısı; r²: Determinasyon katsayısı; KH: Karesel Hata; OKHK: Ortalama Karesel Hataların Karekökü

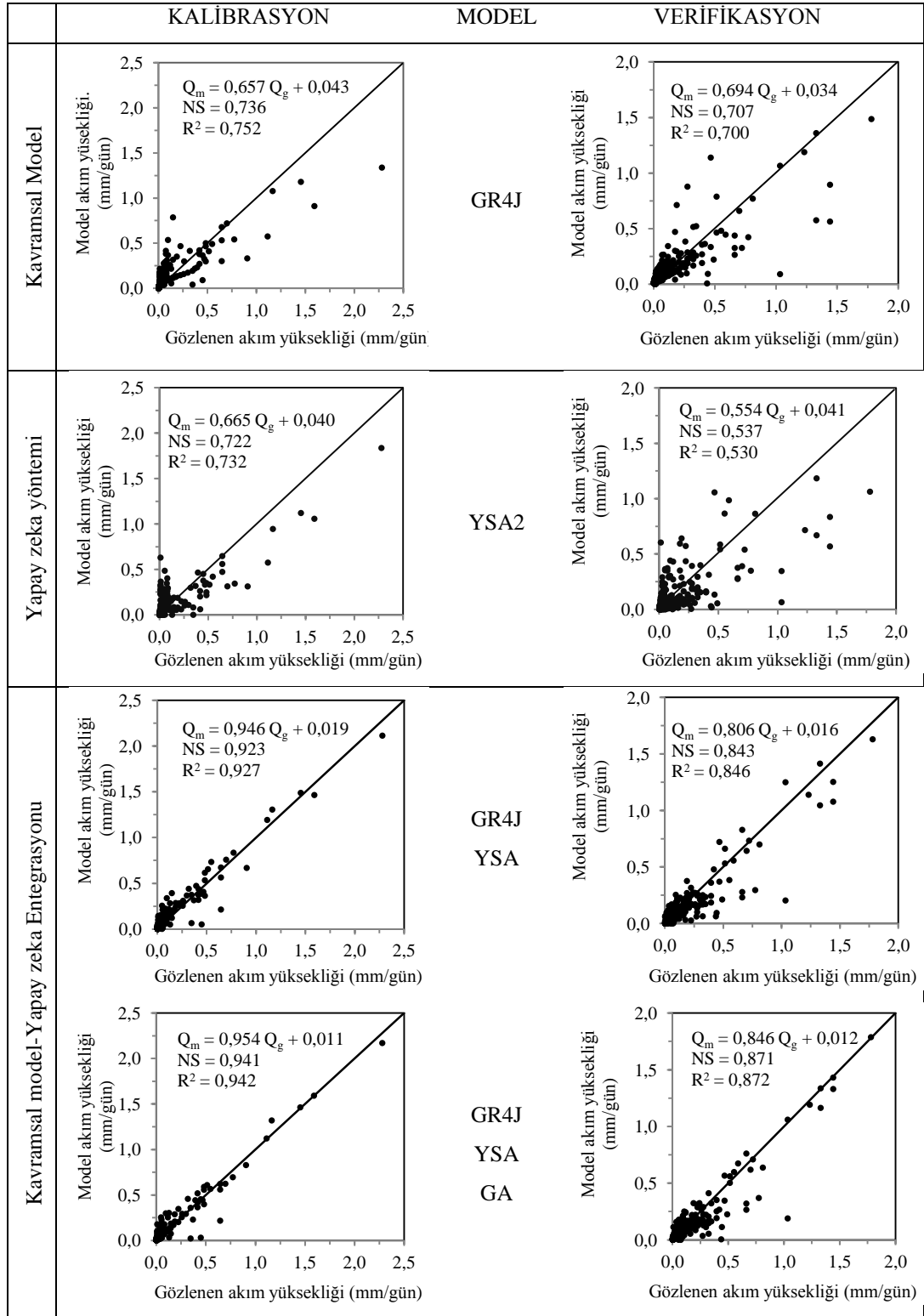


Şekil 6.1 Murat althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

Tablo 6.2 Selendi althavzası günlük akımlarının GR4J, YSA, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA entegrasyonlu günlük yağış akış model akımlarının temel istatistikleri ve modellerin performansları

Selendi alt havzası günlük akım yük.	Kalibrasyon							Verifikasyon						
	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK
Gözlenen akım	0,082	0,217	5,755					0,117	0,231	3,978				
GR4J modeli	0,097	0,165	3,895	0,736	0,752	4,539	0,079	0,116	0,192	3,966	0,707	0,700	5,283	0,126
YSA1 (P, T) modeli	0,099	0,168	4,855	0,711	0,700	5,153	0,119	0,114	0,173	3,540	0,485	0,476	10,225	0,159
YSA2 (P, PE) modeli	0,095	0,169	5,096	0,722	0,732	4,770	0,114	0,106	0,176	3,298	0,537	0,530	9,174	0,159
GR4J-YSA modeli	0,097	0,213	5,275	0,927	0,923	1,331	0,060	0,110	0,202	4,373	0,846	0,843	3,046	0,091
GR4J-YSA-GA modeli	0,090	0,213	5,617	0,942	0,942	1,018	0,053	0,110	0,209	4,464	0,872	0,871	2,525	0,083

Ort: Ortalama; S.Sap: Standart Sapma; Çarp: Çarpıklık katsayısı; NS: Nash Stucilffe katsayısı; r²: Determinasyon katsayısı; KH: Karesel Hata; OKHK: Ortalama Karesel Hataların Karekökü

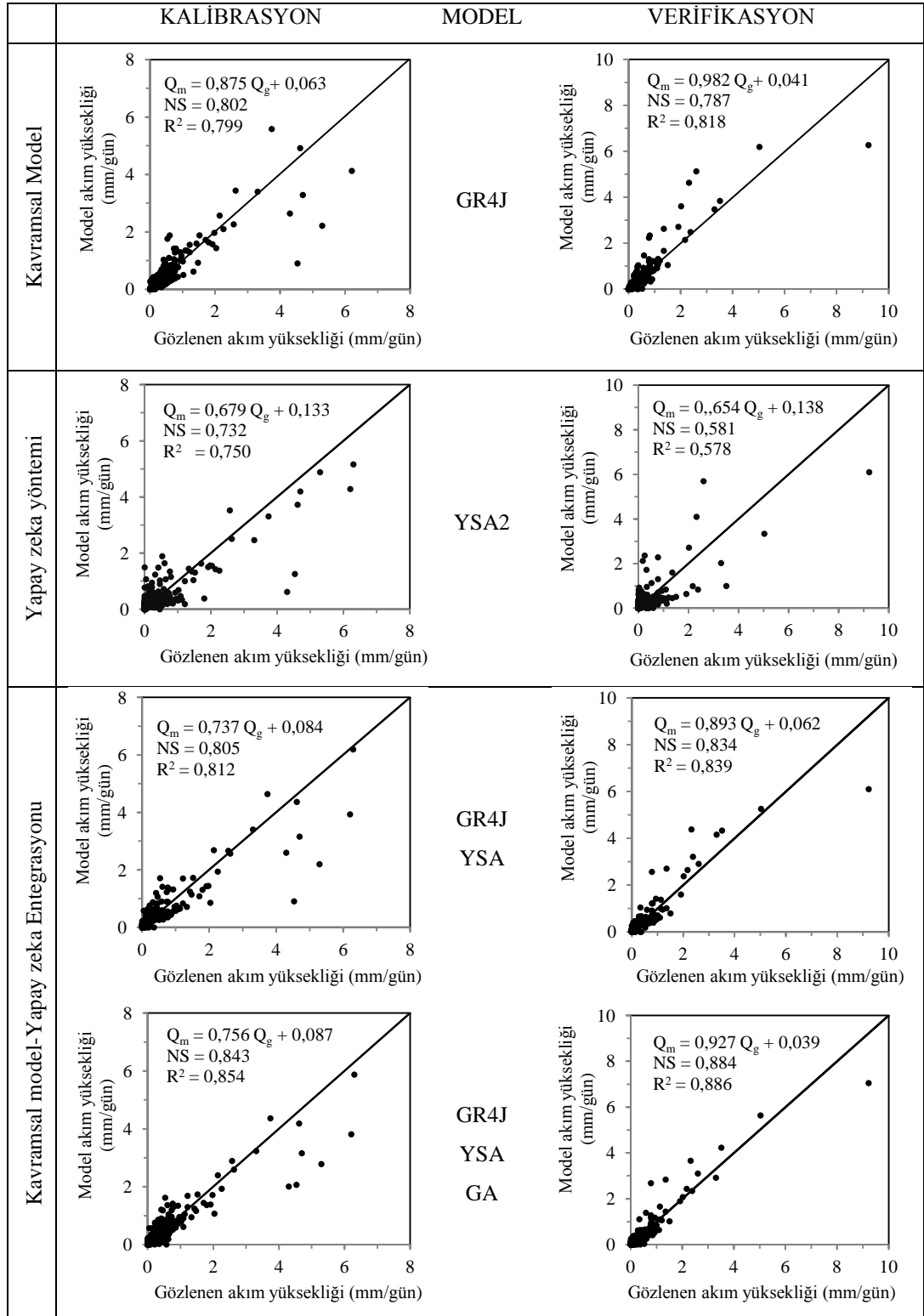


Şekil 6.2 Selendi althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

Tablo 6.3 Deliiniş althavzası günlük akımlarının GR4J, YSA, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA entegrasyonlu günlük yağış akış model akımlarının temel istatistikleri ve modellerin performansları

Deliiniş alt havzası günlük akım yük.	Kalibrasyon							Verifikasyon						
	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK
Gözlenen akım	0,363	0,832	4,495					0,284	0,697	7,623				
GR4J modeli	0,374	0,798	5,024	0,802	0,799	51,914	0,377	0,320	0,757	4,955	0,787	0,828	38,451	0,325
YSA1 (P, T) modeli	0,380	0,666	4,536	0,700	0,709	73,832	0,450	0,324	0,557	5,503	0,504	0,500	90,581	0,492
YSA2 (P, PE) modeli	0,379	0,652	4,456	0,732	0,750	64,730	0,721	0,325	0,602	6,030	0,581	0,577	77,222	0,460
GR4J-YSA modeli	0,351	0,680	4,481	0,805	0,812	49,159	0,367	0,316	0,681	5,201	0,834	0,839	29,580	0,285
GR4J-YSA-GA modeli	0,361	0,680	3,970	0,843	0,854	39,646	0,330	0,302	0,687	5,562	0,884	0,886	20,609	0,238

