CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLOJİK MODEL UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Mete Murat BAYAT

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Hidrolik

MANİSA 2011

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLOJİK MODEL UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Mete Murat BAYAT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 6 Temmuz 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 14 Temmuz 2011

Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Ali YURDUSEV
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Bekir SOLMAZ (CBÜ)
Yrd. Doç.Dr. Ceyhun ARAS (CBÜ)

MANİSA 2011

İÇİNDEKİLER

		Sayfa No
	KISALTMALAR	III
	ŞEKİL LİSTESİ	IV
	TABLO LİSTESİ	VII
	TEŞEKKÜR	VIII
	ÖZET	IX
	ABSTRACT	X
1	**GİRİŞ**	1
1.1	Amaç ve Kapsam	2
2	**HİDROLOJİK MODELLER VE MODEL KAVRAMI**	3
2.1	Hidrolojik Model Kavramı	3
2.2	Hidrolojik Modeli Oluşturan Elemanlar	4
2.3	Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması	4
2.3.1	Sistem Tanımına Göre Sınıflandırma	5
2.3.2	Zaman ve Alan Ölçeği Bakımından Sınıflandırma	6
2.3.3	Arazi kullanımına göre sınıflandırma	7
2.3.4	Model kullanım amacına göre sınıflandırma	7
2.4	Hidrolojik Modellerin Oluşturulması	7
2.5	Kalibrasyon Aşaması	8
2.6	Verifikasyon Aşaması	8
2.7	Validasyon Aşaması	8
3	**AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİ**	9
3.1	GR2M Modeli Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) Versiyonu	10
3.1.1	Beş Parametreli Aile Model Yapısı (PMS)	10
3.1.2	Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) GR2M İki Parametreli Yağış Akış Modeli	13
3.2	Modelde Kullanılan Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemleri	15
3.2.1	Blaney-Criddle Yöntemi	16
3.2.2	Oudin et al. (2004) Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemi	17
3.3	Modelde Kullanılan Performans Kriterleri	19
3.3.1	Nash-Sutcliffe Performans Kriteri	19
3.3.2	Farkların Kareleri Toplamı Performans Kriteri	20
3.4	Model de Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları	20
3.4.1	Genetik Algoritma	21
3.4.2	Doğrusal Olmayan En İyi Hale Getirme Yöntemi	25
4	**GR2M AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN VE VERSİYONLARININ BÜYÜK MENDERES HAVZASINA UYGULANMASI**	26
4.1	Büyük Menderes Havzası Çalışma Alanının Tanımlanması	26
4.2	Kullanılan Veriler	27
4.3	GR2M Modelinin Büyük Menderes Havza'sına Uygulanması	28
4.3.1	Model 1	34
4.3.2	Model 2	37
4.3.3	Model 3	40
4.3.4	Model 4	42
4.3.5	Model 5	45
4.3.6	Model 6	47
4.3.7	Model 7	50

4.3.8 Model 8 52
4.3.9 Model 9 55
4.3.10 Model 10 57
4.3.11 Model 11 60
4.3.12 Model 12 62
4.3.13 Model 13 65
4.3.14 Model 14 67
4.3.15 Model 15 70
4.3.16 Model 16 72
4.4 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi 75
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 77
6 KAYNAKLAR 78

KISALTMALAR

AGİ: Akış Gözlem İstasyonu

PMS: Parent Model Scheme (Aile Model Şeması)

FAO: Food and Agriculture Orginization of the United Nations

GR2M: Génıe Rural a 2 Parameters Mensuel (2 Parametreli Aylık Yağış-Akış Modeli)

GR4J: Génıe Rural a 4 Parameters Jourlaier (4 Parametreli Günlük Yağış-Akış Modeli)

GRG: Generalized Reduced Gradient Method (Doğrusal Olmayan En İyileme Yöntemi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 2.1	Hidrolojik Modeli Oluşturan Elemanlar	4
Şekil 2.2	Sistem Tanımına Göre Modellerin Sınıflandırılması (Bayazıt 1998)	4
Şekil 2.3	Alan ve Zaman Ölçeklerine Göre Modellerin Sınıflandırılması (Bayazıt 1998)	6
Şekil 2.4	Çözüm Tekniklerine Göre Modellerin Sınıflandırılması (Bayazıt 1998)	6
Şekil 3.1	Aile Model Şeması-PMS (Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian, 2006)	12
Şekil 3.2	GR2M Modelinin Son Hali (Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian, 2006)	15
Şekil 3.3	Genetik Algoritmanın Genel İşleyiş Şeması	22
Şekil 4.1	Büyük Menderes Havzası'nın Drenaj Alanı (Mahmut Fırat 2007)	26
Şekil 4.2	Büyük Menderes Havzası'nın Alt Havzaları (Mahmut Fırat 2007)	27
Şekil 4.3	Büyük Menderes Havzası'nın Ölçüm İstasyonlarının Yerleşimi (Mahmut Fırat 2007)	28
Şekil 4.4	Blaney-Criddle Yöntemi ile 1968-1993 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri	32
Şekil 4.5	Oudin et al. (2004) Yöntemi ile 1968-1993 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri	32
Şekil 4.6	Blaney-Criddle Yöntemi ile 1994-1999 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri	33
Şekil 4.7	Oudin et al. (2004) Yöntemi ile 1994-1999 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri	33
Şekil 4.8	Model 1-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	35
Şekil 4.9	Model 1-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	35
Şekil 4.10	Model 1-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	36
Şekil 4.11	Model 1-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	36
Şekil 4.12	Model 2-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	38
Şekil 4.13	Model 2-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	38
Şekil 4.14	Model 2-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	39
Şekil 4.15	Model 2-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	39
Şekil 4.16	Model 3-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	40
Şekil 4.17	Model 3-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	41
Şekil 4.18	Model 3-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	41
Şekil 4.19	Model 3-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	42
Şekil 4.20	Model 4-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	43
Şekil 4.21	Model 4-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	43
Şekil 4.22	Model 4-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	44
Şekil 4.23	Model 4-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	44
Şekil 4.24	Model 5-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	45
Şekil 4.25	Model 5-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	46
Şekil 4.26	Model 5-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	46
Şekil 4.27	Model 5-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım	47

	Değerlerinin Grafiği	
Şekil 4.28	Model 6-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	48
Şekil 4.29	Model 6-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	48
Şekil 4.30	Model 6-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	49
Şekil 4.31	Model 6-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	49
Şekil 4.32	Model 7-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	50
Şekil 4.33	Model 7-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	51
Şekil 4.34	Model 7-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	51
Şekil 4.35	Model 7-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	52
Şekil 4.36	Model 8-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	53
Şekil 4.37	Model 8-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	53
Şekil 4.38	Model 8-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	54
Şekil 4.39	Model 8-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	54
Şekil 4.40	Model 9-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	55
Şekil 4.41	Model 9-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	56
Şekil 4.42	Model 9-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	56
Şekil 4.43	Model 9-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	57
Şekil 4.44	Model 10-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	58
Şekil 4.45	Model 10-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	58
Şekil 4.46	Model 10-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	59
Şekil 4.47	Model 10-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	59
Şekil 4.48	Model 11-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	60
Şekil 4.49	Model 11-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	61
Şekil 4.50	Model 11-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	61
Şekil 4.51	Model 11-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	62
Şekil 4.52	Model 12-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	63
Şekil 4.53	Model 12-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	63
Şekil 4.54	Model 12-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	64
Şekil 4.55	Model 12-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	64
Şekil 4.56	Model 13-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	65
Şekil 4.57	Model 13-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	66
Şekil 4.58	Model 13-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	66
Şekil 4.59	Model 13-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	67
Şekil 4.60	Model 14-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	68

Şekil 4.61	Model 14-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	68
Şekil 4.62	Model 14-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	69
Şekil 4.63	Model 14-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	69
Şekil 4.64	Model 15-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	70
Şekil 4.65	Model 15-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	71
Şekil 4.66	Model 15-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	71
Şekil 4.67	Model 15-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	72
Şekil 4.68	Model 16-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	73
Şekil 4.69	Model 16-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	73
Şekil 4.70	Model 16-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı	74
Şekil 4.71	Model 16-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği	74

TABLO LİSTESİ

Tablo No		Sayfa No
Tablo 3.1	Çim Referans Bitki Katsayısı kc (M.Bayazıt 2003)	17
Tablo 3.2	Yıllık Gündüz Saatlerinin Aylık Ortalama Yüzdesi ρ (M. Bayazıt 2003)	17
Tablo 4.1	Büyük Menderes Havzası Akım Gözlem İstasyonu	27
Tablo 4.2	Akım Gözlem İstasyonunun İstatistiki Özellikleri	27
Tablo 4.3	Büyük Menderes Havzasında Seçilen Ölçüm İstasyonu	28
Tablo 4.4	Modellerin Uygulanma Şekillerinin Açıklaması (1)	30
Tablo 4.5	Modellerin Uygulanma Şekillerinin Açıklaması (2)	31
Tablo 4.6	Mouelhi et al. (2006)-PMS için Kalibrasyon Aşamasında Kullanılan Başlangıç ve Kısıt Parametre Değerleri	34
Tablo 4.7	Mouelhi et al. (2006)-GR2M için Kalibrasyon Aşamasında Kullanılan Başlangıç ve Kısıt Parametre Değerleri	34
Tablo 4.8	Kalibrasyon Sonucunda Model 1'in Parametreleri	34
Tablo 4.9	Model 1-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	37
Tablo 4.10	Kalibrasyon Sonucunda Model 2'in Parametreleri	37
Tablo 4.11	Model 2-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	40
Tablo 4.12	Kalibrasyon Sonucunda Model 3'in Parametreleri	40
Tablo 4.13	Model 3-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	42
Tablo 4.14	Kalibrasyon Sonucunda Model 4'in Parametreleri	42
Tablo 4.15	Model 4-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	45
Tablo 4.16	Kalibrasyon Sonucunda Model 5'in Parametreleri	45
Tablo 4.17	Model 5-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	47
Tablo 4.18	Kalibrasyon Sonucunda Model 6'in Parametreleri	47
Tablo 4.19	Model 6-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	50
Tablo 4.20	Kalibrasyon Sonucunda Model 7'in Parametreleri	50
Tablo 4.21	Model 7-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	52
Tablo 4.22	Kalibrasyon Sonucunda Model 8'in Parametreleri	52
Tablo 4.23	Model 8-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	55
Tablo 4.24	Kalibrasyon Sonucunda Model 9'in Parametreleri	55
Tablo 4.25	Model 9-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	57
Tablo 4.26	Kalibrasyon Sonucunda Model 10'in Parametreleri	57
Tablo 4.27	Model 10-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	60
Tablo 4.28	Kalibrasyon Sonucunda Model 11'in Parametreleri	60
Tablo 4.29	Model 11-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	62
Tablo 4.30	Kalibrasyon Sonucunda Model 12'in Parametreleri	62
Tablo 4.31	Model 12-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	65
Tablo 4.32	Kalibrasyon Sonucunda Model 13'in Parametreleri	65
Tablo 4.33	Model 13-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	67
Tablo 4.34	Kalibrasyon Sonucunda Model 14'in Parametreleri	67
Tablo 4.35	Model 14-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	70
Tablo 4.36	Kalibrasyon Sonucunda Model 15'in Parametreleri	70
Tablo 4.37	Model 15-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	72
Tablo 4.38	Kalibrasyon Sonucunda Model 16'in Parametreleri	72
Tablo 4.39	Model 16-Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler	75
Tablo 4.40	GR2M Modelinin 16 Varyasyonu için elde edilen NSE, FKT, R^2 Değerleri	76

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez çalışmam da her anlamda yardımını, bilimsel katkı ve tecrübelerini esirgemeyen, bana yol gösteren Sayın hocam Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV'e yine tez çalışmam boyunca bana her zaman yardımcı olan Sayın hocam Araştırma Görevlisi M. Erkan TURAN'a

Eğitimimin her aşamasında maddi ve manevi olarak desteklerini hiç esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Mete Murat BAYAT

Temmuz-2011

ÖZET

Hidrolojik çevrim içerisindeki olayların anlaşılabilmesi ve sistem kavramı içinde incelenebilmesine yarayan hidrolojik modeller, günümüzde su kaynaklarının kullanılması ve geliştirilmesi, iklim değişiklikleri ve etkilerinin anlaşılması gibi birçok konuda kullanılmaktadır. Özellikle modellemede az parametre ve veri gereksinimi duyan tutumlu modeller günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Fransa'daki Cemagref Enstitüsünde Kabouya (1990) tarafından ilk olarak geliştirilen, GR2M aylık yağış-akış modeli de bu tutumlu modellerdendir.

GR2M modelinin Makhlouf ve Michel (1994) tarafından ve Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) tarafından geliştirilen güncel versiyonları bu tez çalışması kapsamında incelenmiştir. GR2M modelinin bu versiyonları, Ege Bölge'sindeki Büyük Menderes Havza'sında ve onun alt havzalarında iki farklı evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ile iki farklı kalibrasyon kriteri kullanılarak toplam 12 farklı şekilde uygulanmıştır.

Böylece, Makhlouf ve Michel (1994) tarafından ve Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) tarafından geliştirilen ve Fransa, Amerika, Brezilya, Fildişi Sahilleri ve Çin'de uygulanan GR2M aylık yağış-akış modelinin Türkiye'de Büyük Menderes Havza'sında ve alt havzalarında uygulaması yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Model sonuçları, aylık akışların, Büyük Menderes Havzası için GR2M modeli ile oldukça tatmin edici performanslar ile tahmin edilebilir olduğunu göstermiştir.

ABSTRACT

Hydrological models are used to understand the hydrological cycle and operationally essential to estimate the yields of water resources. Since hydrological processes include so many parameters, the models with few parameters are often preferable to decrease the do to requirements and simplfy the calibration process. In this study, the monthly rainfall-runoff model GR2M is used to estimate monthly flows. Several evaporation methods are used to during the calibration processes. Two calibration methods are used. Thus several combinations of model runs are performed in an attempt to obtain the best forecasts. The model runs are carried out in the using the data for Büyük Menderes Basin, Turkey. The results have indicated that the monthly flows can be estimated with quite satisfactory performances .

1. GİRİŞ

Günümüzde iklim koşullarındaki değişim, kuraklık ve suya olan talebin artması nedeniyle, su kaynaklarının kullanımında ve kalitesinde yaşanan sorunlar hidrolojik modellere olan ihtiyacı arttırmıştır (Xiong, Guo, 1998). Hidrolojik modellerle yağış, akış, buharlaşma, evapotranspirasyon vb gibi bileşenlerden oluşan hidrolojik çevrim daha net bir şekilde irdelenmekte ve anlaşılabilmektedir. Böylece su kaynakları yönetiminde karşılaşılan sorunlara hidrolojik modeller yardımı ile çözüm üretilebilmektedir.

Su dengesi modelleri içindeki parametrik aylık yağış akış modelleri su kaynaklarının farklı koşullar altındaki davranışının anlaşılabilmesi için yağışın akışa dönüştürülmesi çalışmalarında kullanılmıştır (Çelik ve Fıstıkoğlu 2005). Genel olarak su dengesi modelleri üç farklı alanda uygulanmaktadır. Bu alanlar havza hidrolojisinin analiz edilmesi, iklim değişiklikleri ve etkisi, sulama ihtiyacının ve su miktarının mevsimsel ve alansal dağılımının değerlendirilmesidir (Xu ve Singh 1998).

Son elli yıllık süreçte bir çok aylık su dengesi modeli üretilmiş ve geliştirilmiştir. İlk olarak 1940 ve 1950 yıllarında Thornthwaite ve Mather(1955) bir grup deterministik iki parametreli, birinci parametresi zemin nemi kapasitesi, diğeri kalan su kapasitesi katsayısı olan aylık su dengesi modeli geliştirmiştir. 1990 yılına gelindiğinde iklim değişikliğinin etkilerini anlamak ve su kaynakları planlaması ve yönetimi çalışmaları için birçok farklı model geliştirilmiştir (Mimikou 1991, Vandewiele 1992, Guo 1992, Guo 1995).

Günümüze gelindiğinde ise aylık su dengesi modelleri çok parametreli ve fazla veri gereksinimi olan karmaşık modeller haline gelmiştir. Bu tür çok fazla parametre ve veri gereksinimi olan modeller veri toplamada, kalibrasyon ve verifikasyon aşamalarında yaşanan sorunlar ve kullanım güçlüğü nedeniyle yaygın kullanılan araçlar haline dönüşememişlerdir. Bu tür karmaşık modeller yerine daha az parametre ve veriye ihtiyaç duyan basit aylık su dengesi modelleri daha kolay kullanımları, aynı zamanda basitliklerine rağmen mantıklı ve doğru sonuç vermeleri nedeni ile dönemsel yağış-akış simülasyonlarının oluşturulmasında daha çok tercih edilmektedir (Xiong ve Guo 1999). Yani zamanla modeller geliştikçe karmaşık modellerden tutumlu modellere geçilmiştir.

Fransa'da ki Cemagref Enstitüsünde Kabouya(1990) tarafından geliştirilen GR2M(Génıe Rural a 2 Parameters Mensuel) aylık iki parametreli yağış akış modeli de tutumlu modellerdendir. GR2M sızma, evapotranspirasyon, perkolasyon gibi hidrolojik süreçleri kavramsal olarak modelleyen deterministik ve ortalanmış çalışan bir yağış-akış modelidir. GR2M modeli zamanla farklı havzalarda çalıştırılarak geliştirilmiştir. Makhlouf ve Michel(1994) GR2M modelini Fransa'da ki 91 havzada çalıştırarak geliştirmiş ve modelin genel çerçevesini oluşturmuştur.

GR2M modeli birkaç yüz kilometrekarelik havzalardan birkaç bin kilometrekarelik havzalara kadar kullanılabilir olması, tutumlu ve az parametreli bir model olması gibi özellikleri ile su kaynakları yönetiminde, iklim değişikliği etkilerinin, hidrolojik çevrim içindeki olayların anlaşılması çalışmalarında kullanım potansiyeli yüksek bir modeldir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Sunulan bu tez çalışması kapsamında, hidrolojik model kavramı, hidrolojik modelin oluşturulması ve sınıflandırılması konularına değinilmiştir ve hidrolojik çevrim içerisindeki yağış-akış dönüşümünü inceleyen deterministik, tutumlu ve kavramsal bir model olan, GR2M aylık yağış akış modeli ve onun Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) tarafından geliştirilen aile model yapısı (PMS) versiyonu ve GR2M modelinin yine Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) tarafından geliştirilmiş son hali anlatılmıştır.

GR2M modelini ve versiyonlarını incelemek için uygulama havzası olarak Türkiye'nin güney-batısında, Batı Anadolu'da 37^0 12'-38^0 42' kuzey enlemleri ile 27^0 15'-30^0 15' doğu boylamları arasında Ege Bölge'sinde yer alan ve ülke yüzey alanının %3,2'sini oluşturan, 24,873 km^2 yağış alanına sahip Büyük Menderes Havzası ve alt havzaları seçilmiştir.

GR2M aylık-yağış akış modeli, Büyük Menderes Havza'sında çalıştırılırken modelin veri olarak ihtiyaç duyduğu evapotranspirasyon değerlerini hesaplamak için Blaney-Criddle evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ve Oudin, Hervieu, Michel, Perrin, Andreassian, Anctil, Loumagne (2004) tarafından önerilen, sadece sıcaklık ve global radyasyon verilerini kullanarak hesaplama yapan, basit ve etkili bir evapotranspirasyon hesaplama yöntemi olmak üzere iki farklı evapotranspirasyon hesaplama yöntemi seçilmiştir. Modelin havza çıkışındaki gözlenmiş akımları en iyi şekilde temsil edebilmesi için gereken, olası en iyi parametreleri bulmak için, kalibrasyon sürecinde optimizasyon algoritması olarak Genetik Algoritma ve Doğrusal Olmayan En İyi Hale Getirme (Generalized Reduced Gradient Method-GRG) yöntemi ve performans kriteri olarak gene iki farklı performans kriteri, Nash-Sutcliffe ve Farkların Kareleri Toplamı performans kriterleri kullanılmıştır. Böylece modelin uygulama havzası olarak seçilen Büyük Menderes Havza'sında 16 farklı şekilde çalıştırılması amaçlanmıştır:

Fransa'daki Cemagref Enstitüsünde Kabouya (1990) tarafından ilk defa geliştirilen GR2M modeli ve onun daha sonra geliştirilen diğer versiyonları bu güne kadar Fransa, Amerika, Fildişi Sahilleri, Orta ve Batı Afrika ve Çin'deki bazı havzalarda uygulanmış ve olumlu sonuçlar vermiştir. Yapılan bu yüksek lisans çalışmasındaki amaç; GR2M aylık yağış-akış modelini, Türkiye'de seçilen Büyük Menderes Havza'sında çalıştırarak modelin Türkiye'de vereceği sonuçları görmek ve incelemektir.

2. HİDROLOJİK MODELLER

Hidrolojik çevrim içerisindeki olayların anlaşılabilmesi ve bir bütün olarak ele alınabilmesi geçmişten günümüze kadar bir çok çalışmaya konu olmuştur. İklim değişikliği ve etkilerinin anlaşılabilmesi, sınırlı olan su kaynaklarının verimli olarak kullanılabilmesinin amaçlandığı modelleme çalışmaları sırasında; hidrolojik süreçlerde yer alan yağış, akış, sızma, evapotranspirasyon vb gibi olayları ayrı ayrı veya birleşik olarak açıklayan modeller geliştirilmiştir. Hidrolojik süreçler içinde özellikle yağış olayındaki belirsizlik modelleme çalışmalarını olumsuz etkilemiştir. Bu olumsuzluğun daha sonraları üretilen günlük, aylık ve yıllık yağış akış modelleri ile çözümlenmesi amaçlanmıştır. Günümüzde hidrolojik süreç içindeki olayları ayrı ayrı ele almak yerine, yağış-akış modelleri gibi bir çok hidrolojik süreci bünyesinde barındıran birleşik hidrolojik modeller kullanılmaya başlanmıştır. Süreçleri ayrı ayrı inceleyen modellerden, tüm süreçleri bünyesinde barındıran birleşik modellere geçişte veri toplama(uydu ve uzaktan algılama teknolojileri ile), toplanan bu verilerin bilgisayar ortamında işlenebilmesindeki gelişmeler önemli rol oynamıştır.

Hidrolojik modellere duyulan ihtiyacı Fıstıkoğlu (1999); “Hidrolojik modellemeye genelde iki nedenden ötürü ihtiyaç duyulmuştur. Bunlardan birincisi ilgi duyulan sistemin nasıl işlediğinin, süreç mekanizmalarının tanımlanıp açıklanması, ikincisi ise modellenen sistemin farklı girdiler ve koşullar altında vereceği cevapların önceden kestirilmesidir (senaryo üretimi)” şeklinde açıklamaktadır.

2.1 Hidrolojik Model Kavramı

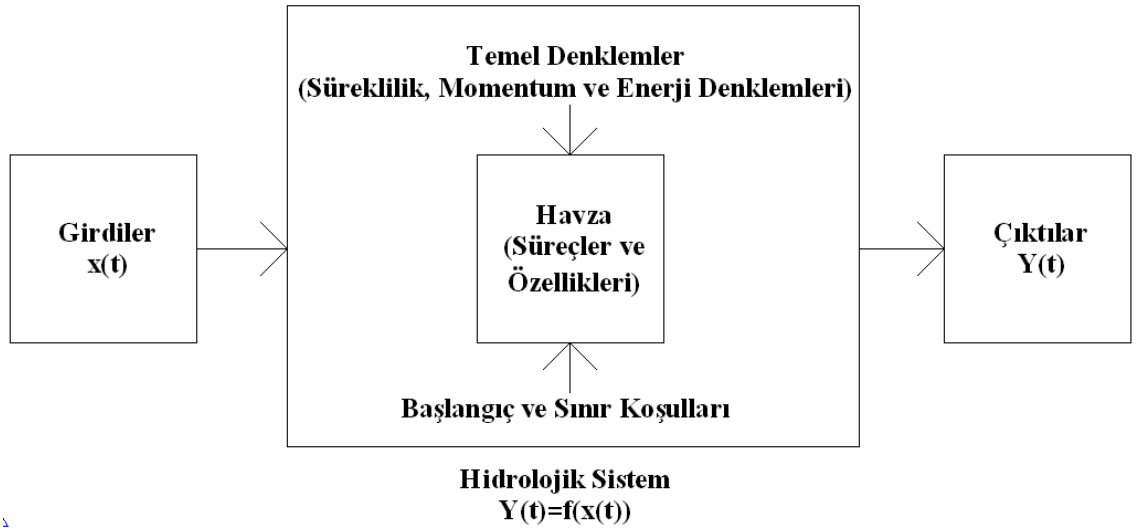
Hidrolojik model hidrolojik çevrim içerisindeki yağış, akış, buharlaşma, evapotranspirasyon, sızma vs gibi hidrolojik süreçlerin fiziksel veya kavramsal olarak bir sistem düzeni içerisinde oluşturulmuş bir simülasyonu olarak ifade edilebilir.

İlk başta üretilen modeller, veri işleme için(kalibrasyon, validasyon gibi) bilgisayar teknolojisinin yeterli olmaması ve hidrolojik olayların belirsiz karakterlere sahip olmaları nedeniyle istatistiksel modeller olarak karşımıza çıkmaktaydı. Günümüzde ise bilgisayar teknolojisindeki ilerleme, daha fazla veri depolama olanağı ve hidrolojik olayların belirsiz karakterlerinin daha iyi anlaşılabilmesi ile karma ve deterministik modeller geliştirilebilinmiştir.

İklim koşulları ve etkilerinin anlaşılmasında, bir havzanın su kaynaklarının kalite ve miktar olarak potansiyelinin belirlenmesinde, su kaynaklarının verimli kullanılmasında, su kaynakları projelerinin tasarım, inşaat ve işletmesi gibi alanlardaki sorunlara çözüm bulan hidrolojik modeller günümüz su kaynakları mühendisliğin temel araçlarıdır (Çelik ve Fıstıkoğlu 2005)

2.2 Hidrolojik Modeli Oluşturan Elemanlar

Hidrolojik model üç tane bileşene sahiptir. Bunlar girdiler, hidrolojik sistem ve çıktılar olarak gruplandırılabilir.

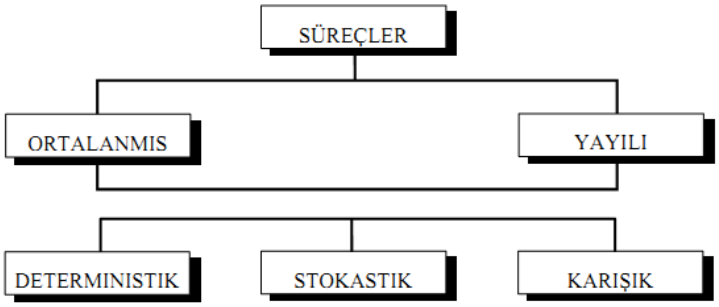


Şekil 2.1 Hidrolojik Modeli Oluşturan Elemanlar

Girdiler hidrolojik modelin çalışması için ihtiyaç duyduğu sıcaklık, yağış, evapotranspirasyon, zemin nemi kapasitesi gibi verilerden ve parametrelerden oluşur. Elde edilen ve derlenen girdiler hidrolojik sisteme girer ve sistemi etkileyen olaylar ile değişikliğe uğrayarak çıktıları verir. Sistem, düzenli bir şekilde birbirleriyle ilişkili olan ve çevresinden belirli bir sınırla ayrılarak bir bütün oluşturan bileşenler takımı olarak tanımlanır (Bayazıt 1998). Hidrolojik sistem alt havza, bir akarsu havzası veya birkaç havzanın birleşmesinden meydana gelen havza topluluğudur. Hidrolojik sisteme etki eden bir çok bileşenin bir araya gelmesi ve bu bileşenlerin sistem üzerindeki etkileri modelleme çalışmaları içinde dönüşüm fonksiyonunu oluşturur. Dönüşüm fonksiyonu, hidrolojik olayın matematiksel olarak ifadesidir (Çelik ve Fıstıkoğlu 2005).

2.3 Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması

Hidrolojik modeller; ölçek, sistem tanımı ve çözüm tekniği açısından sınıflandırılmaktadır. Bayazıt (1998) hidrolojik modelleri Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de verildiği şekilde sınıflandırmaktadır. Bu şekilde verilen sınıflandırmalar Bayazıt (1998) esas alınarak aşağıda tanıtılmıştır.



Şekil 2.2 Sistem Tanımına Göre Modellerin Sınıflandırılması (Bayazıt 1998)

2.3.1 Sistem Tanımına Göre Sınıflandırma

Sistem tanımı açısından bir hidrolojik modeli incelediğimizde Şekil 2.2'deki bileşenlere sahip olduğunu görürüz. Havza karakteristikleriyle birleşen hidrolojik süreçlerin tanımlarına dayanarak modelleri ortalanmış, yayılı, deterministik, stokastik ve karışık modeller olarak sınıflandırabiliriz (Singh, 1995).

Ortalanmış Model: Ortalanmış modeller çalıştırıldıkları havzayı tek bir ünite olarak kabul ederler. Bu şekilde model parametreleri ve değişkenleri tüm havza için ortalanmış olarak tanımlanabilmektedir. Bayazıt (1998) ortalanmış model yaklaşımını; "Basit bir yaklaşım olarak söz konusu büyüklüğün ya da karakteristiğin sistemin her yerinde sabit bir ortalama değerinin olduğunun kabul edilmesi" şeklinde tanımlamaktadır. Ortalanmış modeller alansal değişikliği dikkate almadığı ve nitelikli veriye ihtiyaç duymadığı için kullanımı daha kolaydır fakat elde edilen sonuçlar modelleme amaçlarını tam olarak karşılamayabilir.

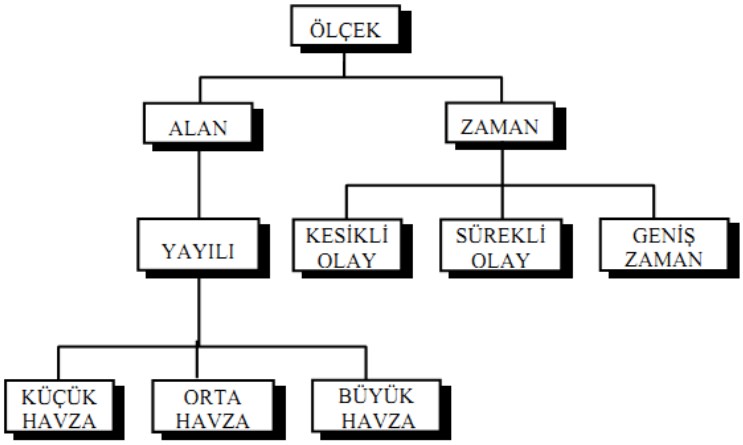
Yayılı Model: Bu tür modeller çalıştırıldıkları havzaya ait parametre ve değişkenlerin alansal dağılımlarını da göz önüne alırlar. Böylece model çıktıları da yine alansal dağılımları ile tanımlanabilmektedir. Aynı zamanda yayılı model yaklaşımı çok geniş havzalarda, havzanın daha küçük homojen alt havzalara ayrılabilmesine olanak sağlar. Bu sayede havza özelliklerindeki en küçük bir değişim bile modele katılabilmektedir.

Deterministik Model: Deterministik özelliğe sahip modeller, hidrolojik sistemin rastgele karakterini dikkate almayan, verilen bir girdinin hep aynı çıktığı oluşturacağını kabul eden modellerdir (Refsgaard, 1996)

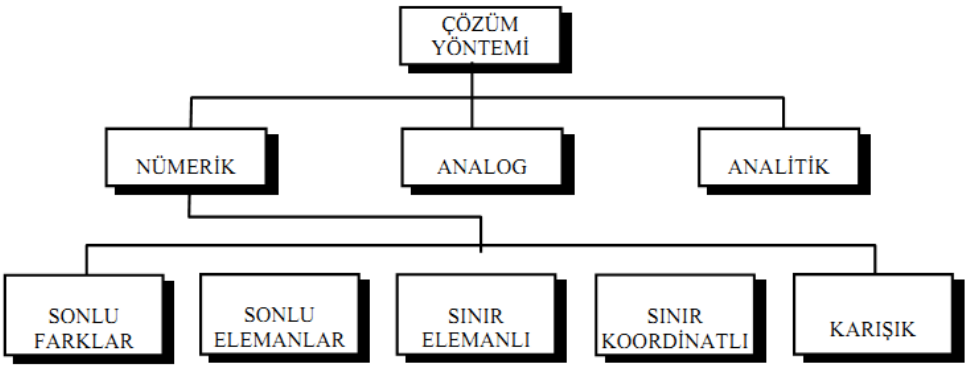
Stokastik Model: Deterministik modellerin tersine stokastik modellerde çıktılar rastgele karaktere sahiptir. Stokastik modeller belirli olasılıklara karşı belirli sonuçlar verir.

Karışık Model: Ayrıca bazı modeller hem stokastik ve hem deterministik özellikleri aynı anda bünyelerinde barındırabilirler, bu tür modellere karma modeller ya da melez (hybrid) modeller denir. (Refsgaard, 1996).

Kullanılan modelin stokastik mi yoksa deterministik mi olacağına kara vermek için Bayazıt(1998); " Çıktılardaki rastgele değişkenliğin önemli olup olmadığına bakılır. Gerçekte bütün hidrolojik olaylarda rastgelelik bulunmakla birlikte bunun etkisinin fazla olmaması halinde deterministik bir yaklaşım kullanılabilir" şeklinde bir yaklaşım getirmiştir. Stokastik yaklaşımın sonuçlardaki rastgele değişkenliğinin hesaplanmasının zorluğu nedeniyle genelde modellerin büyük çoğunluğu deterministiktir ve modellerin hiçbirine tam olarak stokastik denemez.