Ort: Ortalama; S.Sap: Standart Sapma; Çarp: Çarpıklık katsayısı; NS: Nash Stueliffe katsayısı; r²: Determinasyon katsayısı; KH: Karesel Hata; OKHK: Ortalama Karesel Hataların Karekökü

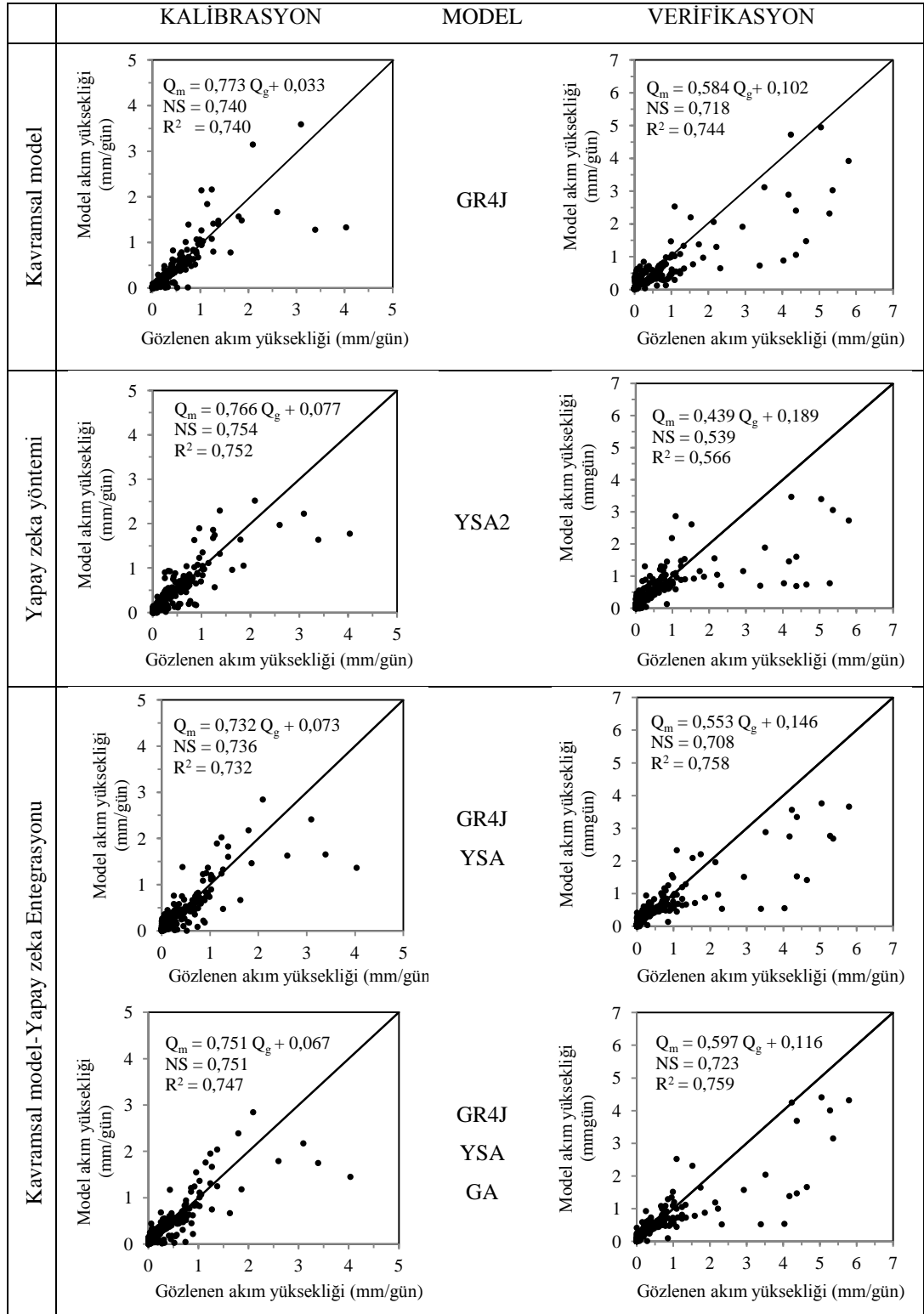


Şekil 6.3 Deliiniş althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

Tablo 6.4 Demirci althavzası günlük akımlarının GR4J, YSA, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA entegrasyonlu günlük yağış akış model akımlarının temel istatistikleri ve modellerin performansları

Demirci althavzası günlük akım yük.	Kalibrasyon							Verifikasyon						
	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK
Gözlenen akım	0,266	0,476	3,757					0,384	0,874	3,978				
GR4J modeli	0,238	0,428	3,591	0,740	0,740	21,928	0,245	0,326	0,591	4,504	0,718	0,744	82,180	0,475
YSA1 (P, T) modeli	0,268	0,410	2,518	0,747	0,751	20,867	0,239	0,349	0,502	3,159	0,522	0,557	132,070	0,602
YSA2 (P, PE) modeli	0,280	0,421	2,418	0,754	0,752	20,616	0,238	0,352	0,510	2,976	0,534	0,566	128,988	0,595
GR4J-YSA modeli	0,267	0,407	2,782	0,736	0,732	22,125	0,246	0,358	0,555	3,601	0,703	0,758	83,066	0,477
GR4J-YSA-GA modeli	0,267	0,414	2,724	0,751	0,747	20,851	0,239	0,345	0,599	4,286	0,723	0,759	77,418	0,461

Ort: Ortalama; S.Sap: Standart Sapma; Çarp: Çarpıklık katsayısı; NS: Nash Stuciffie katsayısı; r²: Determinasyon katsayısı; KH: Karesel Hata; OKHK: Ortalama Karesel Hataların Karekökü

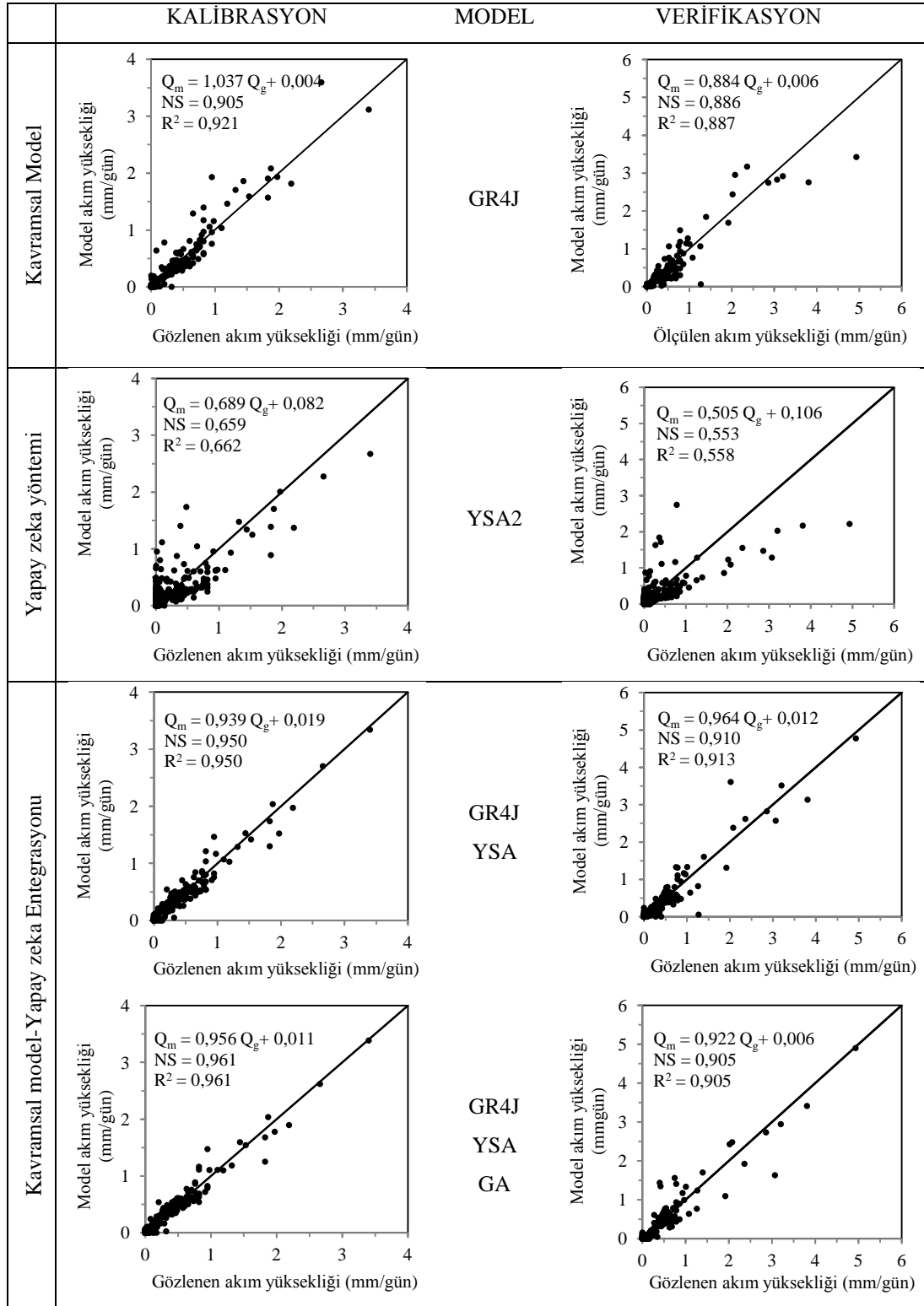


Şekil 6.4 Demirci althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

Tablo 6.5 Gördes althavzası günlük akımlarının GR4J, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA entegrasyonlu günlük yağış akış model akımlarının temel istatistikleri ve modellerin performansları

Gördes althavzası günlük akım yük.	Kalibrasyon							Verifikasyon						
	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK
Gözlenen akım	0,204	0,400	3,717					0,237	0,515	5,016				
GR4J modeli	0,216	0,432	3,806	0,905	0,921	5,512	0,087	0,216	0,483	4,296	0,886	0,887	11,074	0,123
YSA1 (P, T) modeli	0,215	0,323	3,174	0,636	0,636	21,219	0,241	0,220	0,349	4,179	0,528	0,531	45,699	0,354
YSA2 (P, PE) modeli	0,222	0,338	3,426	0,659	0,662	19,848	0,233	0,226	0,349	3,786	0,553	0,558	43,297	0,344
GR4J-YSA modeli	0,210	0,385	3,761	0,950	0,950	2,911	0,089	0,241	0,520	4,964	0,910	0,910	8,750	0,155
GR4J-YSA-GA modeli	0,206	0,390	3,684	0,961	0,961	2,297	0,079	0,225	0,499	4,796	0,905	0,905	9,239	0,159