Şekil 2.3 Alan ve Zaman Ölçeklerine Göre Modellerin Sınıflandırılması (Bayazıt 1998)



Şekil 2.4 Çözüm Tekniklerine Göre Modellerin Sınıflandırılması (Bayazıt 1998)

2.3.2 Zaman ve Alan Ölçeği Bakımından Sınıflandırma

Zaman ölçekli sınıflandırma: Zaman ölçeği iki zaman aralığının kombinasyonu olarak tanımlanabilir (Diskin ve Simon, 1979). Zaman aralıklarından biri girdi olarak ele alınır ve model iç hesaplamalarında kullanılır. İkincisi ise çıktı olarak ele alınır ve model kalibrasyonu için kullanılmaktadır. Bu tanımlama baz alınarak model; sürekli veya kesikli, günlük, aylık ve yıllık olarak ayrılabilir (Harmancıoğlu ve Özkul, 2000). Eğer model bileşenleri kısa zaman aralıkları için (saatlik veya daha kısa) uygunsa bu durumda model kısa zaman aralıklı model olarak adlandırılır. Zaman aralıkları, model amacına göre belirlenebilir (Singh, 1995).

Alan ölçekli sınıflandırma: Alan ölçekli sınıflandırmada havza; küçük, orta ve büyük olarak ayrılır. Buna bağlı olarak model de sınıflandırılabilir. 100 km^2'den küçük havzalar için küçük havza modeli, 100-1000 km^2 arası alana sahip havzalar için orta ölçekli havza modeli ve 1000 km^2'den büyük havzalar için büyük havza modeli tanımları

yapılabilir. Bu tanım kavramsal bir tanımdan ziyade deneysel olarak veri teminine göre yapılmaktadır (Singh, 1995).

2.3.3 Arazi kullanımına göre sınıflandırma

Havzalar arazi kullanımı açısından, tarımsal, kentsel, ormanlık, çorak, dağlık, kıyı, sulak alanlar, karışık vb. olmak üzere sınıflandırılabilir. Genel olarak büyük, bazen orta ölçekli havzalarda hidrolojik olarak bir çok farklı arazi türü ile karşılaşılabilir. Bunun sonucunda böyle havzalar hidrolojik olarak farklı davranış gösterir. Bu durum çeşitli arazi özelliklerine bağlı modellerin oluşmasına neden olmaktadır (Singh,1995).

2.3.4 Model kullanım amacına göre sınıflandırma:

Havza modelleri planlama, yönetim ve tahmin amaçlı olabilir. Planlama ve yönetim amaçlı havza modelleri, su kaynaklarının kullanımı konusunda gerçekçi ve güvenilebilir kararların verilmesine imkan vermektedir (Singh,1995).

2.4 Hidrolojik Modellerin Oluşturulması

Hidrolojik modelin kurulmasında karşılaşılan en önemli sorun nitelikli veri teminidir. Farklı hidrolojik modeller farklı veri setlerine ihtiyaç duyarlar. Çoğu durumda bu veriler temin edilebilse bilse bile, kullanılacak verilerin eksik, hatalı veya homojen olmaması modelde sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle mevcut verilerin; işlenmesi, hatalı olanlarının düzeltilmesi ve analizlerinin yapılması gerekmektedir (Seven ve Fıstıkoğlu 2005).

Hidrolojik modelin kurulmasında öncelikle modellenecek hidrolojik olayın içeriğine, karakteristik yapısına, süreçlerine ve bileşenlerine dikkat edilmelidir. Daha sonra kurulacak modelin veri gereksinimi, eldeki mevcut verilerin durumu modelleme aşamasında dikkat edilmesi gereken diğer bir husustur. Modelde kullanılacak hidrolojik olay ve verilere karar verildikten sonra şeçilecek modele; uygulanacak yöntem, organizasyon ve planlama aşamaları kriterlerine göre karar verilmesi gerekir.

Model tasarımına geçmeden önce incelenecek hidrolojik olayın ne olduğuna, işleyişine, süreçlerine ve hangi verilere gereksinim duyduğunun iyice anlaşılması gerekir. Böylece model tasarlanmadan önce insan beyninde nitelendirilmiş olacak ve modele ait matematiksel ve fiziksel modeller gene insan beyninde canlanmış olacaktır. İnsan beyninde canlanan bu fiziksel ve matematiksel modele kavramsal model denir. Tasarımı yapılacak modelin hidrolojik olayı ve bu olayın fiziksel ve matematiksel modellerine karar verildikten sonraki aşama bu denklemlerin ve bu olayın bilgisayar modelini oluşturmak olacaktır (Çelik ve Fıstıkoğlu 2005).

Tasarımı yapılan hidrolojik süreç için kavramsal model sonrasında da bilgisayar kodu hazırlandıktan sonra önceden temin edilmiş veriler ile model çalıştırılır. Buradan sonra modelin verdiği sonuçların gözlenmiş havza değerleri ile ilgisi araştırılır. Bu şekilde hidrolojik olayın içeriğine ve karmaşıklığına bağlı olarak mevcut hidrolojik süreçleri açıklayan ve model çıktılarını gözlenmiş değerler ile ilişkilendiren parametrelerin belirlenmesine çalışılır. Böylece bundan sonraki süreçte model çıktıları için sırası ile kalibrasyon, verifikasyon ve validasyon aşamalarına geçilir.

2.5 Kalibrasyon Aşaması

Kalibrasyon aşamasında model çıktılarının havzanın gözlenmiş değerleri ile yakın olup olmadığını incelenir. Çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanarak model çıktılarını gerçeğe yaklaştırmak için model parametreleri kalibre edilir. Kalibrasyon işlemi daha güvenilir sonuçlar elde etmek için, tek bir veri grubu yerine birden çok veri grubu ile yapılmalıdır.

Parametrik havza modellerinde fiziksel parametreler ve süreç parametreleri olmak üzere iki çeşit parametre tipi bulunur. Fiziksel parametreler; tabiatta ölçülebilen (yüzey eğimi, alan gibi) havza özelliklerini temsil eder. Süreç parametreleri ise ölçme imkanı çok zor olan havza özelliklerini (Yüzey altı akım yüzdesi, yüzey su tutma kapasitesi, zemin nemi gibi) ifade eder.

Kalibrasyon sürecinde dikkat edilmesi gereken önemli bir diğer unsur da, kalibre edilen parametrelerin fiziksel anlamını yitirmemesidir. Yani parametre kalibrasyon sınırları içinde kalmalıdır. Bu yüzden kalibrasyon aşamasında parametreler belirlenirken sınır değerlerine özellikle dikkat edilmelidir.

2.6 Verifikasyon Aşaması

Verifikasyon aşamasında model aynı parametreler ile, fakat farklı girdi setleri ile tekrar çalıştırılır ve elde edilen çıktılar gözlenmiş değerler ile kıyaslanarak ne kadar uygun sonuçlar verdiğine bakılır. Modelin verifikasyonu ile seçilen modelin ne kadar kullanılabilir ve uygulanabilir olduğu irdelenebilir. Bazı durumlarda verifikasyon işlemi sonucunda elde edilen çıktılar gözlenmiş değerler ile uyuşmayabilir. Bu duruma model sapması denir ve böyle bir durumda kalibrasyon aşamasında tekrar dönerek daha uzun süreli veri setleri kullanılmalıdır. Eğer yine de verifikasyon işlemi sonucunda elde edilen çıktı değerleri ile gözlenmiş değerler uyuşmuyorsa bilgisayar programında ya da olayın mantığının kurulmasında bir hata var demektir. Bu nedenle başa dönülerek kavramsal model oluşturma aşaması tekrardan gözden geçirilmelidir.

2.7 Validasyon Aşaması

Kalibrasyon ve verifikasyon aşamalarında elde edilen sonuçların doğruluğundan emin olduktan sonra son kontrol aşaması validasyon aşamasıdır. Bu aşamada model, benzer diğer havza verileri ile çalıştırılır ve çıktılar gözlenmiş değerler ile kontrol edilir. Eğer validasyon sonucunda elde edilen çıktılar ile gözlenmiş değerler uyuşuyorsa model güvenli demektir.

3. AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİ

Aylık yağış-akış modelleri su kaynakları yönetiminde özellikle rezervuar dizaynı ve işletmesinde, iklim değişikliği ve bunun etkilerinin anlaşılmasında oldukça kullanışlı modellerdir. Aynı zamanda aylık yağış-akış modelleri, dönemsel uzatılmış akış birleşimlerinin uzun menzilli tahminleri içinde kullanılabilmektedir (Makhlouf, Michel 1994).

Günümüze kadar birçok aylık yağış-akış modeli üretilmiş ve geliştirilmiştir. İlk olarak 1940 ve 1950 yıllarında Thornthwaite ve Mather (1955) bir grup deterministik iki parametreli, birinci parametresi zemin nemi kapasitesi, diğeri kalan su kapasitesi katsayısı olan aylık su dengesi modeli geliştirmiştir. Palmer (1965), meteorolojik kuraklık seti geliştirme çalışması sırasında zemin nemi depolaması iki tabakaya bölen bir model önermiştir. Thomas (1981), dört parametreli abcd aylık su dengesi modelini geliştirmiştir. Alley (1984), Thornthwaite-Mather modeli, Palmer(1965) modeli, Thomas(1981-1983) yıllarında geliştirdiği abcd modellerini yeniden ele almış ve bu modellerdeki tahmin hatalarının benzer olduğu sonucuna varmıştır. Gleick (1987), iklim değişikliği etkilerini inceleyen bir aylık yağış-akış modeli geliştirmiştir ve su dengesi modellerinin kullanımın pratikte sağladığı faydalara değinmiştir. 1990'lara gelindiğinde iklim değişikliği ve etkileri, su kaynakları kullanımı ve yönetimi için bir çok model üretilmiştir (Mimikou, 1991; Vandewiele, 1992; Guo,1992; Guo 1995). Vandewiele (1992) geliştirdiği üç parametreli model serisinin, literatüre geçmiş diğer modellere göre daha iyi çalışmasını sağlayan bazı stokastik özellikleri açıklamıştır (Xiong, Guo 1999).

Neredeyse 50 yıllık bir gelişme sürecinden sonra aylık su dengesi modelleri oldukça karmaşık fazla parametreli ve ağır modeller haline gelmiştir. 1990'lardan sonra daha basit, kullanımı kolay, az parametreli, tutumlu modellere yönelim artmıştır. Kökenini Edijatno ve Michel'in 1989 yılında geliştirdiği günlük yağış akış modelinden alan ve Fransa'daki Cemagref Enstitüsünde 1990 yılında, Kabouya tarafından geliştirilen GR2M(Génıe Rural a 2 Parameters Mensuel) aylık iki parametreli yağış-akış modeli de bu tür basit, kullanımı kolay, tutumlu modellerdendir. GR2M modelinin en önemli özelliği bu basitliliğine rağmen, doğru sonuçlar veren bir model olmasıdır (Niel, Patuel, Servat 2003). GR2M modeli daha sonra 1994 yılında, Makhlouf ve Michel tarafından; Fransa'da ki 315-5560 km^2 arasında alana sahip 91 havza için yaklaşık 27 yıllık veri setlerini kullanarak geliştirilmiştir. 2003 yılında Mouelhi tarafından GR2M modeli Fransa, Amerika, Brezilya ve Fildişi Sahilleri'ndeki toplam 429 havza için çalıştırılmıştır. Gene 2003 yılında Niel, Paturel ve Servat tarafından GR2M modeli; 1970'lerin başından itibaren Orta ve Batı Afrika'daki iklim değişikliği ve etkilerini anlamak için, UNESCO'nun başlattığı FRİEND-AOC programı çatısı altındaki ICCARE(Identification and consequences of climatic variability in non-Sahelian West Africa-Batı Afrikada'ki steplik olmayan bölgedeki iklim değişikliğinin ve sonuçlarının anlaşılması) programı çerçevesinde elde edilen sonuçları incelemek için kullanılmıştır. 2006 yılında ise Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian tarafından GR2M modeli, Perrin(2003) tarafından geliştirilen GR4J modelini aile model şeması (PMS-Parent Model Scheme) seçilerek, Brezilya, Amerika, Fildişi Sahilleri, Fransa ve Avustralya'da ki 410 havza için modeli çalıştırmış ve geliştirmiştir. 2006 yılında Mouelhi tarafından yapılan bu çalışma bize GR2M modelinin en son geliştirilmiş halini vermektedir.

Az parametre ile doğru sonuçlar veren, tutumlu, basit, deterministik bir model olan GR2M ortalanmış ve aylık olarak çalışır. GR2M modeli yapısı itibariyle iki ana elemandan oluşmaktadır. Bunlar biriktirme ve öteleme elemanlarıdır. GR2M modeli havzaya düşen aylık yağış, evapotranspirasyon ve sıcaklık değerlerini kullanarak, zemin nemi, yer altı suyu değişimi,

öteleme depolaması kapasitesi gibi havza karakteristiklerini de dikkate alarak çalıştırıldığı havzanın yağış-akış dönüşümünü simüle eder.

3.1 GR2M Modeli Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) Versiyonu

2006 yılında Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian; Perrin (2001)'in modellerdeki karmaşıklığın model performansına etkisini incelediği ve buradan yola çıkarak 2003 yılında geliştirdiği GR4J (Génıe Rural a 4 Parameters Jourlaier) günlük 4 parametreli yağış akış modelini temel alarak GR2M aylık 2 parametreli yağış akış modeli için yeni bir versiyon geliştirmişlerdir. 2006 yılında yaptıkları bu çalışmada, bir aylık yağış akış modelinde hangi elemanların önemli olduğunu anlamak için; Perrin (2003)'ün geliştirdiği GR4J modelinde ve Makhlouf ve Michel (1994)'in geliştirdiği GR2M modelinde kullanılan denklemleri, denklemlerin verimliliğini ve model ile ilgisini gösteren bir deneme-yanılma sürecinden geçirerek bir aile model yapısı (PMS-Parent Model Structure) oluşturmuşlardır. Oluşturdukları aile model yapısında (PMS), Boughton (2005)'in "parametre azaltma" olarak tanımladığı yaklaşımdan yararlanmışlardır. Bu "parametre azaltma" yaklaşımı hidrolojik modellemede oldukça kullanılan bir yaklaşımdır. "Parametre azaltma" yaklaşımı; parametreler yerine sabit bir değer atayarak veya parametre değerini bir parametre, iki veya daha fazla parametreyi temsil edebilecek şekilde başka bir parametre değeriyle ilişkilendirerek, parametre değişkenlerinin sayısını azaltmak için kullanılır (Boughton (1984), Jayasuriya (1991), Chiew and McMahon (1994), Perrin (2003), Boughton (2004)).

GR4J modeli, aylık yağış-akış dönüşümünün modellenmesinde ortaya çıkacak karmaşıklığı sınırlayabilecek 4 parametreye sahiptir. Günlük zaman adımından, aylık zaman adımına geçişte verilen zamansal ortalanmış yaklaşım ile aylık yağış-akış dönüşümünü iki veya üç parametre ile de modellemek mümkündür. Oluşturulan aile model yapısı (PMS) de 5 parametreli bir model olmasına rağmen çok karmaşık bir yapıya sahip değildir ve yaygın olarak çoğu model yapısında bulunan özellikleri sağlamaktadır (Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian, 2006).

3.1.1 Beş Parametreli Aile Model Yapısı (PMS)

Ana model yapısındaki; etkili yağışın belirlenmesini sağlayan kayıp fonksiyonu, GR4J modelindeki gibi zemin nemi depolaması hesabına dayanır. Ana model yapısının model şeması Şekil 3,1'de verilmiştir. Aile model yapısı (PMS) X_1 zemin nemi depolamasının maksimum kapasitesi parametresi, X_2 perkolasyon parametresi, X_3 net yağış P3'ün ayırma parametresi, X_4 öteleme(yönlendirme) depolamasının maksimum kapasitesi parametresi ve X_5 yer altı suyu değişim katsayısı parametresi, olmak üzere 5 parametreye sahiptir.

Model de işlem aşamalarına başlamadan önce, zemin nemi depolamasının ilk değeri S0; X_1 zemin nemi depolamasının maksimum kapasitesinin yarısı olarak alınır. Yine aynı şekilde, öteleme (yönlendirme) depolamasının ilk değeri R0; X_4 öteleme depolamasının maksimum kapasitesinin yarısı olarak alınır.

$$S0 = \frac{X_1}{2}$$
$$R0 = \frac{X_4}{2} \qquad (3.1)$$

Daha sonra aylık toplam yağış P değerinin, üretim depolamasına giren kısmı bir önceki ayın zemin nemi depolaması değeri S'i S_1 seviyesine yükseltir. S_1 değeri Denklem 3.2 ile hesaplanır. İlk hesaba başlanan ay için, bir önceki ayın zemin nemi depolaması değeri yerine, zemin nemi depolamasının ilk değeri olarak seçtiğimiz S_0 kullanılır.

$$S_1 = \frac{S + X_1\varphi}{1 + \varphi\frac{S}{X_1}} \qquad \varphi = \tanh(P / X_1) \qquad (3.2)$$

Artık yağış P_1 değeri, aylık toplam yağış değeri P ile bir önceki ayın zemin nemi depolaması değerinin toplamından S_1 değerinin çıkarılması ile Denklem 3.3 ile hesaplanır.

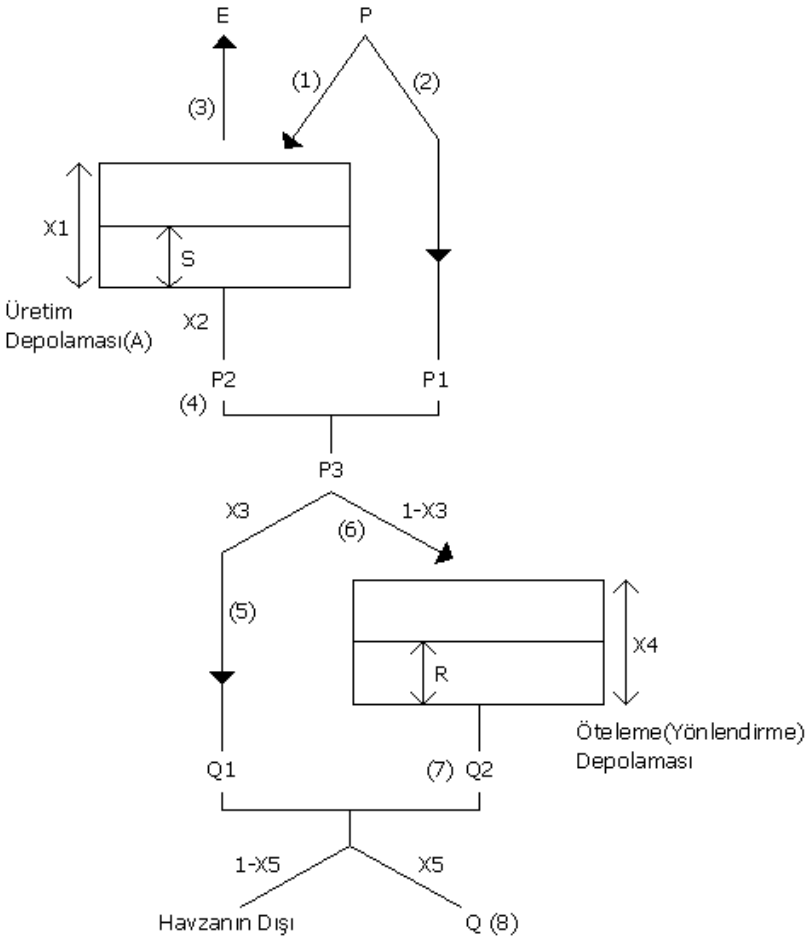
$$P_1 = P + S - S_1 \qquad (3.3)$$

Aylık evapotranspirasyon değeri E ile birlikte S_1 değeri S_2 seviyesine ulaşır. S_2 değeri Denklem 3.4 ile hesaplanır

$$S_2 = \frac{S_1(1-\psi)}{1+\psi\left(1-\frac{S_1}{X_1}\right)} \qquad \psi = \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right) \qquad (3.4)$$

Daha sonra zemin nemi depolaması rezervuarından, zemin nemi doyduktan sonra boşalan P_2 su değeri ile S_2 seviyesi bir sonraki ayda kullanılacak olan, hesabı yapılan ayın zemin nemi depolaması değeri S seviyesine ulaşır. Bir sonraki ayda kullanılacak olan S değeri Denklem 3.5 ile hesaplanır. Hesabı yapılan ayın, S değeri hesaplanırken kullanılan X_2 perkolasyon parametresi pozitif ve birimsiz bir parametredir.

$$S = \frac{S_2}{\left[1+\left(\frac{S_2}{X_2}\right)^{X_2}\right]^{1/X_2}} \qquad (3.5)$$



Şekil 3.1 Aile Model Şeması-PMS (Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian, 2006)

Denklem 3.15 ile bulunan S değeri Q havza çıkış akımının hesaplandığı ay için bulunur ve bir sonraki ayın S_1 seviyesinin hesabında kullanılır. Aynı zamanda o ay içinde P_2 değerinin hesaplanmasında kullanılır. Zemin nemi depolaması rezervuarından boşalan P_2 değeri; S_2 zemin nemi değerinden, hesabı yapılan ayın S değerinin çıkarılması ile bulunur. P_2 değeri Denklem 3,6 ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_2 = S_2 - S \tag{3.6}$$

Net yağış değeri P_3, zemin nemi depolaması rezervuarından boşalan P_2 değeri ile artık yağış P_1 değerinin toplamıdır ve Denklem 3,7 ile hesaplanır.

$$P_3 = P_1 + P_2 \tag{3.7}$$

Daha sonra P_3 net yağış değeri bir X_3 ayırma parametresi yardımı ile, $(X_3)P_3$ kadarlık kısmı direk havza çıkışına, $(1-X_3)P_3$ kadarlık kısmı da öteleme(yönlendirme) depolamasına gidecek şekilde yönlendirilir. X_3 parametresi birimsizdir ve 0 ile 1 arasında değer alır. P_3 net yağış değerinin, havza çıkışına yönlendirilen $(X_3)P_3$ kadarlık kısmı bize havza çıkışındaki ilk akım değerimiz olan Q_1 akım değerini verir. Denklem 3.8 ile Q_1 değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_1 = P_3 X_3 \tag{3.8}$$

Öteleme(Yönlendirme) depolamasına giren net yağış P_3'ün $(1-X_3)P_3$ kadarlık kısmı, bir önceki ayın öteleme depolaması değeri olan R değerini R_1 seviyesine ulaştırır. Denklem 3.9 ile R_1 değeri aşağıdaki gibi hesaplanır. İlk hesaba başlanan ay için, bir önceki ayın öteleme depolaması R değeri yerine başlangıç öteleme depolaması değeri olarak seçtiğimiz R_0 değeri kullanılır.

$$R_1 = R + (1 - X_3)P_3 \tag{3.9}$$

Öteleme depolaması rezervuarı, havza çıkışına Q_2 akımını göndererek boşalır. Q_2 akımı Denklem 3.20 ile aşağıdaki gibi hesaplanır. Denklem 3.10'daki X_4 parametresi öteleme depolamasının maksimum kapasitesidir. X_4 parametresi pozitif değer alır ve mm ile ifade edilir.

$$Q_2 = \frac{R_1^2}{R_1 + X_4} \tag{3.10}$$

Q_2 akım değerini hesapladıktan sonra bir sonraki ayın hesabı için kullanacağımız, hesap yapılan ayın R değeri, öteleme depolamasının R_1 değerinden Q_1 akımı çıkarılarak Denklem 3.11 ile bulunur.

$$R = R_1 - Q_2 \tag{3.11}$$

Net yağıştan havza çıkışına direk boşalan Q_1 akımı ile öteleme depolaması rezervuarından havza çıkışına boşalan Q_2 değeri toplandıktan sonra toplam, bir X5 düzeltme parametresi ile çarpılarak havza çıkışındaki gerçek, düzeltilmiş akım değeri Q elde edilir. X_5 parametresi yer alt suyu değişim katsayısıdır, birimsizdir ve 0 ile 1 arasında değer alır. Q değeri Denklem 3.12 ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q = (Q_1 + Q_2)X_5 \tag{3.12}$$

3.1.2 Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian (2006) GR2M İki Parametreli Yağış Akış Modeli

Aile model yapısı (PMS) kurulduktan sonra Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian (2006), Perrin (2003)'ün GR4J modeli için kullandığı Fransa, Fildişi Sahili, Brezilya ve Amerika'da ki 410 havzanın verilerinden yararlanarak ana model yapısının 5 parametresini optimize etmişler ve Boughton (2005) in "parametre azaltma" olarak tanımladığı yaklaşımı kullanmışlardır. 5

parametreli aile model yapısından (PMS), 2 parametreli GR2M modeline geçişte; X_2 perkolasyon parametresi 3 değerine sabit olarak alınmış, X_3 ayırma parametresi 0 olarak alınmış ve direk havza çıkışına giden Q_1 akımı da böylece 0 olmuştur, öteleme depolamasının maksimum kapasitesi X_4 parametresi 60 mm değerine sabitlenmiştir. Aile model yapısındaki (PMS) 5 serbest parametreden sadece, zemin nemi depolamasının maksimum kapasitesi X_1 parametresi ve yer altı suyu değişim katsayısı X_5 parametresi serbest bırakılmıştır.

Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian (2006)'nın geliştirdiği GR2M modelinin son halinin işlem aşamaları net yağış P_3 değerine kadar aynıdır. Buradan sonra X_3 ayırma parametresini 0 aldıkları için net yağış P_3 direk öteleme depolamasına gider ve bir önceki ayın öteleme (yönlendirme) depolaması değeri R_1 seviyesine yükselir. GR2M modelinin son halinin model şeması Şekil 3,2 'de verilmiştir.

R_1 değeri Denklem 3.13 ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_1 = R + P_3$$

(3.13)

GR2M modelinin son haline, havzanın su kazancını ve kaybını belirlemek için, X_5 yer altı suyu değişim katsayısı parametresine bağlı bir F yer altı suyu değişimi terimi eklenmiştir. F yer altı suyu değişimi terimi Denklem 3.14 ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F = (X_5 - 1)R_1 \qquad (3.14)$$

F yer altı suyu değişim teriminde, eğer X_5 parametresi 1'den büyükse F terimi pozitif değer alır ve bu havza da su kazancı, X_5 parametresi 1'den küçük ise F terimi negatif değer alır ve bu havza da su kaybı meydana geldiğini gösterir.

Daha sonra öteleme depolaması rezervuarının seviyesi R_1, X_5 yer altı suyu değişimi katsayısı parametresi ile çarpılarak R_2 seviyesine ulaşır. Öteleme depolamasının R_2 seviyesi Denklem 3.15 ile hesaplanır.

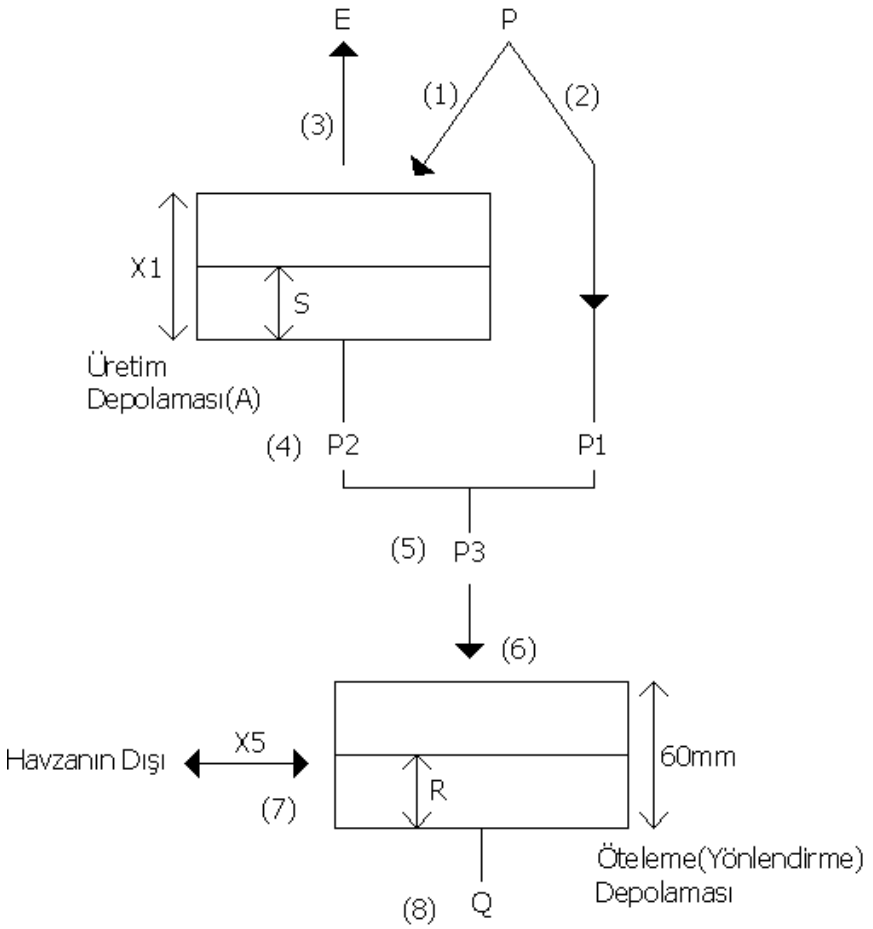
$$R_2 = X_5 R_1 \qquad (3.15)$$

Daha sonra ötele depolaması rezervuarı boşalır ve havza çıkışındaki akım değeri Q elde edilir. Q akımı Denklem 3.16 ile hesaplanır.

$$Q = \frac{R_2^{\,2}}{R_2 + X_2} \qquad (3.16)$$

Son olarak da bir sonraki ayın öteleme depolaması hesabında kullanılacak olan R değeri, R_2 öteleme depolaması seviyesinden Q havza çıkışındaki akım değeri çıkarılarak Denklem 3.17 ile hesaplanır.

$$R = R_2 - Q \tag{3.17}$$



Şekil 3.2 GR2M Modelinin Son Hali (Mouelhi, Michel, Perrin ve Andreassian, 2006)

3.2 Model de Kullanılan Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemleri

Model de kullanılacak evapotranspirasyon yöntemi seçilirken, modelin çalıştırıldığı havzanın bitki ve toprak özelliklerine, veri miktarı ve çeşitliliğine dikkat edilmiştir. Böylece bitki örtüsü cinsi, sıcaklık, güneşlenme oranı gibi verilere ihtiyaç duyan ve modeli çalıştıracağımız havza koşullarına uygun olan Blaney-Criddle yöntemi, evapotranspirasyon hesaplama yöntemi olarak seçilmiştir. Blaney-Criddle yönteminin verdiği aylık toplam potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin model sonuçlarına etkisini başka bir evapotranspirasyon yöntemi ile karşılaştırmak için, Oudin et al. (2004)'ün önerdiği, sadece sıcaklık ve global radyasyon verilerine ihtiyaç duyan basit ve etkili bir evapotranspirasyon yöntemi ile de havzanın evapotranspirasyon değerleri hesaplanmıştır.

3.2.1 Blaney-Criddle Yöntemi

Basit ve az veriye ihtiyaç duyan bir yöntem olmasına rağmen, Blaney-Criddle yöntemi aylık toplam evapotranspirasyon hesaplarında Türkiye'de ki iklim ve bitki örtüsü şartlarında uygun sonuçlar veren bir yöntemdir ve bu nedenle de DSİ ve EİE tarafından halen evapotranspirasyon hesaplamalarında kullanılmaktadır (Murat Seven ve Okan Fıstıkoğlu,2005). Acatay(1996) Blaney-Criddle yöntemini; "Aylık ortalama evapotranspirasyon değerini veren Blanney-Criddle yöntemi, havzadaki bitki örtüsünün türü ve dağılımıyla birlikte havzanın sıcaklık ve enlem derecesi gibi coğrafi özelliklerini de dikkate almaktadır." şeklinde açıklamıştır. Blaney-Criddle yöntemi aylık toplam potansiyel evapotranspirasyonu hesaplamak için önce önce aylık toplam referans bitki evapotranspirasyonunu hesaplar. Referans bitki evapotranspirasyonu; belirli bir bölgede veya yılın herhangi bir zamanında, bitki türüne ve toprak etkisine bağlı olmaksızın atmosferin buharlaşma potansiyelini temsil eder (FAO-Food And Agriculture Organization, 1998).

Blaney-Criddle yönteminde ETref aylık toplam referans evapotranspirasyon; aylık ortalama sıcaklık ile yıllık gündüz saatlerinin ortalama aylık yüzdesinden yararlanılarak Denklem 3.28'deki gibi hesaplanır (Sammis, Wang, Miller, 2011)

$$ETref = 0.254\rho(1{,}8Tort + 32) \tag{3.28}$$

ETref=Aylık toplam referans evapotranspirasyon(mm/ay)

ρ=Yıllık gündüz saatlerinin ortalama aylık yüzdesi

Tort=Aylık ortalama sıcaklık(C^0)

Daha sonra hesaplanan aylık referans evapotranspirasyon ETref değerleri, referans bitki cinsine bağlı olarak her ay için belirlenen bitki katsayıları ile çarpılarak, hidrolojik modelde veri olarak kullanılacak olan aylık toplam potansiyel evapotranspirasyonlar hesaplanır. Aylık toplam potansiyel evapotranspirasyonlar Denklem 3.29 ile aşağıdaki gibi hesaplanır (Sammis, Wang, Miller, 2011).

$$ETp = kcETref \tag{3.29}$$

kc=Aylık referans bitki katsayısı

Blaney-Criddle yönteminde kullanılacak olan, ρ yıllık gündüz saatlerinin ortalama aylık yüzdesi Tablo 3.1'de verilmiştir. Gene Blaney-Criddle yönteminde kullanılacak olan referans bitki olarak da çim seçilmiştir ve kc çim referans bitki katsayısı Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Çim Referans Bitki Katsayısı kc (M.Bayazıt 2003)

Blaney-Criddle Aylık Çim Referans Bitki Katsayısı											
Kc											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0.49	0.57	0.73	0.85	0.9	0.92	0.92	0.91	0.87	0.79	0.67	0.55

Tablo 3.2 Yıllık Gündüz Saatlerinin Aylık Ortalama Yüzdesi ρ (M. Bayazıt 2003)

Blaney-Criddle Yıllık Gündüz Saatlerinin Aylık Ortalama Yüzdesi											
p											
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	6.52

Blaney-Criddle yöntemi ile Çine alt havzası için hesaplanan evapotranspirasyon değerlerinin grafiği aşağıda Şekil 3.3'de verilmiştir.

3.2.2 Oudin et al. (2004) Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemi

Oudin et al. (2004), literatürdeki Penman evapotranspirasyon hesaplama yönteminin, havza modellemesinde en uygun yöntem olup olmadığı sorusundan yola çıktıkları çalışmalarında, yağış-akış modellerinde gözlenmiş akımları daha doğru temsil eden model akımları elde edebilmek için en az atmosferik değişken ile en doğru evapotranspirasyon değerini veren basit ve etkili, günlük çalışan bir evapotranspirasyon hesaplama yöntemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun içinde Fransa, Amerika ve Avustralya'daki 308 havza için evapotranspirasyon değerlerini, Penman (1948), Blaney-Criddle (1950), Thornthwaite (1948), Hargreaves (1982), McGuinnes-Bordne (1972) ve Jensen-Haise (1963) evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri de dahil olmak üzere toplam 27 farklı evapotranspirasyon hesaplama yöntemini kullanarak bulmuşlardır. Ve gene bu Fransa, Amerika ve Avustralya'daki 308 havza için GR4J, TOPMO, HBV0, IHAC yağış-akış modellerini hesapladıkları bu evapotranspirasyon değerlerini kullanarak çalıştırmışlardır (Oudin et al. 2004).

Model sonuçlarını incelediklerinde, özellikle sıcaklık ve radyasyon değerlerini temel alarak hesaplama yapan, evapotranspirasyon hesaplama yöntemlerinden elde edilen evapotranspirasyon değerlerinin GR4J, TOPMO, HBV0, IHAC yağış-akış modellerinde kullanılması ile model akımlarının gözlenmiş akımları daha doğru temsil ettiğini görmüşlerdir (Oudin et al. 2004).

Böylece basit ve etkili bir evapotranspirasyon hesaplama yöntemi için en önemli iki değişkenin sıcaklık ve radyasyon değerleri olduğu kanısına varmışlardır. Buradan yola çıkarak da havzanın günlük evapotranspirasyon değerini hesaplamak için Denklem (3.30) ile verilen eşitliği önermişlerdir (Oudin et al. 2004).

Eğer Ta+5>0 ise;

$$PE = \frac{Ge}{\lambda\rho}\frac{Ta+5}{100} \tag{3.30}$$

PE= Günlük potansiyel evapotranspirasyon (mm/gün)

Ta=Ortalama günlük sıcaklık (C^0)

λ= Gizli ısı akısı (MJ/kg)

ρ= Su yoğunluğu (kg/m^3)

Ge= Extra-global atmosferik radyasyon (MJ/m^2/gün)

Eğer Ta+5<0 ise PE=0 olarak alınır (Oudin et al. 2004).

Qudin et al. (2004), extra-global atmosferik radyasyonun (Ge) hesabında, Morton (1983)'ün bahsettiği yöntemi kullanmışlardır. Bu yönteme göre Re Denklem (3.31) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$G\mathrm{e} = \left(\frac{1354}{\eta^2}\right)\left(\frac{\omega}{180}\right)\cos z \tag{3.31}$$

л= Güneşin yarıçap vektörü

ω= Yeryüzünde güneşin doğuşu ile öğlen vakti arasında dünyanın dönüş açısı

z= Güneşin yeryüzünden ortalama açısal en yüksek mesafesi

Burada güneşin yarıçap vektörü л Denklem (3.32) ile bulunur (Morton, 1983)

$$\eta = 1+(1/60)\sin(29.5i-106) \tag{3.32}$$

Yeryüzünde güneşin doğuşu ile öğlen vakti arasında dünyanın dönüş açısı değeri ω Denklem (3.33) ile bulunur (Morton, 1983)

$$\cos\omega = 1-\frac{\cos Z}{\cos\phi\cos\theta} \tag{3.33}$$

θ= Güneşin sapma derecesi

Z= Güneşin öğle vaktindeki yeryüzünden en yüksek mesafesi

Φ= Enlem derecesi

Güneşin sapma derecesi θ Denklem (3.34) ile aşağıdaki gibi bulunur (Morton, 1983)

$$\theta = 23.2\sin(29.5i - 94) \tag{3.34}$$

Güneşin öğle vaktindeki yeryüzünden en yüksek mesafesi Z ise Denklem (3.35) ile bulunur (Morton, 1983).

$$\cos Z = (\phi - \theta) \tag{3.35}$$

Buradan sonra güneşin yeryüzünden ortalama açısal en yüksek mesafesi z değeri Denklem (3.36) ile aşağıdaki gibi hesaplanır (Morton, 1983).

$$\cos z = \cos Z + \left[(180/\pi)\sin\left(\frac{\omega}{\omega - 1}\right)\right]\cos\phi\cos\theta \tag{3.36}$$

GR2M modeli aylık çalışan bir model olduğu için Denklem (3.30) ile bulduğumuz günlük evapotranspirasyon değerlerini aylara göre toplayarak aylık toplam evapotranspirasyon değerlerini kullandık.

3.3 Model de Kullanılan Performans Kriterleri

Kalibrasyon ve verifikasyon aşamalarında elde ettiğimiz model çıktıları ile gözlenmiş değerlerin yakınlığını ifade edebilmek için ve hata değerinin minimum yapılabilmesi için farklı kriterler belirlenmiştir. Kalibrasyon sürecinde göz önüne alınan bu kriterler yanında; model çıktıları ve gözlenmiş akım değerlerinin ortalama, standart sapma ve çarpıklık katsayısı gibi bazı istatistiki değerlerinin de olabildiğince gözlenmiş değerler ile uyumlu olmalarına dikkat edilmelidir (Umut Çelik, Okan Fıstıkoğlu, 2005).

Aşağıda model kalibrasyonu ve verifikasyonu için kullanılan Farkların Kareleri Toplamı performans kriteri ve Nash-Sutcliffe performans kriteri açıklanmıştır

3.3.1 Nash-Sutcliffe Performans Kriteri

Nash-Sutcliffe (1970) tarafından önerilen bu kriter, kriter değerinin 1'e en yakın olmasını amaçlar. NSE olarak da adlandırılan bu kriter aşağıda Denklem 3.31'de verilmektedir. (Wagener, Wheater, Gupta, 2004) .

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i}^{N}\left[Q_{gözlenmiş}(i) - Q_{model}(i)\right]^2}{\sum_{i}^{N}\left[Q_{gözlenmiş}(i) - Q_{gözlenmiş}(ort)\right]^2} \quad (3.31)$$

NSE= Nash-Sutcliffe kalibrasyon kriteri

N= Kalibrasyon sürecindeki veri adedi

Qgözlenmiş(i)= Gözlenmiş akım değerleri (mm/ay)

Qgözlenmiş(ort)= Ortalama gözlenmiş akım değeri (mm)

Qmodel(i)= Model çıktısı akım değerleri (mm/ay)

3.3.2 Farkların Kareleri Toplamı Performans Kriteri

Farkların kareleri toplamı yönteminde amaç, kalibrasyon kriteri FKT'nin 1'e en yakın olmasıdır. FKT değerinin hesaplanması Denklem (3.32) ile aşağıda verilmiştir (Wagener, Wheater, Gupta, 2004).

$$FKT = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} Q_{model}(k) - Q_{gözlenmiş}(k)^2} \quad (3.32)$$

FKT=Farkların Kareleri Toplamı yöntemi kalibrasyon kriteri

Qmodel(k)= Model çıktısı akım değerleri (mm/ay)

Qgözlenmiş(k)= Gözlenmiş akış değerleri (mm/ay)

N=Kalibrasyon sürecindeki veri adedi

3.4 Modelde Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları

Modelin kalibrasyon sürecinde, model parametrelerini bulmak için Genetik Algoritma ve Doğrusal Olmayan En İyi Hale Getirme Yöntemi (Generalized Reduced Gradient Method-GRG) olmak üzere 2 farklı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Optimizasyon algoritmalarının amaç fonksiyonları olarak da Nash-Sutcliffe ve Farkların Kareleri Toplamı performans kriterleri kullanılmıştır.

3.4.1 Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, endüstriyel dizayn, hidrolik ve hidrolojik modellerin kalibrasyonu ve su kaynakları yönetimi optimizasyonu problemleri, kavramsal yağış-akış modellerinin kalibrasyonu gibi bir çok alanda kullanılmaktadır (Awad ve Poser, 2010).

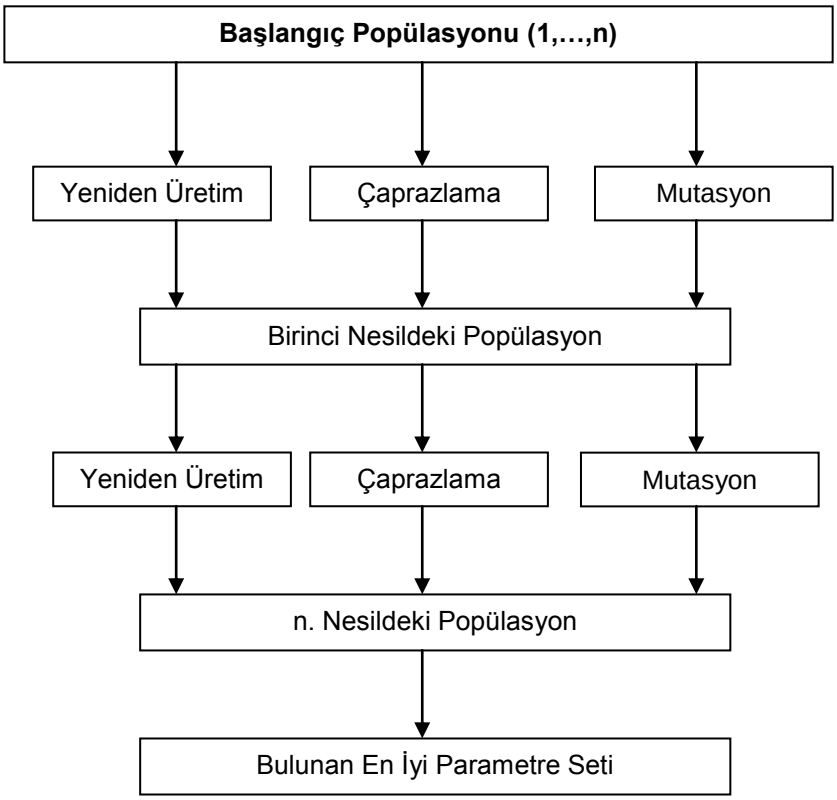
GR2M modeli gibi kavramsal yağış-akış modellerinde kalibrasyon fonksiyonunun optimizasyonu için Ibbirt ve Donnel(1971), Johnston ve Pilgrim (1976), Jupta ve Sorooshian (1985), Hendrickson (1988) yaptıkları çalışmalarında, standart optimizasyon yöntemlerinin, amaç fonksiyonlarının sahip oldukları çok boyutluluk ve düzensizlikler nedeniyle kabul edilmiş yakınsamalarda doğru optimizasyon değerinden çok uzakta sonuçlar verdiğini bulmuşlardır ve standart optimizasyon yöntemleri göre, deterministik değişim kuralları yerine, daha olasılıklı değişim kurallarını kullanarak, popülasyon içinde arama yapan Genetik Algoritmalar kullanılmasının daha doğru sonuçlar verdiğini kanısına varmışlardır (Awad ve Poser, 2010)

Problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit eden genetik algoritmalar ilk olarak, John Holland et al. (1975) tarafından Michigan Üniversite'sinde yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmış, sezgisel bir yöntemdir. Genetik algoritmalar Darwin'in en iyinin hayatta kalması ilkesine göre çalışır ve bu ilkeye göre çok boyutlu çözüm uzayında en iyi çözümü arar (Gülsün, Tuzkaya, Duman, 2009). Genetik algoritmalar bütünsel çözüme ulaşmak için birbirinden bağımsız çözümler barındıran farklı çözüm setleri oluşturur ve bu çözümleri arama uzayında birbirinden farklı noktalar için değerlendirir (Özçakar, 1998).

Genetik algoritma kavramında, doğadaki yaratım süreci için gerekli olan elemanlara benzer bilgisayar ortamındaki bir dizi çözüm seti popülasyon olarak adlandırılır. Popülasyon içerisindeki her birey, bir sonuç üretebilecek parametre setleri ile tanımlanır. Bilgisayar ortamında bu parametre setleri, DNA içerisindeki karakter dizileri setlerine benzetilerek, kromozom olarak kodlanır. Kromozomlar içerisindeki her bir çözüm elemanına da gen adı verilir (Awad ve Poser, 2010).

Genetik algoritmaların, problem çözümündeki başarısını belirleyen en önemli etken uygunluk fonksiyonlarının doğru tanımlanmasıdır. Uygunluk fonksiyonları popülasyon içindeki parametre setlerinin çözüm olup olamayacağına karar vermede kullanılır. Böylece uygunluk fonksiyonunda istenen değere yakın çözümler üretemeyen parametre setleri elenir, yakın değerler üreten parametre setlerinin ise diğer parametre setleri ile çoğalmasına izin verilir.

Genetik algoritmada parametre setlerinin uygunluk fonksiyonlarına bağlı olarak kopyalanması işleminde çaprazlama, mutasyon ve yeniden üretim (elitizm) olmak üzere üç temel operatör vardır. Çaprazlama; daha nitelikli parametre setlerine (çocuk) ulaşmak için iki veya daha fazla parametre setinden (aile) yeni bir parametre seti meydana getirme işlemdir. Yeniden üretim ise üstün nitelikli parametre setleri üretmek için, uygunluk derecesi yüksek parametre setlerinin bir nesilden diğerine kopyalanması işlemdir. Yeni uygun çözüm setleri elde etmek için parametre setleri içerisinde değişim yapma işlemi ise mutasyon olarak adlandırılır (Özçakar, 1998). Genetik algoritmanın 1'den n'e kadar seçilen bir başlangıç popülasyonundan, çaprazlama, mutasyon ve yeniden üretme (elitizm) operatörlerini kullanarak, en iyi çözüm parametrelerini (en iyi bireyleri) bulmasına kadar izlediği işleyiş şeması aşağıda şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Genetik Algoritmaların Genel İşleyiş Şeması

Genetik algoritmanın kullandığı operatörlerden çaprazlamanın, rastgele, iki ayrım noktası ve tek ayrım noktası, ağırlıklı ortalanmış, aritmetik ortalama ve sezgisel uygulama gibi farklı uygulanma şekilleri vardır (Chipperfield, Fleming, Pohlheim, Fonseca, 2001).

Rastgele Uygulama da yeni nesil parametre setini oluşturmak için bir önceki nesilden iki parametre seti seçilir. Bu parametre setleri oluşturulan bir rastgele çaprazlama vektörüne göre karşılıklı olarak değiştirilir. Aşağıdaki rastgele uygulama için verilen örnekte parametre seti (1) ve parametre seti (2) için oluşturulan bir rastgele çaprazlama vektörü ile, parametre seti (1) ve parametre seti (2)'nin parametre elemanları (gen) karşılıklı olarak değiştirilerek, yeni nesil parametrenin oluşumu gösterilmektedir. Parametre seti (1)'in parametre elemanları rastgele çaprazlama vektöründeki [1] elemanına göre, parametre seti (2)'nin parametre elemanları ise [2] elemanına göre çaprazlanmıştır (Chipperfield, Fleming, Pohlheim, Fonseca, 2001).

Parametre Seti 1 (Aile 1): [a b c d e f g]

Parametre Seti 2 (Aile 2): [1 2 3 4 5 6 7]

Rastgele Çaprazlama Vektörü: [1 2 2 1 1 2 1]

Yeni Parametre Seti (Çocuk): [a 2 3 d e 6 g]

Tek Ayrım Noktası Uygulamasında ise yeni nesil parametre setini oluşturmak için, bir önceki nesilden seçilen iki parametre seti için, parametre seti içindeki değişken sayısına bağlı olarak bir ayrım noktası belirlenir. Bu ayrım noktasından önceki parametre elemanları (gen) ilk parametre setinden, sonraki parametre elemanları ise ikinci parametre setinden alınarak çaprazlama gerçekleştirilir. Aşağıdaki tek ayrım noktası uygulaması için verilen örnekte, 7 değişkene sahip olan parametre seti (1) ve parametre seti (2) için ayrım noktası olarak dördüncü parametre elemanı seçilmiştir. Ayrım noktasına bağlı olarak birinci parametre setinin ilk 4 elemanı ile ikinci parametre setinin son 3 elemanı yeni nesil parametre setini oluşturmuştur (Chipperfield, Fleming, Pohlheim, Fonseca, 2001).

Parametre Seti 1 (Aile 1): [a b c **d** e f g]

Parametre Seti 2 (Aile 2): [1 2 3 **4** 5 6 7]

Ayrım Noktası: 4

Yeni Parametre Seti (Çocuk): [a b c d 5 6 7]

İki Ayrım Noktası Uygulamasında ise yeni nesil parametre seti için, bir önceki nesillerden seçilen parametre setlerinin değişken sayılarına bağlı olarak iki ayrım noktası seçilir. Seçilen ilk ayrım noktasına kadar ki parametre elemanları (gen) birinci parametre setinden alınır, ikinci ayrım noktasına kadar ki parametre elemanları ise ikinci parametre setinden alınır ve seçilen ikinci ayrım noktasından sonraki parametre elemanları birinci parametre setinden seçilerek yeni nesil parametre seti oluşturulur. Aşağıdaki iki ayrım noktası uygulaması için verilen örnekte parametre seti (1) ve parametre seti (2)'den yeni nesil parametre setinin, çaprazlama ile oluşumu gösterilmiştir (Chipperfield, Fleming, Pohlheim, Fonseca, 2001).

Parametre Seti 1 (Aile 1): [a **b** c d **e** f g]

Parametre Seti 2 (Aile 2): [1 **2** 3 4 **5** 6 7]

Ayrım Noktaları: 2 ve 5

Yeni Parametre Seti (Çocuk): [a b 3 4 5 f g]

Ağırlıklı Ortalanmış Uygulamada ise yeni nesil parametre seti, bir önceki nesilden seçilen parametre setlerinin rastgele ağırlıklı ortalamalarına göre bulunur. *Aritmetik Ortalama Uygulamasında* ise yeni nesil parametre seti, bir önceki nesilden seçilen parametre setlerinin rastgele aritmetik ortalamalarına göre oluşturulur. Aritmetik ortalama uygulamasında oluşan yeni nesil parametre setleri, bir önceki nesilden seçilen parametre setlerinin ortasında değerler alır. *Sezgisel Uygulamada* ise yeni nesil parametre seti, bir önceki nesilden seçilen parametre setleri ile rastgele olarak aynı doğrultuda değer alır. Yeni nesil parametre seti, bir önceki nesilden seçilen parametrelerin doğrultusundan ne kadar uzaklaşırsa o kadar kötü, ne kadar yaklaşırsa o kadar iyi değer alır (Chipperfield, Fleming, Pohlheim, Fonseca, 2001).

Genetik Algoritmanın yeni nesiller oluşturmada kullandığı bir diğer operatör olan mutasyon operatörünün de, rastgele olarak iki komşu parametre elemanının değiştirilmesi, komşu

olmayan iki parametre elemanının rastgele olarak değiştirilmesi, rastgele seçilen bir parametre elemanının parametre setinde yerinin değiştirilmesi gibi uygulamaları vardır. Aşağıda verilen ilk örnekte rastgele seçilen komşu iki parametre elemanı (gen) karşılıklı olarak aralarında değiştirilerek, yeni nesil parametre seti oluşturulmuştur (Özçakar, 1998)

Parametre Seti (Aile): [a b **c** **d** e f g]

Yeni Nesil Parametre Seti (Çocuk): [a b **d** **c** e f g]

Mutasyon operatörü için aşağıda verilen ikinci örnekte ise, aynı parametre seti içerisindeki, birbirine komşu olmayan rastgele seçilen iki ayrı parametre elemanı karşılıklı olarak değiştirilerek, yeni nesil parametre setine ulaşılmıştır (Özçakar, 1998)

Parametre Seti (Aile): [**a** b c d e f **g**]

Yeni Nesil Parametre Seti (Çocuk): [**g** b c d e f **a**]

Mutasyon operatörü için aşağıda verilen son örnekte ise parametre seti içinden rastgele seçilen bir parametre elemanının parametre seti içerisindeki yeri değiştirilerek, yeni nesil parametre setine ulaşılmıştır (Özçakar, 1998)

Parametre Seti (Aile): [a b c d **e** f g]

Yeni Nesil Parametre Seti (Çocuk): [a **e** b c d f g]

Genetik Algoritmanın Yeniden Üretme (Elitzm) operatörü ise, amaç fonksiyonuna en yakın değerleri veren üstün nitelikli parametre setlerini, bir sonraki nesle kopyalayarak yeni nesil parametre setlerini oluşturur. Böylece o ana kadar işlem sürecinde amaç fonksiyonuna en yakın değerleri veren üstün nitelikli parametre setlerinin, bir sonraki nesilde bulunmama ihtimali ortadan kalkar. Üstün nitelikli parametreler bir sonraki nesle hiçbir değişime uğramadan aktarılırlar (Gülsün, Tuzkaya, Duman, 2009).

Genetik Algoritma ile bir sonraki nesle geçecek parametre setleri belirlenirken, yeniden üretme operatörü ile bir sonraki nesle hiçbir işleme maruz kalmadan geçecek parametre sayılarının sayısına ve çaprazlama kesrine göre popülasyon içerisindeki parametre setlerinin ne kadarının çaprazlama, ne kadarının mutasyona uğrayacağı belirlenir. Örneğin yeniden üretme operatörü ile (n) tane parametre seti bir sonraki nesle geçebilecek olsun ve çaprazlama kesrini de (y) alalım. Popülasyon kümemiz de (x) kadar olsun. Bu durumda (x-n) kadar parametre seti çaprazlama veya mutasyon işlemine maruz kalacaktır. Çaprazlama işlemine maruz kalacak parametre seti sayısı (x-n)y ile belirlenir. Geriye kalan parametre setleri de mutasyona maruz kalacaktır. Örneğin; popülasyon kümesi x=20 olsun, yeniden üretme ile bir sonraki nesle geçecek üstün parametre seti sayısı n=2 olsun, çaprazlama kesri y=0.8 olsun. Bu durumda x-n=18 parametre seti çaprazlama veya mutasyon işlemine maruz kalacaktır. Bu değeri çaprazlama kesri ile çarparsak, (x-n)y=14.4, yani 14 tane parametre seti çaprazlama işlemine maruz kalarak bir sonraki nesle geçecek. Geriye kalan 4 tane parametre seti de mutasyona uğrayarak bir sonraki nesle geçecektir (Chipperfield, Fleming, Pohlheim, Fonseca, 2001).

3.4.2 Doğrusal Olmayan En İyi Hale Getirme Yöntemi

Sınırlı, çok değişkenli arama metotlarından biri olan Doğrusal olmayan en iyi hale getirme yöntemi (Generalized Reduced Gradient Method-GRG) , çok değişkenli optimizasyon problemlerinde doğru sonuçlar veren kendini kanıtlamış bir yöntemdir (Pike 2001).

GRG optimizasyon algoritması lineer kısıtlı problemleri uzatılmış yöntemler ile lineer olmayan kısıtlı problemlere uygulamak için geliştirilmiştir. GRG ile ilgili ilk çalışmalar Wolfe (1963) tarafından azaltılmış gradyan yöntemi (reduced gradient method) adı altında, daha sonra Wilde ve Beightler (1967) tarafından kısıtlı türevler (constrained derivatives) adı altında yapılmıştır. Abadie ve Carpentier (1969) tarafından doğrusal olmayan en iyi hale getirme yöntemi (generalized reduced gradient method) adı altında yapılan çalışma ile GRG yöntemi son halini almıştır (Pike, 2001).

GRG yöntemi kalibrasyon sürecinde, optimizasyon problemini ilk olarak aynı sınırlar ile kurulan lineer olmayan optimizasyon problemi olarak ele alır. Daha sonra bu probleme gerekli olan serbestlik ve fazlalık değişkenleri eklenir ve problem Denklem (3.37)'de verildiği gibi kurulur (Pike, 2001)

Optimize edilecek problem: y(x)

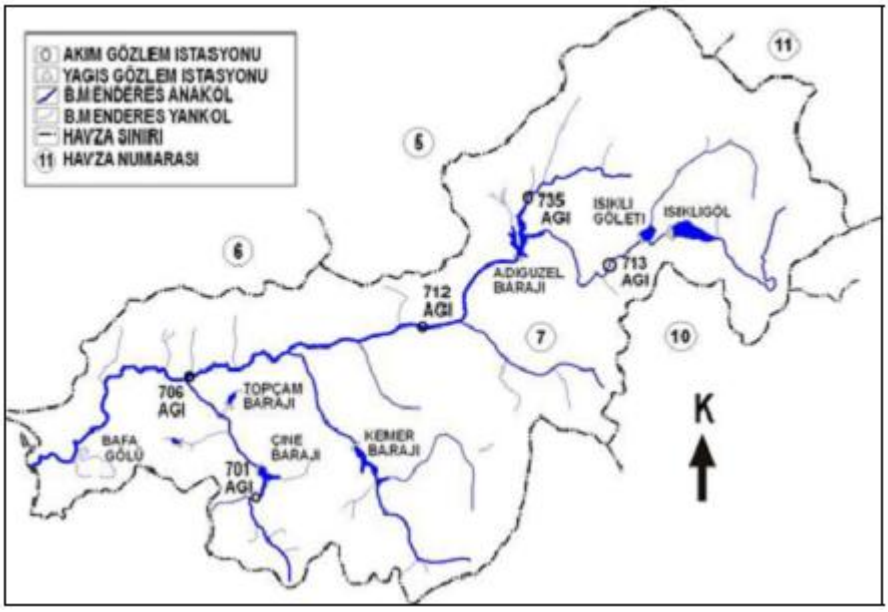
Hedeflenen: $f_i(x)=0 \quad i=1,2,\ldots m$ için (3.37)

Optimizasyon problemi içinde n>m olma koşulu ile, m kısıtlı eşitlikleri ve n bağımsız değişkenleri bulunmaktadır. GRG yönteminde, optimizasyon probleminin bünyesinde barındırdığı değişkenlerin üst ve alt limitleri vardır ve bu değişkenler ya pozitif ya da 0 değer alır. GRG yönteminin ana mantığı; doğrudan değiştirme ile kısıtlı problemi, kısıtlı olmayan probleme çevirmektir. Eğer problemde, doğrudan değiştirme mümkünse, bu bağımlı değişkenlerin sayısını n-m olacak şekilde azaltılır ve kısıt eşitliğini elenerek, problem daha tutumlu ve basit bir hale gelir (Pike, 2001).

4.GR2M AYLIK YAĞIŞ-AKIŞ MODELİNİN BÜYÜK MENDERES HAVZASINA UYGULANMASI

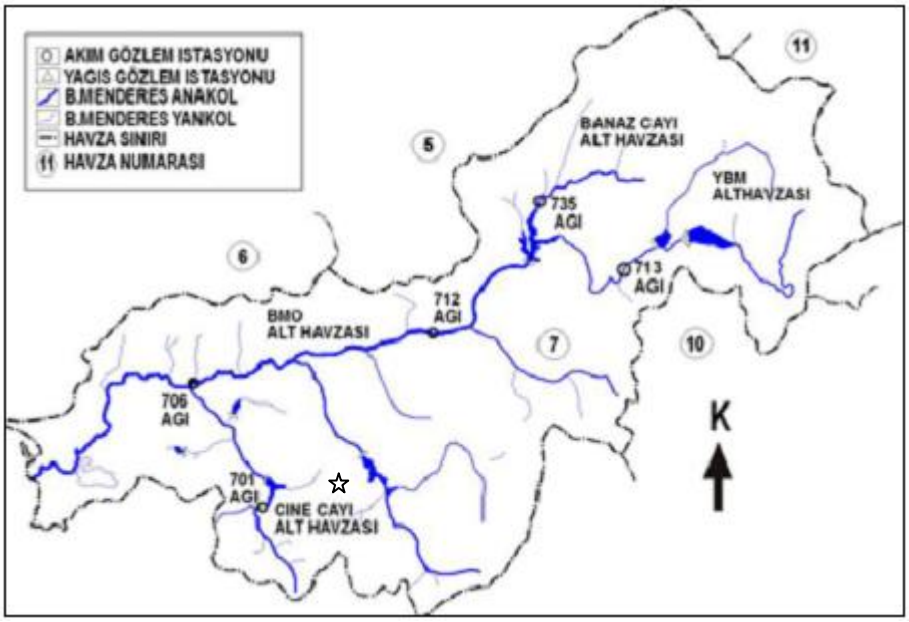
4.1 Büyük Menderes Havzası Çalışma Alanının Tanımlanması

Bu çalışmada kullanılan Büyük Menderes Havzası, 24976 km^2 drenaj alanına ve 3,03 km^2 yıllık ortalama akışa sahip olup, Batı Anadolu'nun en büyük nehri olan, 560 km uzunluğunda ki, Büyük Menderes nehri tarafından beslenmektedir. Büyük Menderes nehri Afyon İli, Dinar İlçesi yakınlarında Suçıkan'da doğar. Küf'i ve Işıklı Çayları'nı biriktiren Işıklı Barajı'ndan çıkıp Baklan, Çal ve Çivril Ovaları'nı geçer. Çal'ın doğusunda kuzeye dönerek, Güney İlçesi'ne doğru derin bir yatakta akar. Uşak'tan gelen ve menderesin en büyük kollarından biri olan Banaz Çayı'nı da bünyesine ekleyerek, Sarayköy Ovası'ndan geçer, Denizli İl sınırları içerisindeki Çürüksu ve Gökpınar Çayları ile beslenir ve batı yönünde ilerler. En sonunda, Nazilli, Aydın ve Söke Ovaları'ndan geçer ve Söke İlçesi Dipburun Mevkii'nde Ege Denizi'ne dökülür (Mahmut Fırat 2007). Büyük Menderes Havza'sının drenaj alanı Şekil 4.1 ile verilmiştir.



Şekil 4.1 Büyük Menderes Havzasının Drenaj Alanı (Mahmut Fırat 2007)

Sunulan bu tez çalışmasında, GR2M aylık yağış-akış modeli Büyük Menderes Havza'sının alt havzası olan, Çine, Topçam ve Karpuzlu barajlarının bulunduğu Çine alt havzası için çalıştırılmıştır. Büyük Menderes Havza'sının seçilen Çine alt havzası Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Büyük Menderes Havza'sının Alt Havzaları (Mahmut Fırat 2007)

3.1 Kullanılan Veriler

GR2M modelinde akış tahmini için kullanılan, gözlenmiş akış verilerinin elde edildiği 701 no'lu Çine Çayı Kayırlı akım gözlem istasyonuna ait bilgiler aşağıda Tablo 4.1 ile verilmiştir. Bu istasyona ait istatistiksel ölçütler ise hesaplanarak Tablo 4.2 ile verilmiştir.

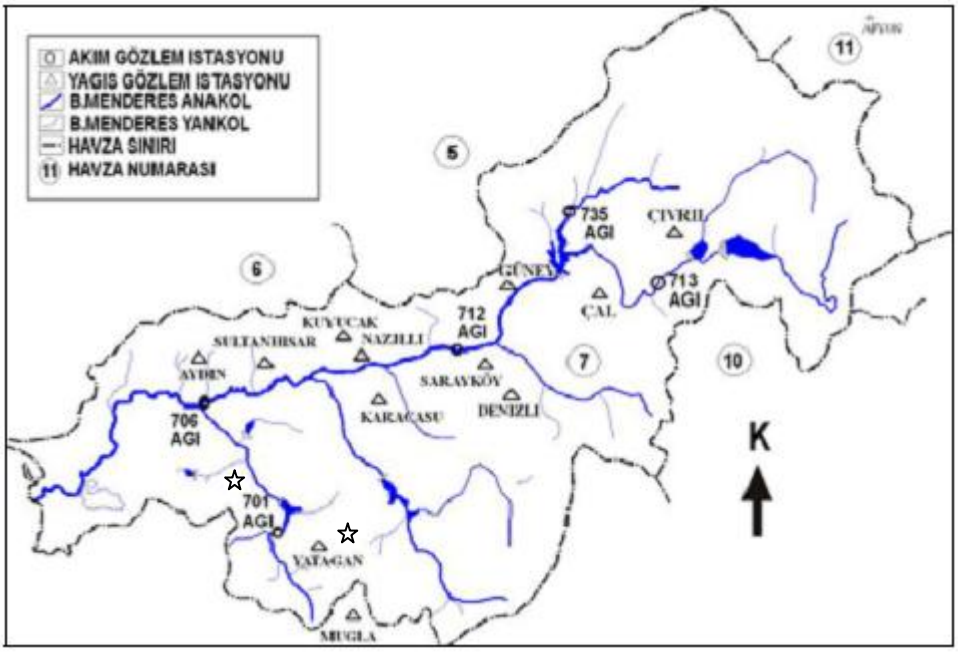
Tablo 4.1 Büyük Menderes Havzası Akım Gözlem İstasyonu

AGİ No ve Adı	Açılma Tarihi	Kapanma Tarihi	Alan(km2)	Yükselti (m)	Coğrafi Koordinat
701-Çine Çayı Kayırlı	15.07.1937	*	948	262	28 07 53 D-37 25 19 K

Tablo 4.2 Akım Gözlem İstasyonunun İstatistiki Özellikleri

AGİ No	Veri Aralığı	Xmin	Xmax	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık
Q701(m^3/sn)	01.01.1968-01.0.1.2000	0.08	127.99	14.90	19.42142848	2.42637588

Çine çayı alt havzasının (701 no'lu AGİ) akış tahimini için, menbaında yer alan Yatağan ölçüm istasyonundan temin edilen veriler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 701 no lu AGİ ve Yatağan ölçüm istasyonlarının genel yerleşimi Şekil 4.3'de aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.3 Büyük Menderes Havzası'nın Ölçüm İstasyonlarının Yerleşimi (Mahmut Fırat 2007)

GR2M modelinde, akış tahmini için gerekli olan yağış ve sıcaklık verilerinin temin edildiği Yatağan ölçüm istasyonu ile ilgili bilgiler Tablo 4,3'de aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.3 Büyük Menderes Havzasında Seçilen Ölçüm İstasyonu

AGİ no	YGİ	Açılma Tarihi	Kapanma Tarihi	Enlem	Boylam	Kot(m)
701	Yatağan	20.01.1950	*	37.21	28.08	365

Seçilen akım gözlem istasyonundan alınan, aylık ortalama akım (m^3/sn) değerleri GR2M modelinde kullanılabilmesi için aylık akım yüksekliği (mm) değerlerine dönüştürülmüştür. GR2M modeli aylık çalışan bir model olduğu için yağış gözlem istasyonlarından günlük olarak ölçülen yağış verileri de modelde kullanılabilmesi için, aylık toplam yağış yüksekliklerine (mm) dönüştürülmüştür. Aynı şekilde günlük olarak yağış gözlem istasyonlarından elde edilen sıcaklık verileri de aylık ortalama sıcaklık (C^0) verilerine dönüştürülmüştür.