Ort: Ortalama; S.Sap: Standart Sapma; Çarp: Çarpıklık katsayısı; NS: Nash Stucilffe katsayısı; r²: Determinasyon katsayısı; KH: Karesel Hata; OKHK: Ortalama Karesel Hataların Karekökü

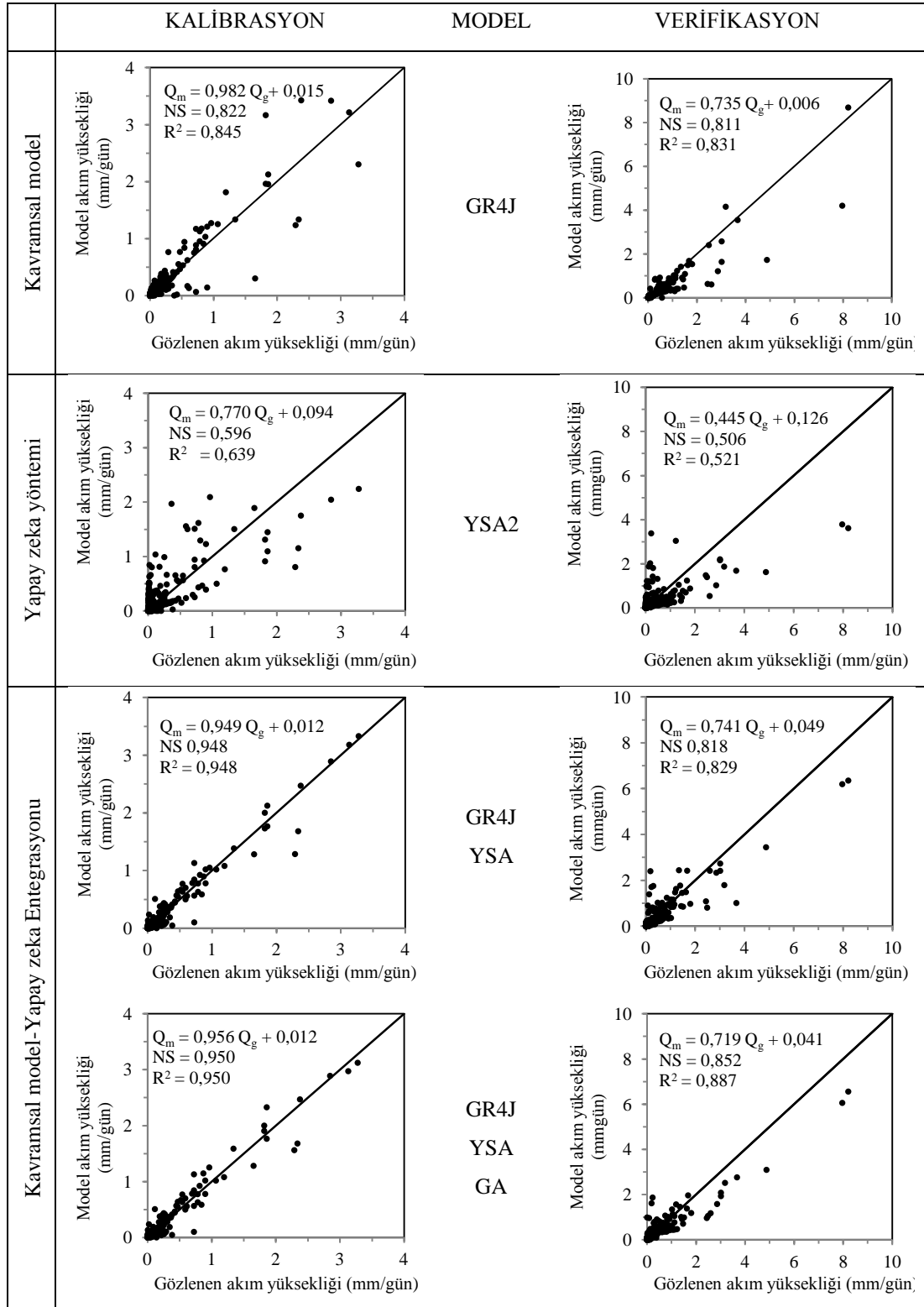


Şekil 6.5 Gördes althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

Tablo 6.6 Medar althavzası günlük akımlarının GR4J, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA entegrasyonlu günlük yağış akış model akımlarının temel istatistikleri ve modellerin performansları

Medar althavzası günlük akım yük	Kalibrasyon							Verifikasyon						
	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK
Gözlenen akım	0,172	0,437	4,407					0,312	0,812	6,192				
GR4J modeli	0,184	0,467	4,546	0,822	0,845	12,405	0,130	0,235	0,654	7,922	0,811	0,831	45,444	0,249
YSA1 (P, T) modeli	0,220	0,361	3,320	0,528	0,547	32,878	0,300	0,249	0,506	4,129	0,497	0,512	120,758	0,576
YSA2 (P, PE) modeli	0,227	0,421	4,167	0,596	0,639	28,113	0,278	0,265	0,501	3,977	0,506	0,521	118,487	0,570
GR4J-YSA modeli	0,176	0,426	4,478	0,948	0,948	3,607	0,099	0,281	0,661	5,375	0,818	0,829	43,672	0,346
GR4J-YSA-GA modeli	0,177	0,429	4,240	0,950	0,950	3,526	0,098	0,265	0,620	6,124	0,852	0,887	35,626	0,312

Ort: Ortalama; S.Sap: Standart Sapma; Çarp: Çarpıklık katsayısı; NS: Nash Stuciffé katsayısı; r²: Determinasyon katsayısı; KH: Karesel Hata; OKHK: Ortalama Karesel Hataların Karekökü

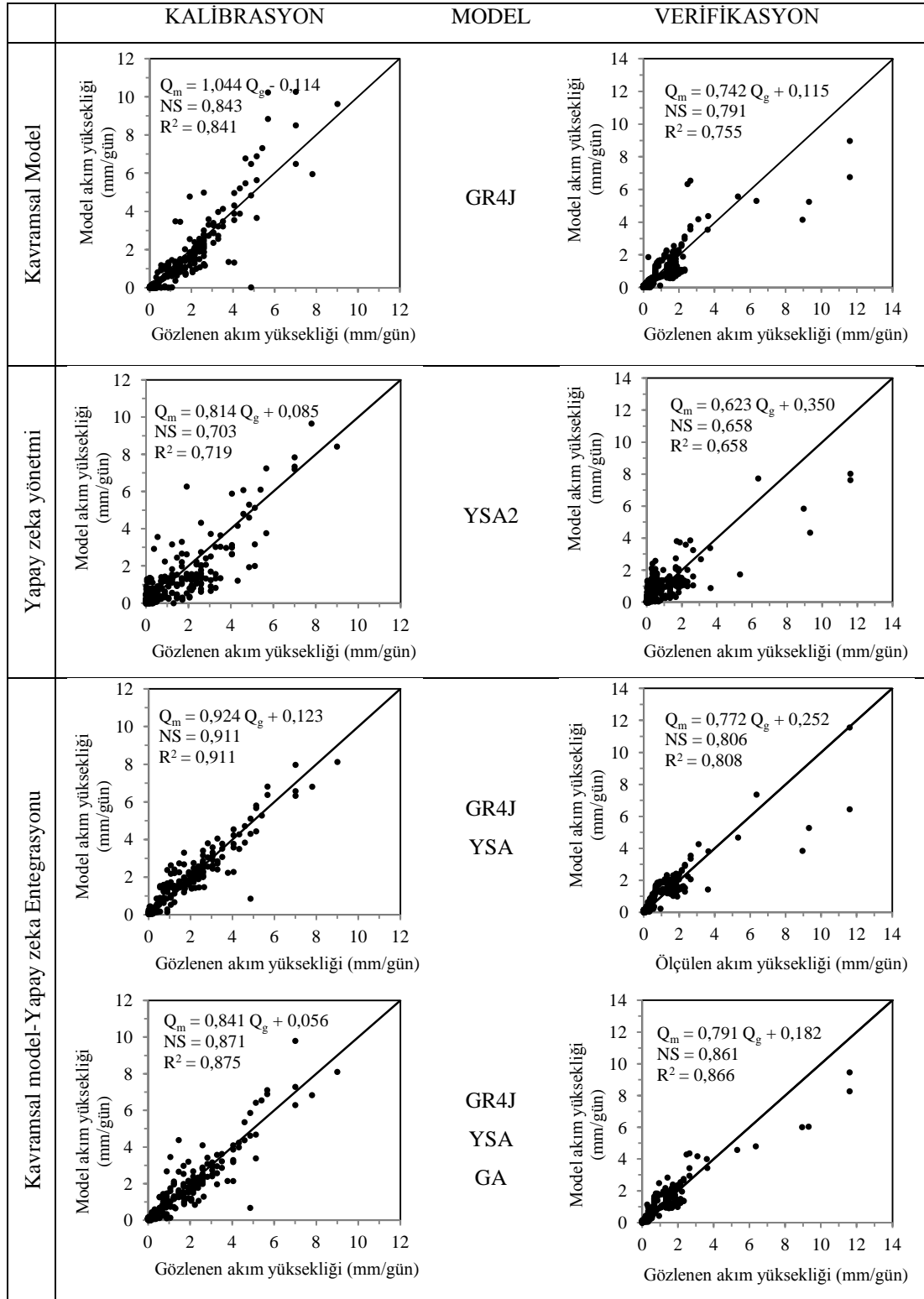


Şekil 6.6 Medar althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

Tablo 6.7 Yiğitler althavzası günlük akımlarının GR4J, GR4J-YSA ve GR4J-YSA-GA entegrasyonlu günlük yağış akış model akımlarının temel istatistikleri ve model performansları