4.3 GR2M Modelinin Büyük Menderes Havza'sına Uygulanması

GR2M modeli, yukarıda sunulan akım gözlem istasyonlarından ve yağış gözlem istasyonlarından temin edilen veriler ile modelin, Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) 5 parametreli aile modeli yapısı (PMS) versiyonu ve Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006) 2 parametreli versiyonu için Büyük Menderes Havzası'nın Çine alt havzasında çalıştırılmıştır.

GR2M modeli Büyük Menderes Havzası ve Çine alt havzasına uygulanırken, kalibre edilmesi gereken, zemin nemi depolamasının maksimum kapasitesi, yer altı suyu değişim katsayısı,

ayırma parametresi, öteleme(yönlendirme) depolamasının kapasitesi, perkolasyon parametresi için optimizasyon algoritması olarak Genetik Algoritma ile Doğrusal Olmayan En İyi Hale Getirme (Generalized Reduced Gradient Method-GRG) yöntemi seçilmiştir. Performans kriteri olarak da Nash-Sutcliffe Kriteri ile Farkların Kareleri Toplamı Kriteri kullanılmıştır.

GR2M modelinin ihtiyaç duyduğu bir diğer veri olan aylık potansiyel evapotranspirasyon değerleri de Blaney-Criddle ve Oudin et al. (2004)'in önerdiği evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri ile ayrı ayrı hesaplanmış ve model de girdi olarak kullanılmıştır.

Böylece GR2M modeli Büyük Menderes Havzası ve onun Çine alt havzasında, modelin 2 farklı versiyonu için her versiyonda evapotranspirasyon verisi olarak Blaney-Criddle evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ve Oudin et al. (2004)'in önerdiği evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri ile hesaplanan aylık potansiyel evapotranspirasyon verileri ayrı ayrı kullanılarak ve gene her versiyonda optimizasyon algoritması olarak Genetik Algoritma ve GRG yöntemi ile performans kriteri olarak Nash-Sutcliffe ve Farklerin Kareleri Toplamı kriterleri ayrı ayrı kullanılarak toplam 16 farklı şekilde çalıştırılmıştır. Modelin bu farklı uygulanma şekillerinin açıklaması Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.4 Modellerin Uygulanma Şekillerinin Açıklaması (1)

Versiyon	Parametre Sayısı	Optimizasyon Algoritması		Model
		Genetik Algoritma		
		Kullanılan Evapotranspirasyon Yöntemi	Performans Kriteri	
Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006)-PMS	5	Blaney-Criddle	Nash-Sutcliffe	Model 1
		Blaney-Criddle	Farkların Kareleri Toplamı	Model 2
		Oudin	Nash-Sutcliffe	Model 3
		Oudin	Farkların Kareleri Toplamı	Model 4
Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006)	2	Blaney-Criddle	Nash-Sutcliffe	Model 5
		Blaney-Criddle	Farkların Kareleri Toplamı	Model 6
		Oudin	Nash-Sutcliffe	Model 7
		Oudin	Farkların Kareleri Toplamı	Model 8

Tablo 4.5 Modellerin Uygulanma Şekillerinin Açıklaması (2)

Versiyon	Parametre Sayısı	Optimizasyon Algoritması		Model
		GRG		
		Kullanılan Evapotranspirasyon Yöntemi	Performans Kriteri	
Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006)-PMS	5	Blaney-Criddle	Nash-Sutcliffe	Model 9
		Blaney-Criddle	Farkların Kareleri Toplamı	Model 10
		Oudin	Nash-Sutcliffe	Model 11
		Oudin	Farkların Kareleri Toplamı	Model 12
Mouelhi, Michel, Perrin, Andreassian (2006)	2	Blaney-Criddle	Nash-Sutcliffe	Model 13
		Blaney-Criddle	Farkların Kareleri Toplamı	Model 14
		Oudin	Nash-Sutcliffe	Model 15
		Oudin	Farkların Kareleri Toplamı	Model 16

Büyük Menderes Havzası ve alt havzalarında, GR2M modelinin uygulanabilmesi için modelin bilgisayar kodu, Mathworks tarafından geliştirilen MATLAB programının R2011a versiyonunda yazılmıştır. GR2M modelinin çalıştırılabilmesi için ihtiyaç duyduğu aylık evapotranspirasyon değerlerini hesaplayan bilgisayar kodu da, Blaney-Criddle evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ve Qudin et al. (2004)'in önerdiği evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri için gene MATLAB'da yazılmıştır.

Modelin olası en iyi parametrelerini hesaplayabilmek için Genetik Algoritma ile kalibrasyonu MATLAB'da yapılmıştır. Genetik Algoritmanın çaprazlama operatörü için rastgele çaprazlama uygulaması, mutasyon operatörü içinse bağımlı kısıtlama yöntemi seçilmiştir. Bağımlı kısıtlama yöntemi mutasyon operatörünün 3.Bölüm de anlatılan uygulama yöntemlerini, modelin kalibrasyon için girilen başlangıç değerlerini kısıt alarak kullanır. Genetik algoritmanın yeniden üretme (elitizm) operatörü içinse, her işlem aşamasında bir sonraki nesle iki tane üstün nitelikli parametre setinin kopyalanmasına izin verilmiştir. Bir sonraki nesle çaprazlama işleminden geçip, aktarılacak olan yeni nesil parametre setlerinin sayısını belirlemek için, çaprazlama kesri 0.8 alınmıştır. Çaprazlama kesri ile popülasyondan bir sonraki nesle çaprazlamaya maruz kalarak geçecek parametre setlerinin sayısı belirlendikten sonra geriye kalan parametre setleri bağımlı kısıtlama mutasyon işlemi ile bir sonraki nesle aktarılmıştır. Genetik Algoritmanın uygunluk fonksiyonu olarak da Nash-Sutcliffe ve Farkların Kareleri Toplamı performans kriterleri seçilmiştir.

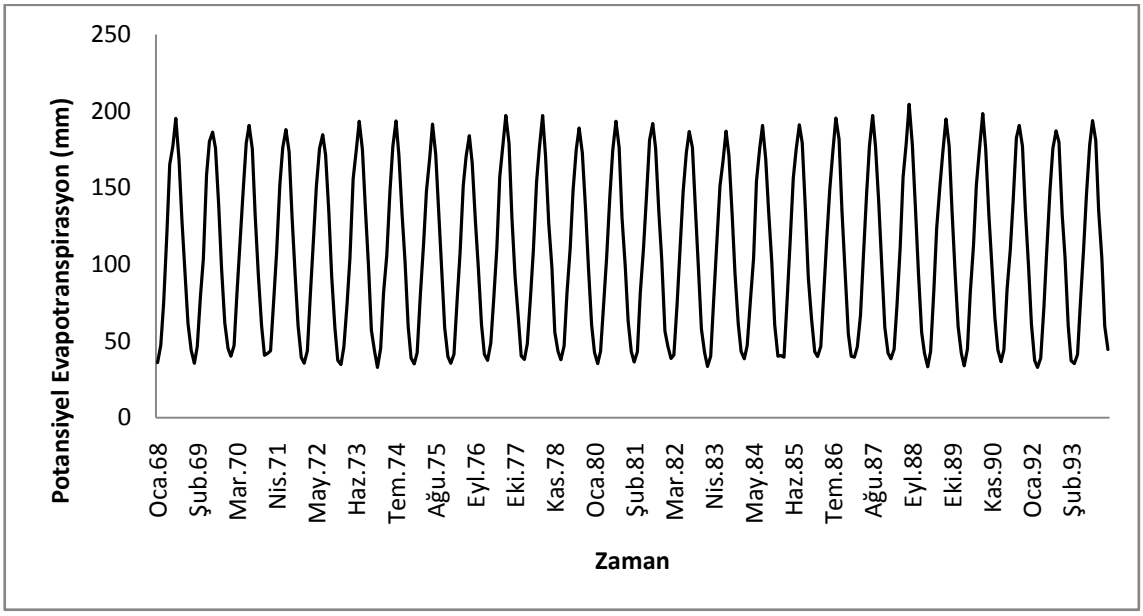
MATLAB programı kullanıcıya; interaktif ortamda algoritma geliştirme, veri analizi ve optimizasyonu, nümerik hesaplama ve verileri görsel olarak inceleyebilme olanağı sunan bir teknik hesaplama dilidir (Mathworks).

Modelin Doğrusal En İyi Hale Getirme yöntemi ile kalibrasyonunun Microsoft EXCEL SOLVER'da, yapılabilmesi için model formülasyonu ve işlem aşamaları EXCEL'e aktarılmıştır. Modelin Doğrusal En İyi Hale Getirme yöntemi ile kalibrasyonun da performans kriteri olarak Nash-Sutcliffe ve Farkların Kareleri Toplamı kriterleri kullanılarak yapılmıştır. Modelin Doğrusal En İyi Hale Getirme yöntemi ile EXCEL SOLVER'da kalibrasyonu sırasında, çözüm işleminin aldığı süreyi belirleyen "Zaman Sınırı" 100 değerine sabitlenmiştir. Çözüm işleminin aldığı süreyi geçici işlemlerin aldığı sayıyı sınırlandırarak sınırlandıran "Yineleme" (iterasyon) değeri 100'e sınırlandırılmıştır. Karışık tamsayı problemlerinin çözümünde, geçerli kısıtın ve gerekli değişkeninin kabulünün toleransını belirleyen "Duyarlılık" değeri 10^{-6} olarak alınmıştır. Tamsayı en iyileştirme toleransını belirleyen "Tolerans" değeri %5 alınmıştır. "Yakınsama" değeri 10^{-4} alınmıştır. Doğrusal En İyi Hale Getirme tahminleri EXCEL SOLVER'daki, tanjant vektöründen doğrusal bir dış değer bulmayı sağlayan "Teğet" seçeneği işaretlenerek yapılmıştır. Kısmı türevleri tahmin etmekte EXCEL SOLVER'da "İleri" seçeneği seçilmiştir.

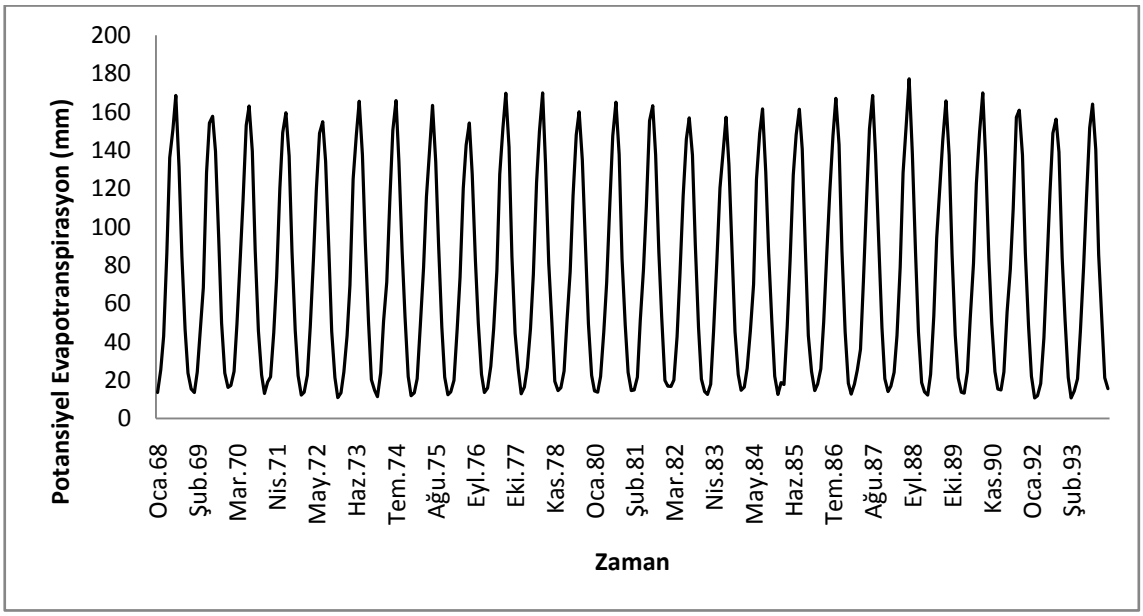
Microsoft Excel'in SOLVER eklentisi, doğrusal, doğrusal olmayan ve tamsayı optimizasyon problemlerini çözmede kullanılmaktadır. SOLVER optimizasyon problemlerini, doğrusal olmayan en iyi hale getirme (Generalized Reduced Gradient-GRG), simplex ve branch and bound yöntemlerini kullanarak çözer. (Office Microsoft)

Modelin kalibrasyonu sonucunda elde edilen olası en iyi parametre değerleri, gözlenmiş akımlar ile model sonuçları arasındaki determinasyon katsayısı (R^2) ve model sonuçları ile gözlenmiş akım değerlerinin çarpıklık, standart sapma ve ortalama temel istatistik değerleri göz önünde tutularak belirlenmiştir. Modelin kalibrasyonu için 1968-1993 yılları arasındaki, verifikasyonu için 1994-1999 yılları arasındaki aylık toplam yağış, akım yüksekliği ve evapotranspirasyon verileri kullanılmıştır.

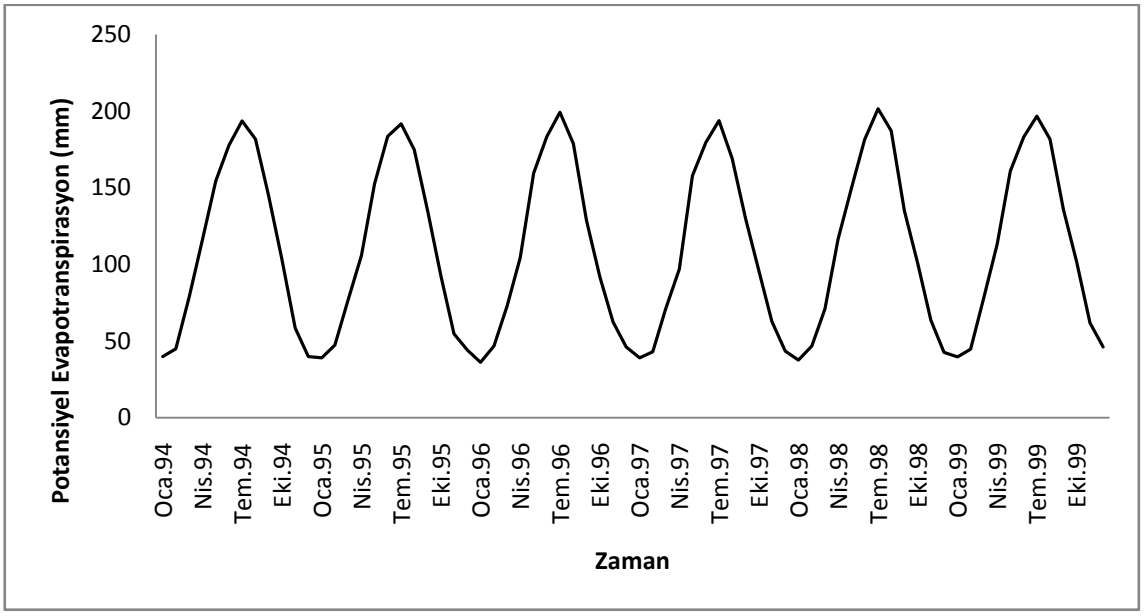
Modelin çalıştırıldığı Çine alt havzası için, 1968-1993 yılları arasında Blaney-Criddle ve Oudin et al. (2004) evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri ile hesaplanan, aylık potansiyel evapotranspirasyon değelerinin grafiği Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de, 1994-1999 yılları arasında hesaplanan aylık evapotranspirasyon değerlerinin grafiği de Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.



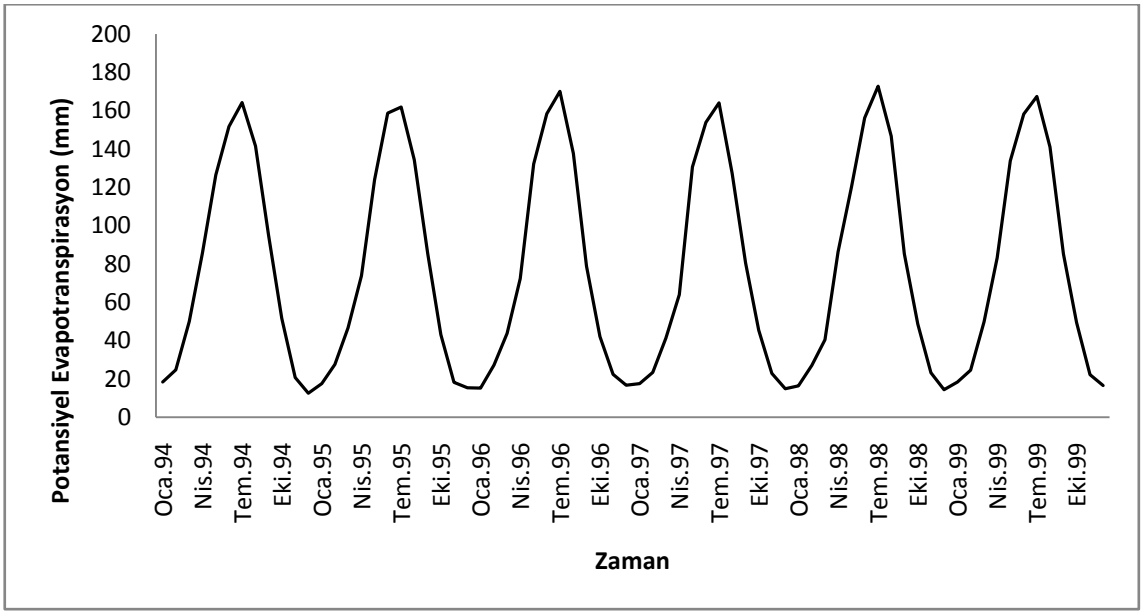
Şekil 4.4 Blaney-Criddle Yöntemi ile 1968-1993 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri



Şekil 4.5 Oudin et al. (2004) Yöntemi ile 1968-1993 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri



Şekil 4.6 Blaney-Criddle Yöntemi ile 1994-1999 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri



Şekil 4.7 Oudin et al. (2004) Yöntemi ile 1994-1999 Yılları Arasında Hesaplanan Aylık Evapotranspirasyon Değerleri

Modelin kalibrasyon aşamasında kullandığımız başlangıç parametre değerleri ve kısıtları için Mouelhi et al. (2006)'nin GR2M modelini Fransa, Amerika, Brezilya, Fildişi Sahilleri ve Avustralya'daki 410 havza için çalıştırması ile elde ettiği, modelin kalibrasyon aşamasında başlangıç parametre değeri ve parametre kısıtı olarak kullanılırsa, modelin daha iyi sonuçlar verdiğini idda ettiği, parametre değerleri kullanılmıştır. Kullanılan bu başlangıç parametre değerleri ve kısıtlar Mouelhi et al. (2006) 5 parametreli aile model yapısı-PMS için Tablo 4.6'da, Mouelhi et al. (2006) 2 parametreli GR2M versiyonu için Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.6 Mouelhi et al. (2006)-PMS için Kalibrasyon Aşamasında Kullanılan Başlangıç ve Kısıt Parametre Değerleri

Mouelhi et al. (2006)-PMS			
Parametreler	Başlangıç Değerleri	Kısıtlar	
		Min	Max
X1	330	162	1670
X2	3.19	1.38	39.6
X3	0	0	0.57
X4	53	0	469
X5	0.85	0.02	1.62

Tablo 4.7 Mouelhi et al. (2006)-GR2M için Kalibrasyon Aşamasında Kullanılan Başlangıç ve Kısıt Parametre Değerleri

Mouelhi et al. (2006)-GR2M			
Parametreler	Başlangıç Değerleri	Kısıtlar	
		Min	Max
X1	330	162	1670
X5	0.85	0.02	1.62

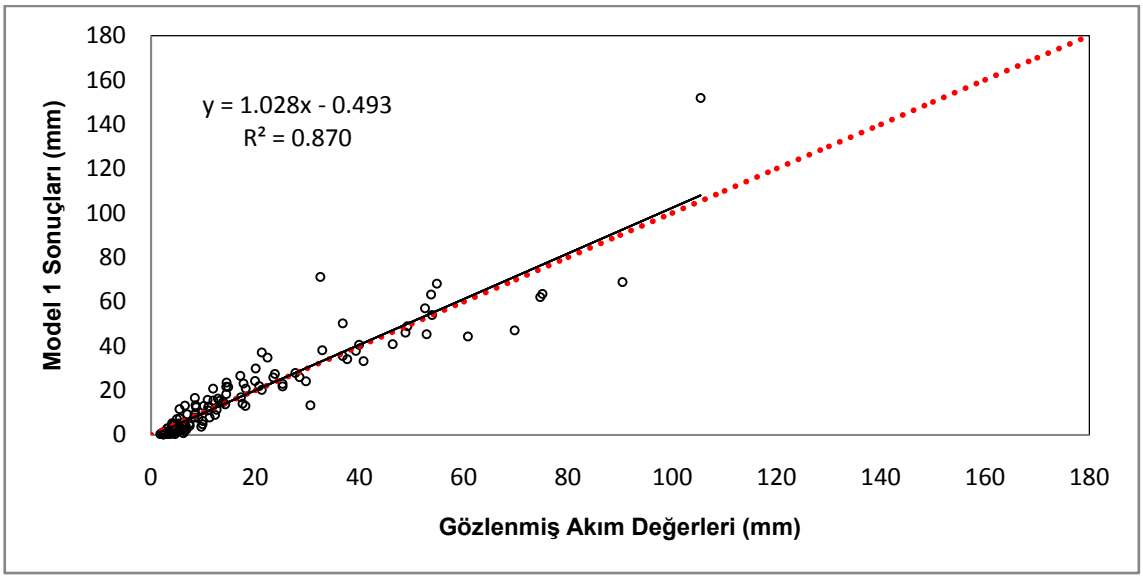
4.3.1 Model 1

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

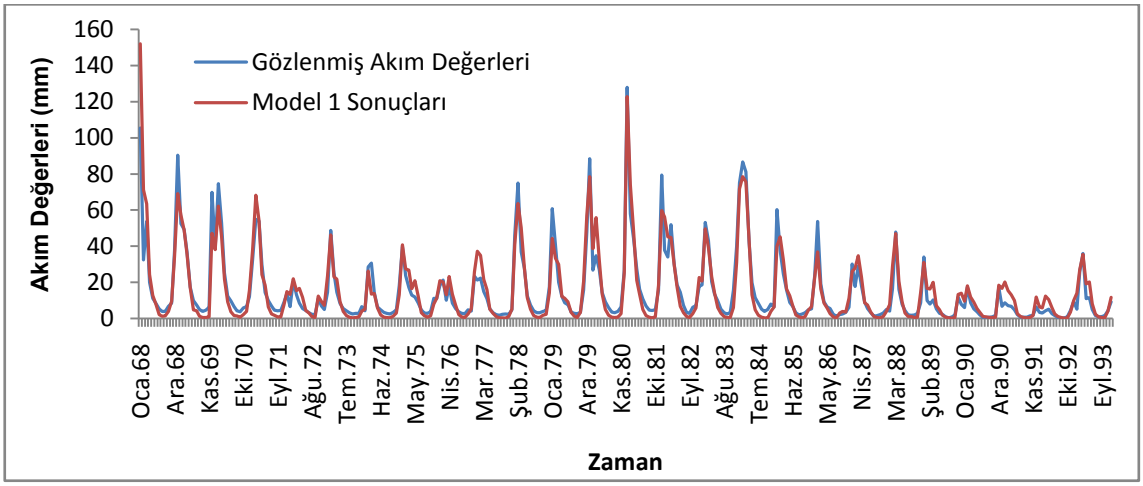
Tablo 4.8 Kalibrasyon Sonucunda Model 1'in Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
958.903	1.702	0.083	0.768	0.992

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %87'sini (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.8'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir.

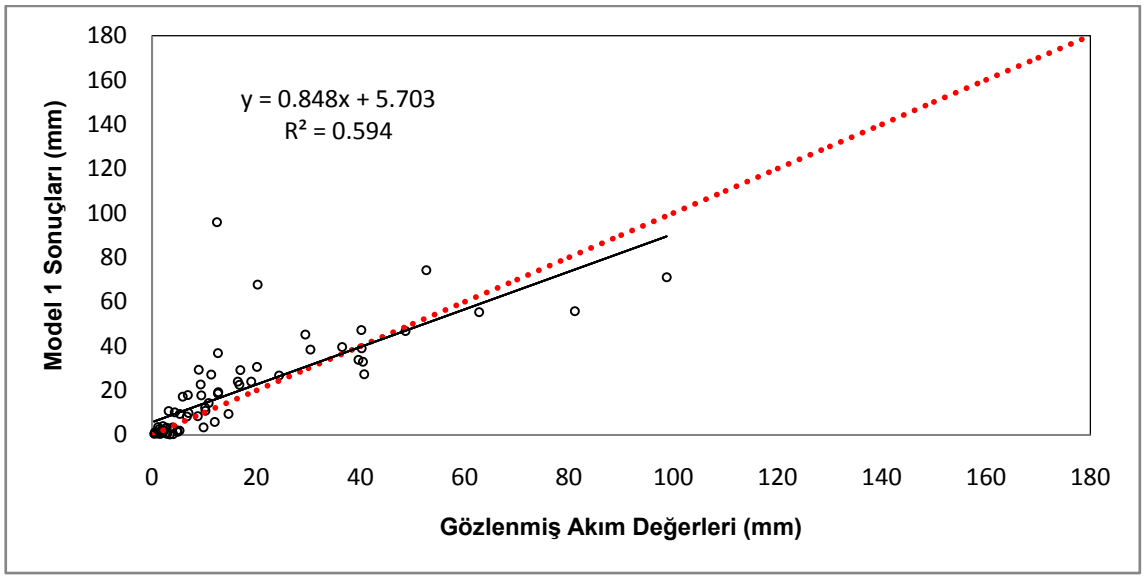


Şekil 4.8 Model 1-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

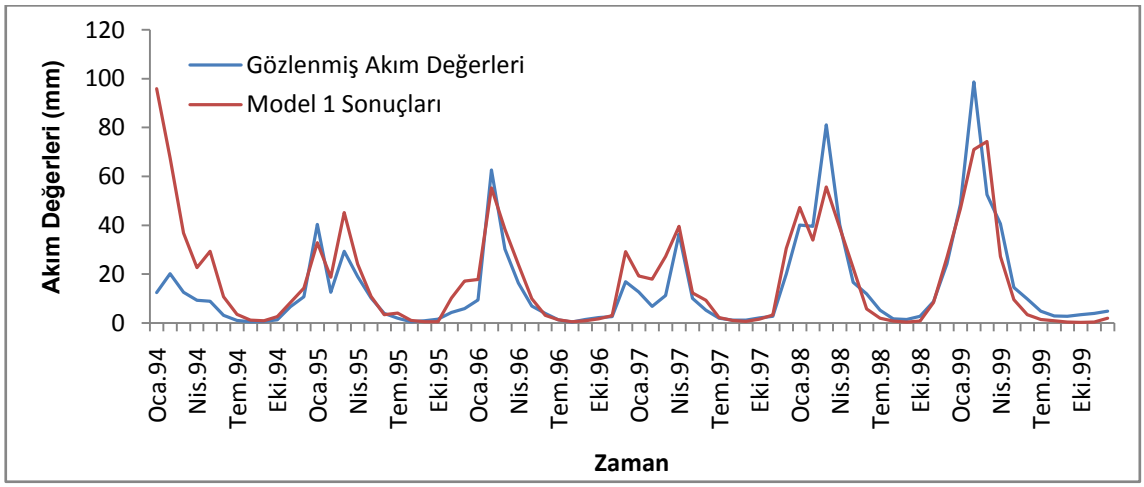


Şekil 4.9 Model 1-Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, ölçülen akımların varyansının %59'unu (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon aşamasında gözlenmiş akım değerleri ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.10'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10 Model 1-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.11 Model 1- Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Modelin kalibrasyon ve verifikasyon aşamasında, gözlenmiş akımların ve model sonuçlarının istatistiki değerleri Tablo 4.7'de sunulmuştur.

Tablo 4.9 Model 1- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	15.20	14.53	18.03
Çarpıklık	2.46076781	2.514331444	2.31678582	1.534095
Standart Sapma	19.49501657	20.20211299	19.22996586	21.16839
NSE	1.087		1.221	
R^2	0.87		0.594	

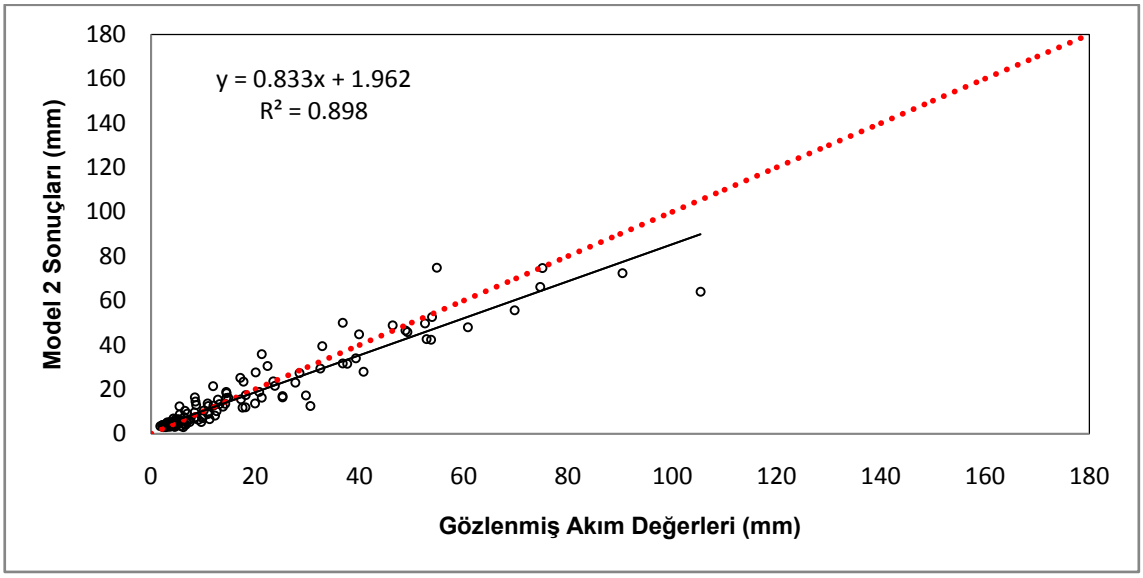
4.3.2 Model 2

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.7de verilmiştir.

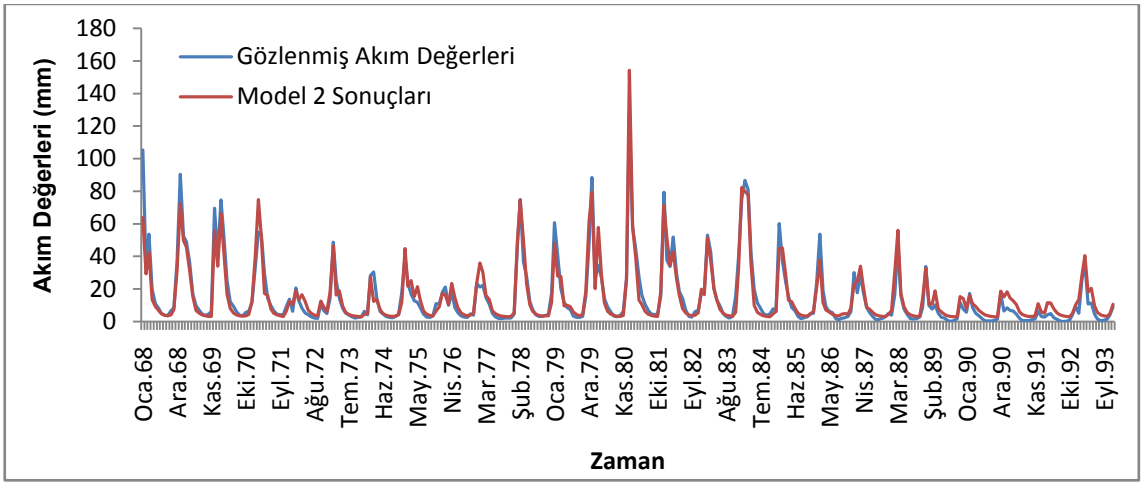
Tablo 4.10 Kalibrasyon Sonucunda Model 2'nin Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
364.871	37.72	0.446	15.419	1.512

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %89'unu (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.12'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.13'de verilmiştir.