Yiğitler alt havzası günlük akım yük.	Kalibrasyon							Verifikasyon						
	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK	Ort. (mm/gün)	S. Sap. (mm/gün)	Çarp.	NS	R ²	KH	OKHK
Gözlenen akım	1,065	1,488	2,057					0,771	1,311	5,002				
GR4J modeli	0,998	1,693	2,827	0,843	0,841	169,090	0,481	0,687	1,121	3,457	0,791	0,756	156,708	0,463
YSA1 (P, T) modeli	0,965	1,112	2,216	0,643	0,648	290,280	0,892	0,927	1,000	3,632	0,567	0,575	275,020	0,869
YSA2 (P, PE) modeli	0,952	1,428	2,979	0,703	0,719	241,284	0,813	0,831	1,009	3,537	0,658	0,658	217,244	0,772
GR4J-YSA modeli	1,108	1,445	2,014	0,911	0,911	72,667	0,446	0,847	1,127	3,850	0,806	0,808	123,355	0,584
GR4J-YSA-GA modeli	1,058	1,496	2,392	0,872	0,875	104,375	0,535	0,792	1,115	3,432	0,861	0,866	88,232	0,492

Ort: Ortalama; S.Sap: Standart Sapma; Çarp: Çarpıklık katsayısı; NS: Nash Stucilffe katsayısı; r²: Determinasyon katsayısı; KH: Karesel Hata; OKHK: Ortalama Karesel Hataların Karekökü

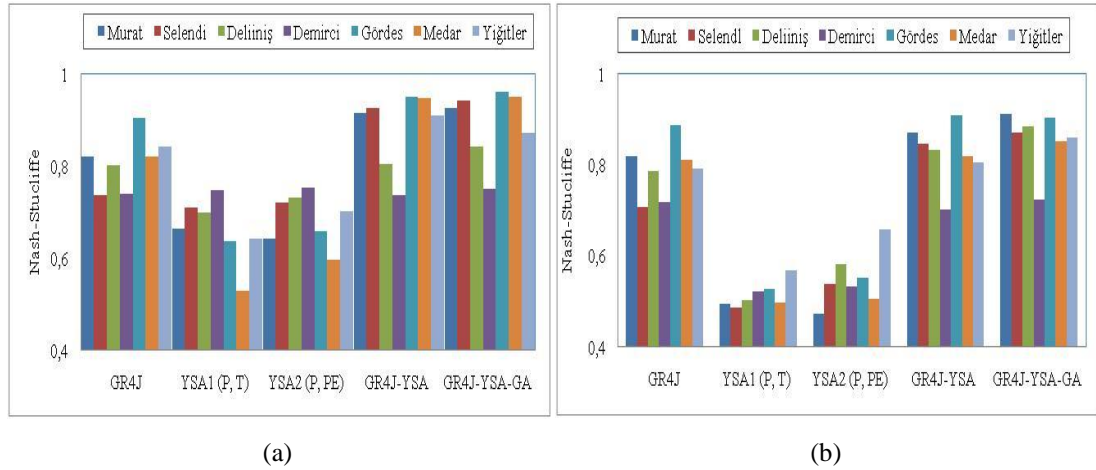


Şekil 6.7 Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı

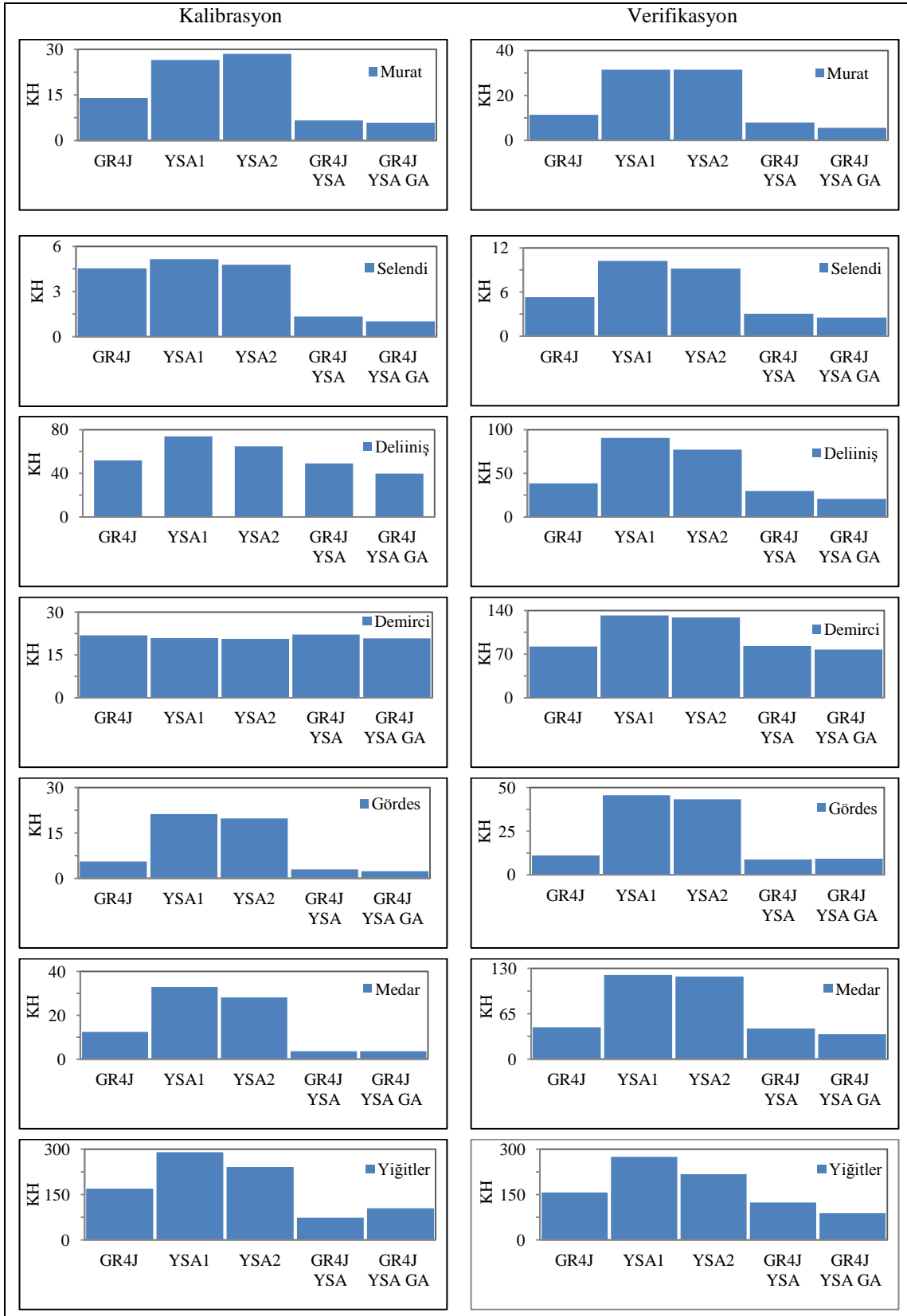
6.3 Sonuç

Kavramsal GR4J modeli, YSA modelleri ve tez çalışmasında geliştirilen GR4J-YSA, GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modellerinin havza genelindeki performansları incelendiğinde, YSA ve GA entegrasyonunun model performanslarını hissedilir ölçüde arttırdığı belirlenmiştir.

Şekil 6.8 ve 6.9’da verilen, Gediz havzası günlük akımlarının tahmininde kullanılan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki Nash-Stucliffe (NS) ile modellerin karesel hatalarına (KH) ait grafikler incelendiğinde, en düşük Nash-Stucliffe performansları ile en yüksek karesel hatalar YSA’lar ile kurulan günlük yağış-akış modellerinde gözlenmiştir. Kavramsal GR4J modelinin Nash-Stucliffe performansları ise modele yapay sınır ağlarının entegrasyonu ile önemli ölçüde artarken karesel hataları önemli ölçüde azalmaktadır. GR4J-YSA modelinin otomatik kalibrasyonu için GA’nın entegre edilmesiyle geliştirilen GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modelinde ise diğer tüm modellere göre en yüksek Nash-Stucliffe model performansları ve en düşük model hataları elde edilmiştir.



Şekil 6.8 Gediz havzası günlük akımlarının tahmininde kullanılan modellerin kalibrasyon (a) ve verifikasyon (b) dönemlerindeki Nash-Stucliffe performansları



Şekil 6.8 Gediz havzası günlük akımlarının tahmininde kullanılan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki karesel hata (KH) performansları

Sonuç olarak tez kapsamında geliştirilen kavramsal yağış akış modeli ve yapay zeka entegrasyonunun, gerek kavramsal model gerekse yapay zeka tekniklerine dayanan akım tahmin modellerinin performanslarını önemli ölçüde arttırdığı; söz konusu entegrasyonun kavramsal modellerdeki parametre sayısını azaltarak, model kalibrasyonunu kolaylaştırdığı ve kalibrasyon srecini hızlandırdığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E., Rasmussen, J. (1986). An introduction to the European Hydrologic System-Systeme Hydrologique Europeen, 'SHE', 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, 87 (1-2), 45-77.
- Abrahart, R.J., See, L.M. (2007). Neural network emulation of a rainfall-runoff model. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4, 287-326.
- Agarwal, A., & Singh, R.D. (2004). Runoff modeling through back propagation artificial neural networks with variable rainfall – runoff data. *Water Resources Management*, 18, 285–300.
- Agirre, U., Goni, M., Lopez J.J., Gimena F.N. (2005). Application of a unit hydrograph based on subwatershed division on comparison with Nash's instantaneous unit hydrograph. *Catena*, 64, 321-332.
- Agrawal, R.K. ve Singh, J.K. (2003). Application of a genetic algorithm in the development and optimization of a non-linear dynamic runoff model. *Biosystems Engineering*, 86 (1), 87-95.
- Arnold J.G., Allen P.M., Morgan D.S. (2001). Hydrological model for design and constructed wetland. *Wetlands*, 21 (2), 167-178.
- Aronica, G.T. ve Candela, A. (2007). Derivation of flood frequency curves in poorly gauged Mediterranean catchments using a simple stochastic hydrological rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 347 (1-2), 132-142.
- Aubert D., Loumagne C., Oudin L. (2003). Sequential assimilation of soil moisture and streamflow data in a conceptual rainfall–runoff model. *Journal of Hydrology*, 280, 145-161.