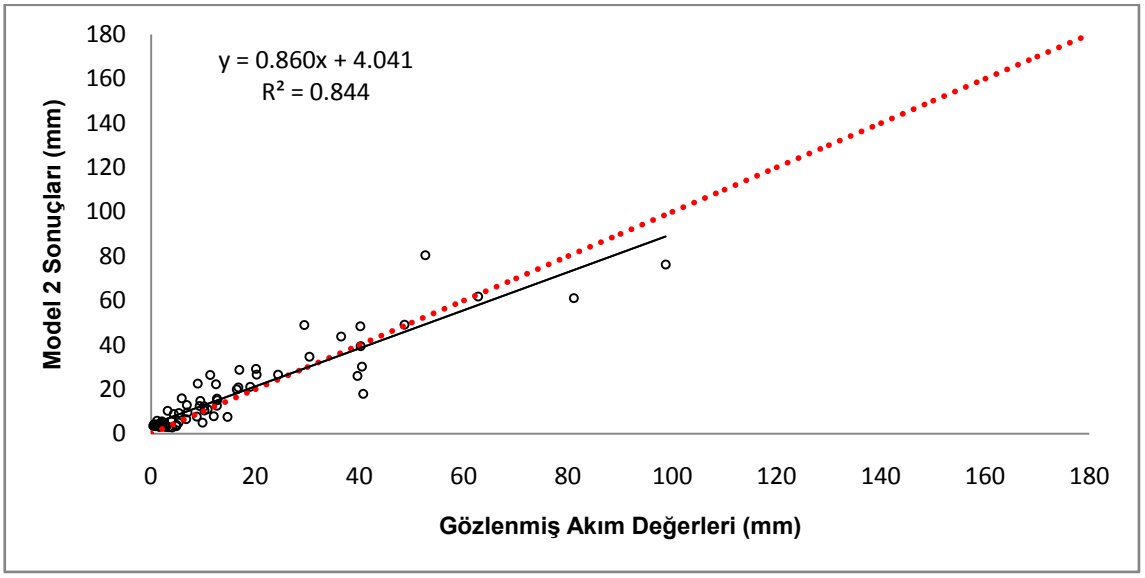


Şekil 4.12 Model 2-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

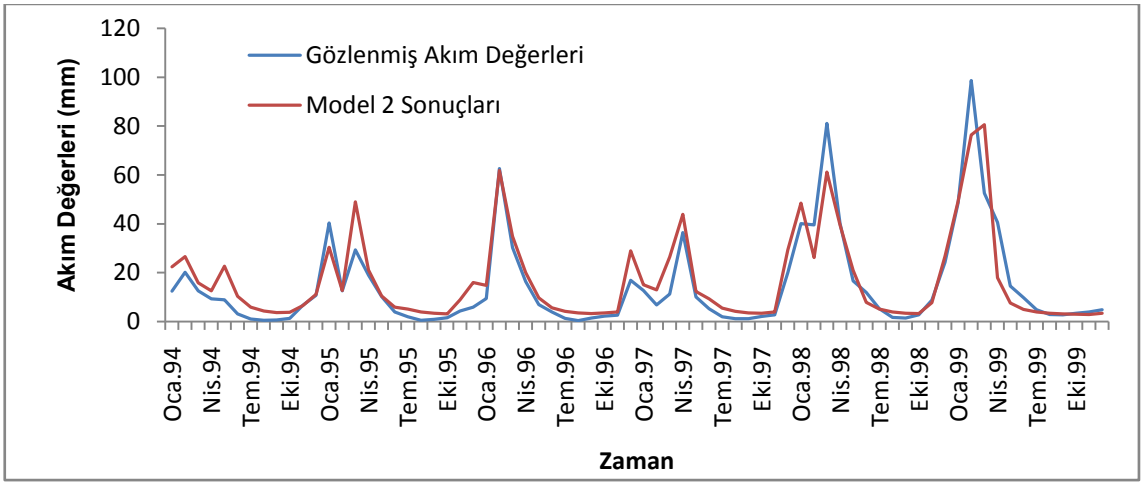


Şekil 4.13 Model 2- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %84'ünü (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon sürecinde gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.14'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.14 Model 2-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.15 Model 2 -Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.11'de sunulmuştur.

Tablo 4.11 Model 2- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	15.30	14.53	16.54
Çarpıklık	2.46076781	2.814505099	2.31678582	1.840291
Standart Sapma	19.49501657	18.62778417	19.22996586	18.00261
FKT	6.491		7.587	
R^2	0.898		0.844	

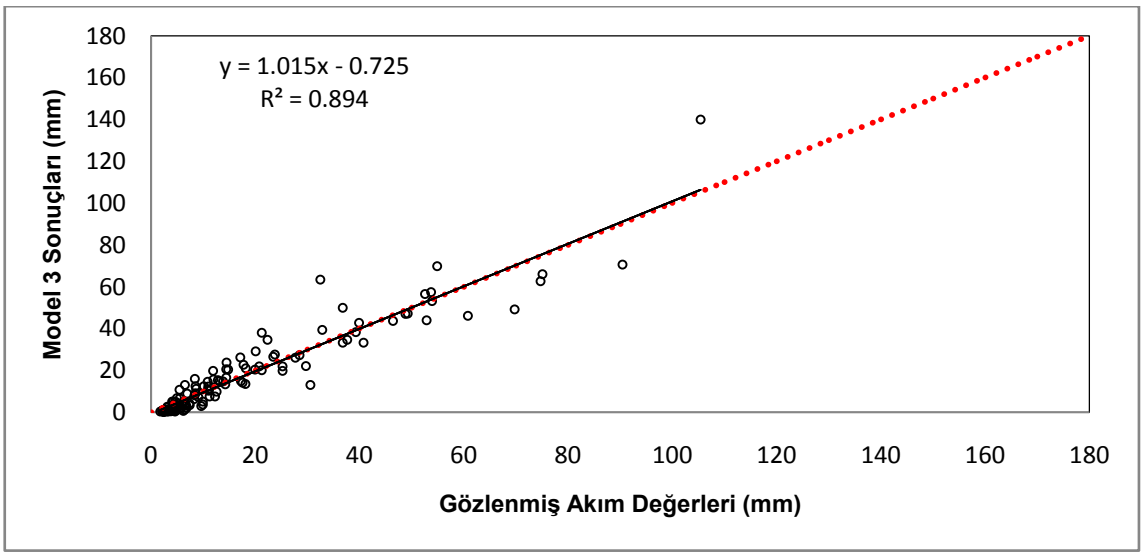
4.3.3 Model 3

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.12'de verilmiştir.

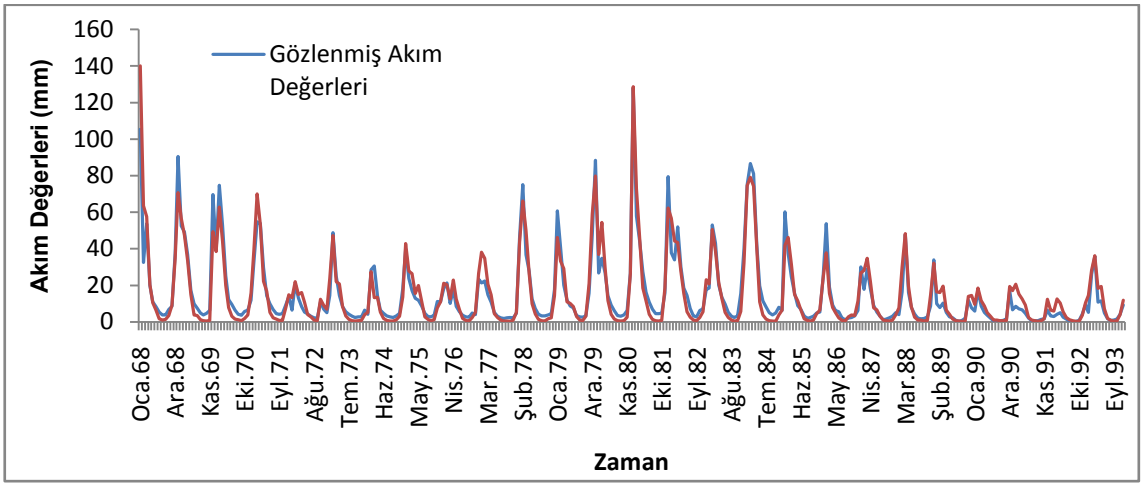
Tablo 4.12 Kalibrasyon Sonucunda Model 3'ün Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
843.881	1.708	0.403	0.695	1.47

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %89'unu (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.16'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir.

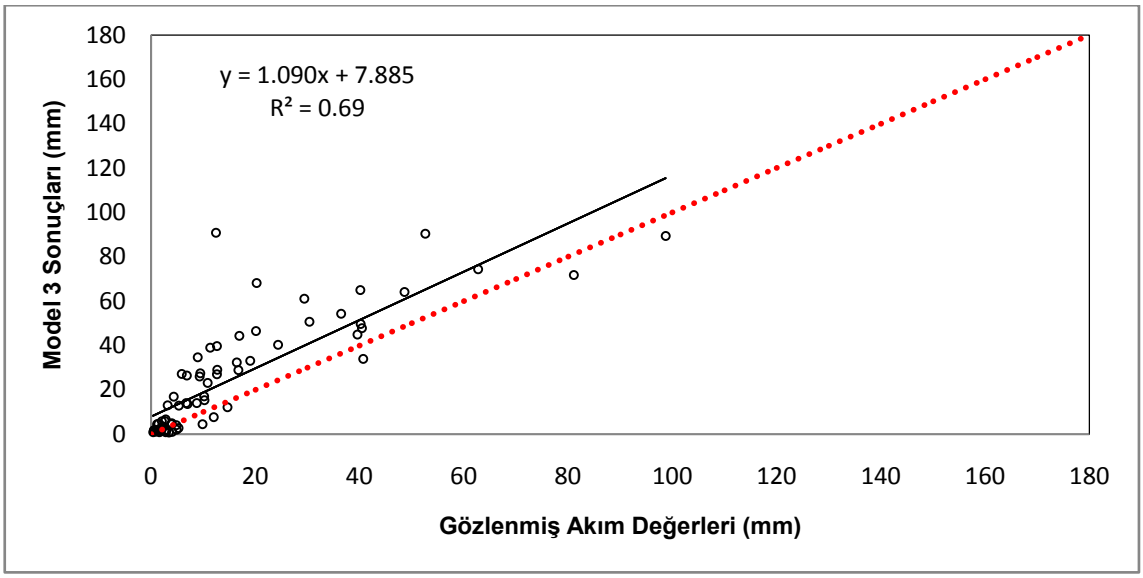


Şekil 4.16 Model 3-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

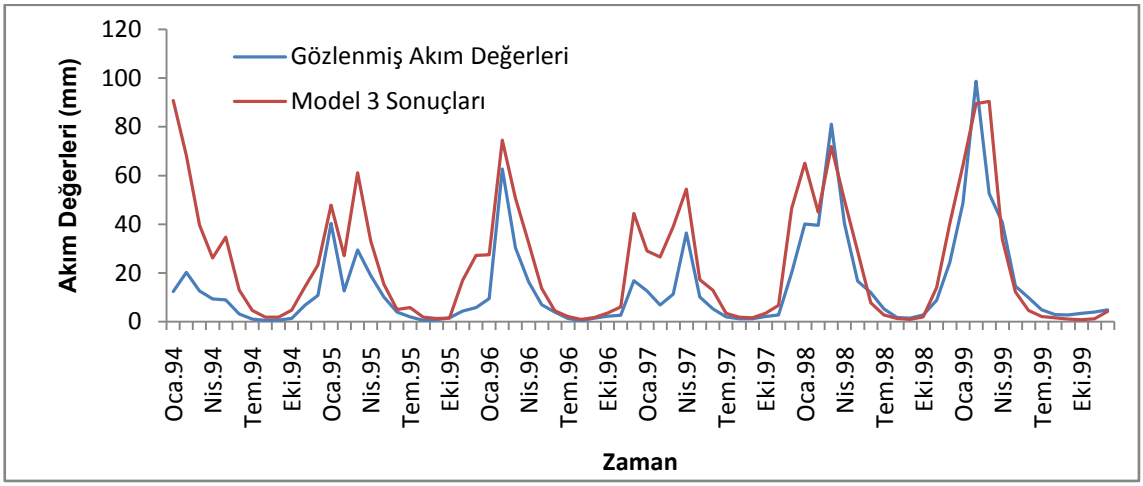


Şekil 4.17 Model 3- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %69'unu (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.18'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.18 Model 3-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.19 Model 3 -Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.13'da sunulmuştur.

Tablo 4.13 Model 3- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	14.90	14.53	23.73
Çarpıklık	2.46076781	2.42925217	2.31678582	1.108484
Standart Sapma	19.49501657	20.11383239	19.22996586	25.23782
NSE	1.085		1.47	
R^2	0.894		0.69	

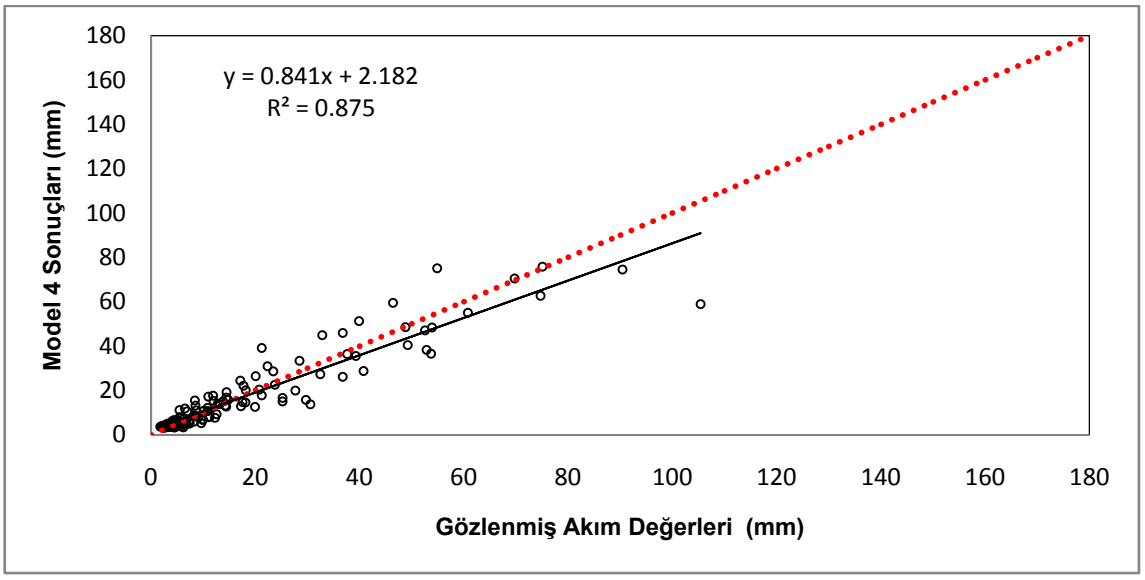
4.3.4 Model 4

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.14'de verilmiştir.

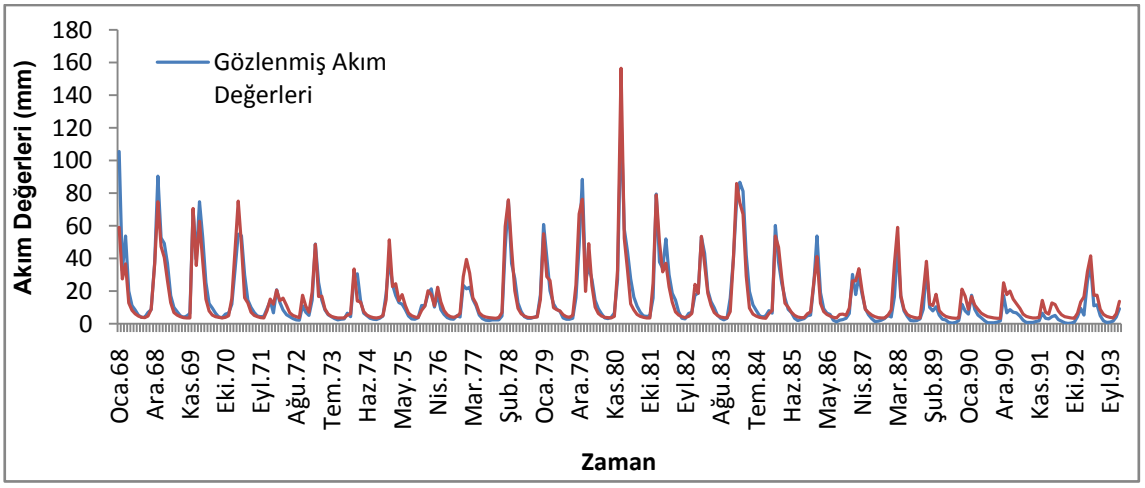
Tablo 4.14 Kalibrasyon Sonucunda Model 4'ün Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
250.38	34.7	0.567	16.46	1.529

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %87'sini (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.20'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir.

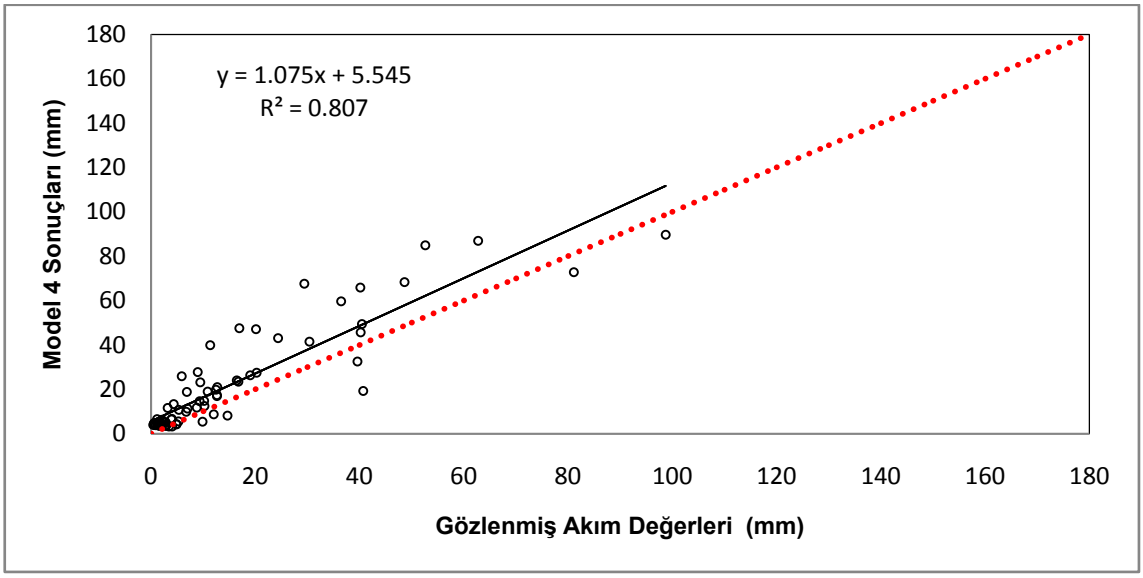


Şekil 4.20 Model 4-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

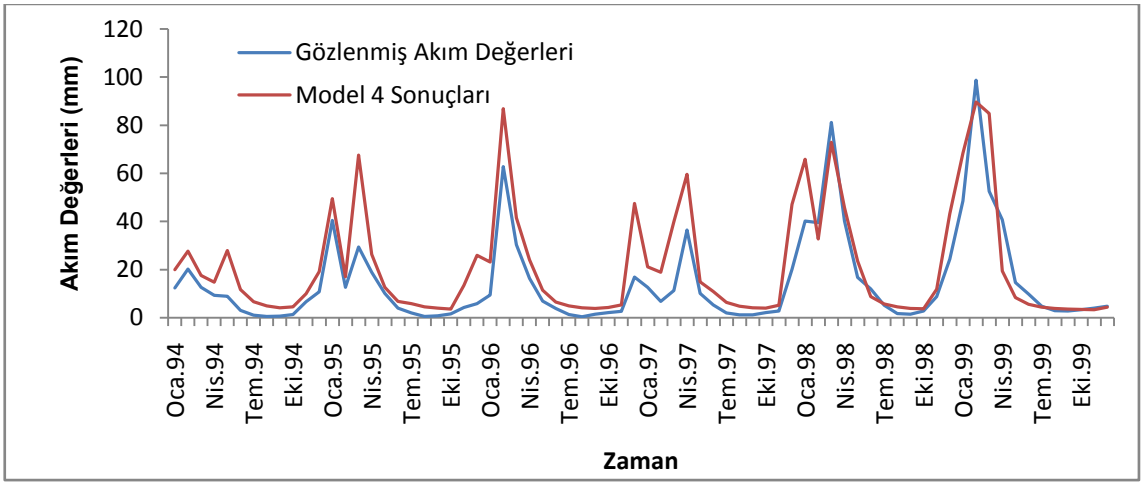


Şekil 4.21 Model 4- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %80'nini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.22'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.22 Model 4-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.23 Model 4-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.15'de sunulmuştur.

Tablo 4.15 Model 4- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	15.67	14.53	21.18
Çarpıklık	2.46076781	2.804964607	2.31678582	1.550599
Standart Sapma	19.49501657	18.78655725	19.22996586	23.01641
FKT	6.908		11.9783	
R^2	0.875		0.807	

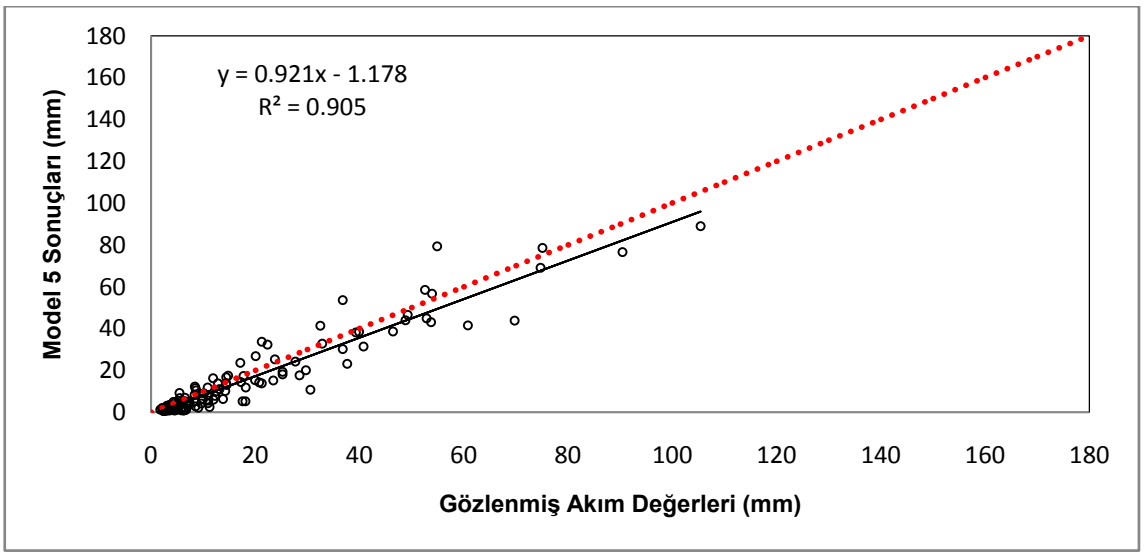
4.3.5 Model 5

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.16'de verilmiştir.

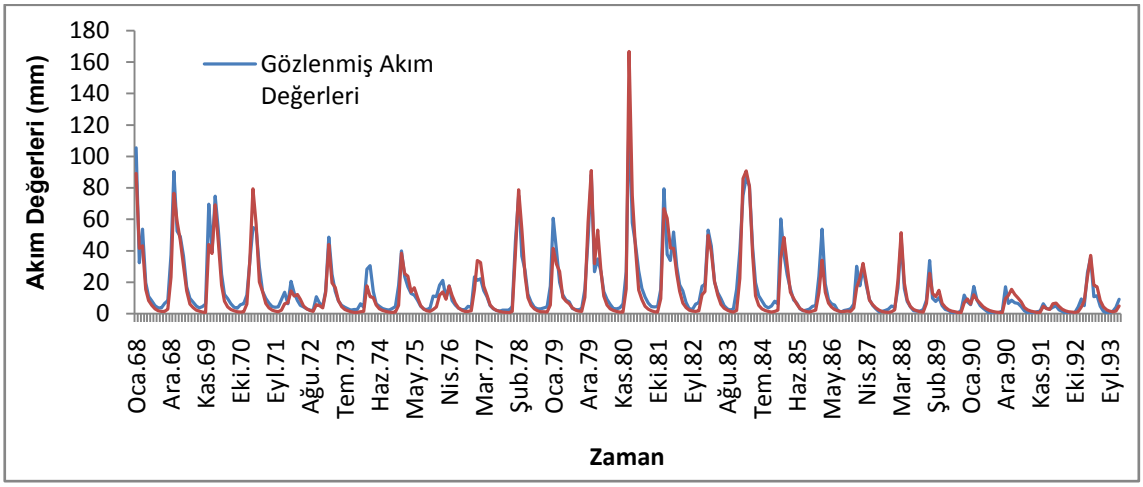
Tablo 4.16 Kalibrasyon Sonucunda Model 5'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
420.52	0.978

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %90'nını (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.24'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.25'de verilmiştir.

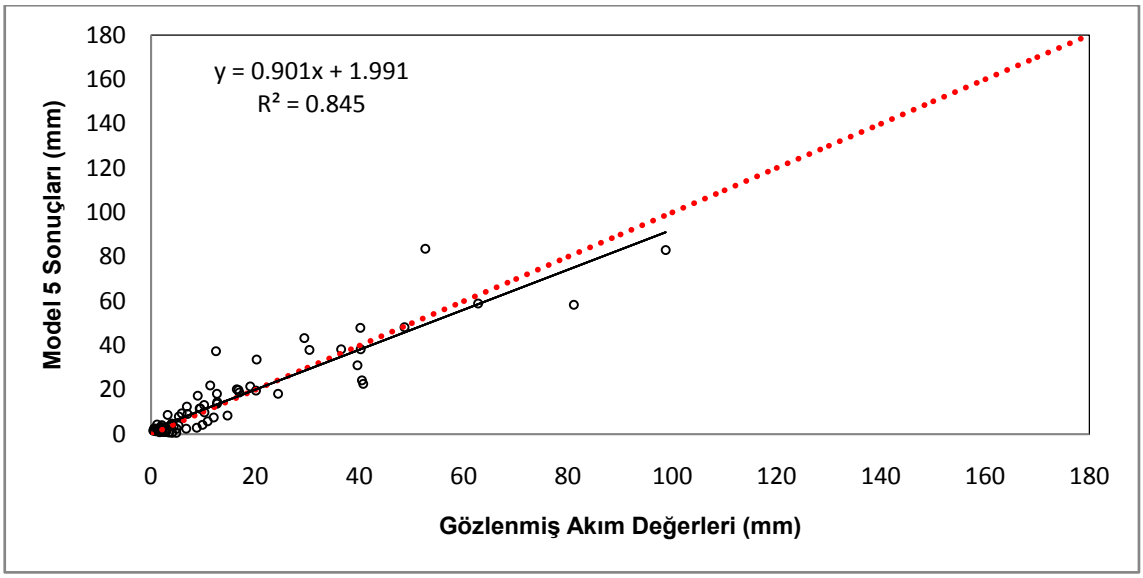


Şekil 4.24 Model 5-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

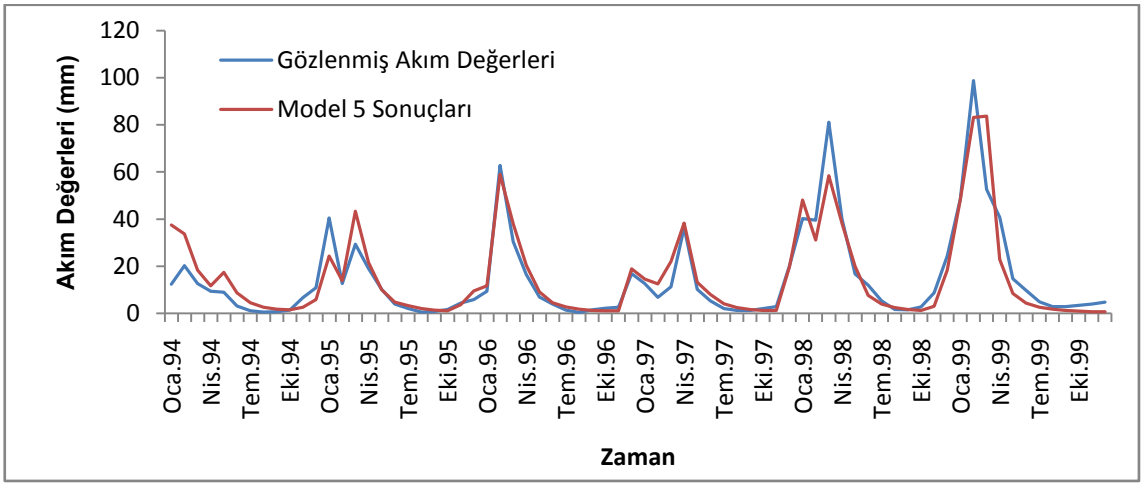


Şekil 4.25 Model 5- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %84'ünü (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.26'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.26 Model 5-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.27 Model 5-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.17de sunulmuştur.

Tablo 4.17 Model 5- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.47	14.53	15.09
Çarpıklık	2.46076781	3.010643193	2.31678582	1.90904
Standart Sapma	19.49501657	20.35473334	19.22996586	18.8543
NSE	1.072		1.16	
R^2	0.905		0.845	

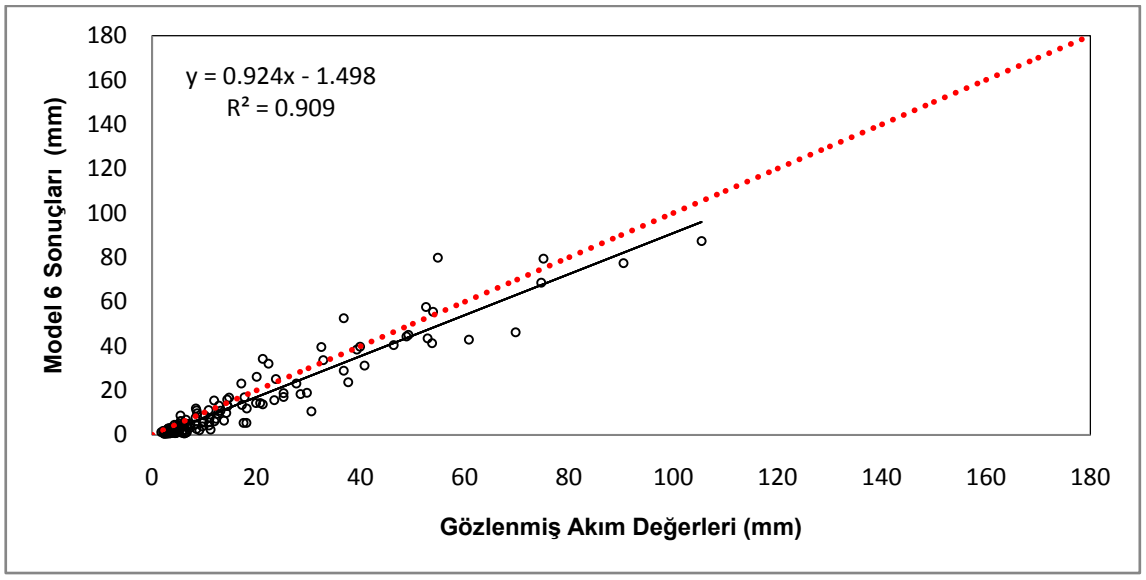
4.3.6 Model 6

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.18'de verilmiştir.

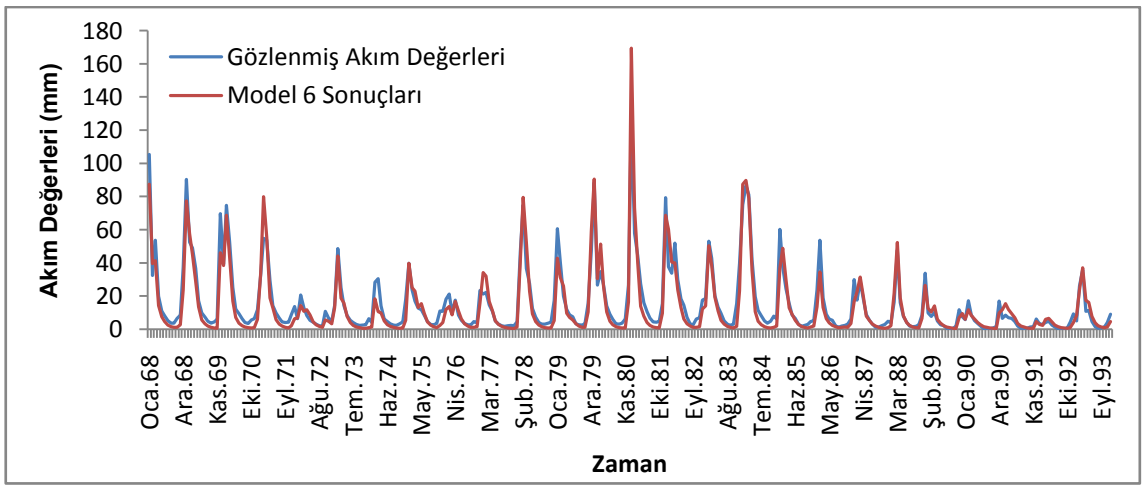
Tablo 4.18 Kalibrasyon Sonucunda Model 6'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
397.162	0.957

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %91'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.28'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir.

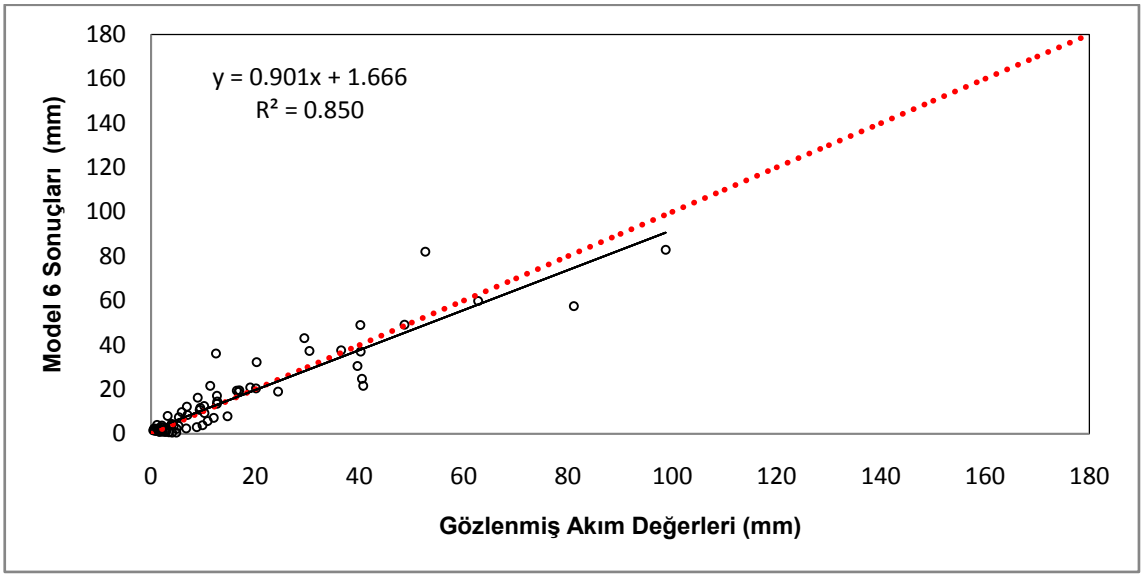


Şekil 4.28 Model 6-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

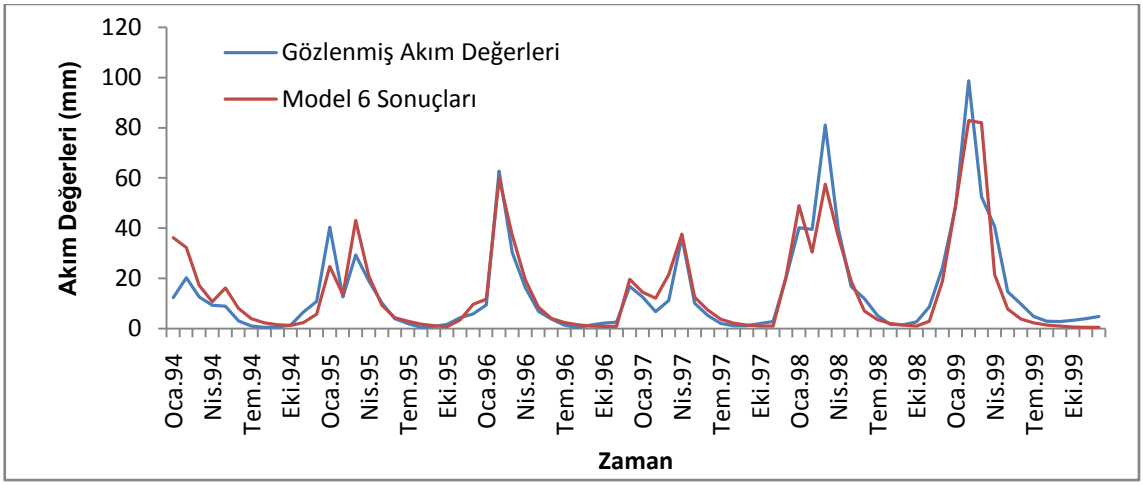


Şekil 4.29 Model 6- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %85'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.30'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.30 Model 6-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.31 Model 6-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.19'da sunulmuştur.

Tablo 4.19 Model 6- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.22	14.53	14.76
Çarpıklık	2.46076781	3.063933792	2.31678582	1.912708
Standart Sapma	19.49501657	20.42871701	19.22996586	18.78809
FKT	6.386		7.462	
R^2	0.909		0.85	

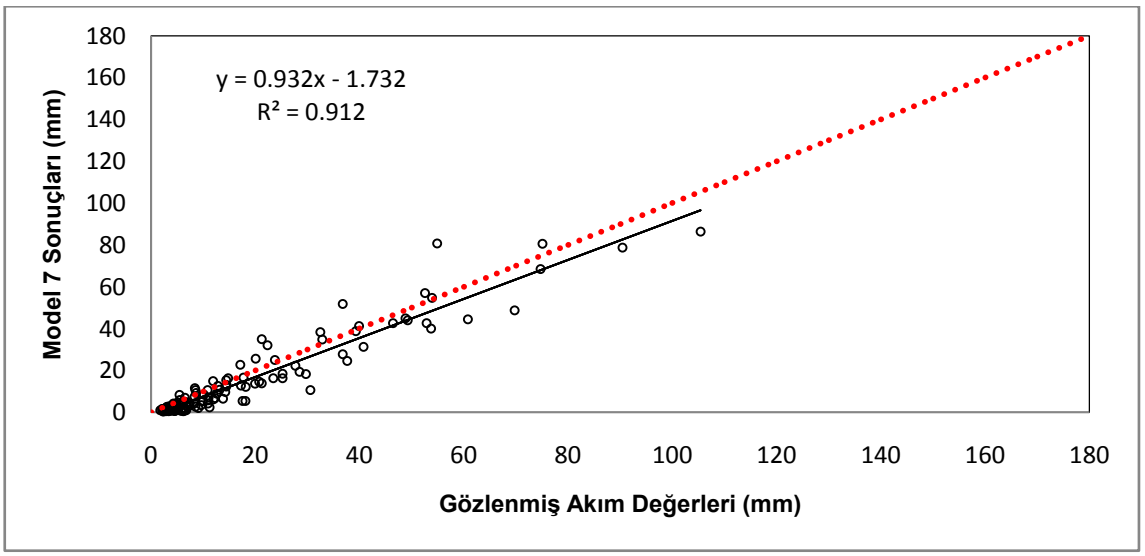
4.3.7 Model 7

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.20'de verilmiştir.

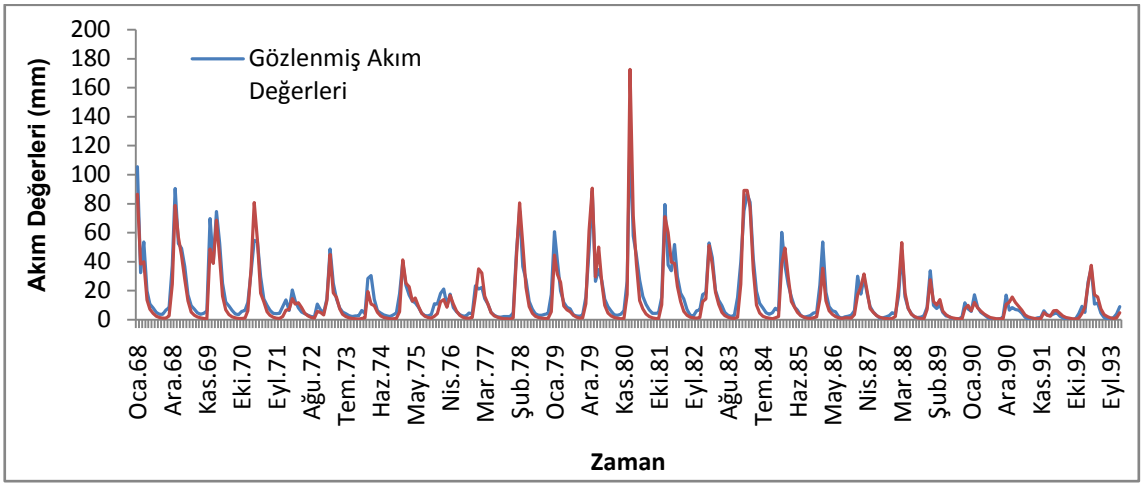
Tablo 4.20 Kalibrasyon Sonucunda Model 7'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
377.244	0.942

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %91'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.32'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.33'de verilmiştir.

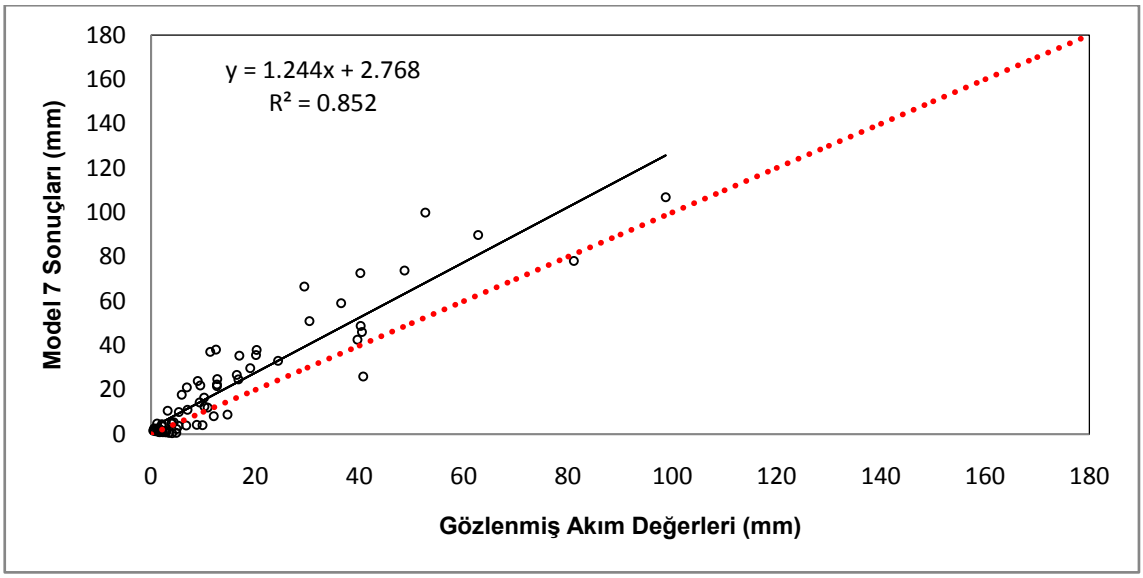


Şekil 4.32 Model 7-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

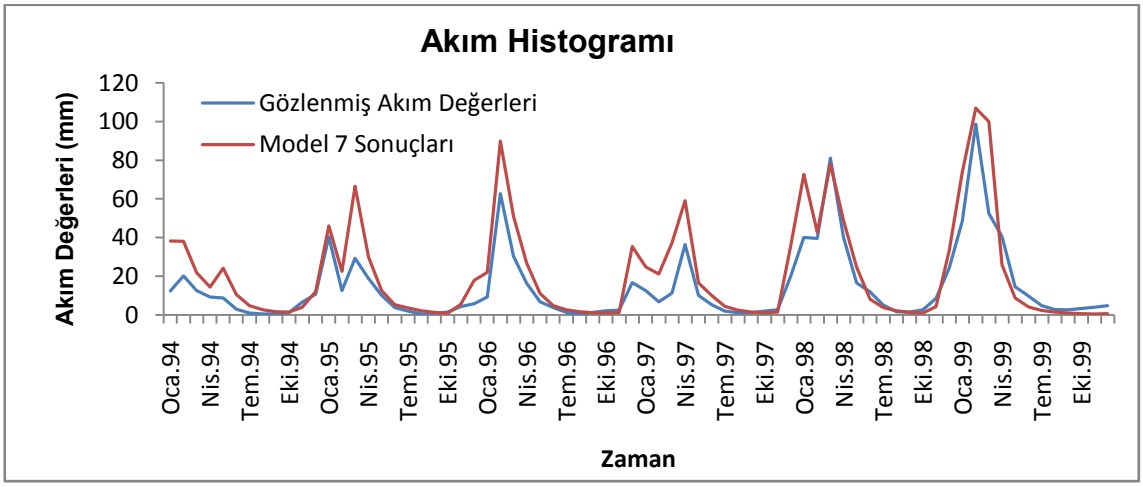


Şekil 4.33 Model 7- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %85'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.34'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.34 Model 7-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.35 Model 7-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.21'de sunulmuştur.

Tablo 4.21 Model 7- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.13	14.53	20.86
Çarpıklık	2.46076781	3.104338474	2.31678582	1.631912
Standart Sapma	19.49501657	20.59687482	19.22996586	25.92896
NSE	1.109		1.438	
R^2	0.912		0.852	

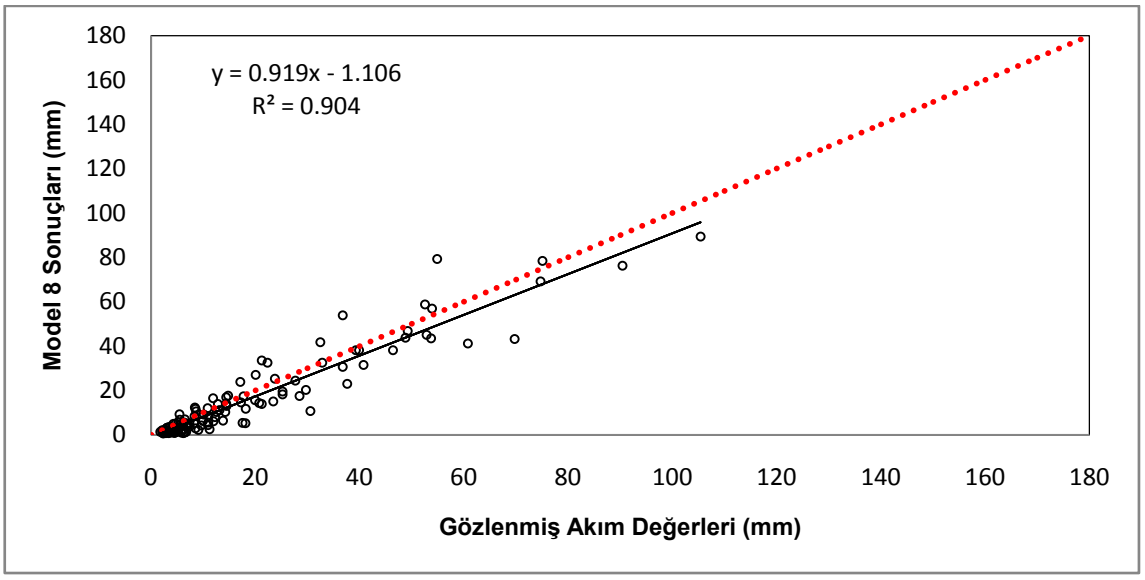
4.3.8 Model 8

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.22'de verilmiştir.

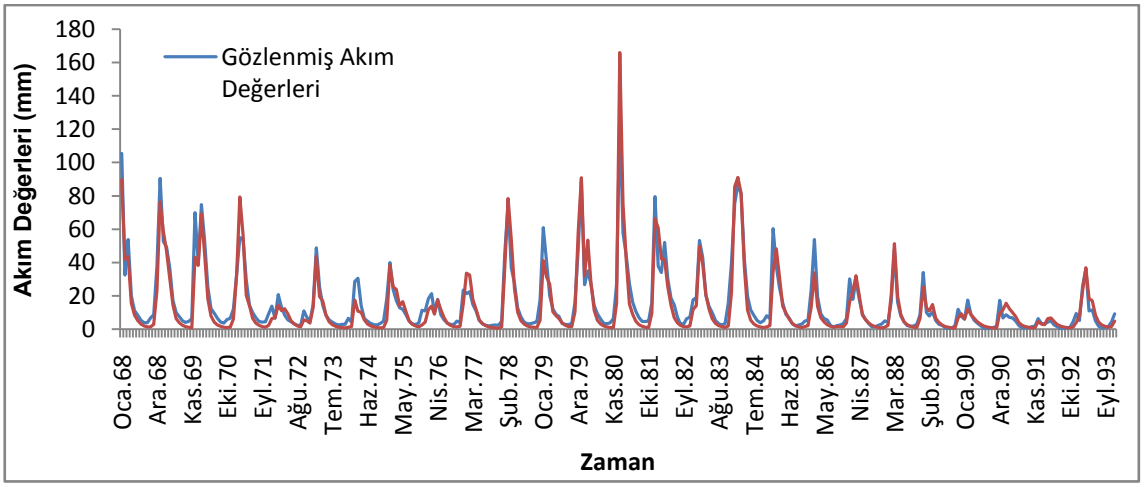
Tablo 4.22 Kalibrasyon Sonucunda Model 8'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
425.831	0.983

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %90'nını (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.36'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.37'de verilmiştir.

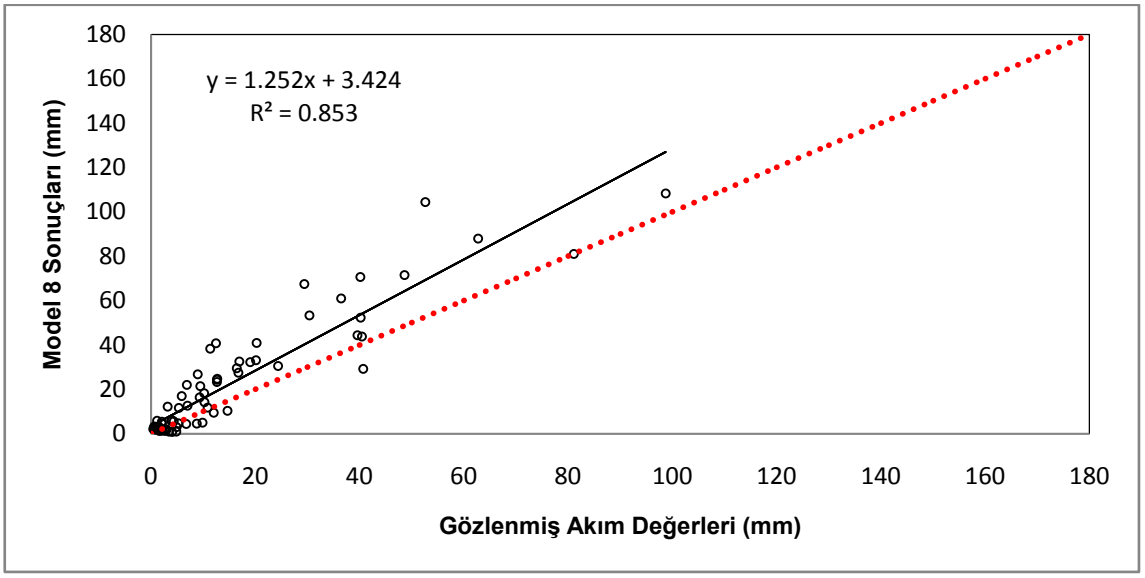


Şekil 4.36 Model 8-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

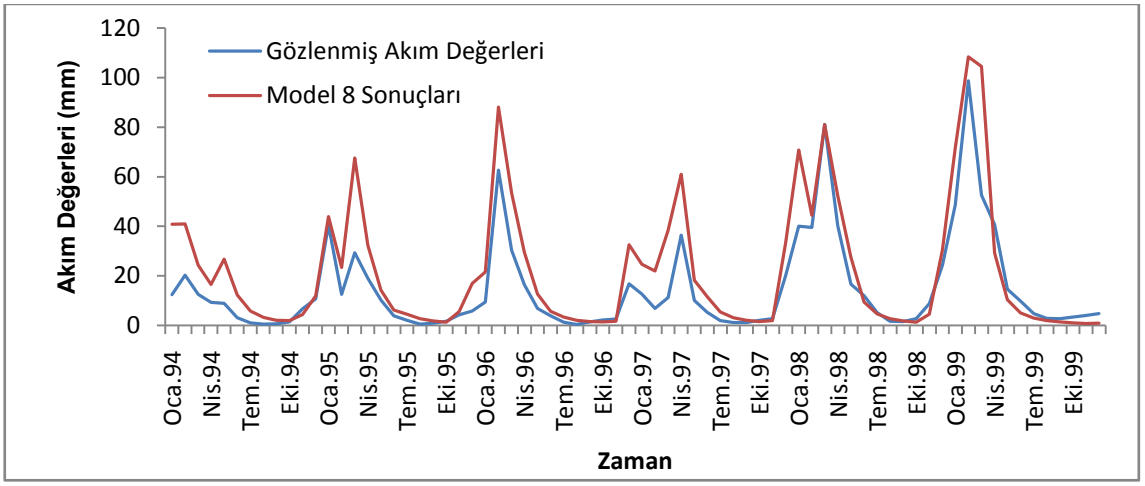


Şekil 4.37 Model 8- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %85'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.38'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.39'de verilmiştir.



Şekil 4.38 Model 8-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.39 Model 8-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.23'da sunulmuştur.

Tablo 4.23 Model 8- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.52	14.53	21.62
Çarpıklık	2.46076781	2.998880913	2.31678582	1.6319
Standart Sapma	19.49501657	20.32821394	19.22996586	26.07426
FKT	6.373		13.115	
R^2	0.904		0.853	

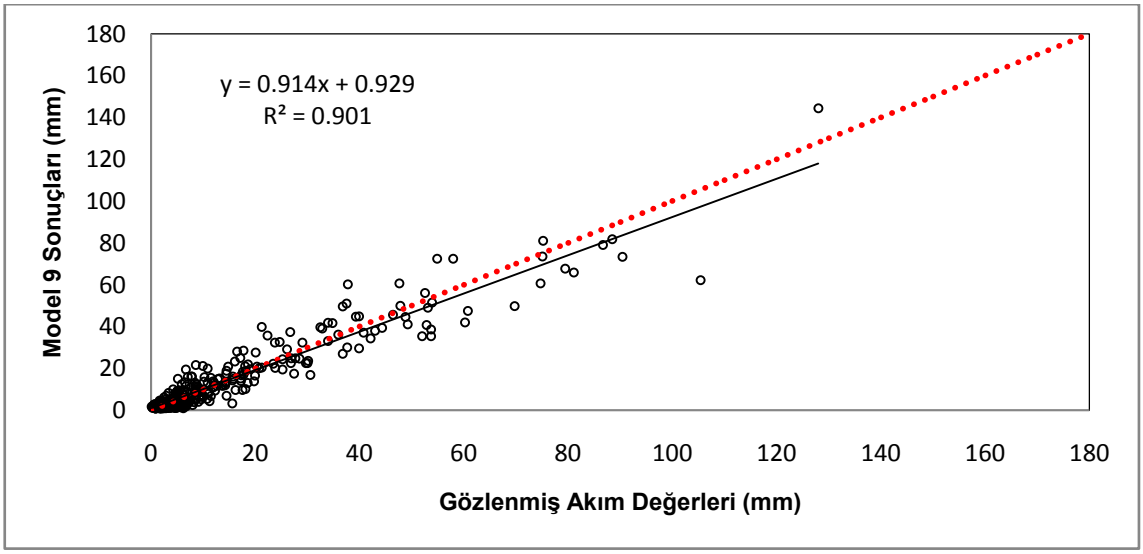
4.3.9 Model 9

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.24'de verilmiştir.

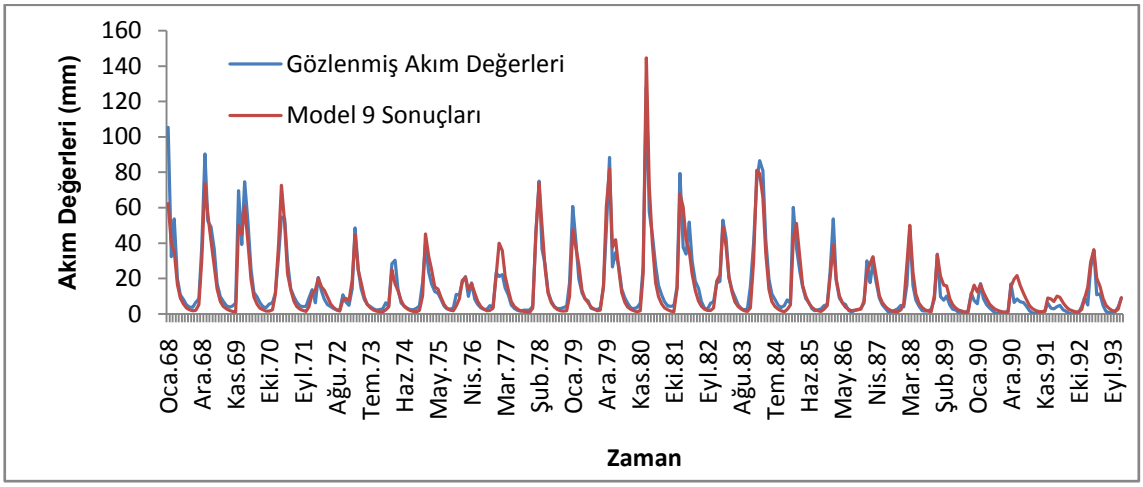
Tablo 4.24 Kalibrasyon Sonucunda Model 9'in Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
414.202	1.38	0.217	95.4025	0.963

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %90'nını (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.40'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir.

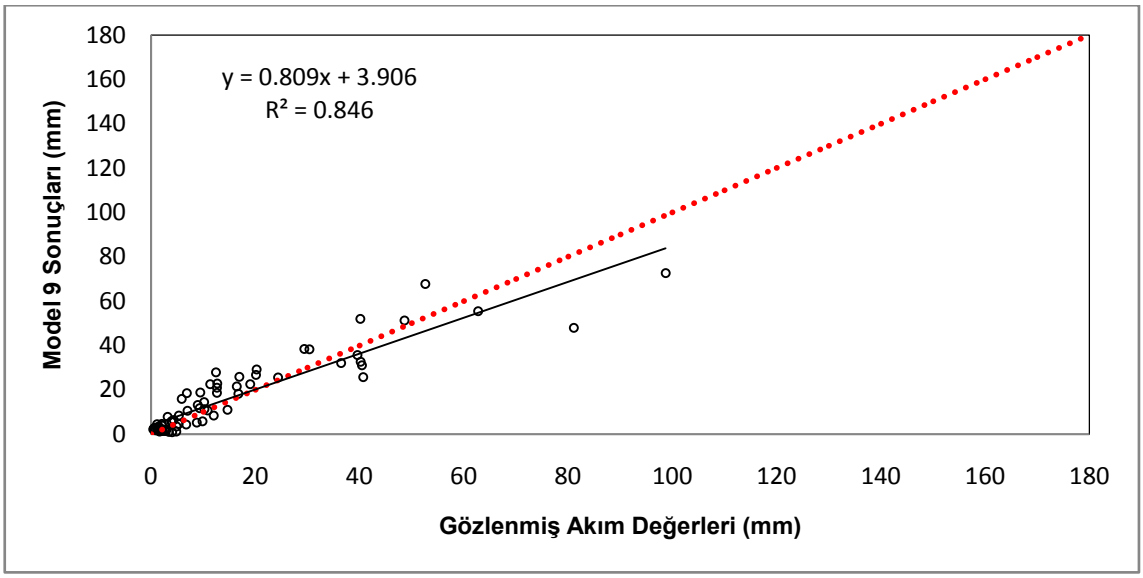


Şekil 4.40 Model 9-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

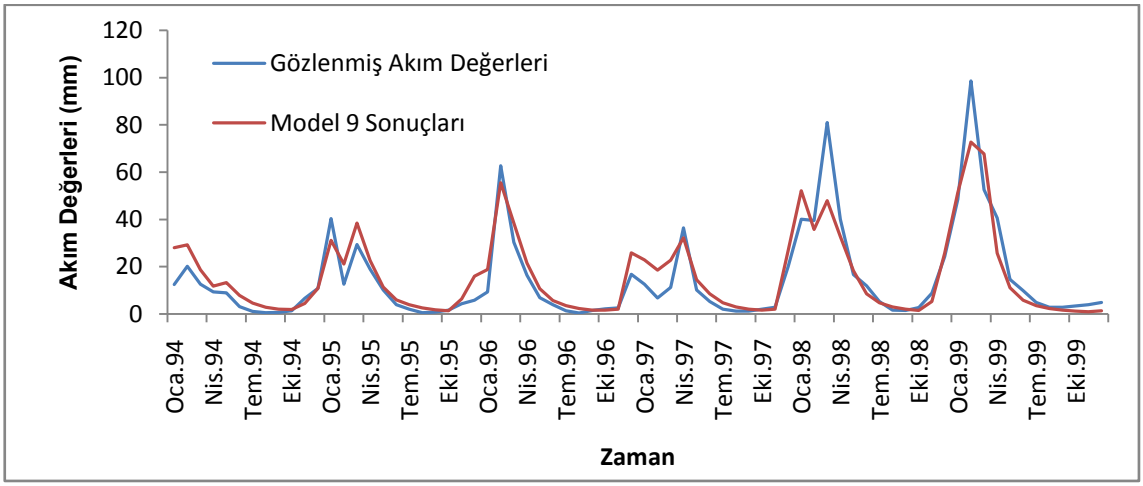


Şekil 4.41 Model 9- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %84'ünü (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.42'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.43'de verilmiştir.



Şekil 4.42 Model 9-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.43 Model 9-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.25'da sunulmuştur.

Tablo 4.25 Model 9- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	14.63	14.53	15.67
Çarpıklık	2.46076781	2.472173304	2.31678582	1.494916
Standart Sapma	19.49501657	18.77938738	19.22996586	16.91
NSE	0.901		0.841	
R^2	0.901		0.846	

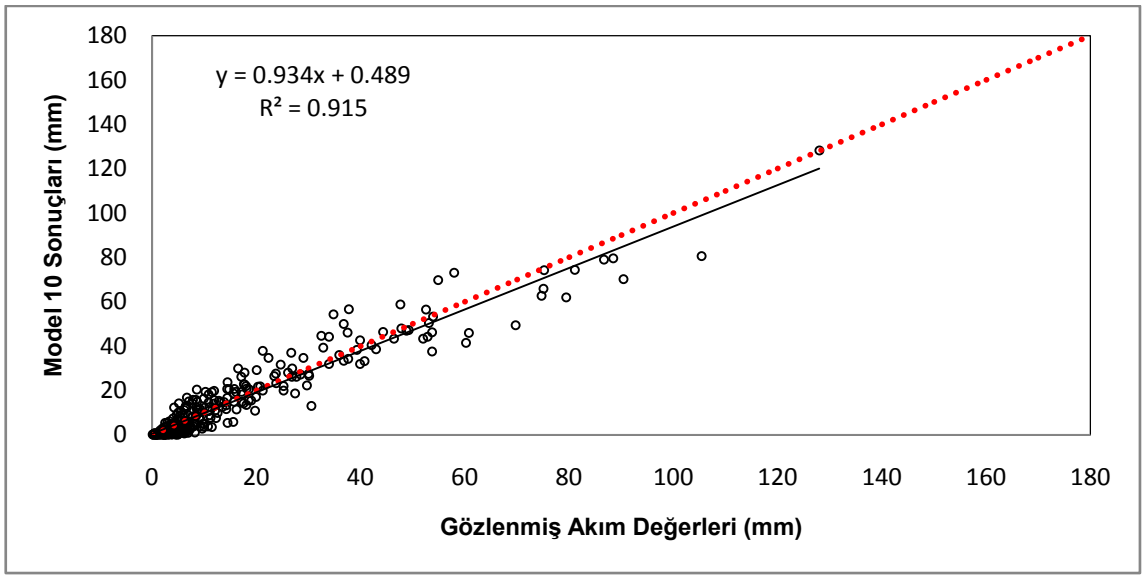
4.3.10 Model 10

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.26'de verilmiştir.

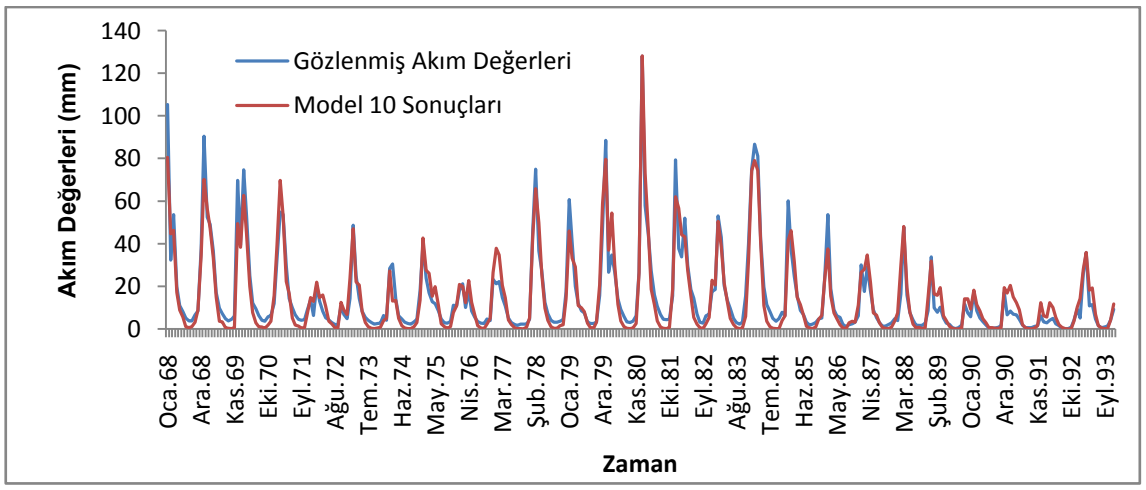
Tablo 4.26 Kalibrasyon Sonucunda Model 10'in Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
858.835	1.696	0	0	0.881964

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %91'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.44'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.45'de verilmiştir.

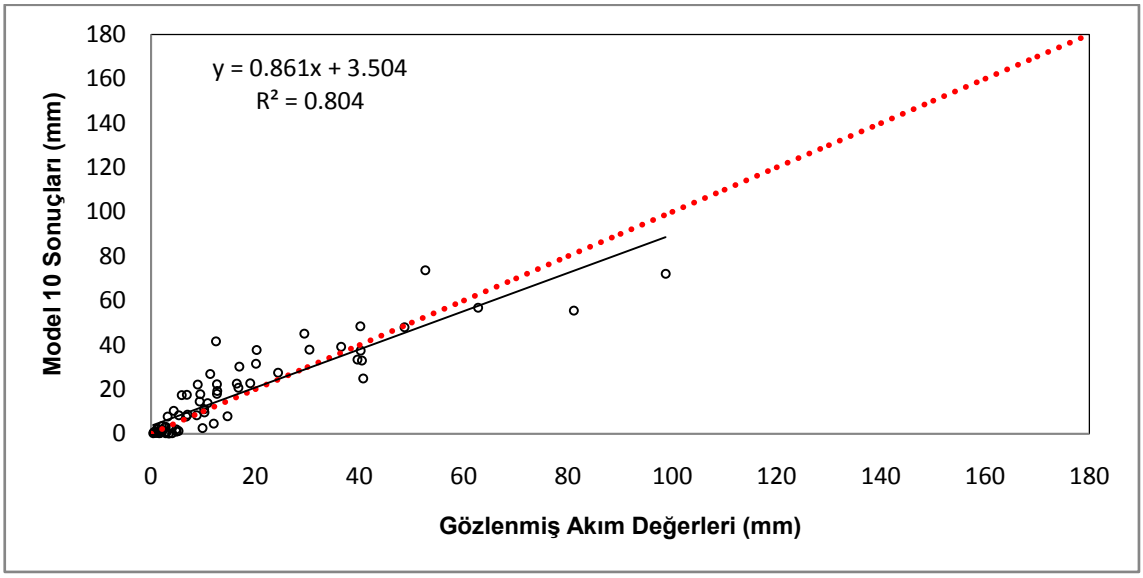


Şekil 4.44 Model 10-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

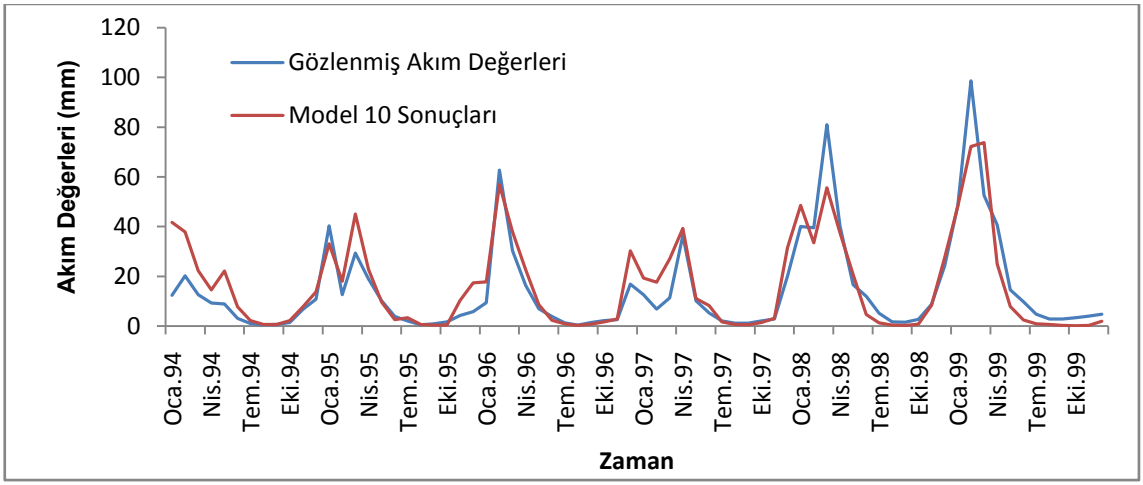


Şekil 4.45 Model 10- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %80'nini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.46'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.47'da verilmiştir.