- Bayazıt, M. (1998) *Hidrolojik Modeller*. 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Türkiye,.
- Beven, K. (1989). Changing ideas in hydrology – The case of physically – based models. *Journal of Hydrology*, 105, 157-172.
- Beven, K. (1993). Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modeling. *Advances in Water Resources*, 16(1), 41-51.
- Bhadra, A., Panigrahy, N., Singh, R., Raghuwanshi, N. S., Mal, B. C., Tripathi, M. P. (2008). Development of geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. *Environmental Modelling & Software*, 23, 1013-1025.
- Boughton, W.C., 2005. Catchment water balance modelling in Australia 1960-2004. *Agricultural Water Management*, 71, 91-116.
- Boyle, D.P., Gupta, H.V., Sorooshian, S. (2000). Toward improved calibration of hydrologic models: Combining strengths of manual and automatic methods. *Water Resources Research*, 36 (12), 3663-3674.
- Broomhead, D. S., ve Lowe, D. (1988). Multivariable Functional Interpolation and Adaptive Networks. *Complex SYSTEMS*, 2, 321–355.
- Cheng, C. T. ,Zhao, M. Y., Chau, K. W., Wu, X. Y. (2006). Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure. *Journal of Hydrology*, 316 (1-4), 129-140.
- Cheng, C.-T., Wu, X.-Y., Chau, K.W. (2005). Multiple criteria rainfall-runoff model calibration using a parallel genetic algorithm in a cluster of computers. *Hydrological Sciences Journal*, 50 (6), 1069-1088

- Chiang Y.M., Chang, L.C., Chang, F.J. (2004). Comparison of static-feedforward and dynamic-feedback neural networks for rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 290, 297-311.
- Chua, L. H. C. ve Wong, T. S. W. (2010). Improving event-based rainfall-runoff modeling using a combined artificial neural network-kinematic wave approach. *Journal of Hydrology*, 390, 92-107.
- Chua, L. H. C., Wong, T. S. W. ve Wang, X. H. (2011). Information recovery from measured data by linear artificial neural networks-An example from rainfall-runoff modeling. *Applied Soft Computing*, 11, 373-381.
- Cıgızoğlu H.K, Aşkın, P., Öztürk, A., Gürbüz, A., Ayhan, Ö., Yıldız, M., Uçar, İ. (2007). Artificial Neural Network Models In Rainfall-Runoff Modelling Of Turkish Rivers. *International Congress On River Basin Management Chapter IV River Basin Flood Management* içinde (560-571).
- Cıgızoğlu, H., K. (2005). Estimation and forecasting of daily suspended data bu multi-layer perceptrons. *Advances in Water Resources*. 27, 185–195.
- Cooper, V. A., Ngıyen, V.-T.-V., Nicell, J. A. (2007). Calibration of conceptual rainfall-runoff models using global optimization methods with hydrologic process-based parameter constraints. *Journal of Hydrology*, 334, 455-466.
- Crawford, N.H. ve Linsley, R.K. (1966). *Digital Simulation on Hydrology: Stanford Watershed Model IV*. Stanford University Technical Report No. 39, Stanford University, Palo Alto, CA.
- Croke, B. F. W. (2006). A technique for deriving an average event unit hydrograph from streamflow-only data for ephemeral quick-flow-dominant catchments. *Advances in Water Resources*, 29 (4), 493-502.

- Dawdy, D.R., Lichty, R.W. ve Bergmann, J.M. (1972). A rainfall-runoff simulation model for estimation of flood peaks for small drainage basins. U.S. Geological Survey Professional Paper 506-B, 28 p
- Dawson, C.W. ve Wilby, R.L. (2001). Hydrological modelling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography*, 25 (1), 80–108.
- Dawson, C.W., Harpman, C., Wilby, R. B., Chen, Y. (2002). Evaluation of artificial neural network techniques for flow forecasting in River Yangtze, China. *Hydrology and Earth System Sciences*. 6, 619 – 626.
- De Vries, J.J., Hromadka II, T.V. (1993). Computer models for surface water. Maidment, D. R. (Ed.), *Handbook of Hydrology* Chapter 21, McGraw-Hill.
- Dibike, Y.B. ve Solomatine, D.P. (2000). River flow forecasting using artificial neural networks. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 26 (1), 1-7.
- Dorum, A., Yazar, A., Sevimli, M.F. ve Onüçyıldız, M. (2010). Modelling the rainfall-runoff data of susurluk basin. *Expert Systems with Applications*, 37, 6587–6593
- Driver, N. E. Ve Troutman, B. M. (1989). Regression models for estimating urban storm runoff quality and quantity in the United States. *Journal of Hydrology*, 109 (3-4), 221-236.
- Duan, Q. (2003). Global optimization for watershed model calibration. Duan, Q., Gupta, H.V., Sorooshian, S., Rousseau, A.N. Turcotte, R. (Ed.), *Calibration of Watershed Models Water Science and Applications* 6 içinde (89-104), Washington, DC: American Geophysical Union.

- Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V. K. (1992). Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall- runoff models. *Water Resources Research*, 24 (7), 1163-1173.
- Elshorbagy, A. ve Parasuraman, K. (2008). Toward bridging the gap between data driven and mechanistic models: Cluster-based neural networks for hydrologic process. Abraham, R. (Ed.). *Practical Hydroinformatics, Water Science and Technology Library 68* içinde (389-403). Springer-Verlag.
- Emel, G.G. ve Taşkın, Ç. (2002). Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. *Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 129-152.
- Engin, O. ve Fırlı, A. (2002). Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma yardımı ile çözümünde uygun çaprazlama operatörünün belirlenmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 6, 27-35.
- Fernando, D. A. K. ve Jayawardena, A. W. (1998). Runoff forecasting using RBF networks with OLS algorithm. *Journal of Hydrologic Engineering*, 3(3), 203–209.
- Fıstıkoğlu, O. (1999). Hidrolojik Modeller. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı* içinde (799-809). Ankara.
- Franchini, M., Galeati, G., Berra, S. (1998). Global optimization techniques for the calibration of conceptual rainfall-runoff *Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques*, 43 (3) 443-458.
- Fread D.L.ve Lewis, J. M. (1988). *FLDWAV: A generalized flood routing model*. Proceedings of the 1988 National Conference on Hydraulic Engineering (S. R. Abt ve J. Gessler, Eds.) American Society of Civil Engineers.

- Gan, T.Y., Dlamini, E. M. ve Biftu, G. F. (1997). Effects of model complexity and structure, data quality and objective functions on hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 192, 81-103.
- Gan, T. Y., Dlamini, E. M., Biftu, G. F. (1997). Effects of model compexity and structure, data quality and objective function on hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 32, 3513-3524.
- Goldberg, D.E. (1983). *Computer-Aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Rule Learning*. PhD Dissertation University of Michigan, Ann Arbor.
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic algorithm in search optimization and machine learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., Hogue T. S., Boyle, D. P., (2003). Advances in automatic calibration of watershed models. Duan, Q., Gupta, H.V., Sorooshian, S., Rousseau, A.N. Turcotte, R. (Ed.), *Calibration of Watershed Models Water Science and Applications 6* içinde (9-28), Washington, DC: American Geophysical Union.
- Gupta, H.V., Hsu, K., Sorooshian, S., (2000). Effective and efficient modeling for streamflow forecasting. Govindaraju, R.S., Rao, A.R. (Ed.), *Artificial Neural Networks in Hydrology*, içinde (7-22). Kluwer.
- Hamilton, W.D. ve Ridley, M. (2005). *Narrow roads of gene land: the collected papers of W.D. Hamilton*, Oxford University Press.
- Hebb, D. (1949). *The organization of behavior*. Willey, Newyork.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press: Ann Arbor, MI.

- Hopfield, J.J. (1982). Neural Networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proc. Of the National. Academy.of Sciences.* 79, 2554 – 2558.
- Houghton-Carr, H. A. (1999). Assessment criteria for simple conceptual daily rainfall-runoff models. *HydrologicalSciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 44 (2), 237-261.
- Hromadka II, T.V., Yen, C.C. (1987). *Diffusion Hydrodynamic Model*. US Geological Survey, Water Resources Investigations Report 87-4137, (Journal of Advances in Water Resources 9 (3), 1986).
- Hsu, K., Gupta, H. V. ve Sorooshian, S., (1993). Artificial neural network modeling of rainfall runoff process. *Water Resources Research*, 29 (4), 1185 – 1194.
- Hsu, K.-L., Gupta, H.V., Sorooshian, S. (1995). Artificial neural network modeling in rainfall–runoff process. *Water Resources Research*, 31 (10), 2517–2530.
- Hughes, D. A. (1995). Monthly rainfall-runoff models applied to arid and semiarid catchments for water resource estimation purposes. *Hydrological Sciences - Journal- des Sciences Hydrologiques*, 40 (6), 751-769.
- Hughes, D. A., Kapangaziwiri, E. ve Baker, K., (2010). Initial evaluation of a simple coupled surface and ground water hydrological model to assess sustainable ground water abstractions at the regional scale. *Hydrology Research*, 41(1), 1-12.
- Imrei, C.E., Durucan, S., Korre, A. (2000). River flow prediction using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 233, 138 – 153.
- Jakeman, A.J., Littlewood, I.G., Whitehead, P.G. (1990). Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments. *Journal of Hydrology*, 117, 275–300

- Ju, Q., Yu, Z., Ou, G., Zhao, J., Liu, D. (2009). Division-based rainfall-runoff simulations with BP neural networks and Xinanjiang model. *Nuerocomputing*, 72, 2873-2883.
- Kagoda, P. A., Ndiritu, J., Ntuli, C., Mwaka, B. (2010). Application of radial basis function neural Networks to short-term streamflow forecasting. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 571-581.
- Kavetski, D., Franks, S. W., Kuczera, G., (2003). Confronting input uncertainty in environmental modelling. Duan, Q., Gupta, H.V., Sorooshian, S., Rousseau, A.N. Turcotte, R. (Ed.), *Calibration of Watershed Models Water Science and Applications 6* içinde (49-68), Washington, DC: American Geophysical Union.
- Kerh, T. ve Lee C.S., (2006). Neural Networks forecasting of flood discharge at an unmeasured station using river upstream information. *Advances in Engineering Software*, 37, 533-543.
- Keskintürk, T. (2006). Permütasyon kodlamalı genetik algorithmada operatörlerin etkinliklerinin araştırılması. *VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu* kitabı içinde (225 – 231), İstanbul Kültür Üniversitesi.
- Kocamaz, M. ve Çiçekli, U.G. (2010). Paralel makinaların genetik algoritma ile çizelgelenmesinde mutasyon oranının etkinliği. *Ege Akademik Bakış / Ege Academic Review*, 10 (1), 199-210.
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43, 59-69.
- Kokkonen, T. S., Jakeman, A. J. (2001). A comparison of metric and conceptual approaches in rainfall-runoff modeling and its implications. *Water Resources Research*, 37 (9), 2345-2352.