Şekil 4.46 Model 10-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.47 Model 10- Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.27'da sunulmuştur.

Tablo 4.27 Model 10- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.98539143	14.49	14.53	16.03
Çarpıklık	2.46076781	2.061901343	2.31678582	1.299558
Standart Sapma	19.49501657	19.03	19.22996586	18.47554
FKT	5.69		8.66	
R^2	0.915		0.804	

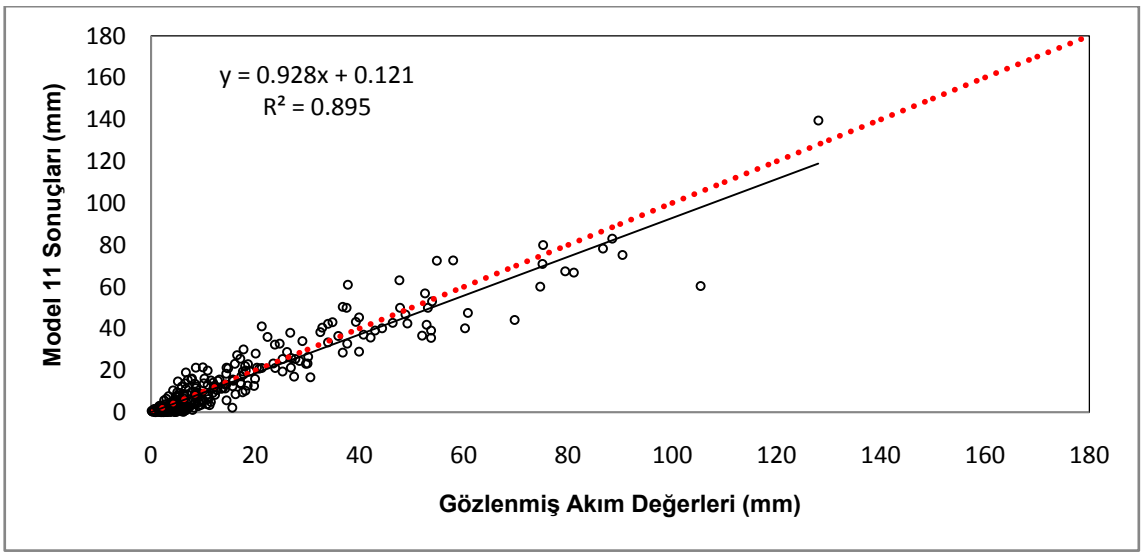
4.3.11 Model 11

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.28'de verilmiştir.

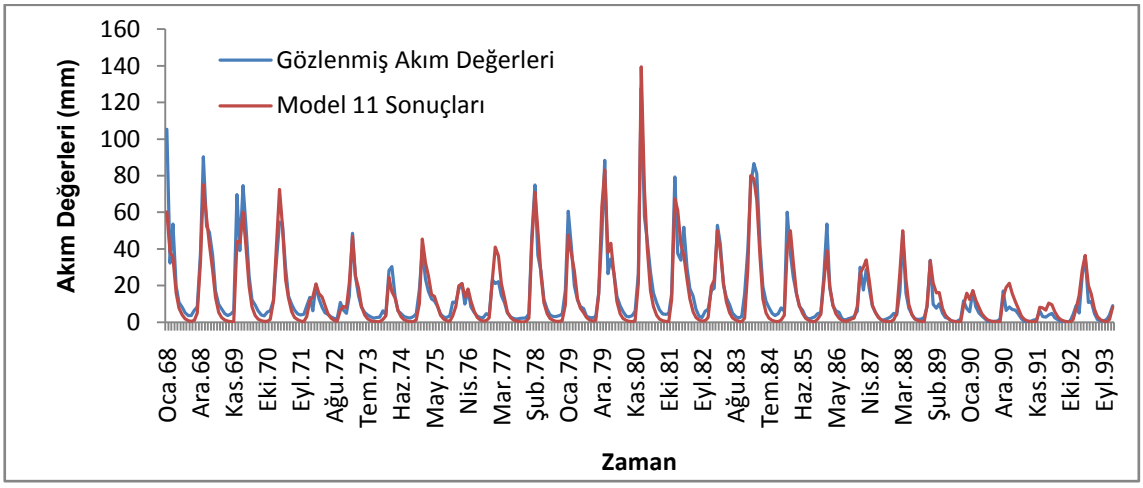
Tablo 4.28 Kalibrasyon Sonucunda Model 11'in Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
447.283	1.38	0.004	147.304	0.766

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %89'unu (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.48'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.49'de verilmiştir.

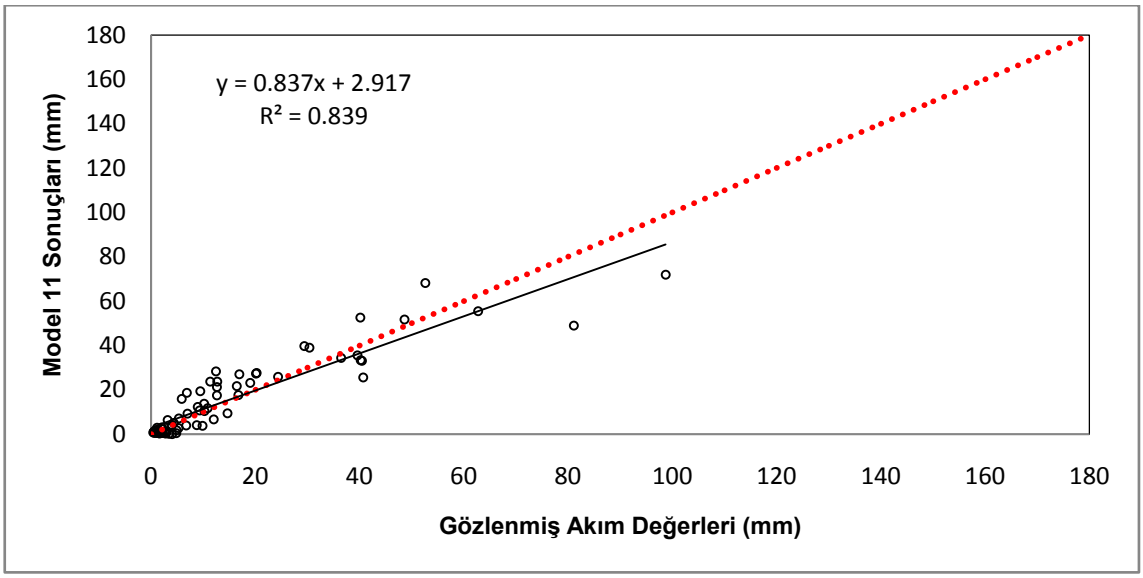


Şekil 4.48 Model 11-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

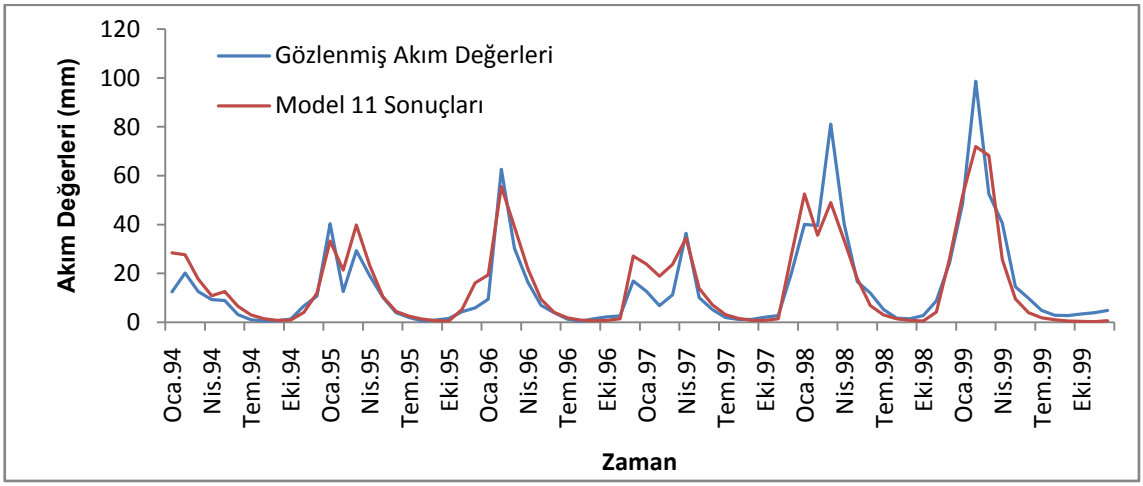


Şekil 4.49 Model 11- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %84'ünü (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.50'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.50 Model 11-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.51 Model 11-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.29'da sunulmuştur.

Tablo 4.29 Model 11- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	14.03	14.53	15.09
Çarpıklık	2.46076781	2.292682556	2.31678582	1.398792
Standart Sapma	19.49501657	19.12264604	19.22996586	17.57676
NSE	0.892		0.838	
R^2	0.895		0.839	

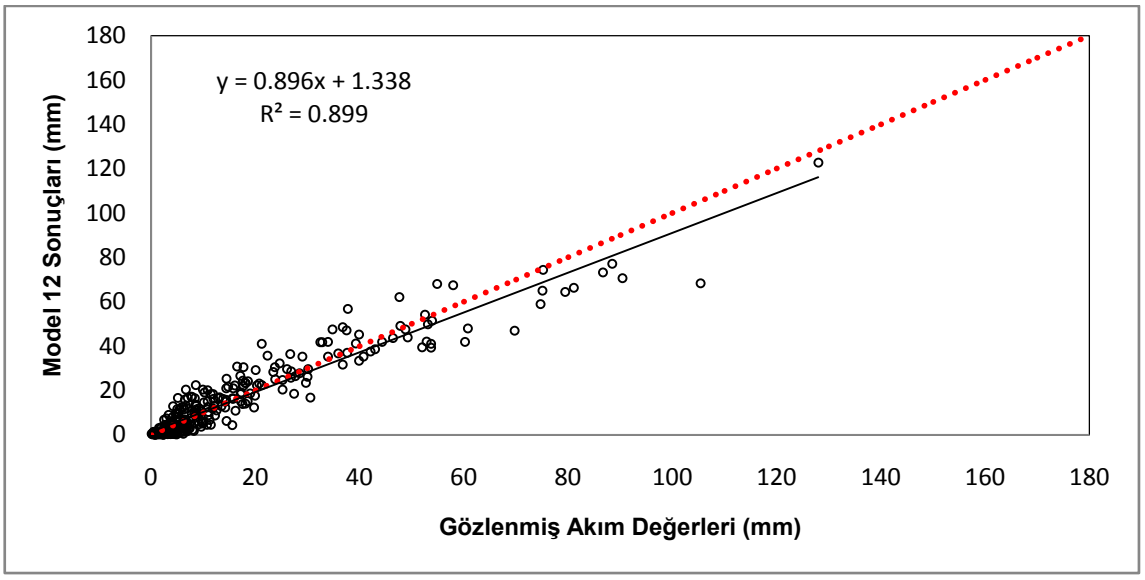
4.3.12 Model 12

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.30'da verilmiştir.

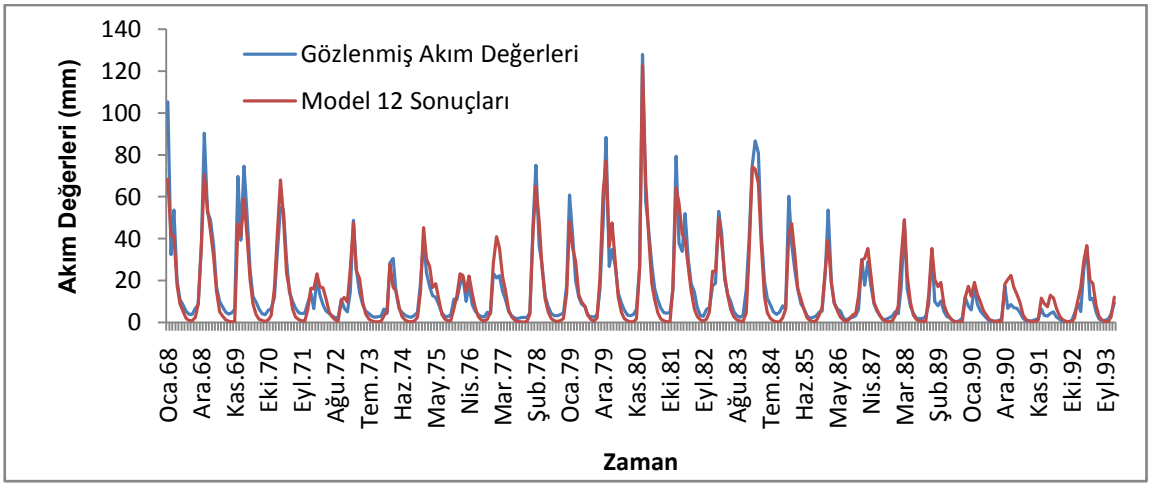
Tablo 4.30 Kalibrasyon Sonucunda Model 12'in Parametreleri

Parametreler				
X1(mm)	X2	X3	X4(mm)	X5
784.463	1.38	0	24.976	0.671892

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %90'nını (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.52'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.53'de verilmiştir.

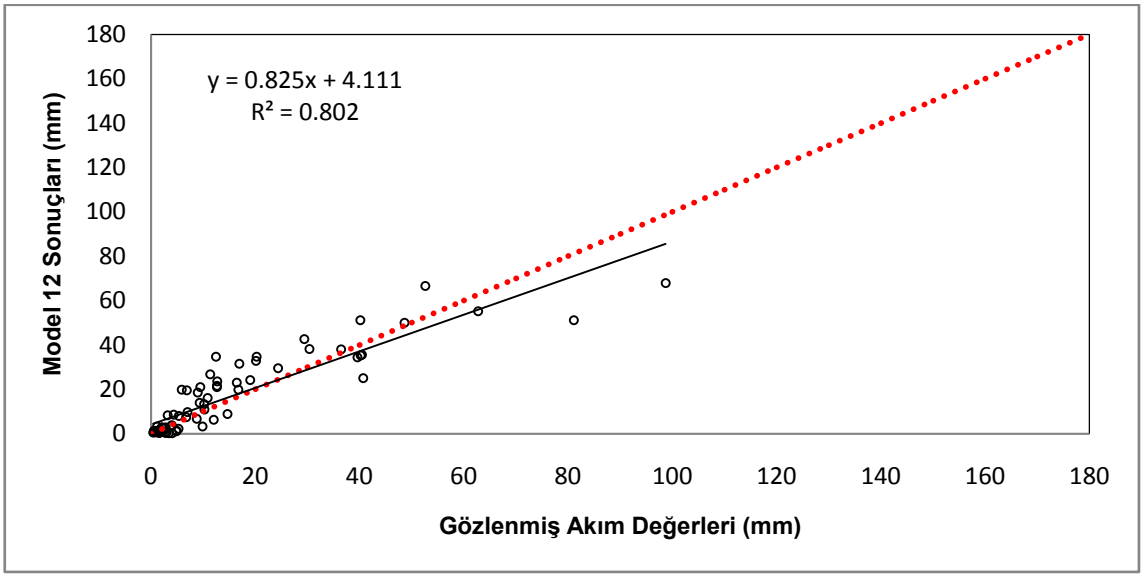


Şekil 4.52 Model 12-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

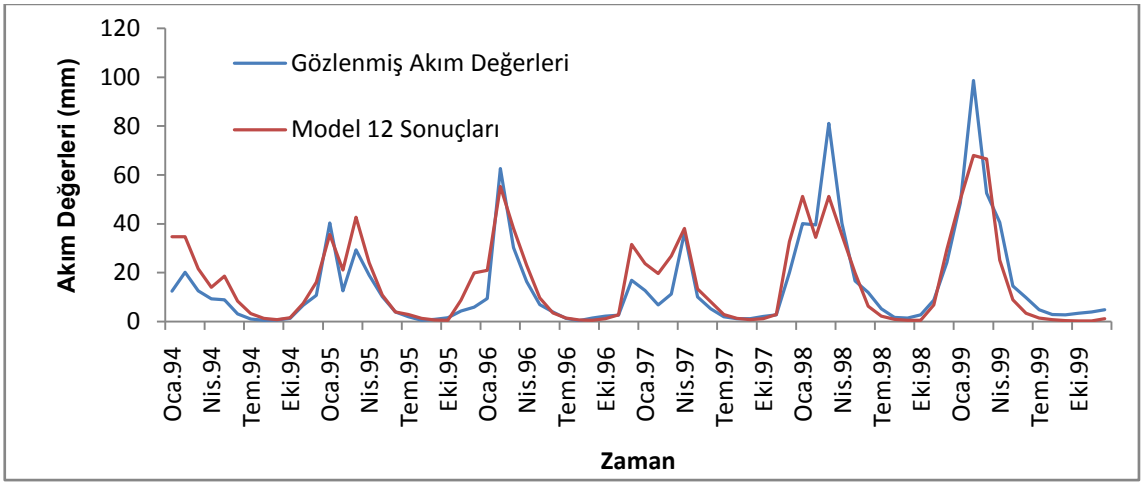


Şekil 4.53 Model 12- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %80'nini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.54'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.55'de verilmiştir.



Şekil 4.54 Model 12-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.55 Model 12-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.31'de sunulmuştur.

Tablo 4.31 Model 12- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.98539143	14.78	14.53	16.10
Çarpıklık	2.46076781	1.909963618	2.31678582	1.14756
Standart Sapma	19.49501657	18.44	19.22996586	17.71327
FKT	6.18		8.65	
R^2	0.899		0.802	

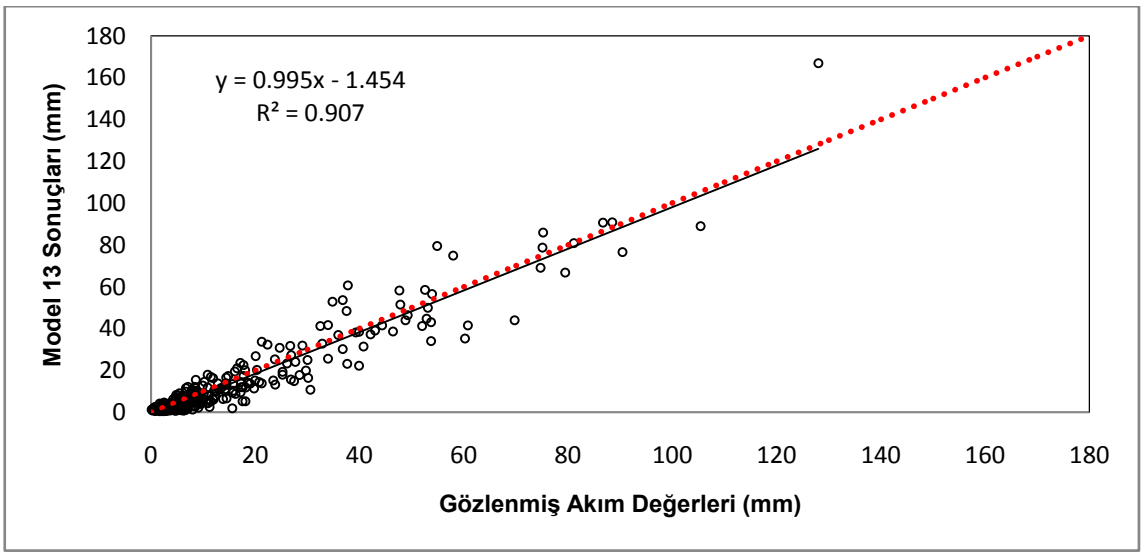
4.3.13 Model 13

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.32'de verilmiştir.

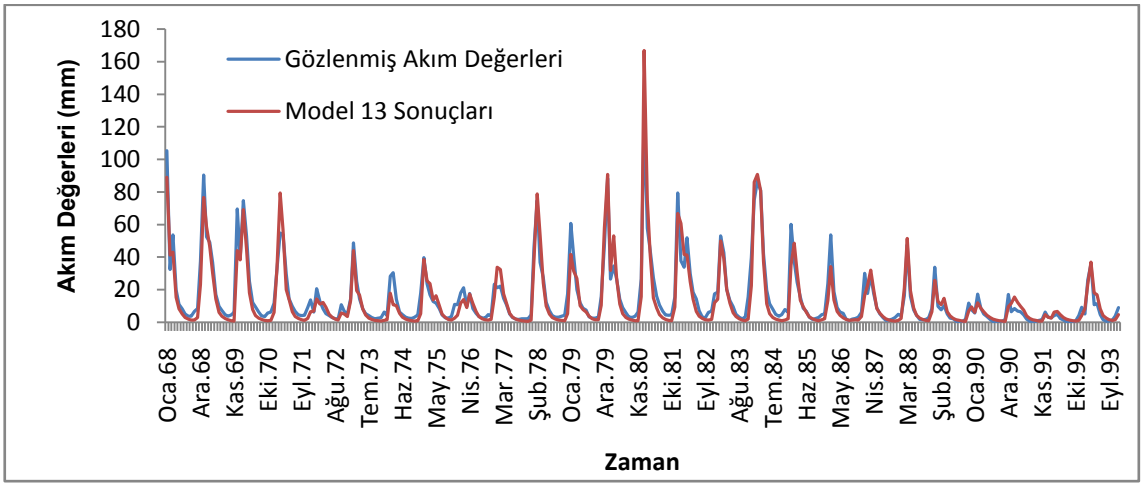
Tablo 4.32 Kalibrasyon Sonucunda Model 13'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
418.906	0.977

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %91'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.56'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.57'de verilmiştir.

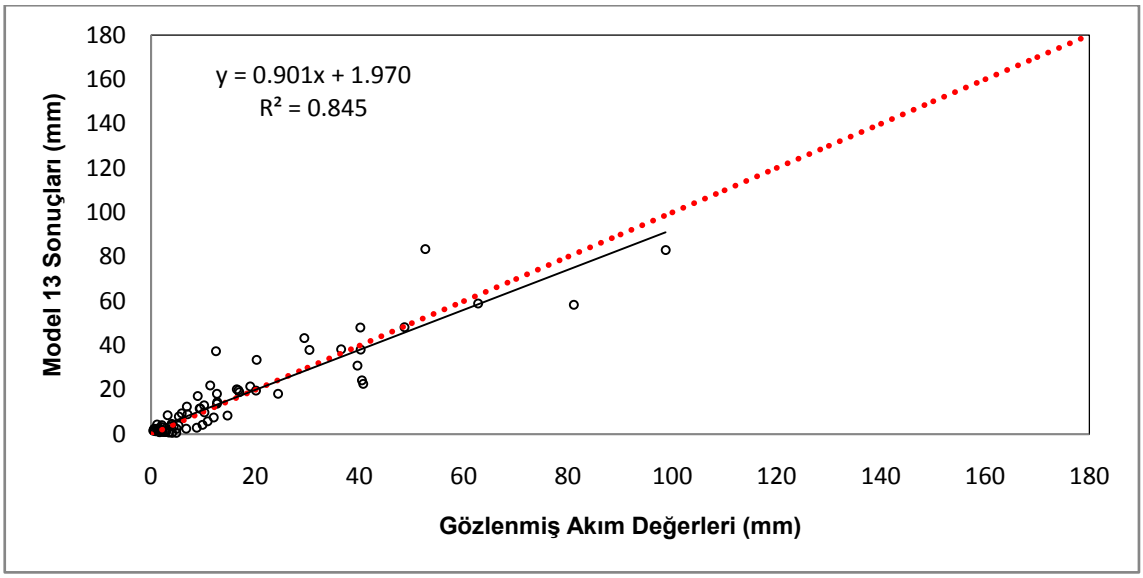


Şekil 4.56 Model 13-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

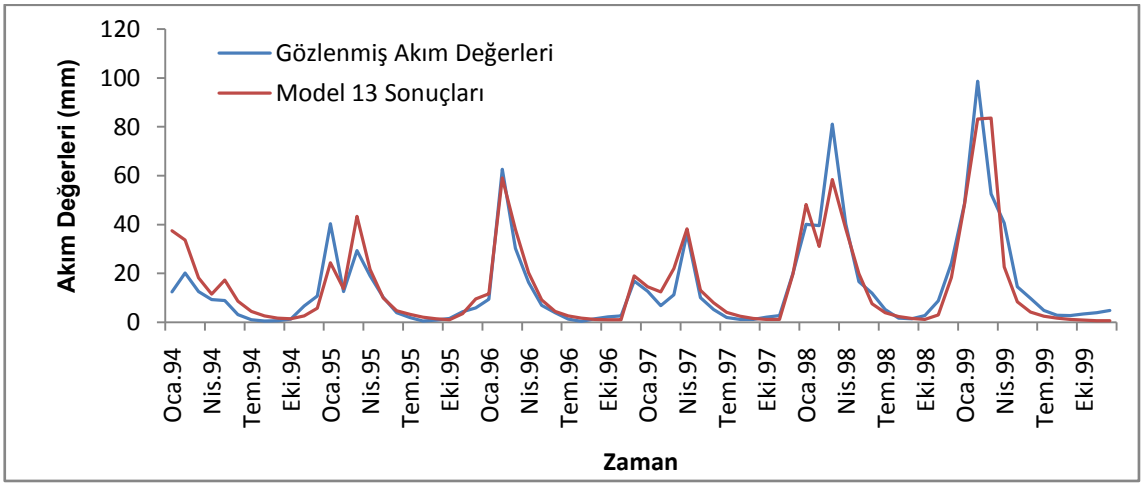


Şekil 4.57 Model 13- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %84'ünü (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.58'da, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.59'de verilmiştir.



Şekil 4.58 Model 13-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.59 Model 13-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.33'da sunulmuştur.

Tablo 4.33 Model 13- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.46	14.53	15.07
Çarpıklık	2.46076781	3.014138559	2.31678582	1.909268
Standart Sapma	19.49501657	20.3648762	19.22996586	18.85484
NSE	0.932		0.899	
R^2	0.907		0.845	

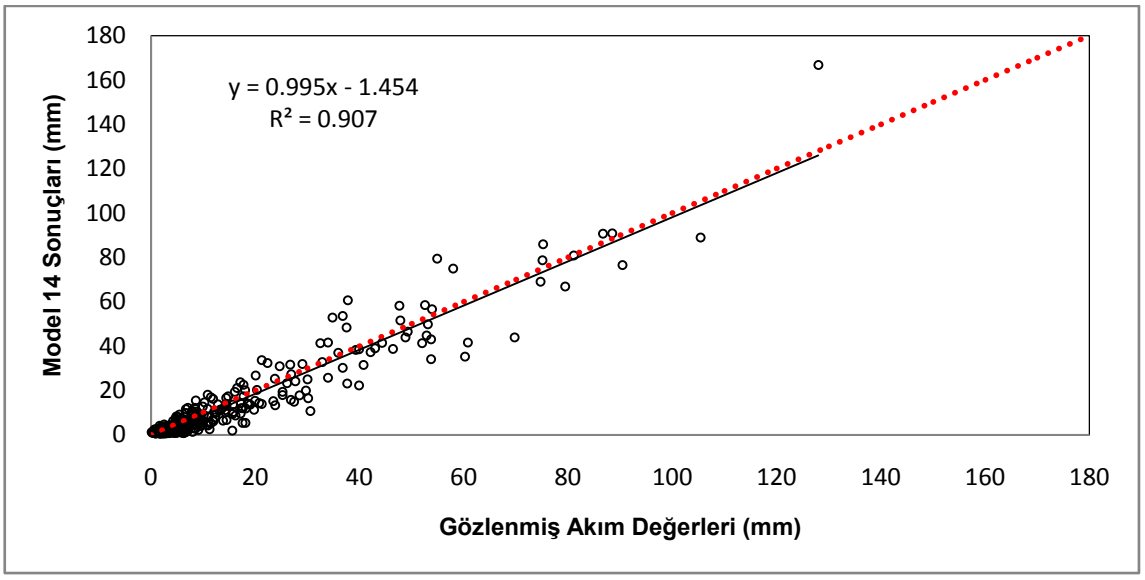
4.3.14 Model 14

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.34'de verilmiştir.

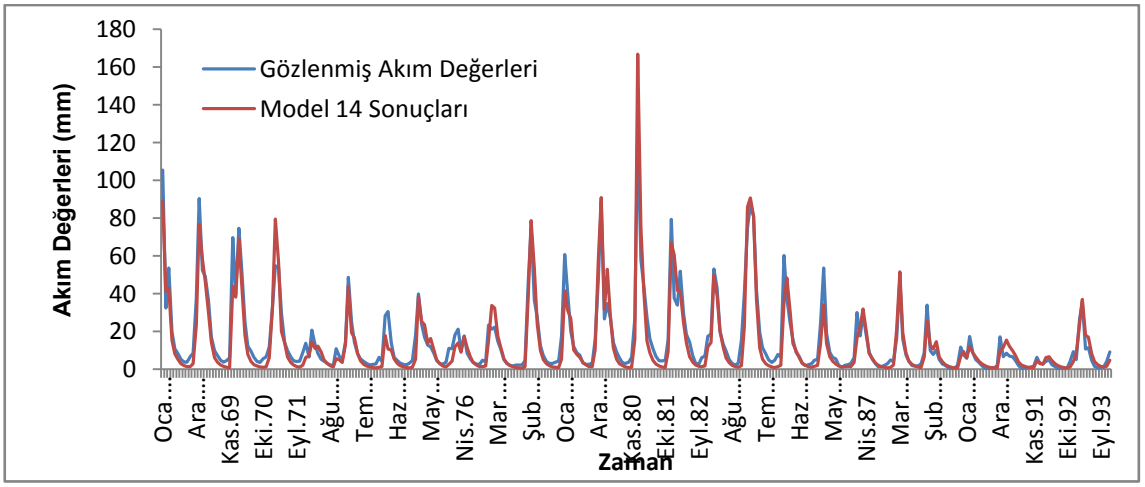
Tablo 4.34 Kalibrasyon Sonucunda Model 14'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
418.901	0.977

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %91'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.60'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.61'de verilmiştir.

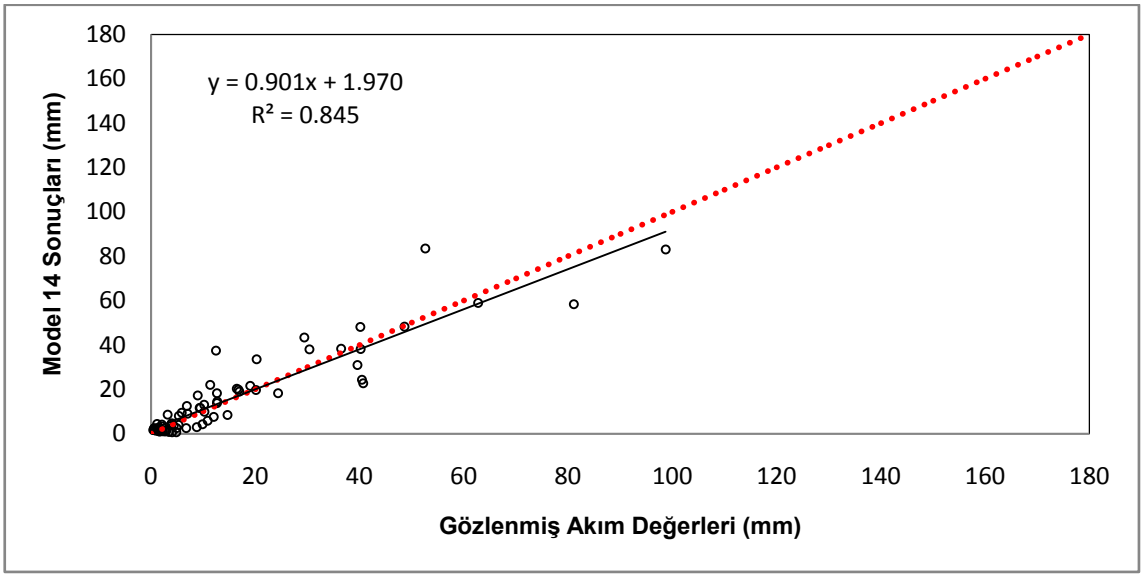


Şekil 4.60 Model 14-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

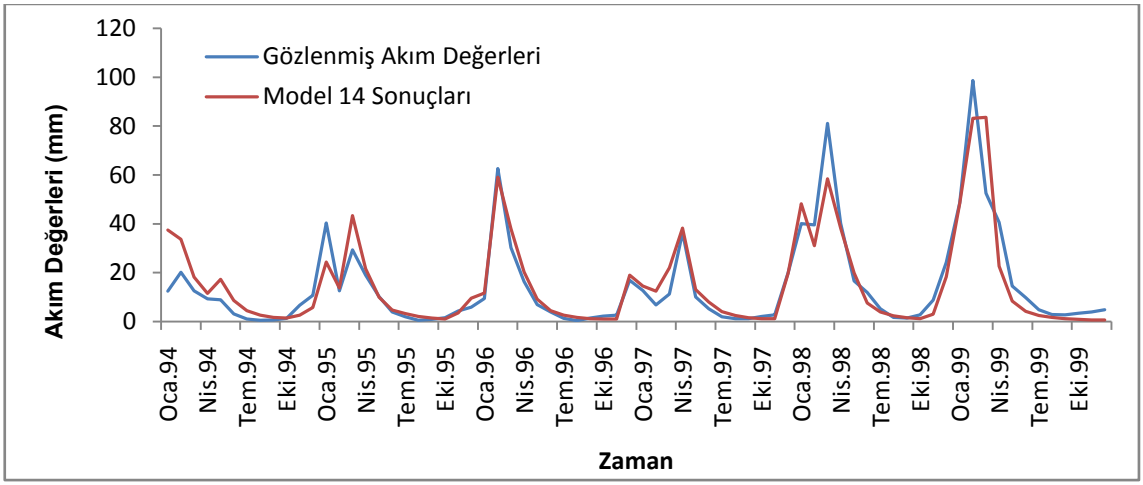


Şekil 4.61 Model 14- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %84'ünü (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.62'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.63'de verilmiştir.