- Koza, J. (1991). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press.
- Kumar, A.R.S., Sudheer, K.P., Jain, S.K., Agarwal, P.K. (2005). Rainfall–runoff modelling using artificial neural networks: comparison of network types. *Hydrological Processes*, 19 (6), 1277–1291.
- Lee, H., McIntyre, N., Wheater, H., Young, A. (2005). Selection of conceptual models for regionalization of the rainfall-runoff relationship. *Journal of Hydrology*, 312, 125-147.
- Lee, H., Moon, Y. (2007). Analysis and development of conceptual rainfall-runoff model structures for regionalization purpose. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 11 (1), 57-64.
- Liden, R. ve Harlin, J. (2000). Analysis of conceptual rainfall–runoff modeling performance in different climates. *Journal of Hydrology*, 238 (3-4, 5), 231-247
- Lim, K. Y., Park, Y. S., Kim, J., Shin, Y. C., Kim, N. W., Kim, S. J., Jeon, J. H., Engel, B. A. (2010). Development of genetic algorithm based optimization modelu in WHAT system for hydrograph analysis and model application. *Computer&Geosciences*, 36 (7), 936-944.
- Lin, G. F., Chen, L. H. (2004). A non linear rainfall runoff model using radial basis function network. *Journal of Hydrology*, 289, 1-8.
- Lin, G.F. ve Wang, C. M. (2007). A nonlinear rainfall-runoff model, embedded with an automated calibration method-Part 2: The automated calibration method. *Journal of Hydrology*, 341(3-4), 196-206.

- Lindstrom G., Johansson B., Persson M., Gardelin M., Bergstrom S. (1997). Development and test of distributed HBV96 hydrological model. *Journal of Hydrology*, 201, 272-288.
- Liu, Y. (2009). Automatic calibration of rainfall-runoff model using a fast and elitist multi-objective particle swarm algorithm. *Expert Systems with Applications*, 36, 9533-9538.
- Lorrai, M. ve Sechi, G. M. (1995). Neural nets for modeling rainfall-runoff transformations. *Water Resources Management*, 9, 299–313
- Luz, P. B. ve Heerman, D. (2005). A statistical approach to estimating runoff in center pivot irrigation with crust conditions. *Agricultural Water Management*, 72, 33-46.
- Madsen, H. (2000). Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. *Journal of Hydrology*, 235, 276-288.
- Madsen, H., Wilson, G., Ammentorp, H. C. (2002). Comparison of different automated strategies for calibration of rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*, 261, 48-59.
- Manujat C. M., Harlan D., Wangsadipura M. (2009). Rainfall-runoff modelling using Gr4j on the case of Citarum Hulu River Basin. *International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries*, Bandung, West Java, Indonesia,
- Marina, C., Paolo, A., Alfredo, S. (1999). River flood forecasting with a neural network model. *Water Resources Research*, 35 (4), 1191–1197.
- Martin, J., ve Oxman, S. (1988). *Building expert systems: A tutorial*. New Jersey, Prentice Hall.

- McCulloch, W.S., Pitts, W. (1943), A logical calculus of ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5, 115-133, 1943, Reprinted in Anderson and Rosenberg , 1988
- Mendez, M. C., Manteiga, W. G., Bande, M. F., Sanchez, J. M. P., Calderon, R. L. (2004). Modelling of the monthly and daily behaviour of the runoff of the Xallas river using Box-Jenkins and neural networks methods. *Journal of Hydrology*, 296, 38-58.
- Minns, A.W. ve Hall, M.J. (1996). Artificial neural networks as rainfall–runoff models. *Hydrological Sciences Journal*, 41 (3), 399–417
- Minsky, M., Paperts, S. (1969). *Perceptrons*. Cambridge: MA, Mit Press.
- Monteith, J.L. (1965). Evaporation and environment: the state and movement of water in living organisms. *Symp. Soc.Exp. Biol.* 19, 205–234.
- Moody, J. E., ve Darken, J. E. (1989). Fast Learning in Networks of Locally-tuned processing Units. *Neural Computation*, 1, 281-294
- Moore, R. J., Victoria, A. B., Jones, D. A. (2005). Forecasting for flood warning. *C. R. Geoscience*, 337, 203-217.
- Mroczkowski, M., Raper P. G., Kuczera, G. (1997). The quest for more powerful validation of conceptual catchment models. *Water Resources Research*, 33 (10), 2325-2335.
- Najafi, M.R. (2003). Watershed modeling of rainfall excess transformation into runoff. *Journal of Hydrology*, 270, 273–281.

- Ndiritu, J. G., Daniell, T. M. (2001). An improved genetic algorithm for rainfall-runoff model calibration and function optimization. *Mathematical and Computer Modelling*, 33 (6-7), 695-706.
- Nilsson, P., Uvo, C.B., Berndtsson, R. (2006). Monthly runoff simulation: Comparing and combining conceptual and neural network models. *Journal of Hydrology*, 321 (1-4), 344-363.
- Nourani, V., Kişi, Ö., Komasi, M. (2011). Two hybrid Artificial Intelligence approaches for modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 402, 41-59.
- Öztemel, E. (2003). *Yapay sinir ağları* (1. Baskı). İstanbul: Papatya Yayıncılık
- Pandey V.K., Panda S. N., Pandey A. (2009). Evaluation of effective management plan for agricultural watershed using AVSWAT model, remote sensing and GIS. *Environmental Geology*, 56 (5), 993-1008.
- Perrin C., Michel C., Andreassian V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279, 275-289.
- Perrin, C. (2000). *Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative*. INPG (Grenoble) / Cemagref (Antony), 530 p
- Perrin, C., Michel, C., Andreassian, V. (2001). Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. *Journal of Hydrology*, 242, 275-301.
- Peters, R., Schmitz, G., Cullmann, J. (2006). Flood routing modeling with artificial neural networks. *Advances in Geosciences*, 9, 131-136.

- Post D A., Jakeman A J. (1999). Predicting the daily streamflow of ungauged catchments in S.E. Australia by regionalising the parameters of a lumped conceptual rainfall-runoff model. *Ecological Modeling*, 123 (2-3), 91-104.
- Rahman, A., Weinmann, P. E., Hoang, T. M. T., Laurenson, E. M. (2002). Monte Carlo simulation of flood frequency curves from rainfall. *Journal of Hydrology*, 256, 196-210.
- Raid, S., Mania, J., Bouchaou, L., Najjar, Y. (2004). Rainfall-runoff model using an artificial neural network approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 40, 839-845.
- Rajukar, M. P., Kothyari, U. C., Chaube, U. C. (2002). Artificial neural networks for daily rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 47 (6), 865-877.
- Rajukar, M. P., Kothyari, U. C., Chaube, U. C. (2004). Modeling of daily rainfall-runoff relationship with artificial neural network. *Journal of Hydrology*, 285 (1-4), 96-113.
- Rao, A.R., Tirtotjondro, W. (1995). Computation of unit hydrographs by a Bayesian method. *Journal of Hydrology*, 164, 325-344.
- Rechenberg, I. (1971). *Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution* (PhD thesis). Reprinted by Fromman-Holzboog (1973).
- Refsgaard, J. C. (1997). Parameterization, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 198, 69-97.

- Rico, M., Benito, G., Barnolas, A. (2001). Combined paleoflood and rainfall-runoff assessment of mountain floods (Spanish Pyrenees). *Journal of Hydrology*, 245, 59-72.
- Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65, 386 – 408.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G. E. ve Williams, R. J. (1986). Learning internal representations by error propagation. Rumelhart D.E., J. L.McClelland (Ed.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition Vol.1, Chapter 8*, Cambridge, MA: MIT Press
- Russo, F., Lombardo, F., Napolitano, F., Gorgucci, E. (2006). Rainfall stochastic modeling for runoff forecasting. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 1252-1261.
- Sajikuman, N. ve Thandaveswara, B. S. (1999). A non-linear rainfall-runoff model using an artificial neural network. *Journal of Hydrology*, 216, 32-55.
- Salas, J.D., Markus, M., Tokar, A.S. (2000). Streamflow forecasting based on artificial neural networks. Govindaraju, R.S., Ramachandra, A. (Ed.), *Artificial Neural Networks in Hydrology içinde* (23-51). Springer-Verlag.
- Şen, Z. (2004). *Yapay sinir ağları ilkeleri*. Su Vakfı Yayınları
- Shamseldin, A.Y., Nasr, A.E., O'Connor, M. (2002). Comparison of different form of multi-layer feed-forward neural network method used for river flow forecasting. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6 (4), 671-684.
- Shearman, J. O. (1990). *Users manual for WSPRO, A computer model for water surface profile computation*. Report No FHWA-IP-89-27.

- Shrestha, R. R., Theobald, S., Nestmann, F. (2005). Simulation of flood flow in a river system using artificial neural networks. *Hydrology and Earth System Sciences*. 9 (4), 313 – 321.
- Soil Conservation Service (1982). *Computer program for project formulation*. Technical Release 20.
- Specht, D. F. (1988). Probabilistic neural networks for classification, mapping or associative memory. *IEEE Conference on Neural Networks* kitabı içinde (525-532). San Diego.
- Specht, D. F. (1991). A general regression neural network. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2 (6), 568 – 576.
- Srinivasulu, S., Jain, A. (2006). A comparative analysis of training methods for artificial neural network rainfall-runoff models. *Applied Soft Computing*, 6 (3), 295-306.
- Tayfur, G. (2002). Artificial neural network for sheet sediment transport. *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques*. 47 (6), 879 – 892.
- Tokar, A.S., Johnson, P.A. (1999). Rainfall runoff modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4 (3), 232-239.
- U.S. Army Corps of Engineers (1987). *Users manual SSARR model, Streamflow Synthesis & Reservoir Regulation*. North Pacific Division.
- U.S. Army Corps of Engineers (1990). *HEC-2 Water Surface Profiles, Users manual*. Hydrologic Engineering Center.
- U.S. Army Corps of Engineers, (1990), *HEC-1 Flood hydrograph package, User's manual*. CPD-1A, Hydrologic Engineering Center.

- Uhlenbrook S., Seibert J., Leibundgut C., Rodhe A. (1999). Prediction uncertainty of conceptual rainfall-runoff models caused by problems in identifying model parameters and structure. *Hydrological Sciences-Journal-des Hydrologiques*, 44 (5), 779-797.
- Üstün, O. ve Yıldız, İ. (2009). Geri-yayımlı öğrenme algoritmasındaki öğrenme parametrelerinin genetik algoritma ile belirlenmesi. *SDU International Technologic Science*, 1 (2), 61-73.
- Vos, N.J. ve Rientjes, T.H.M. (2005). Constraints of artificial neural networks for rainfall-runoff modeling: trade-offs in hydrological state representation and model evaluation. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, 365 – 415.
- Wagner, T., Gupta, H. V., Sorooshian, S. (2004). Stochastic formulation of a conceptual hydrological model. *Hydrology: Science & Practice for the 21st Century*, 1, 398-405.
- Wagner, T., Wheater, H.S. (2006). Parameter estimation and regionalization for continuous rainfall-runoff models including uncertainty. *Journal of Hydrology*, 320, 132-154.
- Wagner, T., Wheater, H.S., Gupta, H.V. (2003). Identification and evaluation of watershed models. Duan, Q., Gupta, H.V., Sorooshian, S., Rousseau, A.N. Turcotte, R. (Ed.), *Calibration of Watershed Models Water Science and Applications 6* içinde (29-47), Washington, DC: American Geophysical Union.
- Wang, Q. J. (1991). The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 27 (9), 2467-2471.
- Wang, Q. J. (1997). Using genetic algorithms to optimize model parameters. *Environmental Modelling & Software*, 12 (1), 27-34.

- Widrow, G., ve Hoff, M. E. (1960). Adaptive switching circuit. *IRE WESCON Convention Record*, 4, 96 – 104.
- Williams, J. R., Nicks, A. D. ve Arnold, J. G. (1985). SWRRB, A simulator for water resources in rural basin. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers*, 111 (6), 970-986.
- Win, N. L. ve Vandewiwlw, G. L. (1994). Conceptual daily rainfall runoff models using correlation analysis. *FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data* (Proceedings of the Braunschweig.Conference, October 1993).
- Wurb, R. A. (1994). *Computer models for water resources planning and management*. IWR Report 94-NDS-7, 187.
- Xu C. (2000). Modeling the effects of climate change on water resources in central Sweden. *Water Resources Management*, 14, 177-189.
- Xu C. Y., Singh V P. (2004). Review on regional water resources assessment models under stationary and changing climate. *Water Resources Management*, 18, 591–612.
- Xu L., Zhang Q., Li H., Viney N. R., Xu J., Liu J. (2007). Modeling of surface runoff in Xitiaoxi Catchment, China. *Water Resources Management*, 21, 1313-1323.
- Yapo, P. O., Gupta, H. V., Sorooshian, S. (1996). Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data. *Journal of Hydrology*, 181 (1-4), 23-48
- Yitian, L. ve Gu, R.R. (2003). Modeling flow and sediment transport in a river system using an artificial neural network. *Environmental Management*, 31 (1), 122-134.

Yue, S. ve Hashino, M. (2000). Unit hydrographs to model quick and slow runoff components of streamflows. *Journal of Hydrology*, 227, 195-226.

Zhang, B. ve Govindaraju, R.S. (2000). Prediction of watershed runoff using Bayesian concepts and modular neural networks. *Water Resources Research*, 36 (3), 753–762.

EKLER

Ek-1 GR4J Günlük Yağış Akış Modeli Kodları

%GR4J Gunluk yagis akis modeli

%girdiler P yağış, E potansiyel evapotranspirasyon, Qo günlük debi

P=[14.10 3.70 7.10 9.30 7.10 1.20 11.70 26.20 33.60 51.10 4.10...

2.70 0.20 0.00 0.00 3.60 0.10 16.50 0.20 0.00];

E=[0.46 0.46 0.47 0.47 0.48 0.48 0.49 0.49 0.50 0.50 0.54 0.55...

0.56 0.56 0.56 0.56 0.56 0.56 0.55 0.55];

Qo=[2.808 4.951 4.519 4.386 5.350 4.652 3.888 6.247 10.966...

14.821 9.172 7.244 5.815 4.885 4.320 3.888 3.855 3.655 5.417...

3.655];

Syes=192.066; %biriktirme elemanı bir gün önceki depolaması (mm)

X1=[320.11]; %capacity of production store (mm)

X2=2.42; %groundwater exchange coefficient (mm)

X3=69.63; %one day ahead capacity of the routing store (mm)

X4=1.39; %time base of unit hydrograph (days)

IFR=0.7; %initial filling rate R0/X3

Ryes=48.741; %öteleme elemanı bir gün önceki depolaması (mm)

a=0.9; %coefficient of the Pr for UH1

b=0.1; %coefficient of the Pr for UH2

n=20;

X=[320.11 2.42 69.63 1.39 0.9 0.1];

X=X';

X1=X(1);

X2=X(2);

X3=X(3);

X4=X(4);

a=X(5);

b=X(6);

```

for i=1:n
    if P(i)>E(i)
        Pn(i)= P(i)-E(i);
        En(i)= 0;
    else
        Pn(i)=0;
        En(i)=E(i)-P(i);
    end
end
for i=1
    Ps(i)=(X1.*(1-
Syees(i)./X1).^2*tanh(Pn(i)./X1))/(1+(Syees(i)./X1).*tanh(Pn(i)./X1));
    Es(i)=(Syees*(2-Syees(i)./X1).*tanh(En(i)./X1))/(1+(1-
Syees(i)./X1).*tanh(En(i)./X1));
end
S(1)=Syees-Es(1)+Ps(1);
for i=2:n
    Ps(i)=(X1.*(1-(S(i-1)./X1).^2).*tanh(Pn(i)/X1))/(1+(S(i-1)./X1).*tanh(Pn(i)/X1));
    Es(i)=(S(i-1).(2-S(i-1)./X1).*tanh(En(i)/X1))/(1+(1-S(i-1)./X1).*tanh(En(i)/X1));
    S(i)=S(i-1)-Es(i)+Ps(i);
end
for i=1:n
    Perc(i)=S(i).*(1-((1+((4/9)*(S(i)/X1)).^4).^(-0.25)));
end
for i=1:n
    S(i)=S(i)-Perc(i);
    Pr(i)=Perc(i)+(Pn(i)-Ps(i));
end
for t=1:20
    if 0<t<X4
        SH1(t)=(t./X4).^(2.5);

```

```

end
if t>X4
    SH1(t)=1;
end
end
for t=1:20
    if t<X4
        SH2(t)=(1/2)*((t./X4).^(2.5));
    elseif t>X4 && t<(2*X4)
        SH2(t)=1-0.5*((2-t/X4)^(5/2));
    end
    if t>(2*X4)
        SH2(t)=1;
    end
    if t==1
        HU1(t)=SH1(t);
        HU2(t)=SH2(t);
    else
        HU1(t)=SH1(t)-SH1(t-1);
        HU2(t)=SH2(t)-SH2(t-1);
    end
end
for i=1:20
    if i==1
        V11(i)=HU1(1)*Pr(i)*a;
        V12(i)=HU1(2)*Pr(i)*a;
        V21(i)=HU2(1)*Pr(i)*b;
        V22(i)=HU2(2)*Pr(i)*b;
        V23(i)=HU2(3)*Pr(i)*b;
    else
        V12(i)=HU1(2)*Pr(i).*a;
        V11(i)=V12(i-1)+HU1(1)*Pr(i)*a;
    end
end

```

```

V23(i)=HU2(3)*Pr(i)*b;
V22(i)=V23(i-1)+HU2(2)*Pr(i)*b;
V21(i)=V22(i-1)+HU2(1)*Pr(i).*b;
end
end
for i=1
F(i)=X2.*((Ryes(i)./X3)^(3.5));
end
for i=1
RR(i)=(Ryes(i)/X3)+(V11(i)+F(i))/X3;
Qr(i)=RR(i)*X3*(1-(1+(RR(i).^4)).^(-0.25));
RRR(i)=RR(i)-Qr(i)./X3;
end
for i=2:n
F(i)=X2.*(RRR(i-1).^(3.5));
RR(i)=RRR(i-1)+(V11(i)+F(i))/X3;
Qr(i)=RR(i)*X3*(1-(1+(RR(i).^4)).^(-0.25));
RRR(i)=RRR(i-1)-Qr(i)./X3;
end
for i=1:n
Qd(i)=V21(i)+F(i);
Q(i)=Qr(i)+Qd(i);
end

```

EK-2 GR4J-YSA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli Kodları

```

%P=[];T=[];Qo=[]  P yagis; T sicaklik; Qo gozlenen akim veriniz
Syas=104.529;
%Ryes=48.741;
n=1461; % toplam gun sayisi
X=[180.28
0.086909512
0.169388297]; %parametre matrisi
X=X';
X1=X(1); %capacity of production storage
a=X(2); %buharlasma parametresi
b=X(3); %buharlasma parametresi
%Evapotraspirasyon hesabi
for i=1:n
    if T(i)>0
        E(i)=a.*(T(i).^b);
    else
        E(i)=0;
    end
end
%Pn ve En hesabi
for i=1:n
    if P(i)>E(i)
        Pn(i)= P(i)-E(i);
        En(i)= 0;
    else
        Pn(i)=0;
        En(i)=E(i)-P(i);
    end
end
end

```

```
%Ps ve Es hesabi
```

```
for i=1
```

```
Ps(i)=(X1.*(1-(Syees(i)./X1).^2).*tanh(Pn(i)/X1))/...
```

```
(1+(Syees(i)./X1).*tanh(Pn(i)/X1));
```

```
Es(i)=(Syees.*(2-Syees(i)./X1).*tanh(En(i)/X1))/...
```

```
(1+(1-Syees(i)./X1).*tanh(En(i)/X1));
```

```
S(i)=Syees-Es(i)+Ps(i);
```

```
Perc(i)=S(i).*(1-((1+((4/9)*(S(i)/X1)).^4).^(-0.25))));
```

```
end
```

```
for i=2:n
```

```
Ps(i)=(X1.*(1-(S(i-1)./X1).^2).*tanh(Pn(i)/X1))/(1+(S(i-1)./X1).*tanh(Pn(i)/X1));
```

```
Es(i)=(S(i-1).*(2-S(i-1)./X1).*tanh(En(i)/X1))/(1+(1-S(i-1)./X1).*tanh(En(i)/X1));
```

```
S(i)=S(i-1)-Es(i)+Ps(i);
```

```
Perc(i)=S(i).*(1-((1+((4/9)*(S(i)/X1)).^4).^(-0.25))));
```

```
S(i)=S(i)-Perc(i);
```

```
end
```

```
%ANN input ve outputlar ve standardizasyon
```

```
for i=1:n
```

```
Pin(i)=0.1+0.8.*((Pn(i)-min(min(Pn)))/(max(max(Pn))-min(min(Pn))));
```

```
Pis(i)=0.1+0.8.*((Ps(i)-min(min(Ps)))/(max(max(Ps))-min(min(Ps))));
```

```
Ein(i)=0.1+0.8.*((En(i)-min(min(En)))/(max(max(En))-min(min(En))));
```

```
Pierc(i)=0.1+0.8.*((Perc(i)-min(min(Perc)))/(max(max(Perc))-min(min(Perc))));
```

```
Qio(i)=0.1+0.8.*((Qo(i)-min(min(Qo)))/(max(max(Qo))-min(min(Qo))));
```

```
end
```

```
for i=1
```

```
trinp(i,:)= [Pin(i) Pin(i) Pin(i) Pin(i) Ein(i) Ein(i) Ein(i) Ein(i) Pis(i) Pis(i) Pis(i)
```

```
Pis(i) Pierc(i) Pierc(i) Pierc(i) Pierc(i)];
```

```
end
```

```
for i=2
```

```
trinp(i,:)= [Pin(i-1) Pin(i-1) Pin(i-1) Pin(i) Ein(i-1) Ein(i-1) Ein(i-1) Ein(i) Pis(i-1)
```

```
Pis(i-1) Pis(i-1) Pis(i) Pierc(i-1) Pierc(i-1) Pierc(i-1) Pierc(i)];
```

```
end
```



```

for i=3
    trinp(i,:)= [Pin(i-2) Pin(i-2) Pin(i-1) Pin(i) Ein(i-2) Ein(i-2)...
                Ein(i-1) Ein(i) Pis(i-2) Pis(i-2) Pis(i-1) Pis(i)...
                Pierc(i-2) Pierc(i-2) Pierc(i-1) Pierc(i)];
end
for i=4:731
    trinp(i,:)= [Pin(i-3) Pin(i-2) Pin(i-1) Pin(i) Ein(i-3) Ein(i-2)...
                Ein(i-1) Ein(i) Pis(i-3) Pis(i-2) Pis(i-1) Pis(i)...
                Pierc(i-3) Pierc(i-2) Pierc(i-1) Pierc(i)];
end
for i=1:730
    tstinp(i,:)= [Pin(728+i) Pin(729+i) Pin(730+i) Pin(731+i)...
                 Ein(728+i) Ein(729+i) Ein(730+i) Ein(731+i)...
                 Pis(728+i) Pis(729+i) Pis(730+i) Pis(731+i)...
                 Pierc(728+i) Pierc(729+i) Pierc(730+i) Pierc(731+i)];
end
for i=1:731
    trout(i,:)= [Qio(i)];
end
for i=1:730
    tstout(i,:)= [Qio(731+i)];
end
trinp=trinp';
trout=trout';
tstinp=tstinp';
tstout=tstout';
%ANN; Network kurulumu ve eğitime parametreleri
for c=1:1:10
    net=newff(minmax(trinp),[c 1],{'logsig' 'logsig'},'trainlm');
    net.trainParam.epochs=32;
    net.trainParam.show=35;

```

```

net.trainParam.max_fail=1;
net.trainParam.goal=1e-4;
net.trainParam.mem_reduc=1;
net.trainParam.min_grad=1e-100;
net.trainParam.mu=0.080;
net.trainParam.mu_dec=0.70;
net.trainParam.mu_inc=1.01;
net.trainParam.mu_max=1e100;
net.trainParam.time=inf;
[net,tr]=train(net,trinp,trout);
%Eğitim simülasyonu
trmodout=sim(net,trinp);
trmodout=trmodout';
%test simülasyonu
tstmodout=sim(net,tstinp);
%Ölçülen ve model arası saçılım ve korelasyonu
figure(1)
[m(1),b(i),r(1)]=postreg(tstmodout(1,:),tstout(1,:));
tstmodout=tstmodout';
qq=r.*r;
d(:,c) = qq
savefile = ['annLM' int2str(c) '.mat']
save (savefile, 'net','tr','trmodout','tstmodout','qq')
[m n]=max(max(d))
end

```

EK-3 GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli Kodları

```

function f = havzaadigaann(X)
%P=[];T=[];Qo=[]  P yagis; T sicaklik; Qo gozlenen akim veriniz
load havzaadi_GR4J_ANN_girdi_verileri_P_T_Qo.mat
Syas=0;
RX=55.284;
n=731; % toplam gun sayisi
X=[175.3319999
  0.00103634692902642
  0.30226233784206]; %parametre matrisi
X=X';
X1=X(1); %capacity of production storage
a=X(2); %buharlasma parametresi
b=X(3); %buharlasma parametresi

%Evapotranspirasyon hesabi

for i=1:n
  T(i)>0
  E(i)=a.*exp(T(i).*b);

end
%Pn ve En hesabi
for i=1:n
  if P(i)>E(i)
    Pn(i)= P(i)-E(i);
    En(i)= 0;
  else
    Pn(i)=0;
    En(i)=E(i)-P(i);
  end
end

%Ps ve Es hesabi
for i=1

  Ps(i)=(X1.*(1-(Syas(i)./X1).^2).*tanh(Pn(i)/X1))/...
    (1+(Syas(i)./X1).*tanh(Pn(i)./X1));
  Es(i)=(Syas.*(2-Syas(i)./X1).*tanh(En(i)./X1))/...
    (1+(1-Syas(i)./X1).*tanh(En(i)/X1));
  S(i)=Syas-Es(i)+Ps(i);
  Perc(i)=S(i).*(1-((1+((4/9)*(S(i)/X1)).^4).^(-0.25)));
end

```

```

for i=2:n
    Ps(i)=(X1.*(1-(S(i-1)./X1).^2).*tanh(Pn(i)./X1))/(1+(S(i-1)./X1).*tanh(Pn(i)/X1));
    Es(i)=(S(i-1).*(2-S(i-1)./X1).*tanh(En(i)./X1))/(1+(1-S(i-1)./X1).*tanh(En(i)./X1));
    S(i)=S(i-1)-Es(i)+Ps(i);
    Perc(i)=S(i).*(1-((1+((4/9)*(S(i)/X1)).^4).^(-0.25)));
    S(i)=S(i)-Perc(i);
end

%ANN input ve outputlar ve standardizasyon
for i=1:n
    Pin(i)=0.1+0.8.*((Pn(i)-min(min(Pn)))/(max(max(Pn)-min(min(Pn)))));
    Pis(i)=0.1+0.8.*((Ps(i)-min(min(Ps)))/(max(max(Ps)-min(min(Ps)))));
    Ein(i)=0.1+0.8.*((En(i)-min(min(En)))/(max(max(En)-min(min(En)))));
    Pierc(i)=0.1+0.8.*((Perc(i)-min(min(Perc)))/(max(max(Perc)-min(min(Perc)))));
    Qio(i)=0.1+0.8.*((Qo(i)-min(min(Qo)))/(max(max(Qo)-min(min(Qo)))));
end

for i=1
    trinp(i,:)=[Pin(i) Pin(i) Pin(i) Pin(i) Ein(i) Ein(i) Ein(i) Ein(i)...
                Pis(i) Pis(i) Pis(i) Pis(i) Pierc(i) Pierc(i) Pierc(i) Pierc(i)];
end

for i=2
    trinp(i,:)=[Pin(i-1) Pin(i-1) Pin(i-1) Pin(i) Ein(i-1) Ein(i-1)...
                Ein(i-1) Ein(i) Pis(i-1) Pis(i-1) Pis(i-1) Pis(i)...
                Pierc(i-1) Pierc(i-1) Pierc(i-1) Pierc(i)];
end

for i=3
    trinp(i,:)=[Pin(i-2) Pin(i-2) Pin(i-1) Pin(i) Ein(i-2) Ein(i-2)...
                Ein(i-1) Ein(i) Pis(i-2) Pis(i-2) Pis(i-1) Pis(i)...
                Pierc(i-2) Pierc(i-2) Pierc(i-1) Pierc(i)];
end

for i=4:365
    trinp(i,:)=[Pin(i-3) Pin(i-2) Pin(i-1) Pin(i) Ein(i-3) Ein(i-2)...
                Ein(i-1) Ein(i) Pis(i-3) Pis(i-2) Pis(i-1) Pis(i)...
                Pierc(i-3) Pierc(i-2) Pierc(i-1) Pierc(i)];
end

for i=1:366
    tstinp(i,:)=[Pin(362+i) Pin(363+i) Pin(364+i) Pin(365+i)...
                Ein(362+i) Ein(363+i) Ein(364+i) Ein(365+i)...
                Pis(362+i) Pis(363+i) Pis(364+i) Pis(365+i)...
                Pierc(362+i) Pierc(363+i) Pierc(364+i) Pierc(365+i)];
end

for i=1:365
    trout(i,:)=[Qio(i)];
end

```

```

for i=1:366
    tstout(i,:)=Qio(365+i);
end

trinp=trinp';
trout=trout';
tstinp=tstinp';
tstout=tstout';
%ANN-Network kurulumu ve eğitme parametreleri
net=newff(minmax(trinp),[9 1],{'logsig' 'logsig'},'trainlm');
net.trainParam.epochs=22;
%net = init(net);
net.trainParam.show=35;
net.trainParam.max_fail=1;
net.trainParam.goal=1e-4;
net.trainParam.mem_reduc=1;
net.trainParam.min_grad=1e-100;
net.trainParam.mu=0.60;
net.trainParam.mu_dec=0.90;
net.trainParam.mu_inc=1.01;
net.trainParam.mu_max=1e100;
net.trainParam.time=inf;
[net,tr]=train(net,trinp,trout);

%Eğitim simülasyonu
trmodout=sim(net,trinp);
%test simülasyonu
tstmodout=sim(net,tstinp);

for i=1:365
    tro(i)=trout(i);
    trmo(i)=trmodout(i);
end
NS11 =(tro-trmo).^2;
a1=sum(NS11);
NS22 =(tro-mean(tro)).^2;
b1=sum(NS22);
NS12 = 1 - a1./b1;
NS1 =(tstout-tstmodout).^2;
a=sum(NS1);
b=sum(NS2);
NSS = 1 - a./b;
function [x,fval,exitflag,output,population,score] = ga_ann_m2_file(nvars,lb,ub,FitnessLimit_Data)
% This is an auto generated M-file from Optimization Tool.

% Start with the default options
options = gaoptimset;

```

```
% Modify options setting
options = gaoptimset(options,'FitnessLimit', FitnessLimit_Data);
options = gaoptimset(options,'Display', 'off');
options = gaoptimset(options,'OutputFcns', { { @gaoutputgen 1 } });
options = gaoptimset(options,'Vectorized', 'off');
options = gaoptimset(options,'UseParallel', 'always');
[x,fval,exitflag,output,population,score] = ga(@gaann,nvars,[],[],[],[],lb,ub,[],options);
```