Şekil 4.62 Model 14-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.63 Model 14-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.35'da sunulmuştur.

Tablo 4.35 Model 14- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.46	14.53	15.07
Çarpıklık	2.46076781	3.014149649	2.31678582	1.909268
Standart Sapma	19.49501657	20.36495097	19.22996586	18.85488
FKT	6.37		7.61	
R^2	0.907		0.845	

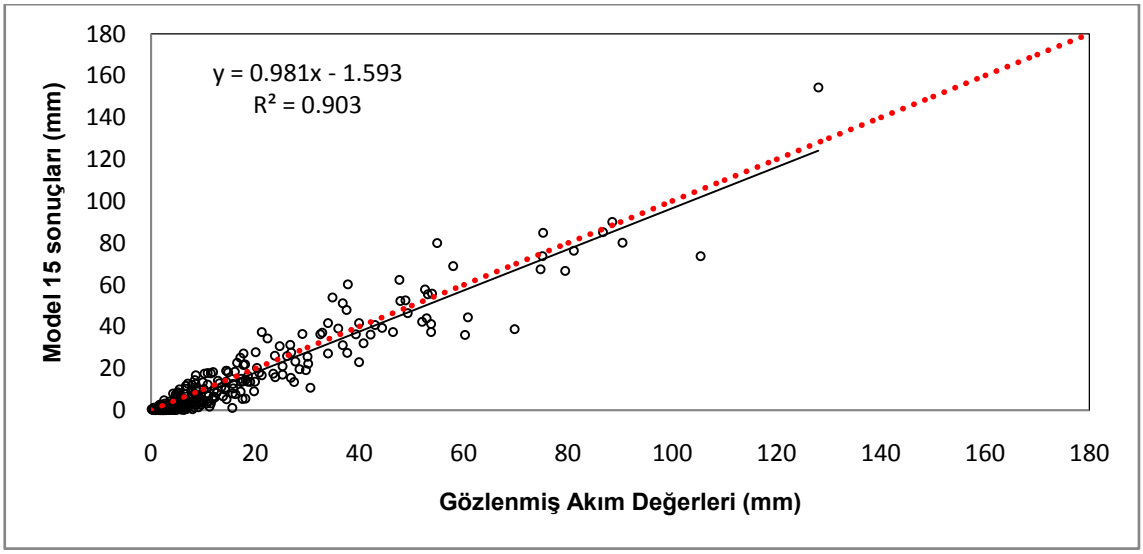
4.3.15 Model 15

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.36'de verilmiştir.

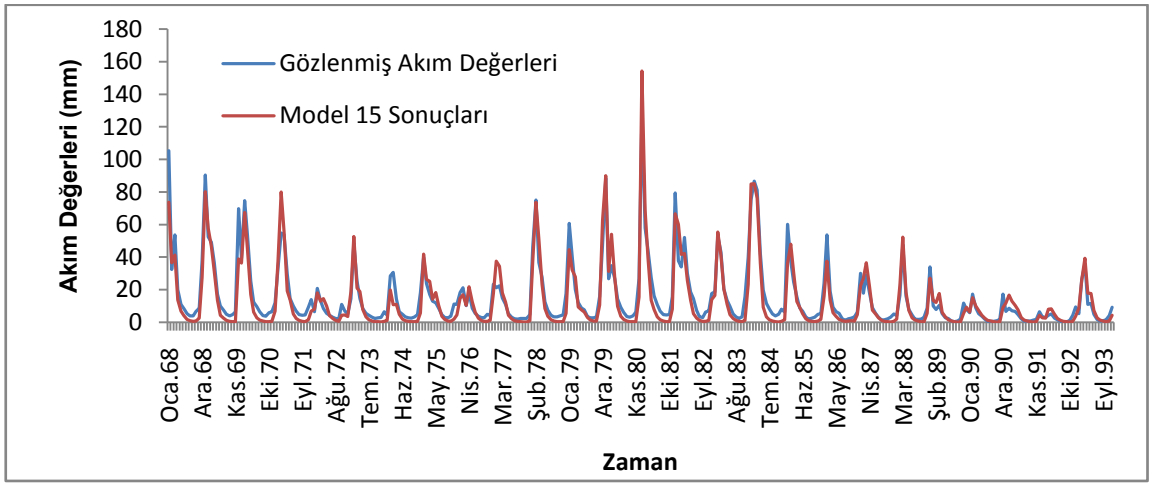
Tablo 4.36 Kalibrasyon Sonucunda Model 15'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
440.19	0.814

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %90'nını (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.64'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.65'de verilmiştir.

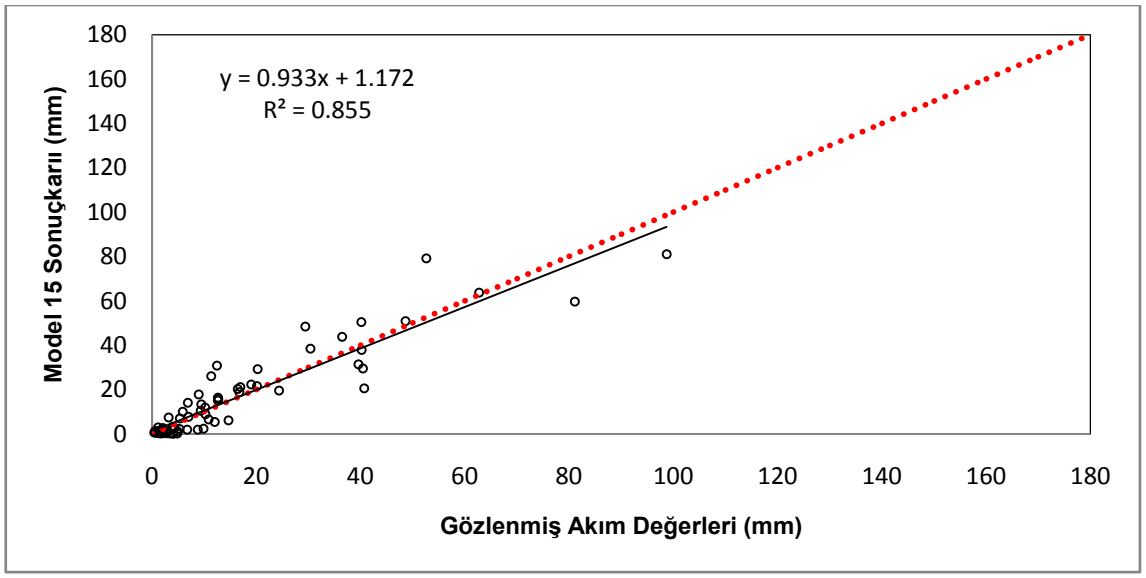


Şekil 4.64 Model 15-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

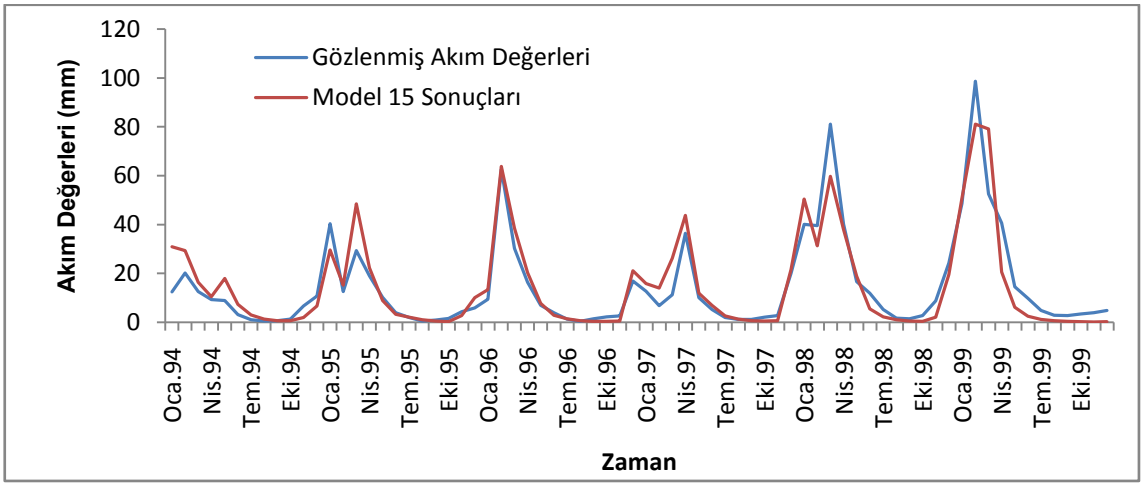


Şekil 4.65 Model 15- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %85'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.66'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.67'da verilmiştir.



Şekil 4.66 Model 15-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.67 Model 15-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.37'da sunulmuştur.

Tablo 4.37 Model 15- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.12	14.53	14.74
Çarpıklık	2.46076781	2.66647944	2.31678582	1.742845
Standart Sapma	19.49501657	20.14025641	19.22996586	19.40709
NSE	0.93		0.904	
R^2	0.903		0.855	

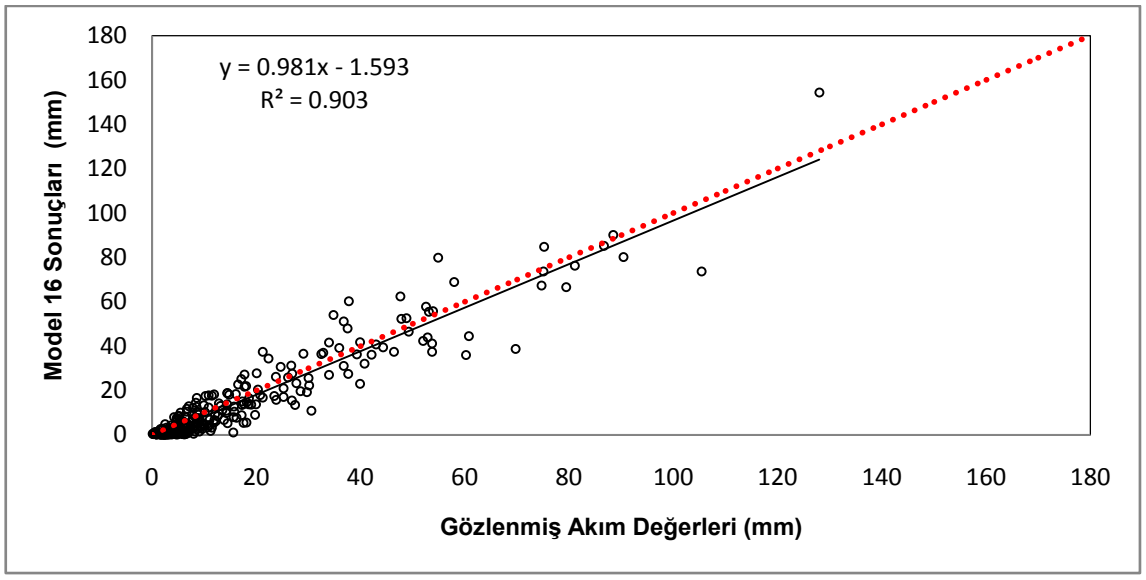
4.3.16 Model 16

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 4.38'de verilmiştir.

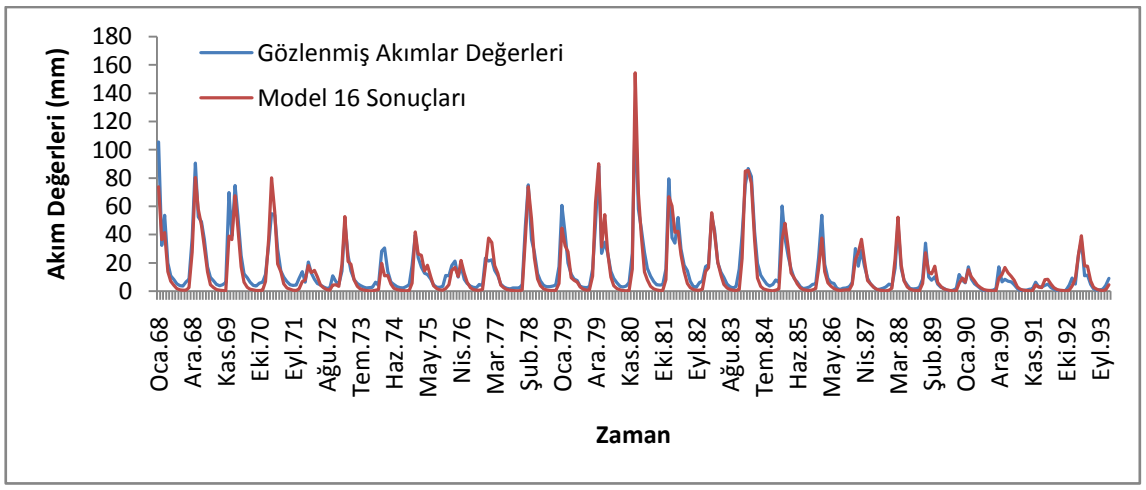
Tablo 4.38 Kalibrasyon Sonucunda Model 16'in Parametreleri

Parametreler	
X1(mm)	X5
440.193	0.814

Kalibrasyon sonucunda bulunan olası en iyi parametreler ile çalıştırılan model, gözlenmiş akımların varyansının %90'nını (R^2) karşılamaktadır. Model için kalibrasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.68'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiği Şekil 4.69'de verilmiştir.

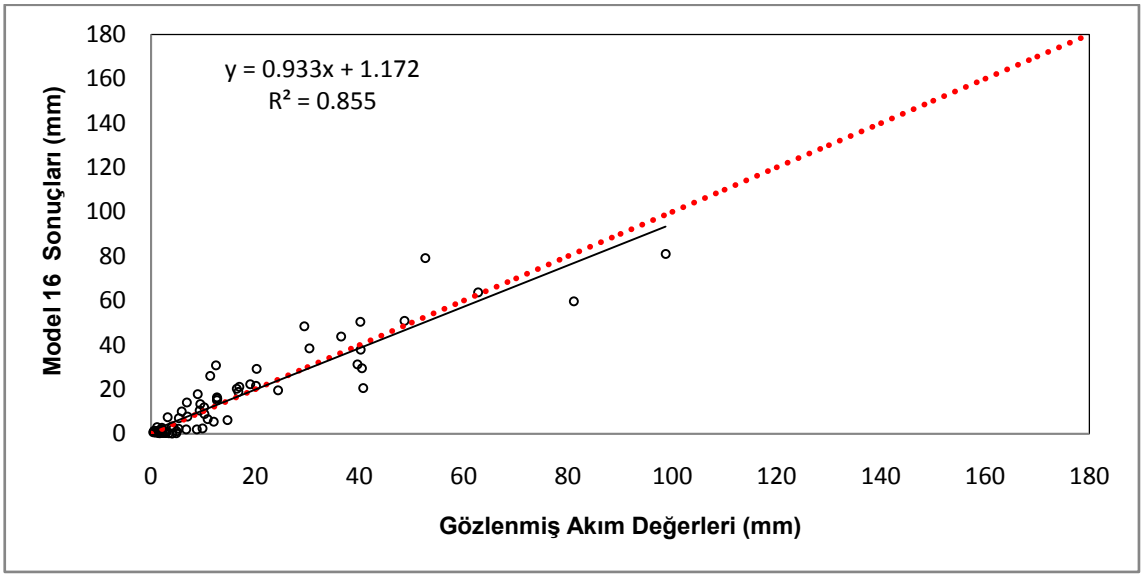


Şekil 4.68 Model 16-Kalibrasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı

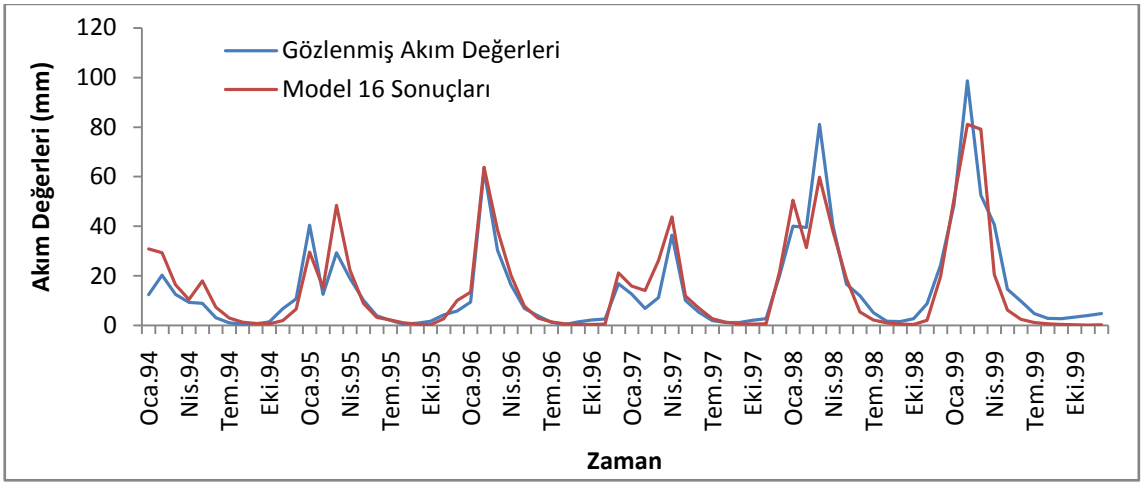


Şekil 4.69 Model 16- Kalibrasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiği

Verifikasyon sonucunda model, gözlenmiş akımların varyansının %85'ini (R^2) karşılamaktadır. Model için verifikasyon Aşamasında gözlenmiş akımlar ile model akımlarının saçılma diyagramı Şekil 4.70'de, gözlenmiş akımlar ile model akımlarının grafiğii Şekil 4.71'de verilmiştir.



Şekil 4.70 Model 16-Verifikasyon Aşamasında Saçılma Diyagramı



Şekil 4.71 Model 16-Verifikasyon Aşamasında Model Sonuçları ile Gözlenmiş Akım Değerlerinin Grafiğii

Model için gözlenmiş ve model akımlarının kalibrasyon ve verifikasyon Aşamasındaki istatistiki değerleri Tablo 4.39'da sunulmuştur.

Tablo 4.39 Model 16- Kalibrasyon ve Verifikasyon Aşamasındaki İstatistiki Değerler

İstatistikler	Akım Değerleri (mm/ay)			
	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Gözlenmiş	Model	Gözlenmiş	Model
Ortalama	14.99	13.12	14.53	14.74
Çarpıklık	2.46076781	2.666476138	2.31678582	1.742846
Standart Sapma	19.49501657	20.14022188	19.22996586	19.40706
FKT	6.54		7.43	
R^2	0.903		0.855	

4.4 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Model sonuçlarını incelediğimizde, Mouelhi et al (2006)'nin GR2M modeli 5 parametreli aile model yapısı-PMS versiyonu ile GR2M modeli 2 parametreli versiyonunun gözlenmiş akımları temsil etmede başarılı oldukları ve aralarında büyük farklar olmadığı görülmektedir. Fakat GR2M modelinin 2 parametreli versiyonu, 5 parametreli aile model yapısı-PMS'ye göre kalibrasyon ve verifikasyon süreclerinde ölçülen akımların varyansını daha doğru karşılamıştır.

Model sonuçlarını incelediğimizde Oudin (2004)'in önerdiği evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ile bulunan evapotranspirasyon değerleri model de kullanıldığında, Blaney-Criddle evapotranspirasyon hesaplama yöntemine göre model akımlarının, gözlenmiş akımları daha iyi temsil ettiği görülmüştür.

Modelin varyasyonlarından, kalibrasyon sürecinde GRG optimizasyon algoritması kullanılanların kalibrasyon sürecinde Genetik Algoritma kullanılan varyasyonlara göre gözlenmiş akımları daha iyi temsil ettiği görülmektedir. Modelin kalibrasyon sürecinde kullanılan, Nash-Sutcliffe performans kriteri ile bulunan sonuçlar ile, Farkların Kareleri Toplamı performans kriteri kullanılarak bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında ise Genetik Algoritma da Farkların Kareleri Toplamı kriterinin, GRG yönteminde ise Nash-Sutcliffe kriterinin gözlenmiş akımları daha iyi temsil ettiğini görmekteyiz. Aşağıda Tablo 4.40'da GR2M modelinin 16 varyasyonu için elde edilen, NSE, FKT ve determinasyon katsayısı R^2 değerleri verilmiştir.

Tablo 4.40 GR2M Modelinin 16 Varyasyonu için elde edilen NSE, FKT, R^2 Değerleri

Model	Kalibrasyon			Verifikasyon		
	NSE	FKT	R^2	NSE	FKT	R^2
Model 1	1.087	*	0.87	1.221	*	0.594
Model 2	*	6.491	0.898	*	7.587	0.844
Model 3	1.085	*	0.894	1.47	*	0.69
Model 4	*	6.908	0.875	*	11.978	0.807
Model 5	1.072	*	0.905	1.16	*	0.845
Model 6	*	6.386	0.909	*	7.462	0.85
Model 7	**1.109**	*****	**0.912**	**1.438**	*****	**0.852**
Model 8	*	6.373	0.904	*	13.115	0.853
Model 9	0.901	*	0.901	0.841	*	0.846
Model 10	*	5.69	0.915	*	8.66	0.804
Model 11	0.892	*	0.895	0.838	*	0.839
Model 12	*	6.18	0.899	*	8.65	0.802
Model 13	0.932	*	0.907	0.899	*	0.845
Model 14	*	6.37	0.907	*	7.61	0.845
Model 15	0.93	*	0.903	0.904	*	0.855
Model 16	*	6.54	0.903	*	7.43	0.855

Tablo 4.40'dan da görülebileceği gibi, modelin 16 varyasyonu arasından gözlenmiş akımları kalibrasyon ve verifikasyon aşamalarında en iyi temsil eden model sonuçlarını veren Model 7 olmuştur. Model 7'de evapotranspirasyon hesaplama yöntemi olarak Oudin et al. (2004)'ün önerdiği yöntem, optimizasyon algoritması olarak Genetik Algoritma ve performans kriteri olarak Nash-Sutcliffe kriteri kullanılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında kavramsal ve tutumlu bir yağış-akış modeli olan ve daha önce, Makhlouf ve Michel (1994) tarafından Fransa'daki 91 havzada çalıştırılan, Mouelhi (2003) tarafından Fransa, Amerika, Brezilya ve Fildişi Sahilleri'ndeki 429 havza için çalıştırılan, Niel, Paturel, Servat (2003) tarafından Orta ve Batı Afrika'da iklim değişikliğinin etkilerini incelemek için kullanılan ve Mouelhi et al (2006) tarafından Fransa, Fildişi Sahilleri, Amerika, Çin ve Brezilya'daki 410 havzada çalıştırılan ve tatmin edici sonuçlar elde edilen, GR2M modelini Büyük Menderes Havzası'nın Çine alt havzasında çalıştırılmıştır.

GR2M modelinin Çine alt havzasında uygulanması için, modelin Moeulhi et al. (2006) tarafından Boughton (2005)'in "parametre azaltma" olarak tanımladığı yöntem kullanılarak, Perrin (2003)'ün geliştirdiği günlük çalışan GR4J yağış-akış modelinden, aylık çalışan GR2M yağış-akış modeline geçişte kullandığı, GR2M modelinin 5 parametreli aile model yapısı-PMS ile Moeulhi et al. (2006)'nın çalışması sonucunda son şeklini verdiği, 2 parametreli GR2M modeli seçildi. Böylece Çine alt havzasındaki gözlenmiş akımları GR2M modelinin 2 farklı versiyonu için inceledik ve GR2M modelinde daha fazla parametre kullanmanın, modelin gözlenmiş akımları temsil etmedeki başarısına etkisi de incelenmiştir.

Modelin uygulanmasında, Blaney-Criddle evapotranspirasyon hesaplama yöntemi ile Oudin et al. (2004)'ün önerdiği evapotranspirasyon hesaplama yöntemi olmak üzere 2 farklı yöntem kullanarak ve modelin kalibrasyon sürecinde optimizasyon algoritması olarak Genetik Algoritma ve Doğrusal Olmayan En İyi Hale Getirme Yöntemi-GRG olmak üzere 2 farklı yöntem kullanarak ve yine kalibrasyon sürecinde Nash-Sutcliffe ve Farkların Kareleri Toplamı kriterleri olmak üzere 2 farklı performans kriteri kullanarak, model Tablo 4.4'den de görülebileceği gibi toplam 16 farklı şekilde Büyük Menderes Havzası'nın Çine alt havzasında çalıştırılmıştır.

Bölüm 4'deki model sonuçlarını incelediğimizde GR2M aylık-yağı akış modelinin, Büyük Menderes Havzası'nın Çine alt havzasındaki gözlenmiş akımlarını başarı ile temsil ettiği görülmüştür.

Büyük Menderes Havzası'nın Çine alt havzasında başarılı sonuçlar vereni basit ve hızlı modelleme imkanı ile birlikte az veriye ihtiyaç duyan, tutumlu bir model olan GR2M'nin gelecekte daha farklı evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri, performans kriterleri ve optimizasyon algoritmaları ile Türkiye'deki farklı havzalarda çalıştırılarak, modelin kullanılabilirliği ve farklı optimizasyon algoritmalarının, performans kriterlerinin, evapotranspirasyon hesaplama yöntemlerinin modelin verimliliğine olan etkileri irdelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Çelik, U. ve Fıstıkoğlu, O. (2005). İki parametreli aylık akım modeli CBS entegrasyonu ve Gediz havzasında uygulanması. Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Ana Bilim Dalı. Dokuz Eylül Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. İzmir

2. Xu C.Y. ve Singh V.P. (1998). A review on monthly water balance models for water recources investigations. Water Resources Managment. Volume 12, Issue 1

3. Thornthwaite C.W. ve Mather J.R. (1955). The water balance. Drexl inst. Technol. Publication in Climantology Laboratory of Climatology, vol. 8(1) (1-104)

4. Xiong L. ve Guo S. (1999). A Two-parameter monthly water balance model and its application. Journal of Hydrology, 216 (1999) (111-123). Wuhan University Of Hydraulic And Electrical Eng. Wuhan. China

5. Makhlouf, Z. ve Michel, C. (1994). A two-parameter monthly waterbalance model for French watersheds. Journal of Hydrology 162 , (1994), (299–318). Cemagref. Hydrology Division. France

6. Mouelhi, S. Michel, C. Perrin, C. Andreassian, V. (2006). Stepwise development of a two parameter monthly water balance model. Journal of Hydrology 318, (2006), (200-214). Cemagref. Hydrosystems Research Unit. France

7. Fıstıkoğlu O. (1999). Hidrolojik modeller. Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 24-26 Kasım 1999, Ankara. S. 799-809.

8. Bayazıt, M. (1998). Hidrolojik modeller. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası. İstanbul.

9. Singh, V.P. (1995). Watershed Modeling. V. P. Singh, (Ed.). Computer models of watershed hydrology (1-22). Water Resources Publications, Littleton.

10. Refsgaard, J.C. (1996). Terminology, modeling protocol and classification of hydrological model codes. Abbott, M.B. and J.C. Refsgaard (Ed.). Distributed hydrological modelling (17-39). Netherland: Kluver Academic Publihers

11. Diskin, M. H. ve Simon, E. (1979). The relationship between the time bases of simulation models and their structure. Water Resources Bulletin, Vol. 15, No. 6, pp. 1716-1732.

12. Harmancıoğlu, N. ve Özkul, S. (2000). Su kaynakları yönetiminde bilgisayar modellerinin kullanılması. D.E.Ü. Yayınları. İzmir

13. Seven, M. ve Fıstıkoğlu, O. (2005). Su bütçesi aylık akım modeli-CBS entegrasyonu ve Gediz havzasında uygulaması. Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Ana Bilim Dalı. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir

14. Alley, W.M. (1984). On the treatment of evapotranspiration, soilmoisture accounting and aquifer recharge in monthly water balance models. Water Resour. Res. 20 (8), (1137–1149)

15. Palmer, W.C. (1965). Meteorologic drought. Res. Pap. U.S Weather Bur. 45, 58.

16. Guo, S. (1992). Monthly water balance models for climate change impact study. Proceedings of First National Post-doctoral Conference, National Defense Industry Press, Beijing pp. (2034–2037).

17. Guo, S., (1995). Impact of climatic change on hydrological balance and water resource systems in the Dongjiang Basin, China. Modeling and Management of Sustainable Basin-Scale Water Resource. LAHS Publ. no. 231.

18. Thomas, H.A. (1981) Improved methods for national water assessment. U.S. Water Resource Council. Washington, D.C.

19. Vandewiele, G.L., Xu C.Y., Win, N.L. (1992). Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, China and Burma. Journal of Hydrology. 134, 315–347.

20. Mimikou, M., Kouvopoulos, Y., Cavadias, G., Vayianos, N., (1991). Regional hydrological effects of climate changes. Journal of Hydrology, 123, (119–146).

21. Niel, H. Paturel, J. Servat, E. (2003). Study of parameter stability of a lumped hydrologic model in a context of climatic variability. Journal of Hydrology 278, (2003), (213-230). Cemagref. France

22. Perrin, C., Michel, C., Andre´assian, 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).

23. Perrin, C., Michel, C., Andre ´assian, V., 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Journal of Hydrology 279, (275–289).

24. Edijatno and Michel, C., (1989). Un modele pluie-debit journalier - trois parametres. Houille Blanche, 2: (113-121).

25. Boughton, W., (1984). A simple model for estimating the water yield of ungauged catchments. Civil Eng. Trans., Institution of Engineers, Australia CE26 (2): 83-88.

26. Boughton, W., (2004). The Australian Water Balance Model. Environmental modelling and software, 19, (943–956).

27. Boughton, W., (2005). Catchment water balance modelling in Australia 1960- Agricultural Water Management , 71,(91–116).

28. Jayasuriya, L.N., McMahon, T.A., O'Neill, I.C., (1991). Development of a simplified two-parameter rainfall-runoff model with potential for ungauged catchment application. International Hydrology and Water Resources Symposium, vol. 2, (498–503)

29. Chiew, F.H., McMahon, T.A., (1994). Application of the daily rainfall-runoff model MODHYDROLOG to 28 Australian catchments. Journal of Hydrology, 153, (383–416).

30. Acatay, T., (1996). Sulama Mühendisliği. Dokuz Eylül Üniversitesi vakfı. İzmir

31. Sammis, T.W. Wang, J. Miller, D.R. (2011) The transition of the Blaney-Criddle Formula to the Penman-Monteith Equation in the Western United States. Journal of Service Climatology. Volume 5, Number 1, Pages 1-11.

32. Bayazıt, M. (2003). Hidroloji. İstanbul. Birsen Yayınevi

33. Oudin, L. Hervieu, F. Michel, C. Perrin, C. Andreassian, V. Anctil, F. Loumagne, C. (2004). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2- Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. Cemagref ,Hydrology and Water Quality Research Unit. Journal of Hydrology, 303, 209-306.

34. Thornthwaite, C.W., (1948). An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review 38, 55–94.

35. Penman, H.L., (1948).Natural evaporation fromopenwater, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London 193, 120–145.

36. Blaney, H.F., Criddle,W.D., (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.Technical Paper no. 96, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service.

37. Jensen, M.E., Haise, H.R., (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 89 (LR4), 15–41.

38. McGuinness, J.L., Bordne, E.F., (1972). A comparison of lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values. Technical Bulletin 1452, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.

39. Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., (1982). Estimating potential evapotranspiration. Technical note. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 108, 225–230.

40. Morton, F. I. (1983). Operational estimates of a real evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. National Hydrology Research Institute. Journal of Hydrology, 66, 1-76.

41. Awad, A. R. Poser I. V. (2010). Calibrating conceptual rainfall-runoff models using a real genetic algorithm combined with a local search method. Department of Environmental Engineering. Faculty of Civil Engineering. Tishreen University.

42. Holland, J. H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, USA.

43. Ibbitt, R. P., and O'Donnell T. (1971). Fitting methods for conceptual catchment models. J. Hydraul. Engng 97, 1331-1342.

44. Johnston, P. R., and Pilgrim D. H., (1976). Parameter optimization for watershed models. Water Resour. Res. 12(3), 477-486

45. Hendrickson, J. D., Sorooshian S., and Brazil L. E. (1988). Comparison of Newton-type and direct search algorithms for calibration of conceptual rainfall-runoff models. Water Resour. Res. 24, 691-700.

46. Gupta, V. K., and Sorooshian S. (1985). The automatic calibration of conceptual catchment models using derivative-based optimization algorithms. Water Resour. Res. 21(4), 437-485.

47. Özçakar, N. (1998). Genetik algoritmalar. İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi. C:27, S:1, 69-82.

48. Gülsün, B. Tuzkaya, G. Duman, C. (2009). Genetik algoritmalar ile tesis yerleşimi tasarımı ve bir uygulama. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 10 (1), 73-87.

49. Chipperfield A., Fleming P., Pohlheim P., Fonseca, C. (2001). “Genetic Algortihm TOOLBOX” For use with Matlab ®. University of Sheffield. Department of Automatic Control and System Engineering.

50. Pike, R. W. (2001). Optimization for engineering system. Louisiana State University.

51. Wolfe, P. ve Graves, R. L. (1963). Recent advances in mathematical programming. McGraw - Hill Book Company, New York.

52. Wilde, D. J. ve Beightler, C. S. (1967). Foundations of optimization. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

53. Abadie, J. ve Carpentier, J. (1969) "Generalization of the Wolfe Reduced Gradient Method to the Case of Nonlinear Constraints", in Optimization, Academic Press London, 37-47.

54. Nash, J. E. & Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Journal of Hydrology, 10 (282-290).

55. Wagener, T. Wheater, H.S. Gupta, H.V. (2004). Rainfall-Runoff modelling in gauged and ungauged catchments. Imperial College Press.

56. Fırat, M. (2007). Sinirsel bulanık mantık yaklaşımı ile havza modellemesi. Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi. Denizli

57. http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents