İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURAK BÖLGE AYLIK YAĞIŞLARININ MARKOV ZİNCİRİ EKLENMİŞ KOŞULLU YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Ahmad DAHAMSHEH

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURAK BÖLGE AYLIK YAĞIŞLARININ MARKOV ZİNCİRİ EKLENMİŞ KOŞULLU YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Ahmad DAHAMSHEH
(501022260)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Haziran 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ekim 2008

Tez Danışmanı : **Doç.Dr. Hafzullah AKSOY**

Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Beyhan YEĞEN (İ.T.Ü.)**

Doç.Dr. Yurdanur ÜNAL (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU (Y.T.Ü.)

Yard.Doç.Dr. C. Melek KAZEZYILMAZ ALHAN (İ.Ü.)

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Yağış, sıcaklık, basınç vb meteorolojik olayların tahmini su kaynakları alanındaki çalışmalar için önemlidir. Küresel ısınma, kuraklık ve taşkınlar meteorolojik parametrelere bağlıdır. Parametreler arasındaki dengelerde küçük bir değişim olması durumunda beklenmeyecek kadar korkunç sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Yağış gibi atmosferin en önemli parametresi, incelemesi, tahmin edilmesi ve bağlı olduğu parametrelerin tespit edilmesi çok önemlidir.

Bu çalışmada en olumsuz durumlara karşı bir yapay sinir ağları modelleri kurulmuştur. Kurulan modellerin amacı önceki aylara ait yağış verilerini kullanarak bir sonraki ayın yağışı tahmin edilmesidir.

Çalışmalarım boyunca bana desteğini hiç eksik etmeyen, değerli vaktini bana ayıran, ve zorlandığım noktalarda yol göstericiliği ile sonuca ulaşmamı sağlayan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Hafzullah AKSOY'a en içten hürmet ve şükranlarımı sunarım. Tez izleme jüri üyelerim Prof. Dr. E. Beyhan Yeğen ve Doç. Dr. Yurdanur Ünal'a da çalışmaya verdikleri çok değerli katkı ve çalışma süresince gösterdikleri yakın ilgiden dolayı müteşekkirim. Tezin bilimsel altlığının oluşmasında çok büyük katkılar olan Prof. Dr. H. Kerem Cığızoğlu'na ve tezin yazım kılavuzuna uygun hale getirilmesinde bana yardımcı olan Yük. Müh. Ebru Eriş'e teşekkür borçluyum. Tez sınavı jüri üyelerim Prof. Dr. Hayrullah Ağaççıoğlu ve Yard. Doç. Dr. Melek Kazezyılmaz Alhan'a da harcadıkları zaman ve yaptıkları değerli katkılar için teşekkürlerimi sunarım..

Ayrıca çalışmamda desteklerini her zaman yanımda gördüğüm bölümümüzün kıymetli diğer hocalarına ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca doktora eğitimim boyunca bana destek olan ve sabır gösteren eşime, çocuklarıma, kayın pederime ve kayın valideme şükranlarımı sunarım.

Ekim 2008 Ahmad DAHAMSHEH

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **xxii**
ÖZET **xxiii**
SUMMARY **xxiv**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Konusu 1
1.2. Konunun Önemi 1
1.3. Çalışmanın Amacı 2
1.4. Çalışmanın Yöntemi 2
1.5. Çalışmanın Düzeni 3

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI **5**
2.1. Genel 5
2.2. Ürdün ile İlgili Yapılan Çalışmalar 6
2.3. YSA ile Yağış Tahmini 7
2.4. YSA'nın Hidroloji ve Meteoroloji Alanlarında Kullanılması 13
2.4.1. YSA ile Yağış-Akış Modelleri 13
2.4.2. YSA ile Akış-Akış Modelleri 16
2.4.3. Diğer Hidrometeorolojik Uygulamalar 19
2.5. YSA ile Sentetik Seri Türetilmesi 20
2.6. Stokastik Yöntemlerle Yapılan Çalışmalar 21
2.7. Değerlendirme Sonuçları 23
2.8. Çalışmanın Gerekliliği 24

3. UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ **26**
3.1. Genel Bilgi 26
3.2. Amman İstasyonu Yağış Gözlemlerinin İstatistik Özellikleri 29
3.3. Eğitme ve Test Verileri 30
3.4. Homojenlik ve Trend Testleri 32
3.4.1. Von-Neumann Oranı Testi 32
3.4.2. Pettitt Testi 33
3.4.3. Standart Normal Homojenlik Testi 34
3.4.4. t Testi 35
3.4.5. Spearman Sıra Testi 36
3.4.6. Homojenlik ve Trend Test Sonuçları 36

4. YÖNTEMLER **38**
4.1. YSA Modelleri 38
4.2. Nöron Modelleri 41
4.3. Aktivasyon Fonksiyonu Çeşitleri 41

4.4. İleri Beslemeli Geri Yayılım (İBGY) YSA 44
4.5. Radyal Tabanlı (RT) İşlemci YSA 47
4.6. Genelleştirilmiş Regresyon (GR) YSA 49
4.7. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon (ÇDR) 51

5. YSA MODELLERİ 52
5.1. Girdilerin Seçilmesi 52
5.2. Performans Kriterleri 54
5.3. İBGY YSA Modeli 55
5.4. RT YSA Modeli 58
5.5. GR YSA Modeli 60
5.6. ÇDR Modeli 60
5.7. Modellerin Karşılaştırılması 62

6. MARKOV ZİNCİRLERİ EKLENMİŞ YSA MODELLERİ 65
6.1.Markov Zincirleri 65
6.2. Yağışlı Olan ve Yağışlı Olmayan Aylar 66
6.3. Markov Zincirlerinin Tahmin Algoritması 67
6.4. MC-İBGY YSA Modeli 69
6.5. MC-RT YSA Modeli 71
6.6. MC-GR YSA Modeli 73
6.7. MC-ÇDR Modeli 73
6.8. MC Eklenmiş Modellerin Karşılaştırılması 76

7. SENTETİK SERİLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YSA MODELLERİ 77
7.1. Sentetik Seri Türetilmesi 77
7.2. T-F Modeli 78
7.3. Smc-İBGY YSA Modeli 79
7.4. Smc-RT YSA Modeli 83
7.5. Smc-GR YSA Modeli 85
7.6. Smc-ÇDR Modeli 85
7.7. Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Karşılaştırılması 86

8. KOŞULLU YSA MODELLERİ 90
8.1. Giriş 90
8.2. sMC-kİBGY YSA Modeli 95
8.3. sMC-kRT YSA Modeli 97
8.4. sMC-kGR YSA Modeli 99
8.5. sMC-kÇDR Modeli 99
8.6. Koşullu Modellerin Karşılaştırılması 101

9. DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER 104
9.1. Değerlendirmeler 104
9.2. Sonuçlar ve Öneriler 105

KAYNAKLAR 107

EKLER 117

ÖZGEÇMİŞ 235

KISALTMALAR

YSA : Yapay sinir ağları
MC : Markov zincirleri
T-F : Thomas-Fiering
İBGY : İleri beslemeli geri yayılım
RT : Radyal tabanlı işlemci
GR : Genelleştirilmiş regresyon
ÇDR : Çok değişkenli doğrusal regresyon
MC-YSA : Markov zincirleri ile birleştirilmiş yapay sinir ağları
MC-İBGY : Markov zincirleri ile birleştirilmiş ileri beslemeli geri yayılım
MC-RT : Markov zincirleri ile birleştirilmiş radyal tabanlı işlemci
MC-GR : Markov zincirleri ile birleştirilmiş genelleştirilmiş regresyon
MC-ÇDR : Markov zincirleri ile birleştirilmiş çok değişkenli doğrusal regresyon
sYSA : Sentetik serilerle güçlendirilmiş yapay sinir ağları
sİBGY : Sentetik serilerle güçlendirilmiş ileri beslemeli geri yayılım
sRT : Sentetik serilerle güçlendirilmiş radyal tabanlı işlemci
sGR : Sentetik serilerle güçlendirilmiş genelleştirilmiş regresyon
sÇDR : Sentetik serilerle güçlendirilmiş çok değişkenli doğrusal regresyon
sMC-YSA : Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş yapay sinir ağları
sMC-İBGY : Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş ileri beslemeli geri yayılım
sMC-RT : Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş radyal tabanlı işlemci
sMC-GR : Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş genelleştirilmiş regresyon
sMC-ÇDR : Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş çok değişkenli doğrusal regresyon
kYSA : Koşullu yapay sinir ağları
kİBGY : Koşullu ileri beslemeli geri yayılım
kRT : Koşullu radyal tabanlı işlemci
kGR : Koşullu genelleştirilmiş regresyon
kÇDR : Koşullu çok değişkenli doğrusal regresyon
MC-kYSA : Markov zincirleri ile birleştirilmiş yapay sinir ağları
MC-kİBGY : Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu ileri beslemeli geri yayılım
MC-kRT : Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu radyal tabanlı işlemci
MC-kGR : Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu genelleştirilmiş regresyon
MC-kÇDR : Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu çok değişkenli doğrusal regresyon

sMC-kYSA	: Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş yapay sinir ağları
sMC-kİBGY	: Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu ileri beslemeli geri yayılım
sMC-kRT	: Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu radyal tabanlı işlemci
sMC-kGR	: Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu genelleştirilmiş regresyon
sMC-kÇDR	: Sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş koşullu çok değişkenli doğrusal regresyon
OKH	: Ortalama karesel hata
OH	: Ortalama hata
OMH	: Ortalama mutlak hata

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	:Çalışmada kullanılan yağış istasyonlarının özellikleri.....	29
Tablo 3.2	:Amman istasyonu yağış serisinin istatistikleri.....	29
Tablo 3.3	:Amman istasyonu aylık toplam yağış verilerinin istatistikleri.....	32
Tablo 3.4	:Von-Neumann oranı testinin %5 anlamlılık düzeyindeki kritik değerleri.....	33
Tablo 3.5	:Pettitt testi için %5 anlamlılık düzeyindeki kritik değerleri.....	34
Tablo 3.6	:Standart Normal Homojenlik testi için %5 anlamlılık düzeyindeki kritik değerleri.....	35
Tablo 3.7	:Amman istasyonunun homojenlik ve trend analizi.....	37
Tablo 5.1	:Model seçimi.....	53
Tablo 5.2	:Modellerin performans kriteri.....	64
Tablo 6.1	:Amman istasyonuna ait 2 durumlu Markov zinciri geçiş olasılıkları.....	69
Tablo 6.2	:MC ile birleştirilmiş modellerin performans kriteri.....	76
Tablo 7.1	:Sentetik serilerle güçlendirilmiş modellerin performans kriterleri.....	89
Tablo 8.1	:Seçilen modellerin performans kriterleri.....	103
Tablo A.1	:Sentetik serilerle güçlendirilmiş modellerin performans kriteri.....	122
Tablo B.1	:Koşullu modellerin performans kriteri.....	128
Tablo C.1	:MC ile birleştirilmiş Koşullu modellerin performans kriteri.....	134
Tablo D.1	:Sentetik serilerle güçlendirilmiş Koşullu modellerin performans kriteri.....	140
Tablo E.1	:Safawi istasyonu yağış serisinin istatistikleri.....	142
Tablo E.2	:Safawi istasyonu aylık toplam yağış verilerinin istatistikleri.....	144
Tablo E.3	:Safawi istasyonunun homojenlik ve trend analizi.....	144
Tablo E.4	:Model seçimi.....	145
Tablo E.5	:Modellerin performans kriteri.....	150
Tablo E.6	:Safawi istasyonuna ait 2 durumlu Markov zinciri geçiş olasılıkları.....	151
Tablo E.7	:MC ile birleştirilmiş modellerin performans kriteri.....	156
Tablo E.8	:Sentetik serilerle güçlendirilmiş modellerin performans kriterleri.....	162
Tablo E.9	:Seçilen modellerin performans kriterleri.....	167
Tablo E.10	:Sentetik serilerle güçlendirilmiş modellerin performans kriteri...	172
Tablo E.11	:Koşullu modellerin performans kriteri.....	177
Tablo E.12	:MC ile birleştirilmiş Koşullu modellerin performans kriteri.....	182
Tablo E.13	:Sentetik serilerle güçlendirilmiş Koşullu modellerin performans kriteri.....	187
Tablo F.1	:Baqura istasyonu yağış serisinin istatistikleri.....	189

Tablo F.2 :Baqura istasyonu aylık toplam yağış verilerinin istatistikleri..... 191
Tablo F.3 :Baqura istasyonunun homojenlik ve trend analizi..... 191
Tablo F.4 :Model seçimi..... 192
Tablo F.5 :Modellerin performans kriteri..... 197
Tablo F.6 :Baqura istasyonuna ait 2 durumlu Markov zinciri geçiş olasılıkları..... 198
Tablo F.7 :MC ile birleştirilmiş modellerin performans kriteri..... 203
Tablo F.8 :Sentetik serilerle güçlendirilmiş modellerin performans kriterleri..... 209
Tablo F.9 :Seçilen modellerin performans kriterleri..... 214
Tablo F.10 :Sentetik serilerle güçlendirilmiş modellerin performans kriteri... 219
Tablo F.11 :Koşullu modellerin performans kriteri..... 224
Tablo F.12 :MC ile birleştirilmiş Koşullu modellerin performans kriteri..... 229
Tablo F.13 :Sentetik serilerle güçlendirilmiş Koşullu modellerin performans kriteri..... 234

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 3.1	:Ürdün topografya haritası.....	28
Şekil 3.2	:Ürdün ve istasyonların konumları.....	28
Şekil 3.3	:Amman istasyonu aylık toplam yağışı.....	29
Şekil 3.4	:Amman istasyonu aylık toplam yağış istatistikleri a) ortalama, b) standart sapma, c) değişim katsayısı, d) çarpıklık katsayısı, e) birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, f) kuru aylar.....	31
Şekil 4.1	:Nöronun biyolojik modeli.....	39
Şekil 4.2	:Nöronun matematik modeli.....	39
Şekil 4.3	:Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	42
Şekil 4.4	:Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	42
Şekil 4.5	:Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu.....	43
Şekil 4.6	:Gauss aktivasyon fonksiyonu.....	43
Şekil 4.7	:İBGY YSA'da girdi, gizli ve çıktı tabakaları.....	46
Şekil 4.8	:RT YSA'da girdi, örnek ve çıktı tabakaları.....	49
Şekil 4.9	:GR YSA'da girdi, örnek, toplama ve çıktı tabakaları.....	51
Şekil 5.1	:Şematik model yapısı.....	54
Şekil 5.2	:Kullanılan YSA modelleri ve ÇDR denklemi.....	54
Şekil 5.3	:Amman istasyonuna ait İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı.....	57
Şekil 5.4	:Amman istasyonuna ait RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı.....	59
Şekil 5.5	:Amman istasyonuna ait GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı.....	61

Şekil 5.6 :Amman istasyonuna ait ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 63
Şekil 6.1 :Markov zincirleri akış diyagramı..... 68
Şekil 6.2 :MC ile birleştirilmiş modeller..... 68
Şekil 6.3 :Amman istasyonuna ait MC-İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 70
Şekil 6.4 :Amman istasyonuna ait MC-RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 72
Şekil 6.5 :Amman istasyonuna ait MC-GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 74
Şekil 6.6 :Amman istasyonuna ait MC-ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 75
Şekil 7.1 :Amman istasyonuna ait gözlenmiş ve T-F ile türetilmiş aylık toplam yağış istatistikleri a)ortalama, b)standart sapma, c)çarpıklık katsayısı, d)birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, e)maksimum, f)minimum..... 80
Şekil 7.2 :Sentetik serilerle güçlendirilmiş modeller..... 81
Şekil 7.3 :Amman istasyonuna ait sMC-İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 82
Şekil 7.4 :Amman istasyonuna ait sMC-RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 84

Şekil 7.5 :Amman istasyonuna ait sMC-GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 87
Şekil 7.6 :Amman istasyonuna ait sMC-ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 88
Şekil 8.1 :Aylık yağışların yıl boyunca değişimi..... 91
Şekil 8.2 :Koşullu modelin akış diyagramı..... 93
Şekil 8.3 :Koşullu YSA modelleri ve ÇDR denklemleri..... 94
Şekil 8.4 :Amman istasyonuna ait sMC-kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 96
Şekil 8.5 :Amman istasyonuna ait sMC-kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 98
Şekil 8.6 :Amman istasyonuna ait sMC-kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 100
Şekil 8.7 :Amman istasyonuna ait sMC-kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 102
Şekil A.1 :Amman istasyonuna ait sİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 118

Şekil A.2 :Amman istasyonuna ait sRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 119
Şekil A.3 :Amman istasyonuna ait sGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 120
Şekil A.4 :Amman istasyonuna ait sÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 121
Şekil B.1 :Amman istasyonuna ait kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 124
Şekil B.2 Amman istasyonuna ait kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 125
Şekil B.3 :Amman istasyonuna ait kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 126
Şekil B.4 :Amman istasyonuna ait kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 127
Şekil C.1 :Amman istasyonuna ait MC-kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 130

Şekil C.2 :Amman istasyonuna ait MC-kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 131
Şekil C.3 :Amman istasyonuna ait MC-kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 132
Şekil C.4 :Amman istasyonuna ait MC-kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 133
Şekil D.1 :Amman istasyonuna ait skİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 136
Şekil D.2 :Amman istasyonuna ait skRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 137
Şekil D.3 :Amman istasyonuna ait skGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 138
Şekil D.4 :Amman istasyonuna ait skÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 139
Şekil E.1 :Safawi istasyonu aylık toplam yağışı..... 142
Şekil E.2 :Safawi istasyonu aylık toplam yağış istatistikleri a) ortalama, b) standart sapma, c) değişim katsayısı, d) çarpıklık katsayısı, e) birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, f) kuru aylar..... 143

Şekil E.3 :Safawi istasyonuna ait İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 146
Şekil E.4 :Safawi istasyonuna ait RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 147
Şekil E.5 :Safawi istasyonuna ait GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 148
Şekil E.6 :Safawi istasyonuna ait ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 149
Şekil E.7 :Safawi istasyonuna ait MC-İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 152
Şekil E.8 :Safawi istasyonuna ait MC-RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 153
Şekil E.9 :Safawi istasyonuna ait MC-GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 154
Şekil E.10 :Safawi istasyonuna ait MC-ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 155

Şekil E.11 :Safawi istasyonuna ait gözlenmiş ve T-F ile türetilmiş aylık toplam yağış istatistikleri a)ortalama, b)standart sapma, c)çarpıklık katsayısı, d)birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, e)maksimum, f)minimum..... 157
Şekil E.12 :Safawi istasyonuna ait sMC-İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 158
Şekil E.13 :Safawi istasyonuna ait sMC-RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 159
Şekil E.14 :Safawi istasyonuna ait sMC-GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 160
Şekil E.15 :Safawi istasyonuna ait sMC-ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 161
Şekil E.16 :Safawi istasyonuna ait sMC-kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 163
Şekil E.17 :Safawi istasyonuna ait sMC-kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 164
Şekil E.18 :Safawi istasyonuna ait sMC-kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 165

Şekil E.19 :Safawi istasyonuna ait sMC-kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 166
Şekil E.20 :Safawi istasyonuna ait sİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 168
Şekil E.21 :Safawi istasyonuna ait sRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 169
Şekil E.22 :Safawi istasyonuna ait sGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 170
Şekil E.23 :Safawi istasyonuna ait sÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 171
Şekil E.24 :Safawi istasyonuna ait kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 173
Şekil E.25 :Safawi istasyonuna ait kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 174
Şekil E.26 :Safawi istasyonuna ait kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 175

Şekil E.27 :Safawi istasyonuna ait kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 176
Şekil E.28 :Safawi istasyonuna ait MC-kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 178
Şekil E.29 :Safawi istasyonuna ait MC-kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 179
Şekil E.30 :Safawi istasyonuna ait MC-kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 180
Şekil E.31 :Safawi istasyonuna ait MC-kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 181
Şekil E.32 :Safawi istasyonuna ait skİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 183
Şekil E.33 :Safawi istasyonuna ait skRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 184
Şekil E.34 :Safawi istasyonuna ait skGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 185

Şekil E.35 :Safawi istasyonuna ait skÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 186
Şekil F.1 :Baqura istasyonu aylık toplam yağışı..... 189
Şekil F.2 :Baqura istasyonu aylık toplam yağış istatistikleri a) ortalama, b) standart sapma, c) değişim katsayısı, d) çarpıklık katsayısı, e) birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, f) kuru aylar..... 190
Şekil F.3 :Baqura istasyonuna ait İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 193
Şekil F.4 :Baqura istasyonuna ait RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 194
Şekil F.5 :Baqura istasyonuna ait GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 195
Şekil F.6 :Baqura istasyonuna ait ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 196
Şekil F.7 :Baqura istasyonuna ait MC-İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 199
Şekil F.8 :Baqura istasyonuna ait MC-RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 200

Şekil F.9 :Baqura istasyonuna ait MC-GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 201

Şekil F.10 :Baqura istasyonuna ait MC-ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 202

Şekil F.11 :Baqura istasyonuna ait gözlenmiş ve T-F ile türetilmiş aylık toplam yağış istatistikleri a)ortalama, b)standart sapma, c)çarpıklık katsayısı, d)birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, e)maksimum, f)minimum..... 204

Şekil F.12 :Baqura istasyonuna ait sMC-İBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 205

Şekil F.13 :Baqura istasyonuna ait sMC-RT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 206

Şekil F.14 :Baqura istasyonuna ait sMC-GR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 207

Şekil F.15 :Baqura istasyonuna ait sMC-ÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 208

Şekil F.16 :Baqura istasyonuna ait sMC-kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 210

Şekil F.17 :Baqura istasyonuna ait sMC-kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 211
Şekil F.18 :Baqura istasyonuna ait sMC-kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 212
Şekil F.19 :Baqura istasyonuna ait sMC-kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 213
Şekil F.20 :Baqura istasyonuna ait sİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 215
Şekil F.21 :Baqura istasyonuna ait sRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 216
Şekil F.22 :Baqura istasyonuna ait sGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 217
Şekil F.23 :Baqura istasyonuna ait sÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 218
Şekil F.24 :Baqura istasyonuna ait kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 220

Şekil F.25 :Baqura istasyonuna ait kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 221
Şekil F.26 :Baqura istasyonuna ait kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 222
Şekil F.27 :Baqura istasyonuna ait kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 223
Şekil F.28 :Baqura istasyonuna ait MC-kİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 225
Şekil F.29 :Baqura istasyonuna ait MC-kRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 226
Şekil F.30 :Baqura istasyonuna ait MC-kGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 227
Şekil F.31 :Baqura istasyonuna ait MC-kÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 228
Şekil F.32 :Baqura istasyonuna ait skİBGY YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 230

Şekil F.33 :Baqura istasyonuna ait skRT YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 231
Şekil F.34 :Baqura istasyonuna ait skGR YSA sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 232
Şekil F.35 :Baqura istasyonuna ait skÇDR sonuçları a) Gözlenen (düz) ve tahmin edilen (kesikli) yağış, b) Tahmin edilen ve gözlenen yağış arasındaki fark, c) Aylık ortalama hata (düz), aylık ortalama mutlak hata (kesikli), d) Boyutsuz aylık ortalama hata (düz), boyutsuz aylık ortalama mutlak hata (kesikli), e) saçılma diyagramı..... 233

SEMBOL LİSTESİ

N_v	: Von-Neumann oranı
X_i	: Rastgele değişken
$\overline{X}$	: Rastgele değişkenin ortalaması
N_p	: Pettitt test
r_i	: Rastgele değişkenin sırası
N_k	: Kritik değer
N	: Yıl sayısı
s	: Standart sapma
$T(k)$	: Alexandersson istatistiği
t	: t testi istatistiği
d_i	: Gözlem sırası
r_s	: Spearman korelasyon katsayısı
$\mathbf{c}$	: Merkez
H_j	: j gizli hücresinin girdisi
W_{ij}	: Ağ ağırlıkları
T_n	: n tabaksındaki hedef değeri
Y_n	: n tabakasındaki hesaplanan değer
δ	: Hata gradyanı
r	: İterasyon sayısı
α	: Momentum oranı
η	: Öğrenme oranı
ϕ	: Geçek değişkenli bir fonksiyon
n	: Gözlenen veri sayısı
σ	: Düzeltme parametresi
R^2	: Belirlilik katsayısı

KURAK BÖLGE AYLIK YAĞIŞLARININ MARKOV ZİNCİRİ EKLENMİŞ KOŞULLU YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

ÖZET

Su kaynaklarının etkin bir şekilde planlanması ve yönetimi için yağışın doğru bir şekilde tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Hidrometeorolojik zaman serilerinin tahmini, zaman serisini etkileyen parametrelerin belirsizliğinden dolayı en zor işlerden biridir. Yapay sinir ağlarına dayalı kurak bölge yağış tahmin modelleri literatürde çok sınırlı sayıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağları, radyal tabanlı işlemci yapay sinir ağları, genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları ve çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemleri kullanılmıştır.

Modellerin performansını arttırmak için Markov zincirleri, yapay sinir ağları ve çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri ile birleştirilerek yeni modeller kurulmuştur.

Yapay sinir ağları ve çok değişkenli doğrusal regresyonun modellerini geliştirmek için eğitme verileri sentetik serilerle uzatılarak güçlendirilmiştir. Sentetik serileri türetmek için Thomas-Fiering modeli kullanılmıştır.

Çalışmada geliştirilen modellerin özellikle maksimum yağışları tahmin etmede zorlandıkları görüldüğünden modelleri iyileştirmek için koşullu yapay sinir ağları ve koşullu çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemleri geliştirilmiştir.

Uygulama için Ürdün'ün değişik bölgelerinden üç meteoroloji istasyonu (Amman, Baqura ve Safawi) seçilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler değişik homojenlik testlerinden geçirilmiştir. Kullanılan testlere göre Ürdün'ün bu üç istasyonunun yağış verilerinin homojen olduğu belirlenmiştir. Gelecek ayın yağışını tahmin etmek için önceki aylara ait yağış verileri geliştirilen modellerde girdi olarak kullanılmıştır.

Sonuç olarak yapay sinir ağları ve çok değişkenli doğrusal regresyon modellerinden iyi sonuç alınmadığı görülmüş, Markov zincirleri ile birleştirilmiş yapay sinir ağları ve çok değişkenli doğrusal regresyon modellerinin kuru ayların tahminlerinde büyük başarı gösterdikleri anlaşılmıştır. Sentetik serilerle güçlendirilmiş yapay sinir ağları ve çok değişkenli doğrusal regresyon modellerinin de performanslarının yeterli olmadığı görülmüştür. Koşullu yapay sinir ağları ve koşullu doğrusal regresyon modellerinin ise yağış tahmininde büyük başarı gösterdiği anlaşılmıştır.

FORECASTING MONTHLY PRECIPITATION FOR ARID REGIONS USING CONDITIONAL ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS COMBINED WITH MARKOV CHAIN

SUMMARY

Precipitation amount should be predicted accurately for an affective water resources management and planning. Prediction of hydrometeorological time series is difficult because of uncertainty in the parameters which affect the time series. In literature, the applications of artificial neural networks to forecast arid-region precipitation are limited.

In this study, the potential of feed-forward backpropagation, radial basis function, generalized regression artificial neural networks and multiple linear regressions are used.

New models are developed combination of Markov chain with artificial neural networks and multiple linear regression models to increase model performance.

Synthetic data sets are generated to train artificial neural networks and multiple linear regressions. Thomas-Fiering models are used to generate synthetic series.

Models developed in this study are all found not adequate particularly for the prediction of maximum precipitation. For this reason conditional neural networks and conditional multiple linear regression models are introduced to better estimate the observed precipitation. Results of the conditional models were found satisfactory.

Three meteorological stations (Amman, Baqura and Safawi) from different geographical regions in Jordan are selected. Various homogeneity tests are employed for the data used in this study. Precipitation data from the three stations are found homogeneous according to the results of the tests. Antecedent monthly precipitation data are used as input to models to predict the total precipitation of next month.

In conclusion, it is seen that the results of artificial neural networks and multiple linear regression models are not adequate. Artificial neural networks and multiple linear regressions combined with Markov chains are found successful in the prediction of dry months. Also artificial neural networks and multiple linear regressions trained with synthetic series do not perform efficiently. It is finally seen that the conditional neural networks and conditional multiple linear regressions considerably improve the accuracy of the one month ahead precipitation forecasting.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Çalışmanın konusu Ürdün aylık toplam yağışlarının yapay sinir ağları (YSA) modelleri kullanılarak tahmin edilmesidir. Bu amaçla Ürdün'ün değişik bölgelerinden üç meteoroloji istasyonu seçilmiştir. Daha iyi sonuç alabilmek ve kurak ayları tahmin edebilmek için YSA modelleri Markov zincirleri (MC) ile birleştirilmiş, YSA modelleri ayrıca Thomas-Fiering (T-F) modeli ile türetilen sentetik verilerle güçlendirilmiştir. Tahminlerin iyileştirilmesi için koşullu YSA modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller yardımıyla gelecekteki belli bir zaman aralığı için tahmin yapmak mümkündür. Ayrıca herhangi bir istasyonun eksik verileri bu yöntemler kullanılarak tamamlanabilir.

1.2 Konunun Önemi

Yağış, sıcaklık, basınç, nem ve rüzgar atmosferin en önemli iklim parametrelerinden kabul edilmektedir. İnsanoğlu başlangıçta yağışlı gün ve yağışlı olmayan gün tarifini yapmış, ayrıca sıcak hava ve soğuk hava tanımını ortaya atmıştır. Dünya üzerinde oluşan doğal afetlerin çoğu meteorolojik karakterlidir. Taşkın ve kuraklık yaygın olarak görülen meteorolojik doğal afetlerin başında yer almaktadır. Yağış tahmini insanların, hayvanların ve bitkilerin yaşamı için büyük önem taşımaktadır. Yağış miktarının tahmini kurak veya sulak dönemlerin tespiti açısından da önemlidir.

Kurak yerlerde ya da az yağış alan bölgelerde yağış özellikle büyük önem taşımaktadır. Ürdün'de bulunan su kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması, geleceğe yönelik planların yapılması ve öngörülen yerlerde gerekli önlemlerin alınması için meteorolojik parametrelerin en iyi şekilde tahmini ve analizinin yapılması önemlidir.

Atmosferin birinci tabakasında oluşan yağıştan yararlanma ve zararlarından korunma amacıyla değişik tahmin modelleri kurulmuştur. Bunun için önceleri elle çizilen sinoptik haritalardan yararlanılmıştır. Daha sonra basit sayısal hava tahmin

modellerinden yararlanarak tahminler yapılmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle global ve bölgesel sirkülasyon modelleri hızlı bir şekilde gelişmiş, bir çok atmosferik parametrenin tahminindeki doğrulukları artmıştır. Ayrıca stokastik yöntemler de meteorolojik parametrelerin tahmininde kullanılmıştır. Yağışın tahmini için günümüzde çeşitli sayısal hava tahmin modelleri kullanılmaktadır. Ancak, yağışı meydana getiren fiziksel sürecin tam olarak çözülememesi, oluşumunda etkili olan parametrelerin çokluğu, bölgeden bölgeye büyük değişimler göstermesi ve daha pek çok nedenden dolayı hala doğru olarak tahmin edilmesi en zor hidrometeorolojik değişkenlerin başında gelmektedir. Özellikle saatlik ya da günlük gibi daha küçük zaman ölçeğinde yağışın doğru tahmin edilmesi çok daha önemlidir.

Ürdün'ün %80'i kurak ve tek su kaynağı yeraltı suyudur. Yeraltı suyunu besleyen tek kaynak yağıştır. Ürdün'ün batısında bulunan Ürdün nehri ve değişik bölgelerde kurulan barajların suyu bölgede bulunan tarım alanlarını sulamaya hizmet etmektedir. Bu nedenle yağışın miktarı ve kurak ayların önceden tahmin edilmesinde büyük önem taşımaktadır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Son yıllarda hem hidrolojik hem de meteorolojik alanda YSA, Türkiye'de ve dünyada sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Kurulan YSA modellerinden alınan sonuçlar tatmin edicidir. Ayrıca stokastik modellerin de iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu çalışmada amaç elde bulunan zaman serilerinin YSA ve çoklu doğrusal regresyon modellerini kurmaktır. Bu iki modelde iç bağımlılık önemli rol almaktadır. Bu çalışma ile birçok araştırmaya konu olan yağış miktarının tahminine yönelik modellerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen modeller, önceki aylara ait gözlenmiş yağış verilerini kullanarak gelecek ayın yağışının tahmin edilmesi prensibine dayanarak kurulmuştur. Periyodikliğin etkisinin görülmesi açısından modellere periyodik bileşenin eklenmesi uygun görülmüştür.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada, doğal olayların davranışını herhangi bir ön kabule dayanmaksızın iyi bir şekilde ifade edebilen YSA teknolojisi kullanılmıştır. Şimdiye kadar önerilen lineer modellerin bir alternatifi olarak kurulan YSA modelleri lineer olmayan kara

kutu modelleri olarak nitelendirilir. Çalışmada YSA modellerinin üç farklı versiyonu kullanılmış, bu modeller MC ile birleştirilmiştir. Gözlenmiş verilere benzer yapay yağış verileri T-F modeli ile elde edilerek YSA modellerinin eğitiminde kullanılmıştır. Ayrıca koşullu bir YSA modeli şeması geliştirilmiştir. Çalışmada YSA modelleri ile aynı mimaride çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) denklemleri de kullanılmıştır.

1.5 Çalışmanın Düzeni

Çalışmanın ikinci bölümünde bu konuyla ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar detaylı bir şekilde verilmiş, incelenen literatür değerlendirilmiş ve bu çalışmanın gerekliliği ortaya konmuştur.

Üçüncü bölümde uygulama alanı ve kullanılan veriler hakkında bilgi verilmiş, ayrıca veri kümesinin istatistik analizleri detaylı olarak anlatılmıştır. Verilerin homojenlik test sonuçları yine bu bölümde verilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde tanıtılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemler şunlardır

1. Yapay sinir ağları (YSA)
    - İleri beslemeli geri yayılım (İBGY) YSA
    - Radyal tabanlı (RT) YSA
    - Genelleştirilmiş regresyon (GR) YSA
2. Çoklu doğrusal regresyon (ÇDR)
3. Thomas-Fiering modeli (T-F)
4. Markov zincirleri (MC).

Çalışmanın beşinci bölümünde üç YSA modeli ile ÇDR modelinin Amman meteoroloji istasyonu verilerine yapılan uygulamasına ait sonuçlar verilmiştir. Uygulama sonuçları modellerin test dönemine ait gözlenmiş yağışların model tahminleri ile karşılaştırması şeklinde sunulmuştur. Karşılaştırmada, tahmin ile gözlem arasındaki farkları esas alan değişik kriterler kullanılmıştır.

Altıncı bölümde YSA ve ÇDR modellerine MC eklenmesi ile oluşturulan modeller tanıtılmış, Amman istasyonu için uygulama sonuçları verilmiştir.

T-F modeli ile sentetik veri türetme işlemi Bölüm 7'de verilmiştir. Sentetik verilerin beşinci ve altıncı bölümdeki modellerde kullanılması ile yeni bir model tipi geliştirilmiştir. MC eklenmiş YSA ve ÇDR modellerinde sentetik verilerin kullanıldığı uygulamaların sonuçları bu bölümde anlatılmış, bölüm 5'teki modellerin sentetik serilerle güçlendirilmiş şekilleri ise EK A'da sunulmuştur.

Bölüm 8 bu çalışmada geliştirilen ve en iyi tahminleri yapan modellere ayrılmıştır. Bu modeller koşullu YSA ve ÇDR modelleridir.

Çalışma sonucunda elde edilen çıkarımlar ve geleceğe yönelik öneriler Bölüm 9'da sıralanmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Genel

Gelecekteki yağışın tahmini için çok sayıda matematik model geliştirilmiştir. Bu tür modellerin başlıca mahsurları arasında kısa süreli bağımlılığı koruyamamaları, lineer olmaları, benzetim ve modelleme çalışmalarında yağış serilerinin normal dağılımlı olması kabulü gibi durumlar gelir. Matematik modeller bu mahsurlarından dolayı gözlem dizisinin iç yapısında saklı olabilecek periyodiklik, uzun süreli bağımlılık ve özellikle de dağılımın çarpık olması gibi durumları zaman serilerinde ya koruyamamakta ya da çok güçlükle ancak belirli bir yaklaşıklık sağlayabilmektedir. Kısacası söz konusu modellerde bazı istatistiksel veya matematik kabuller takımı vardır ve bunlar genelde doğal olan olayın zaman veya konumla olan davranışlarını tam anlamı ile temsil edememektedir.

Yapay sinir ağları yağış tahmini, yağış-akış ve akış-akış modellemesi gibi hidrolojik ve meteorolojik alanlarda sıkça kullanılmaktadır. YSA'nın mevcut türleri, değişik mimari ya da tabaka sayıları için farklı çalışmalarda kullanılmakla birlikte kimi zaman birbirleriyle kıyaslanarak hangi türün daha iyi sonuç verdiği de tespit edilmeye çalışılmıştır. YSA sonuçları bazı çalışmalarda (Dawson ve Wilby, 1999 ve Piotrowski ve diğ., 2006) çoklu doğrusal regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ya da AR modelleri, Neuro-Fuzzy yöntemleri ile birleştirilmiştir. Yağış ve akıştan başka YSA hava sıcaklığı, buharlaşma ya da katı madde miktarının tahmininde, yeraltı suyu modellemesinde, kuraklık ve iklim değişikliği analizlerinde, sentetik serilerin üretilmesinde de kullanım alanı bulmuştur.

Ürdün yağışları ile ilgili çalışmalar ise 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı istatistiksel olup Markov modelleri, kuraklık indeksleri ve harmonik analizi içermektedir. Mevcut literatürde Ürdün yağışları ile ilgili yapılmış tek bir YSA çalışması bulunmaktadır.

2.2 Ürdün ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Ürdün ile ilgili yapılan en eski çalışmalardan bir tanesi Ionides (1939)'a aittir. Çalışmada yıllık maksimum ve minimum yağış ile istasyonların yağış ortalaması istatistik yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan veriler 1931–1939 yıllarını kapsamaktadır. Daha sonra 1952–1962 yıllarını kapsayan veriler kullanılarak yağış değişkenliği 58 istasyon için Al-Shalash (1964) tarafından araştırılmıştır. Shehadeh (1976) 112 istasyon için yıllık yağış miktarının değişkenliğini araştırmış, Ürdün'deki olası maksimum ve minimum yağışları tespit etmiştir. Ürdün yağışlarının kurak ve sulak dönemlerinin süreleri Abdel-Aty (1976) tarafından hesaplanmış, Ürdün yağışının simülasyonu için uygun bir Markov modeli oluşturmuştur.

Yenilerde Ürdün'ün değişik bölgelerinde bulunan beş istasyonun 10 günlük yağışları Ghanem (1997) tarafından incelenmiştir. Tarawneh (1999) standart yağış indeksini (SPI) kullanarak Ürdün'deki çöl bölgesinin kuraklığını incelemiştir. Kullanılan verilerin uzunluğu 30 yıl olup, çöl bölgesindeki kuraklığın şiddeti, uzunluğu ve sıklığı araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda çölün kuzeyindeki kuraklığın çölün güneyindeki kuraklıktan farklı olduğu tespit edilmiştir. Ürdün'ün dağlık bölgesindeki kuraklık 30 yıllık veri uzunluğu kullanılarak incelenmiş, dağlık bölgedeki kuraklığın şiddeti, uzunluğu ve sıklığı standart yağış indeksi (SPI) kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar dağlık bölgede orta düzeyde bir kuraklığın olduğunu göstermiştir (Tarawneh , 2000).

Aşağı ve yukarı atmosferdeki sinoptik koşulların ilkbaharda oluşan Khamassine fırtınalarına etkisi Bani Domi (2000) tarafından incelenmiştir. Khamassine, ilkbaharda Kuzey Afrika'da Atlas dağları yakınlarında oluşan alçak basıncın Kuzey Afrika sahili boyunca doğuya doğru hızlı bir şekilde hareket ederek Ürdün'e yaklaştığında toz ile beraber bazen yağmur meydana getirmesi olayıdır.

Abdulla ve diğ. (2002) meteorolojik ve hidrolojik veriler kullanarak Ürdün'ün doğu çölünde bulunan Amij ve Awij havzalarının basit bir akış hidrograf modelini geliştirmiştir. Tarawneh ve Kadıoğlu (2003) Ürdün'deki yağışların iklim dağılımını incelemiş, Al-Salihi (2003) Ürdün'ün Vadi Kaferin ve Vadi Hisban havzalarında kuraklığı teşhis edip karakteristiklerini belirlemiştir.

Dahamsheh (2003) Ürdün'de 16 istasyonun yağışlarını değişik kuraklık indekslerini kullanarak incelemiş, Ürdün için en uygun kuraklık indeksini tespit etmiştir. Buna göre SPI indeksinin Ürdün için en iyi olduğu görülmüştür. Freiwan ve Cığızoğlu (2005) Amman istasyonunun aylık yağış tahmini için yapay sinir ağlarına dayanan bir model geliştirmişlerdir.

Dahamsheh ve Aksoy (2007) Ürdün'deki 13 istasyona ait 50 yıllık yağış verilerini kullanarak yağış dağılımını belirlemişlerdir. İlk olarak istasyonlar değişik homojenlik testlerinden geçirilmiştir. Queen Alia Uluslararası Havaalanı istasyonunun homojen olmadığı tespit edilmiş, geri kalan 12 istasyonun yağışları kullanılarak yağışların olasılık dağılımları incelenmiştir. Ürdün yağış verilerine üç farklı dağılım uydurulmuştur. Buna göre Ürdün'ün doğu bölgesinde 3-parametreli lognormal dağılım (LN3), güney bölgesinde Gamma (G) ve ülkenin geri kalan kısmında ise Log Pearson-Tip III (LP3) dağılımının hakim olduğu görülmüştür. Ayrıca Ürdün yağışlarında azalan ya da artan her hangi bir gidişin olmadığı da ortaya konmuştur.

2.3 YSA ile Yağış Tahmini

Son yıllarda YSA çeşitli alanlarda tahmin amacıyla kullanılan başarılı bir yöntemdir. Zaman serisi analizinde kullanılan stokastik tekniklerin çoğu değişkenler arasında doğrusal ilişkiler olduğunu kabul etmektedir. YSA'nın, genellikle doğrusal olmayan ilişkilerin analizinde kullanılmaları uygun görülür.

McCullagh ve diğ. (1995) Avustralya'da 6 saatlik yağış tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modelleri geliştirmiştir. Modellerde girdi olarak uydu meteoroloji görüntüleri ve atmosferik parametreler kullanılmıştır. Bu amaçla üç değişik model kurulmuştur. Birinci modelde girdi olarak uydu meteorolojisinin kızılötesi ve görünen görüntüleri, ikinci modelde atmosferik parametreler, üçüncü modelde ise birinci ve ikinci modellerin girdileri beraber kullanılmıştır. Geliştirilen modellerin yağış tahmininde başarılı olduğu görülmüştür.

Kuligowski ve Barros (1997) ABD'de 0-6 saatlik yağış tahmini yapmak için bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağları modeli kurmuştur. Bunun için 700 mb'daki rüzgar hızı ve havzaya yakın istasyonların 6 saat öncesine ait yağışları girdi olarak

kullanılmıştır. YSA'nın bu alanda gelişmesi için nümerik hava tahmini sonuçlarını kullanarak daha iyi sonuç alınabileceği tavsiye edilmiştir.

Kuligowski ve Barros (1998a) yine ABD'de dört istasyonda 6 saatlik yağış tahmini yapmak için bir ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağları modeli kurmuştur. Bu amaçla 5 yıllık NWP (Numerical Weather Prediction) modelinin çıktıları YSA modelinde bağıl nem, düşey hız, sıcaklık adveksiyonu, basınç ve kalınlık gibi parametreler girdi olarak kullanılmıştır. Modelin genel yapısı 25-11-1 şeklindedir. Yani girdi tabakasındaki değişkenlerin sayısı 25'tir. Gizli tabakada 11 hücre sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile kullanılmıştır. Çıktı tabakasında herhangi bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmamıştır. Yağış miktarı tahmininin çok zor olduğu, ancak buna karşın sonuçta ileri beslemeli geri yayılım YSA modelinin çoklu doğrusal regresyon modelinden özellikle ekstrem yağışları tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmüştür. Çalışmada, gözlenen ve tahmin edilen yağış arasındaki korelasyon katsayısı test aşamasında 0.55 bulunmuştur.

Kuligowski ve Barros (1998b) altı istasyonda ölçülmeyen 6 saatlik yağışın tahmini için bir YSA modeli geliştirmiştir. Çalışmanın amacı istasyonlara en yakın olan istasyonların ölçülmüş yağışlarını kullanarak eksik olan yağış verilerini tamamlamaktır. Bunun için veriler bu kez NCDC (National Climatic Data Center) merkezinden alınarak modellerde kullanılmıştır.

Venkatesan ve diğ. (1997) Hindistan'da mevsimsel muson yağışları tahmini için bir ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli önermiştir. Önce Hindistan'ın tümünü kapsayan 306 istasyon bölgesel analizi kullanılarak birlikte kullanılmıştır. Çalışmada farklı sayıda elemanları olan girdi tabakalarından oluşan modeller önerilmiştir. Modellerdeki girdi sayıları 2-10 arasında değiştirilmiştir. Modellerde çıktı tabakasında sadece tahmin edilen yağış vardır. Bu modellerde gizli ve çıktı tabakalarında kullanılan aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bu sebepten dolayı veriler 0 ile 1 arasında normal hale getirilmiştir. Bu modellerin Hindistan'ın mevsimsel muson yağışlarının tahmininde kullanılabileceği görülmüştür.

Hall (1998) ABD'de 36 istasyonda günlük yağış tahmini için bir YSA modeli kurmuştur. Bu modelde 19 değişken girdi olarak kullanılmıştır. Bunlar farklı hava

değişkenleri ile bir sayısal hava tahmin modelinin (ETA modeli) çıktılarıdır. Verilerin %10'u modeli test etmek için kullanılmıştır. Bu amaçla iki model kullanılmıştır. Birinci model günlük yağış olasılığının tahmini için yapılmıştır. Bu modelde %95 olasılıkla yağış beklenmeyen 436 günün 435 tanesinde yağış meydana gelmemiştir. İkinci model ise günlük ortalama yağış miktarı tahmini için kurulmuştur. Bu modelde gözlenen ile tahmin edilen günlük ortalama yağış miktarları arasındaki korelasyon katsayısı 0.95 bulunmuştur. Sonuç olarak bu iki modelin yağışı büyük bir doğrulukla tahmin ettiği ortaya konmuştur.

Liu ve Lee (1999) Hong Kong'da 11 yağış istasyonu seçerek bir ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli geliştirmiştir. Modelde hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, saatlik yağış, ortalama rüzgar hızı, 60 dakikalık hakim rüzgar yönü ve deniz seviyesi basıncı girdi olarak kullanılmıştır. Üç farklı model geliştirilmiş, birinci model yağışı tahmin edilecek istasyona ait 6 saatlik yağış verileri kullanılarak kurulmuştur. İkinci modelde hem yağışı tahmin edilecek istasyona hem de diğer istasyonlara ait 6 saatlik ölçüm verileri kullanılmıştır. Üçüncü modelde ise istasyonların 3 saatlik ölçülmüş yağış verileri kullanılmıştır. Çalışmada, tahmin yapılan istasyon verilerine ek olarak diğer istasyonlara ait verilerin de kullanılması durumunda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sahai ve diğ. (2000) Hindistan'da muson yağışlarının tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Modelin amacı Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının aylık yağış ortalamalarının ve muson mevsimi ortalama yağış miktarının tahmin edilmesidir. Modelde girdi olarak önceki 5 yıla ait yağış verileri kullanılmıştır. Modeli eğitmek için 1871-1960 yılları arasındaki yağış verileri kullanılmış, model 1961-1994 yılları arasında kalan yağış verileri ile test edilmiştir. Modelde bir girdi, iki tane gizli ve bir çıktı tabakası kullanılmıştır. Girdilerin sayısı 25, birinci gizli tabakadaki hücre sayısı iki ve kullanılan aktivasyon fonksiyonu lineer bir fonksiyondur. İkinci gizli tabakada ise 4 hücre kullanılmış, bu tabakada da farklı aktivasyon fonksiyonları çalıştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda YSA modellerinin aylık yağış ortalaması tahminlerinde kullanılabileceği görülmüştür.

Bodri ve Cermak (2000) yaz mevsiminde gözlenen maksimum yağış tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Çalışmada iki meteorolojik istasyon seçilmiştir. Kurulan iki modelin birincisinde Temmuz ayı yağışları tahmin edilmiştir. Bu modelin girdileri önceki iki aya ait yağış miktarları ile tahmin edilecek ayın önceki iki yıla ait yağış miktarlarıdır. Bu model üç tabakadan oluşmaktadır. Girdi tabakadaki elemanların sayısı 4'tür. İkinci tabaka ise gizli tabaka olup bu tabakadaki hücre sayısı 6'dır. Son tabakada tahmin edilen ayın yağışı modelin çıktısı olarak elde edilmektedir. Yani modelin yapısı ise 4-6-1'dir. Gizli tabakada kullanılan aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyonudur. Çalışmadaki ikinci model ise bir sonraki yıla ait Temmuz ve Ağustos yağışlarını tahmin etmektedir. Bu modelin yapısı 24-10-1'dir. Yani girdi tabakadaki eleman sayısı 24 olup bunlar önceki iki yıla ait her ayın toplam yağışıdır. Gizli tabakada 10 hücre bulunmaktadır. Bu tabakadaki aktivasyon fonksiyonu yine sigmoid fonksiyonudur. Çıktı tabakadaki eleman sayısı ise tahmini yapılacak olan ayın toplam yağışıdır. Çalışmada 38 yılın aylık toplam yağışları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda YSA modellerinin maksimum yağış tahminlerinde büyük başarı gösterdikleri ortaya konmuştur.

Bodri ve Cermak (2001) başka bir çalışmada Çek cumhuriyeti ve Macaristan'dan 10 meteoroloji istasyonunun verilerini kullanarak Temmuz ayının maksimum yağış tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Modelin girdileri önceki iki aya ait yağış miktarları ve tahmin edilecek ayın önceki iki yıla ait yağış miktarlarıdır. Model üç tabakadan oluşmaktadır. Gizli tabakadaki hücre sayısı 6'dır. Çalışmada 38 yılın aylık toplam yağışları kullanılmış, 36 yıl modeli eğitmede, 2 yıl ise modeli test etmede kullanılmıştır. YSA modellerinin farklı bölgeler için maksimum yağış tahminlerinde iyi sonuçlar verdikleri ortaya konmuştur.

Liu ve diğ. (2001) Avustralya'da yağış miktarı tahmini için radyal tabanlı YSA modelini kurmuştur. Modelin amacı Doppler radarı görüntülerinden yağış miktarlarının tespit edilmesidir. Radara yansıtılan dalga uzunlukları modelde girdi olarak kullanılmıştır. YSA'nın radar görüntüleri kullanılarak yağış tespitinde çok iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

Chantasut ve diğ. (2004) Tayland'da aylık toplam yağış tahmini için bir ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli geliştirmiştir. Modelde 245 yağış istasyonuna ait veriler kullanılmıştır. Modelin yapısı 10-5-1'dir. Yani model gizli tabakadaki hücre sayısı 5 olan 10 girdi ve bir çıktılı olarak tasarlanmıştır. Modelde girdi olarak tahmin edilecek ayın önceki 10 yıla ait aylık toplam yağışları kullanılmıştır.

Freiwan ve Cığızoğlu (2005) Ürdün'de Amman istasyonu aylık yağış tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli geliştirmiştir. Çalışmada 1923-2000 yıllarına ait 924 aylık yağış verisi kullanılmış, ilk 800 aylık toplam yağış verisi modeli eğitmede, geri kalan 124 aylık veri ise modeli test etmede kullanılmıştır. Çalışmada 20 değişik model kullanılmış, modellere önceki ayların yağışları girdi olarak verilmiştir. Bu modeller arasında en iyi sonucu veren model 3 tabakadan oluşmaktadır. Modelin yapısı ise 2-4-1'dir. Modelde girdi tabakasındaki elemanlar önceki aya ait aylık yağış toplamları ve periyodiklik bileşendir. Gizli tabakadaki hücre sayısı ise dört olarak belirlenmiştir. Çıktı tabakada tahmin edilen ayın aylık toplam yağışı kullanılmıştır. En iyi modelin belirlilik katsayısı ancak 0.47 değerlerine kadar çıkabilmiştir. Sonuçlar birinci mertebe otoregresif AR(1) model ile kıyaslanmıştır.

Kumarasiri ve Sonnadara (2006) Sri Lanka'da bir meteoroloji istasyonu için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Modelin amacı atmosferik değişkenler yerine önceki yağışlara dayanan bir model kurmaktır. Bunun için 3 ayrı model önerilmiştir. Birinci model günlük yağış tahmini için kurulmuştur. Bu modelin yapısı 10-6-1 şeklindedir. Yani model 10 girdili, gizli tabakasında 6 hücreli ve 1 çıktılıdır. Gizli tabakada sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Aynı aktivasyon fonksiyonu çıktı tabakasında da kullanılmıştır. Çalışmada önerilen ikinci model ise aylık yağış tahmini için yapılmıştır. Modelin yapısı daha önce bahsedilen modelin aynısıdır. Burada yağışlar modele sokulmadan önce altı gruba ayrılmıştır. Üçüncü model yıllık yağış tahmini için kurulmuştur. Modelin yapısı önceki modellere benzemektedir. Modeli eğitmek için 105 yıl, modeli test etmek için 30 yıl kullanılmıştır. Sonuç olarak modellerin günlük yağış tahmininde başarı oranı 0.74, aylık yağış tahmininde başarı oranı 0.58 ve yıllık yağış tahmininde başarı oranı 0.76'dır.

Chattopadhyay (2007) Hindistan'ın yaz (Haziran-Ağustos) muson yağışlarının tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Modelde girdi olarak bu üç aya ait aylık yağış ortalamaları, bu aylara ait tropikal yağış indeksi ve deniz suyu sıcaklığı anomalisi kullanılmıştır. Modelin yapısı ise 9-2-1 şeklindedir. Gizli tabakada sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Modelin sonuçları istatistik modeller ile kıyaslanmış ve iyi sonuç verdiği ortaya konmuştur.

Kalteh ve Berndtsson (2007) İran'da 24 yağış istasyonu için ileri beslemeli geri yayılım YSA ile kendi kendini düzenleyen harita modelleri kurmuştur. Modellerin amacı eksik olan verileri tamamlamaktır. Gizli tabakada hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Çıktı tabakada ise lineer aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Sonuç olarak ileri beslemeli geri yayılım YSA'nın homojen olmayan verilerde üstün olduğu ortaya konmuştur.

Coulibaly ve Evora (2007) verileri eksik günlük yağış serisini tamamlamak, minimum ve maksimum sıcaklıkları tespit etmek için YSA yöntemleri uygulamıştır. Bu amaçla altı değişik YSA mimarisi kullanılmıştır. Çok tabakalı YSA günlük yağış miktarlarının, minimum ve maksimum sıcaklıkların tespitinde başarı ile kullanılabileceği görülmüştür.

Hung ve diğ. (2008) Tayland'da 1 ile 6 saatlik yağış miktarları tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Bunun için Tayland'ın değişik bölgelerinden 75 yağış istasyonu seçilmiştir. Çalışmada altı farklı model kurulmuştur. Modellerde girdi olarak önceki saatlere ait yağış ile bağıl nem, hava basıncı, ıslak hazne sıcaklığı ve bulutluluk gibi atmosferik değişkenler kullanılmıştır. Modellerde gizli tabaka sayısı 2 olarak seçilmiş, gizli tabakadaki hücre sayısı 5'ten 22'ye kadar yükseltilmiştir. Çalışmada modellerde atmosferik parametrelerin girdi olarak kullanılması halinde iyi sonuç elde edildiği ortaya konmuştur.

2.4 YSA'nın Hidroloji ve Meteoroloji Alanlarında Kullanılması

2.4.1 Yağış-Akış Modelleri

Bu modellerde önceki zamanlara ait yağış miktarları girdi olarak kullanılır. Bu zaman aralığı saat, gün, hafta, ay hatta yıl seçilebilir. Yağış ile akış arasındaki korelasyon katsayısı yüksek olmasından dolayı, modellerin sonuçları genellikle tatmin edicidir.

Minns ve Hall (1996) bir yağış-akış tahmin modeli kurmak için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Modelde kullanılmak üzere yağış ve akış verileri sentetik olarak türetilmiştir. Gizli tabaka sayısı arttırılınca modelin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Dawson ve Wilby (1999) İngiltere'de 6 saatlik akış tahmini için bir yağış-akış modeli geliştirmiştir. Modellemede çok tabakalı ve radyal tabanlı YSA kullanılmıştır. Modellerin sonuçları istatistiksel modellerle kıyaslanmıştır. Tahminlerde çok tabakalı YSA modelinin daha iyi sonuç verdiği, ayrıca radyal tabanlı YSA'nın 6 saatlik yağış tahminlerinde istatistik modellerden daha üstün olduğu ortaya konmuştur.

Dibike ve Solomatine (2000) Venezüella'da bir havzada haftalık akış tahmini için YSA kullanarak iki model geliştirmiştir. Bunun için çoklu tabakalı ve radyal tabanlı YSA kullanılmış, çalışmada 23 istasyonun verileri modellere sokulmuştur. Modellerde üç yıllık veri modelleri eğitmek için iki yıllık veri de modelleri test etmek için ayrılmıştır. Modellerde girdi olarak önceki 2 haftaya ait akış, önceki 5 haftaya ait yağış ve önceki haftaya ait buharlaşma verileri kullanılmıştır. Denemeler sonucunda gizli tabakadaki hücre sayısı her iki model için 5 olarak seçilmiştir. Araştırmacılar YSA'nın akış tahmininde uygun olduğunu göstermişlerdir.

Thirumalaiah ve Deo (2000) Hindistan'da bir havza için bir yağış-akış YSA modeli kurmuştur. Modelin amacı pik akışların tahmin edilmesidir. Modelde girdi olarak 12 istasyonun önceki saatlere ait yağış verileri kullanılmıştır. Eğitme aşaması için 560, test aşaması için 160 saatlik veri ayrılmıştır. Bu süre içinde,14'ü eğitme aşamasında 3'ü ise test aşamasında olmak üzere toplam 17 fırtına meydana gelmiştir. Modelin sonuçları istatistik modellerle kıyaslanmış, YSA modelinin klasik modellerden daha üstün olduğu ortaya konmuştur.

Shamseldin ve diğ. (2002) dünyanın değişik bölgelerinden 8 havza seçerek bir yağış-akış modeli geliştirmiştir. Çalışmanın amacı ileri beslemeli geri yayılım YSA modelinde 5 değişik aktivasyon fonksiyonu uygulayarak en iyi aktivasyon fonksiyonunu seçmektir. Bu amaçla beş yağış-akış modeli kurulmuş, her modelde farklı bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Sonuçlar sigmoid aktivasyon fonksiyonlu modelin daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Sudheer ve diğ. (2002) Hindistan'da bir havzada muson mevsimi (Haziran-Ekim) akışının tahmini için bir yağış-akış YSA modeli kurmuştur. Bu model muson mevsimi (Haziran-Ekim) için kurulmuştur. Çalışmada 23 yıla (1972-1994) ait günlük veriler kullanılmış, girdiler çapraz otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarına göre seçilmiştir. Modelin sonuçları otoregresif hareketli ortalama ve çoklu doğrusal regresyonla karşılaştırılmış, YSA modellerinin akışın tahmininde daha üstün olduğu görülmüş, ayrıca YSA modellerinin pik akışın tahmininde daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

Riad ve diğ. (2004) Fas'ta kurak bir havza için günlük bir yağış-akış modeli geliştirmiştir. Modellerde önceki 7 güne ait akış, yağış ve tahmin edilen günün yağış miktarları girdi olarak kullanılmıştır. Veriler modellerde kullanılmadan önce 0 ile 1 arasında normal hale getirilmiştir. Modelin sonuçları çoklu doğrusal regresyonla kıyaslanmış, YSA modelinin akış tahmininde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Cığızoğlu ve Alp (2004) Büyük Menderes havzası için bir yağış-akış modeli kurmuştur. Çalışmada ileri beslemeli geri yayılım, genelleştirilmiş regresyon ve radyal tabanlı işlemci YSA modelleri kullanılmış, ayrıca çoklu doğrusal regresyon modeli de geliştirmiştir. İleri beslemeli geri yayılım ve çoklu doğrusal regresyon modellerinde 9000 günlük ortalama yağış verisi kullanılmıştır. Bilgisayar hafızası sınırlı olduğundan radyal tabanlı işlemci YSA'da 5000, genelleştirilmiş regresyon YSA'da 4500 günlük veri kullanılmıştır. Modelleri test etmek için 1490 günlük veri kullanılmıştır. Modellerin sonuçları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte genelleştirilmiş regresyon YSA'nın negatif tahmin değerleri vermemesi bu modelin üstünlüğünü göstermiştir.

Senthil Kumar ve diğ. (2005) Hindistan'da iki havza için bir yağış-akış modeli geliştirmek amacıyla iki YSA yöntemi kullanmıştır. Birinci yöntem ileri beslemeli geri

yayılım, ikincisi radyal tabanlı işlemci YSA yöntemidir. Modellerde havzadaki pik akışların tahmin edilmesi amaçlanmış, girdi olarak önceki günlere ait akış ve yağış miktarları kullanılmıştır. Bu girdiler çapraz otokorelasyon, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarına göre seçilmiştir. Veriler modellere sokulmadan önce 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. İleri beslemeli geri yayılım YSA için 18 değişik model kurulmuş, bu modellerden en iyi 3 tanesi akış tahmini için seçilmiştir. Daha sonra radyal tabanlı işlemci YSA için 3 model kurulmuştur. Her iki tip modelin de akış tahmininde yüksek performans gösterdikleri ortaya konmuştur.

Garbrecht (2006) aylık yağış-akış modeli kurmak için ileri beslemeli geri yayılım YSA kullanmış, bunun için 3 değişik model kurmuştur. Modelleri eğitmek için 624 ay, test etmek için 110 aylık veri kullanmıştır. Geliştirilen modeller maksimum ve minimum akışların tahmininde zorlanmış, bu yüzden modeller düzeltilerek daha iyi sonuç verir hale getirilmiştir.

Nor ve diğ. (2007) Malezya'da iki havza için bir yağış-akış modeli geliştirmiştir. Modelin amacı radyal tabanlı YSA kullanarak akış hidrografının tahmin edilmesidir. Modellerde girdi olarak tahmin edilecek saate ait önceki yağış ile önceki saate ait akış verisi kullanılmıştır. Birinci modelde 7 girdi kullanılmış, gizli tabakadaki hücre sayısı 25 alınmıştır. İkinci modelde 6 girdiye karşılık gizli tabakadaki hücre sayısı 22 olarak seçilmiştir. Modellerin sonuçları hidrolojik modellerin sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Aqil ve diğ. (2007) Endonezya'da bir havza için günlük ve saatlik akış tahmini için Levenberg-Marquardt geri beslemeli YSA, Bayesian geri beslemeli YSA ve Neuro-Fuzzy modelleri kurmuştur. Çalışmada veriler hem orijinal halleri ile hem de normalleştirilmiş şekilleri ile kullanıldığında sonuçlarda fazla fark olmadığı görülmüştür. Çalışmada kullanılan verilerin uzunluğu 3 yıldır (2001-2003). Bir günlük akış tahmini için 2 gün önceye ait akış ve 2 gün öncesine ait yağış verileri girdi olarak kullanılmıştır. Model 3 tabakalı ve 4-4-1 mimarisine sahiptir. Gizli tabakada aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik, çıktı tabakada ise lineer fonksiyon kullanılmıştır.

2.4.2 Akış-Akış Modelleri

Akış-akış modellerinde girdi olarak önceki zamanlara ait akış değerleri kullanılır. Akışlar arasındaki korelasyon katsayısının küçük olduğu durumlarda yağış değerlerinin de girdi olarak kullanıldığı olmuştur.

Cığızoğlu (2002), kuruyan bir nehir olan Trakya'daki Şeytan deresi için bir akış-akış modeli kurmuştur. Tahmin için ileri beslemeli geri yayılım YSA yöntemi kullanılmıştır. Çalışma günlük ortalama akış verileri ile geliştirilmiştir. Modeli eğitmek için 6000, modeli test etmek için 1000 günlük veri kullanılmıştır. Girdi olarak önceki 5 güne ait günlük akış ortalamaları kullanılmıştır. Denemeler sonucunda gizli tabakada hücre sayısı 3 olarak seçilmiştir. Çoklu doğrusal regresyonla kıyaslandığında YSA modellerinin daha iyi sonuç verdiği ortaya konmuş, ileri beslemeli geri yayılım YSA'nın kuruyan akarsuların günlük ortalama akımlarının tahmininde kullanabileceği sonucuna varılmıştır.

Dawson ve diğ. (2002) Çin'de Yangtze nehri için bir akış-akış modeli kurmuş, ileri beslemeli geri yayılım ve radyal tabanlı işlemci YSA kullanılmıştır. Çalışmanın amacı 6 saatlik akış tahmininin yapılmasıdır. Girdi olarak önceki saatlere ait akış verileri kullanılmıştır. İleri beslemeli geri yayılım YSA'da gizli tabakada sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmış, gizli tabakadaki hücre sayısı denemeler sonucu 4 olarak tespit edilmiştir. Radyal tabanlı işlemci YSA modellerinde ise gizli tabakadaki hücre sayısı yine denemeler sonucu 7 alınmış, 5 farklı aktivasyon fonksiyonu denenmiştir. Modellerin sonuçları klasik stokastik yöntemlerle kıyaslanmış, radyal tabanlı işlemci YSA'nın akış tahmininde yüksek performans gösterdiği ortaya konmuştur.

Sudheer ve diğ. (2003) Hindistan'da bir havzada günlük pik akış miktarları tahmini için bir ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Gözlenen veriler önce aynen, sonra standart normal hale getirilerek modellerde kullanılmıştır. Verilerin bu iki farklı kullanımından elde edilen sonuçlar kıyaslandığında standart normal hale getirilen verilerin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Cığızoğlu (2003) Doğu Akdeniz bölgesinde bulunan Göksu nehri için bir akış-akış ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli geliştirmiş, modelde aylık akış ortalamaları kullanılmıştır. Modeli eğitmek için 200, modeli test etmek için 124 aya ait veri

kullanılmıştır. Girdi olarak önceki 6 aya ait aylık akış ortalamaları kullanılmış, bu girdilere periyodik bileşen de eklenmiştir. Daha iyi sonuç alabilmek için sentetik seri türeterek eğitme verileri uzatılmıştır. Sonuç olarak periyodik bileşen girdi olarak kullanıldığında ve modellere sentetik seriler eklendiğinde modelden daha iyi sonuç elde edildiği görülmüştür.

Cığızoğlu (2005) yine Doğu Akdeniz bölgesinde bulunan Karahacılı istasyonu için bir YSA modeli geliştirmiş, genelleştirilmiş regresyon ve ileri beslemeli geri yayılım YSA yöntemleri kullanılmıştır. Verilerin sınırlı olmasından dolayı bir sentetik seri türeterek eğitme verileri uzatılmıştır. Bu yöntemlerle beraber AR(6) ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri de kullanmıştır. Periyodik bileşen modellere girdi olarak sokulduğunda iyi bir performans elde edildiği görülmüş, ayrıca eğitme verilerinin sentetik serilerle uzatılması durumunda daha iyi sonuç alındığı ortaya konmuştur. Çalışmada genelleştirilmiş regresyon YSA modelinin aylık akış tahmininde iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.

Cığızoğlu (2005) Ergene nehri için YSA ve klasik yöntemler kullanarak dört farklı tahmin modeli kurmuştur. Çalışmada kullanılan YSA modelleri ileri beslemeli geri yayılım ve genelleştirilmiş regresyon YSA modelleridir. Diğer modeller ise çoklu doğrusal regresyon ve otoregresif modellerdir. Modellerin amacı günlük ortalama akış miktarlarını tahmin etmektir. Modellerde girdi olarak iki gün öncesine ait akışlar ve periyodik bileşen kullanılmıştır. Daha sonra Ergene nehrinin günlük akış tahmini için Şeytan Deresi ve Hayrabolu Deresinin günlük akışları girdi olarak kullanılmıştır. Genelleştirilmiş regresyon ve ileri beslemeli geri yayılım YSA'nın iyi sonuç verdiği görülmüş, diğer modellerle kıyaslandığında genelleştirilmiş regresyon YSA'nın daha üstün olduğu ortaya çıkmıştır.

Ahmad ve Simonovic (2005) Kanada'da bir havza için yıllık pik akış hidrografı tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Çalışmada kullanılan verilerin uzunluğu 40 yıldır (1958-1997). Pik akışları 400 m^3/s'den az olan veriler çalışmada kullanılmamıştır. 6 yılın (1976, 1978, 1979, 1989, 1996 ve 1997) pik akışı tahmini yapılmıştır. Modelde girdi olarak yağış indeksi, erime indeksi, zaman, kış ve ilkbahar yağışları kullanılmıştır. Modelin tahminleri ise pik akış, pik akış zamanı, taban akışı,

yükselme ve çekilme zamanı ve piklerin hidrograf genişliğidir. YSA'nın akış hidrografı tahmininde çok başarılı olduğu gösterilmiştir.

Piotrowski ve diğ. (2006) Polonya'da bir havza için lineer ve lineer olmayan yöntemler kullanarak bir akış modeli geliştirmiş, çoklu tabakalı ve radyal tabanlı YSA kullanmıştır. Modellerin sonuçları lineer modellerin sonuçlarıyla kıyaslanmış, radyal tabanlı YSA'nın taşkın tahmininde daha iyi olduğu görülmüştür.

Singh ve Deo (2007) Hindistan'da Narmada nehri için ileri beslemeli geri yayılım, radyal tabanlı, genelleştirilmiş regresyon YSA ve Neuro-Fuzzy yöntemlerine dayanan akış-akış modelleri geliştirmiştir. Modellerin amacı günlük akışın tahmin edilmesidir. Girdileri seçmek için verilerin otokorelasyon yapısı incelenmiştir. Buna göre önceki 3 güne ait akışın uygun olduğu tespit edilmiştir. Veriler modellerde yıllık ve mevsimlik olarak kullanılmıştır. Çalışmada verilerin 1987-1995 yılları arasında olan kısmı modellerin eğitilmesinde, 1996 yılı verileri ise modellerin test edilmesinde kullanılmıştır. Yıllık veriler kullanıldığında radyal tabanlı YSA tahmin sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüş, mevsimlik veriler kullanıldığında ise radyal tabanlı ve ileri beslemeli geri yayılım YSA tahmin sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca radyal tabanlı YSA'nın maksimum akış tahmininde başarılı olduğu, modellerin mevsimlik verilerle kullanılması durumunda yıllık verilerle kullanıldığından daha iyi sonuç verdiği ortaya konmuştur.

Joorabchi ve diğ. (2007) ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli ile dört günlük akış tahmini modeli kurmuştur. Çalışmada iki değişik model kullanılmıştır. Birinci model 15 girdili, 1 gizli tabakalı ve 4 çıktılı bir modeldir. İkinci model ise 15 girdili, 2 gizli tabakalı ve 4 çıktılıdır. Gizli tabakalarda 10 hücre kullanılmıştır. Her iki modelin de akış tahmininde büyük bir başarı gösterdiği ortaya konmuş, ayrıca 2 gizli tabakalı modelin 1 gizli tabakalı modelden daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.

Kişi (2007) ABD'den temin ettiği verilere bir akış-akış tahmin modeli uydurmuştur. Modelin amacı 1, 2 ve 3 günlük akış tahmini yapmaktır. Modellemede 4 farklı çoklu tabakalı YSA algoritması kullanılmış, Levenberg-Marquardt algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

2.4.3 Diğer Hidrometeorolojik Uygulamalar

ASCE (2000a,b) YSA'nın su kaynakları alanındaki uygulamalarına geniş yer vermektedir. Bu çalışmada YSA ile ilgili yöntemler ve modelleme teknikleri hakkında geniş bilgi verilmiş, bu tekniklerin akış, su kalitesi, yer altı suyu, yağış ve diğer hidrolojik uygulamaları tanıtılmıştır.

Maier ve Dandy (2000) literatürde YSA'nın su kaynakları alanında uygulaması ile ilgili geniş bir araştırma yapmıştır. Çalışmada YSA ile ilgili 43 makalenin ayrıntılı bir incelemesi sunulmuştur.

Bodri ve Cermak (2003) Prag'da 6 saatlik ve 1 günlük hava sıcaklığı tahmini için ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Çalışmada kullanılan veriler 1998-2000 yıllarını kapsamaktadır. Yani verilerin uzunluğu 26280 saattir. Veriler modellere sokulmadan önce 0 ile 1 arasında kalacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada iki model kurulmuştur. Birinci model yaz aylarının (Nisan-Eylül) hava sıcaklığı tahmini için kurulmuş olup yapısı 4-4-1 şeklindedir. Yani birinci tabakadaki eleman sayısı 4'tür. İkinci model ise kış aylarının (Ekim-Mart) hava sıcaklığı tahmini için kurulmuştur. Modelin yapısı 6-4-1 şeklindedir. Gizli tabakada sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Modellerin hava sıcaklığı tahmininde iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

Daliakopoulos ve diğ. (2005) Girit adasında bir havzada yer altı suyu miktarını ölçmek için YSA modellerini kullanmıştır. Çalışmada 7 farklı YSA mimarisi ve 7 farklı algoritma kullanılmıştır. Modellerin amacı 18 ay sonraki yer altı suyunun miktarının tahmin edilmesidir. İleri beslemeli geri yayılım YSA'nın daha iyi sonuç verdiği, kullanılan algoritmalar arasında Levenberg-Marquardt algoritmasının en başarılı olduğu ortaya konmuştur.

Mishra ve Desai (2006) Kansabati havzasındaki kuraklığın tahmin edilmesi amacıyla ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuş, model lineer stokastik modellerle kıyaslanmıştır. Çalışmada aylık yağış miktarları SPI kullanılarak 7 gruba ayrılmıştır. Daha sonra SPI çıktılarına YSA ve lineer stokastik modeller uygulanmıştır. Çalışmada kuraklığın 3, 6, 9, 12 ve 24 ay sonraki durumu tahmin edilmiştir. Modellerde 1965-1994 yılları arasındaki veriler modelleri eğitmek için, 1995-2001 yılları arasındaki veriler modelleri test etmek için kullanılmıştır. Girdi tabakadaki hücre sayısı 1'den 20'ye kadar

denenerek tespit edilmiştir. Gizli tabakadaki hücre sayısı 1 ile 2*n*+1 ifadesi kullanılarak seçilmiştir. Burada *n* modeldeki girdi sayısıdır. Gizli tabakada sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Sonuç olarak YSA'nın kuraklık tahmininde kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Kişi (2006) ABD'den günlük buharlaşma verileri için genelleştirilmiş regresyon YSA modeli kurmuştur. Modelin amacı iki istasyonda günlük buharlaşma miktarının tahmin edilmesidir. Modelde girdi olarak hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve güneş radyasyonu kullanılmış, genelleştirilmiş regresyon YSA'nın günlük buharlaşma tahmininde başarılı olduğu ortaya konmuştur. Bu konuda Aytek ve diğ. (2008) tarafından yapılmış açık formülasyonlu YSA modelinden de bahsetmek gerekir. Ayrıca YSA'nın buharlaşma verileri ile kullanıldığı çalışmaların yapılan tartışmaları mevcuttur (Aksoy ve diğ. 2007, 2008; Koutsoyiannis, 2007).

Cığızoğlu ve Kişi (2006) ABD'den bir akım gözlem istasyonu için günlük toplam katı madde tahmini için bir ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Çalışmada kullanılan veriler önce üç gruba ayrılarak tahmin yapılmış, daha sonra bu üç grup veri bir modele sığdırılarak yeni bir tahmin modeli kurulmuştur. Katı madde tahmininde gruplar kullanılarak daha iyi sonuç alındığı anlaşılmıştır.

Dibike ve Coulibaly (2006) Kanada'da bir nehir bölgesi için iklim değişimini incelemiştir. Çalışmanın amacı iklim değişimi senaryolarının global sirkülasyon modellerinden alınarak istasyon bazında tahmin yapılmasıdır. Veriler CGCM1 (Canadian global climate model) ve NCEP (National Centers for Environmental Prediction) merkezlerinden alınmıştır. Bunun için YSA modeli kullanılarak seçilen istasyonda iklim değişimi araştırılmıştır. İstasyonda 2020, 2050 ve 2080 yıllarındaki yağış, minimum ve maksimum sıcaklıktaki iklim değişimi incelenmiş, modelin sonuçları istatistiksel indirme yöntemleriyle kıyaslanmıştır. YSA yöntemleri kullanıldığında daha iyi sonuç alındığı görülmüştür.

2.5 YSA ile Sentetik Seri Türetilmesi

Raman ve Sunilkumar (1995) bir YSA modeli kurarak aylık akış sentetik serileri türetmiştir. Modeli kıyaslamak için ikinci mertebe otoregresif [AR(2)] modeli

kullanılmış, elde edilen sonuçlar ışığında YSA'nın sentetik veri türetilmesinde AR(2) modelinin alternatifi olabileceği ortaya konmuştur.

Ochoa-Rivera ve diğ. (2002) de yine sentetik aylık akış verilerinin türetilmesi amacıyla ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kurmuştur. Veriler önce normalize edilmiş, daha sonra stasyoner hale getirilmiştir. Modelde girdi olarak önceki iki aya ait ölçülen akışlar kullanılmıştır. Gizli tabakadaki hücre sayısı denemeler sonucunda 2 olarak tespit edilmiştir. Modelin sonuçları AR(2) sonuçları ile kıyaslandığında ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağlarının AR(2) modelinin bir alternatifi olabileceği görülmüştür.

Ahmed ve Sarma (2006) da sentetik seriler türetmek için ileri beslemeli geri yayılım YSA, Thomas-Fiering ve otoregresif hareketli ortalama modellerini kurmuştur. Denemeler sonucunda gizli tabakada 5 hücre kullanıldığında daha iyi sonuç alındığı görülmüş, gizli ve çıktı tabakalarında sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Modellerin sonuçları kıyaslandığında ileri beslemeli geri yayılım YSA'nın aylık akışların türetilmesinde daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

2.6 Stokastik Yöntemlerle Yapılan Çalışmalar

Stokastik yöntemler kullanılarak hidrometeorolojik verilerin simülasyonu ya da tahmin amaçlı modellenmesi çalışmalarının çok eski bir geçmiş vardır. İlk çalışma Rippl (1883) tarafından hazne kapasitesi bulmak için toplam akış eğrisi yöntemi ile yapılmıştır. Hazne kapasitesinin belirlenmesi Hazen (1914) tarafından incelenmiştir. Sudler (1927) 50 yıllık akım gözlemlerini kartlara yazarak karıştırmış, kartlar arasından rastgele yapılan çekimler ile 1000 yıllık veri türetmiştir.

Delleur ve Kavvas (1978) otoregresif hareketli ortalama modelini kullanarak aylık ortalama yağışların sentetik serilerini türetmiştir. Benzer şekilde Srikanthan ve McMahon (1982) yıllık ve aylık yağış serilerini türetmek amacıyla birinci mertebe otoregresif model ve fragmanlar yöntemini kullanmıştır. İlk model yıllık, ikinci model aylık yağış verilerinin türetilmesinde kullanılmıştır. Her iki yöntemin yıllık ve aylık yağış serilerinin türetilmesinde başarılı oldukları görülmüştür.

Cığızoğlu ve Bayazıt (1998) yıllık ortalama akışı türetmek amacıyla bir gamma otoregresif modeli geliştirmiştir. Şen ve diğ. (2000) Van gölünde aylık su seviyesinin

sentetik serilerini türetmek için model geliştirmiştir. Zaman serisinde gözlenen trend uydurulan regresyon çizgisi, periyodik bileşen ise Fourier serisi ile seriden çıkartılmıştır. Daha sonra zaman serisi aylık olarak standart hale getirilmiştir. Aylık zaman serileri türetmek için ikinci mertebe otoregresif modeli kullanılmıştır.

Aksoy ve Bayazıt (2000) Markov zincirlerine dayanan kuruyan akarsular için bir model geliştirmiştir. Modelin amacı günlük akış verilerinin türetilmesidir. Modelde türetilen ve gözlenen günlük ortalama akışların birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür.

Bayazıt ve Aksoy (2001) yıllık ve aylık akış verisini türetmek için dalgacık analizi yöntemini kullanmış, Bayazıt ve diğ. (2001) ise dalgacık analizinin yanında Fourier analizini yıllık ve aylık akımların simülasyonu için geliştirmiştir. Çalışmada gözlenen seri önce dalgacık ile çeşitli frekanslarda ayrıştırılmış ve daha sonra sentetik seriler türetilmesine geçilmiştir.

Ahmad ve diğ. (2001) suyun kalitesinin tahmini için stokastik modeller kurmuştur. Çalışmada sırasıyla mevsimlik otoregresif hareketli ortalama, stasyoner otoregresif hareketli ortalama ve Thomas-Fiering modelleri kullanılmıştır. Thomas-Fiering modelinin uzun süreli tahmin ve sentetik seriler türetilmesinde uygun olduğu ortaya konmuştur.

Kuyu verileri kullanılarak yeraltı tabakalarının belirlenmesi amacı ile Bohling ve Dubois (2003)'in yaptığı çalışmada YSA ve Markov zinciri birlikte kullanılmıştır. Uygulama alanı hidroloji değilse de YSA ve Markov zincirlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışma olması dolayısıyla burada bahsedilmesi uygun görülmüştür. Gözlenen kuyu verilerinden Markov zinciri geçiş olasılıkları hesaplanmış, ardından yeraltı tabakalarının tahmini yapılmıştır.

Aksoy ve diğ. (2004) Diyarbakır meteoroloji istasyonundan sağlanan bir saatlik ortalama rüzgar hızını türetmek için yine dalgacık analizini kullanmıştır. Modelin sonuçları olasılık ve stokastik modellerin sonuçları ile karşılaştırılmış, dalgacık analizinin olasılık ve stokastik modellere bir alternatif olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Ünal ve diğ. (2004) Göztepe meteoroloji istasyonuna ait aylık ve yıllık toplam yağışa ait zaman serileri türetmiştir. Çalışmada dalgacık analizi, literatürden alınan klasik

yöntemlerle karşılaştırılmış, dalgacık analizinin belirli karakteristikleri korumada daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Kurunç ve Yurtseven (2005) Fırat nehrinde suyun kalitesinin tahmini için bir model kurmuş, çalışmada Thomas-Fiering yöntemi kullanılmıştır. Bunun için her aya ait denklemler ayrı ayrı kurulmuştur. Tahmin edilen su kalitesi değerleri olçülen değerlere çok yakın elde edildiğinden yöntemin su kalitesi tahminlerinde kullanılması tavsiye edilmiştir.

Srikanthan ve diğ. (2006) çok sayıda meteoroloji istasyonu için yıllık ve aylık yağış miktarları türetmek için iki model geliştirmiştir. Birinci model parametrik olan düzeltilmiş fragmanlar yöntemi, ikinci model ise uzun dönem bağımlılığı içeren parametrik olmayan bir modeldir. Her iki modelin de yıllık ve aylık yağış zaman serilerinin türetilmesinde başarılı oldukları görülmüştür.

2.7 Değerlendirme Sonuçları

Yapılan literatür taraması sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

1. YSA modelleri kullanılarak Ürdün ile ilgili yapılmış sınırlı çıktıları olan sadece bir tane çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada aylık toplam yağışları ileri beslemeli geri yayılım YSA kullanarak tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçları tatminkar olmaktan uzaktır.
2. YSA ile yapılan yağış tahmininde genellikle ileri beslemeli geri yayılım ve radyal tabanlı YSA kullanılmıştır. Genelleştirilmiş regresyon YSA ise yağış tahmininde kullanılmamıştır.
3. Yağış tahmini saatlik, günlük, haftalık, aylık ve yıllık zaman aralıklarında yapılmıştır. Tahmin süresi kısaldıkça ve girdiler ile çıktılar arasındaki korelasyon katsayısı büyüdükçe daha iyi sonuç alınmıştır.
4. Modellerde girdi olarak genellikle önceki zaman aralığına (aylara) ait ya da aynı ayın önceki yıllara ait yağış miktarları kullanılmıştır. Bazı modellerde ölçülen atmosferik değişkenler girdi olarak modele sokulmuş, uydu ya da radar görüntülerinin çıktıları yağış tahmininde kullanılmıştır. Ayrıca global

sirkülasyon ya da bölgesel iklim model çıktıları da YSA'da girdi olarak kullanılmıştır.

5. Akış modelleri tahmin sonuçlarının yağış modelleri tahmin sonuçlarından daha başarılı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi akışların, yağışlardan daha az değişkenlik göstermesidir.
6. Akış modellerinde ileri beslemeli geri yayılım, radyal tabanlı ve genelleştirilmiş regresyon YSA kullanılmıştır.
7. YSA modellerinin eğitme aşaması için gerekli veri sayısı fazla olduğundan kısa süreli zaman serileri sentetik seriler türetilerek uzatılmıştır. Böylece YSA modellerinin tahmin yetenekleri geliştirilmiştir.
8. YSA modellerinin geleneksel istatistik ve stokastik modellerden daha üstün olduğu görülmüş, YSA modelleri arasında ileri beslemeli geri yayılım YSA'nın, radyal tabanlı ve genelleştirilmiş regresyon YSA'dan daha başarılı olduğu ortaya konmuştur.
9. YSA'nın pik yağış ve akış tahmininde iyi sonuç vermediği, ayrıca YSA'nın fiziksel anlamı olmayan negatif tahminlerde bulunduğu görülmüştür.
10. YSA sıcaklık, buharlaşma, yer altı suyu ve katı madde tahmininde, hatta lokal iklim değişiminin belirlenmesinde bile kullanılmıştır.

2.8 Çalışmanın Gerekliliği

Literatür taraması ve yukarıdaki değerlendirmeler ışığında bu çalışma kapsamında aşağıdaki incelemelerin yapılabileceği anlaşılmıştır. Bu konular bugüne kadar ele alınmış değildir. Bu yüzden bu çalışmanın YSA teknolojisinin gelişmesine katkıda bulunacağı ve uygulama alanını genişleteceği düşünülmektedir.

1. Ürdün gibi kurak bölgelerin yağışları YSA ile hemen hemen hiç incelenmemiştir.
2. Genelleştirilmiş regresyon YSA yağış tahmininde daha önce hiç kullanılmamıştır.

3. Sentetik yağış verileri türetilerek, eğitme kümesinin uzatıldığı YSA modelleri yağış verilerine uygulanmamıştır.
4. Jeolojik amaçlı bir çalışmada Bohling ve Dubios (2003) Markov zincirleri ile YSA'yı birlikte kullanmışlardır. Bu çalışmada önerildiği şekil ile Markov zincirlerinin YSA modelleri ile birlikte kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yağış tahmininde Markov zincirleri ile YSA ilk kez bu çalışmada bir arada kullanılmıştır. Bu yöntem sayesinde hem kuru ayların tahmin edilmesi mümkün olacak, hem de YSA modellerinde ortaya çıkan negatif tahminler önlenecektir.
5. Bu çalışmada ayrıca girdi tabakasındaki verilerin aldığı değerlerin belli koşullar altında değiştiği koşullu YSA yapısı geliştirilmiştir.

3. UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

3.1 Genel Bilgi

Ortadoğu'da yarı kurak ve kurak iklim bölgesinde 90 000 km^2'nin üzerinde bir alana sahip Ürdün su kıtlığı çekmektedir. Hızlı nüfus artışı, sosyoekonomik gelişme ve su kalitesindeki azalma ülkenin %90'ından fazlasının yıllık ortalama yağışın 200 mm'den az yağış aldığı ve yağışın %90'ının buharlaştığı ülkedeki su kıtlığını artırmaktadır. Ülkedeki su ihtiyacının %73'ü sulama, %22'si şehirlerde kullanma ve %5'i de endüstri kaynaklıdır. Ülkedeki toplam su ihtiyacı yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarından sağlananın iki katı kadardır (Al-Weshah, 2005). Bu nedenle Ürdün'ün önemli şehirlerine içme suyu sağlayan Azraq havzası, yeraltı suyu seviyesinin azalmasıyla kuru hale gelmiştir (Al-Kharabsheh, 2000).

Ürdün'ün %80'i kuraktır. Kurak dönemlerde yeraltı suyu kullanılmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen tek kaynak yağıştır. Ürdün'ün batısında Ürdün nehri bulunmaktadır. Bu nehir Ürdün ve İsrail tarafından ortaklaşa kullanılmaktadır. Nehrin suyu bölgede bulunan tarım alanlarını sulamaya hizmet etmektedir.

Ürdün genel anlamda, subtropikal kuşakta gerçekleşen ve Akdeniz iklim tipi adı altında tanınan bir iklim tipinin alanı içindedir. Ürdün'ün batısında kuzey-güney doğrultusunda uzanan dağlar batıdan gelen akımların iç kısımlara sokulmasını güçleştirir. Bu orografik yapı, dağlık ve iç kesimler arasındaki termik farklılıkları (yağış, sıcaklık ve nemlilik farkları) kuvvetlendirir.

Ürdün'ün yağışı genel olarak Kıbrıs üzerinde yerleşen alçak basıncın soğuk cephe sisteminden meydana gelir. Bu cephe sistemi doğuya doğru hareket edince yağışını Ürdün üzerinde bırakır. Kıbrıs üzerinde yerleşen alçak basınç merkezi ne kadar derinleşirse yağış o kadar artmaktadır. Kutuptan gelen kuzeyli rüzgarlar Türkiye'yi geçerek Kıbrıs üzerinde bulunan alçak basınç merkezinin derinleşmesine sebep olur.

Bunun sonucu olarak kar yağışı görülmektedir. Alçak basınç sisteminin Ürdün'ün kuzey ve batı kısmına etkisi büyüktür. Ürdün'ün güney ve doğu kısmı ise atmosferin kararsızlığından etkilenmektedir.

Ürdün üç iklim bölgesinden oluşmaktadır.

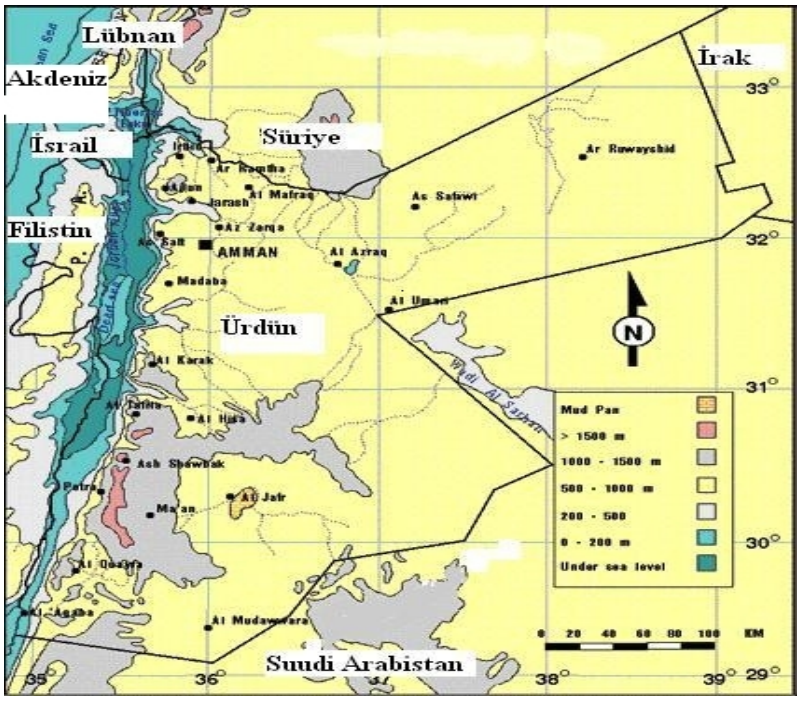
(a) **Dağlık Bölgesi:** Bu bölge Ürdün vadisinin doğusunda uzanmaktadır. Bu bölgenin genişliği yaklaşık olarak 30 km, uzunluğu ise 330 km'dir. Bölgenin rakımı 600-1400 m arasında değişmekte, Ürdün'ün güneyinde ise rakım 1700 m'ye çıkmaktadır. Ürdün'e düşen yağış en fazla bu bölgede olmaktadır. Güneye doğru gidildikçe yağış azalmaktadır. Ürdün nüfusunun çoğu bu bölgede yaşamaktadır. Bu çalışmada bu bölgeye ait Amman istasyonu seçilmiştir.

(b) **Badiye Bölgesi:** Bu bölge dağlık bölgenin doğusunda bulunmakta ve Ürdün yüzölçümünün %80'ini kaplamaktadır. Rakımı 600-1200 m'ye kadar varmaktadır. Bu bölgeye düşen yağış miktarı azdır. Bu bölgeye ait Safawi istasyonu seçilmiştir.

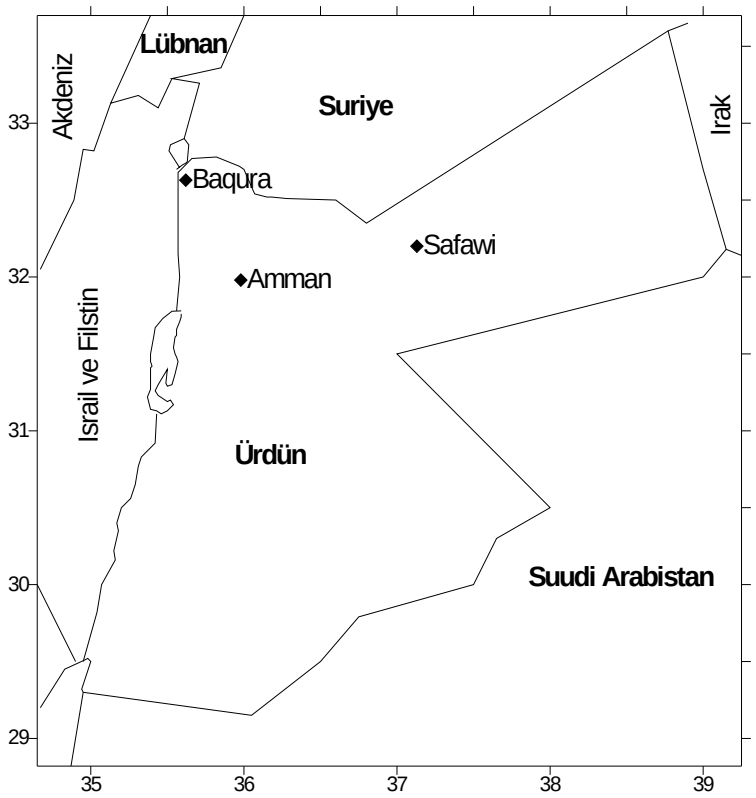
(c) **Vadi ve Akabe Körfezi Bölgesi:** Bu bölge Ürdün'ün batısında uzanmaktadır. Bölgenin en büyük özelliği dünyanın en alçak bölgesi olmasıdır. Rakımı 150-416 m deniz seviyesi altında bulunmaktadır. Ayrıca başka bir özelliği kışın soğuk olmamasıdır. Yağış ise güneye gidildikçe azalmaktadır. Bu bölgeye ait Baqura istasyonu seçilmiştir.

Bu çalışmada Ürdün Meteoroloji İdaresi tarafından işletilen yukarıda adı geçen 3 meteoroloji istasyonunun yağış kayıtları kullanılacaktır. Ürdün ve bu istasyonların Ürdün'deki konumları Şekil 3.1 ve 3.2'de verilen haritalarda gösterilmiştir. İstasyonların özellikleri ise Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Amman istasyonuna ait verilerin analizi ve geliştirilen modellerin eğitme ve test sonuçları detaylı bir şekilde incelenecek, Safawi ve Baqura istasyonlarına ait veri analizi ve model sonuçları ise Ek kısmında verilecektir.



Şekil 3.1: Ürdün Topografya Haritası (Ürdün Coğrafya Merkezi)



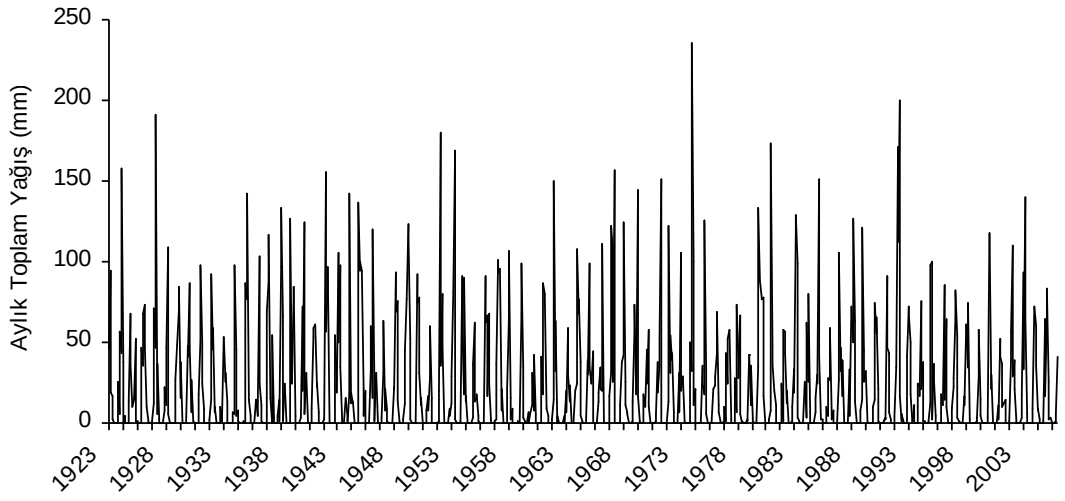
Şekil 3.2: Ürdün ve İstasyonların Konumları

Tablo 3.1: Çalışmada Kullanılan Yağış İstasyonlarının Özellikleri

No	Adı	Yeri	Doğu boylamı	Kuzey enlemi	Yükselti (m)	Kuru ay (%)	Gözlem süresi (yıl)
40270	Amman	Dağlık Bölge	35^0 58' 08''	31^0 58' 08''	772	38	1/1923-12/2005 (83 yıl)
40260	Safawi	Badiye Bölge	37^0 07' 08''	32^0 01' 02''	672	47	1/1943-12/2005 (65 yıl)
40257	Baqura	Vadi Bölge	35^0 37' 02''	32^0 37' 08''	-170	38	1/1968-12/2005 (38 yıl)

3.2 Amman İstasyonu Yağış Gözlemlerinin İstatistik Özellikleri

Amman istasyonunun 83 yıllık ölçülmüş aylık toplam yağış serisi Şekil 3.3'te, yağış serisinin genel istatistikleri de Tablo 3.2'de verilmiştir. Çarpık dağılımlara uyan Amman istasyonu aylık toplam yağışlarının aylar arasındaki iç bağımlılığının çok yüksek olmadığı görülmektedir. Ayların %38'inde yağış gözlenmemiştir.



Şekil 3.3: Amman İstasyonu Aylık Toplam Yağışı

Tablo 3.2: Amman İstasyonu Yağış Serisinin İstatistikleri

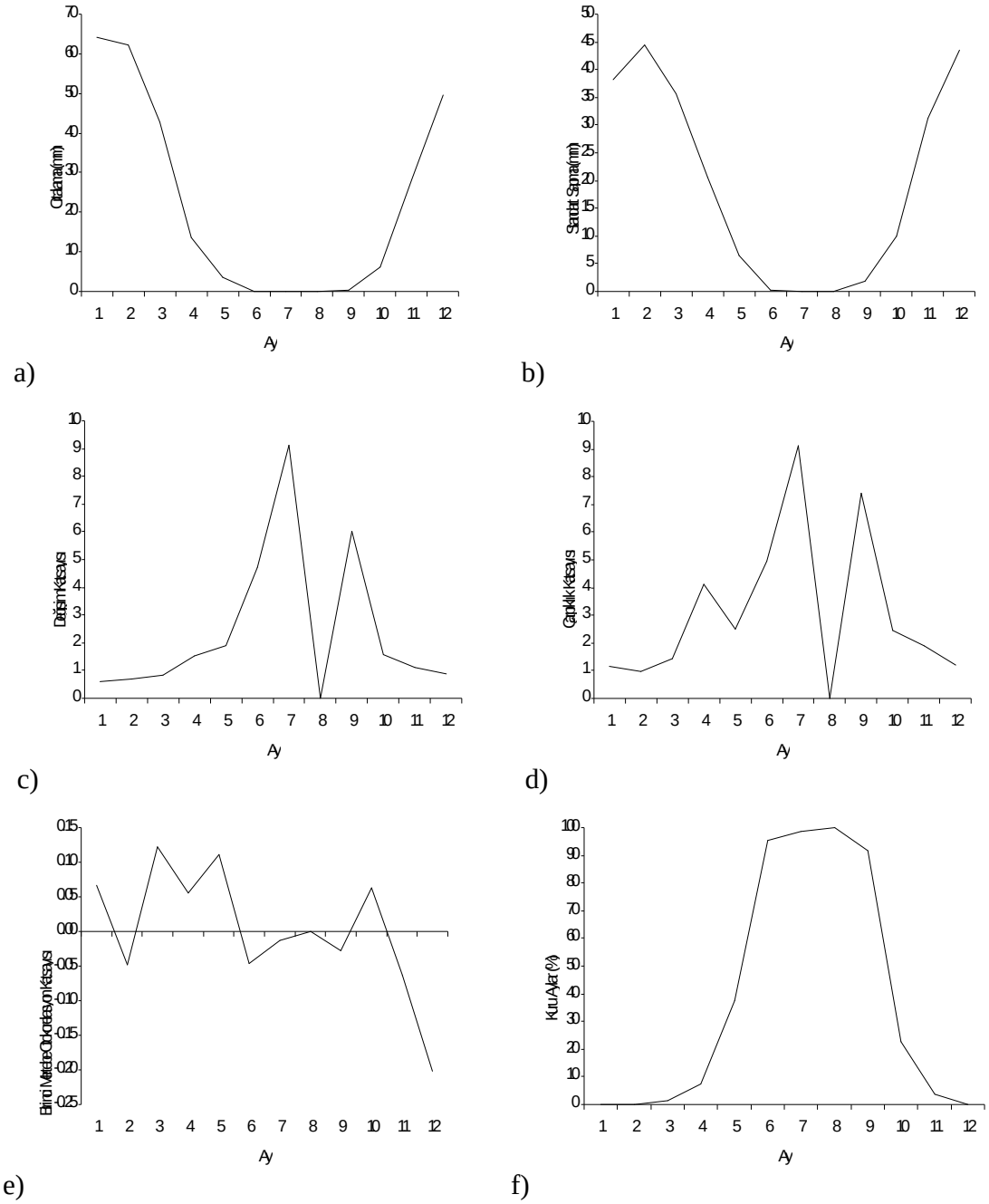
Ortalama (mm)	Standart Sapma (mm)	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı	Kuru Ay (%)
22.5	35.7	1.58	2.11	0.39	38

İstasyonun ortalama aylık yağış miktarları, standart sapma, değişim katsayısı, çarpıklık katsayısı, birinci mertebe otokorelasyon katsayısı ve kuruma oranı ise Şekil 3.4'te verilmiştir. Ürdün'ün Akdeniz tipi iklimine uygun bir şekilde sonbahar, kış ve ilkbahar aylarında yağış görüldüğü, yaz aylarında ise yağış gözlenmediği anlaşılmaktadır (Şekil 3.4a). Kış aylarında yağışın değişimi büyük olmakla birlikte (Şekil 3.4b), ortalama aylık toplam yağışa oranlandığında bu değişim asıl yaz aylarında büyük olduğu (Şekil 3.4c) görülmektedir. Bunun nedeni yaz aylarında gözlenen yağışın çok az olmasıdır. Ağustos ayında gözlem süresince hiç yağış düşmediğine dikkat edilmelidir. Yağış serisinin çarpık bir dağılımının olduğu, çarpıklığın yaz aylarında arttığı (Şekil 3.4d), ancak önemli bir iç bağımlılıktan bahsedilemeyeceği (Şekil 3.4e) söylenebilir. Yine Ürdün ikliminin doğal bir sonucu olarak yaz aylarında yağış gözlenmeyen ayların sayısının arttığı, Ağustos ayında bu oranın %100 olduğu, yani 83 aylık gözlem süresince Amman istasyonuna Ağustos ayı boyunca hiç yağış düşmediği belirlenmiştir (Şekil 3.4f).

3.3 Eğitme ve Test Verileri

Modellerde kullanılacak veri eğitme ve test için keyfi olarak iki kısma ayrılmıştır. Amman istasyonu için Ocak 1923'ten Aralık 1995'e kadar olan 73 yıllık veri modellerin eğitilmesi için seçilmiş, Ocak 1996'dan Aralık 2005'e kadar olan 10 yıllık veri ise modelleri test etmek için kullanılmıştır.

Amman istasyonuna ait aylık toplam yağış verilerinin istatistik parametreleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Bunlar ortalama, standart sapma, değişim katsayısı, çarpıklık katsayısı, birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, minimum ve maksimum yağış değerleridir. Görüldüğü gibi eğitme aşamasındaki ortalama yağış değeri ile standart sapma test aşamasındaki verilerin ortalama ve standart sapmasından farklı ise değişim katsayısı her iki aşamada da hemen hemen aynıdır. Yine hem eğitme hem de test aşamasındaki yağış verilerinin çarpıklıkları büyüktür. Ayrıca eğitme aşamasındaki maksimum yağış miktarının test aşamasındaki maksimum yağış miktarından farklı olduğu görülmektedir. Buna karşın birinci mertebe otokorelasyon katsayısı her iki aşamada da hemen hemen aynıdır.



Şekil 3.4: Amman İstasyonu Aylık Toplam Yağış İstatistikleri a) Ortalama, b) Standart Sapma, c) Değişim Katsayısı, d) Çarpıklık Katsayısı, e) Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı, f) Kuru Aylar

Tablo 3.3: Amman İstasyonu Aylık Toplam Yağış Verilerinin İstatistikleri

Veri	Ortalama (mm)	Standart Sapma (mm)	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Eğitme	23.0	36.4	1.58	2.11	0.38	0.0	235.2
Test	19.4	29.7	1.53	1.78	0.42	0.0	140.1

3.4 Homojenlik ve Trend Testleri

Bu çalışmada verilerin istasyon bazında homojenliğinin kontrol edilmesi için istasyonlara ait, yıllık toplam yağış zaman serilerine üç farklı homojenlik testi uygulanmıştır. Bu yöntemler, Von-Neumann oranı testi, Pettitt testi ve Standart normal homojenlik testidir. Bu üç homojenlik testinin bir arada kullanılmasının nedeni bu testlerin birbirlerinden farklı ancak birbirlerini tamamlayıcı özellikte olmasıdır (Wijngaard ve diğ., 2003). Standart normal homojenlik testi daha çok serinin başındaki ve sonundaki sıçramaları belirlerken, Pettitt testi daha çok serinin ortası için hassastır. Von Neumann oran testi ise homojenliğin bozulduğu belirli bir yer tespiti yapmaz. Ayrıca veriler Spearman sıra ve t-testlerinden de geçirilerek verilerdeki olası trendler kontrol edilmiştir.

3.4.1 Von-Neumann Oranı Testi

Bu testin sıfır hipotezinde değişkenin bağımsız ve benzer yayılım gösterdiği, karşıt hipotezinde ise değişkenin rastgele dağılıma sahip olduğu kabul edilir. Bu test homojenliğin bozulduğu yer tespiti yapmaz, yani zaman serisinde homojenliği bozan yıl hakkında bilgi vermez (Wijngaard ve diğ., 2003).

Von-Neumann oranı testinde N_v, ardışık farkların karelerinin ortalama değerinin varyansa oranını açıklamak üzere (Von Neumann, 1941)

$$N_v = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}(X_i - X_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2} \qquad \textbf{(3.1)}$$

ile tanımlanmıştır. Teste ait %5 anlamlılık düzeyindeki kritik değerler Tablo 3.4'te örnekteki eleman sayısına (*N*) göre verilmiştir. (3.1) ile hesap edilen N_v değeri, kritik değeri (N_k) aşarsa H_0 hipotezi kabul, yani veri homojen kabul edilir.

Tablo 3.4: Von-Neumann Oranı Testinin %5 Anlamlılık Düzeyindeki Kritik Değerleri (Wijngaard ve diğ., 2003)

N	20	30	40	50	70	100
N_k	1.30	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67

3.4.2 Pettitt Testi

Bu test verilerin sırası ile ilgilidir, verilerin dağılımı ile ilgilenmez. Sıfır hipotezinde test edilecek değişkenin bağımsız ve benzer olduğu, karşıt hipotezde ise ortalamalardan farklı bir sıçramanın görüldüğü kabul edilir. Bu testin aykırı değerlere karşı hassasiyeti yoktur (Wijngaard ve diğ., 2003).

Bu test parametrik olmayan bir sıra testidir. $X_i,...,X_n$ serisindeki elemanların sıraları $r_1,...,r_n$ olmak üzere test istatistiği

$$N_p = 2\sum_{i=1}^{p} r_i - p(n+1) \qquad , \; p = 1,...,n \qquad \textbf{(3.2)}$$

ile hesaplanır. E yılında bir kırılma olursa istatistik $p = E$ yılı yakınında maksimum veya minimumdur.

$$N_E = \max_{1 \le p \le n} \left| N_p \right| \qquad \textbf{(3.3)}$$

Pettitt (1979) tarafından belirlenen kritik değerler Tablo 3.5'te farklı sayıda elemanı olan örnekler için %5 anlamlılık düzeyinde verilmiştir. Hesap edilen N_E değeri kritik değeri aşmazsa H_0 hipotezi kabul, yani veri homojen kabul edilir.

Tablo 3.5: Pettitt Testi İçin %5 Anlamlılık Düzeyindeki Kritik Değerleri (Wijngaard ve diğ., 2003)

N	20	30	40	50	70	100
N_k	57	107	167	235	393	677

3.4.3 Standart Normal Homojenlik Testi

Testi yapılacak verilerin normal dağıldığı kabul edilen parametrik bir testtir. Yağış zaman serisi verilerinden homojenliği bozan veriyi bir pik kırılma ile bulan bu testte sıfır hipotezi şartı X değişkeninin testi yapılacak X_i yıllık değerlerinin bağımsız ve benzer yayılım gösterdiği kabulüdür. Karşıt hipotez de ortalamadan bir kırılma olduğu şeklindedir. Bu test veri setinin baş ve son kısmında homojenliği bozan verileri yakalamada karakteristik bir özellik göstermektedir. Test homojenliğin bozulduğu zamanı bulma yeteneğine sahiptir (Wijngaard ve diğ., 2003).

Alexandersson (1986) $T(k)$ istatistiği n yıllık X zaman serisindeki son $n-k$ yıl ile ilk k yılın ortalaması karşılaştırılarak

$$T(k) = k\bar{z}_1^{\,2} + (n-k)\bar{z}_2^{\,2} \qquad k = 1,...,n \tag{3.4}$$

şeklinde hesaplanır. Burada $\overline{X}$ zaman serisinin ortalaması ve s standart sapması olmak üzere

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k}\sum (X_i - \overline{X})/s \tag{3.5}$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-k}\sum (X_i - \overline{X})/s \tag{3.6}$$

ile verilir.

Eğer K yılında bir kırılma varsa, $k = K$ yakınlarında $T(k)$ maksimuma yaklaşır. T_0 test istatistiği şu şekilde açıklanır:

$$T_0 = \max_{1 \le k \le n} T(k) \qquad \textbf{(3.7)}$$

Bu test için kritik değerler Tablo 3.6'da yine farklı sayıdaki elemanları olan örnekler için %5 anlamlılık düzeyinde verilmiştir. Eğer T_0 değeri kritik değeri (N_k) aşmazsa H_0 hipotezi kabul yani veri homojen kabul edilir.

Tablo 3.6: Standart Normal Homojenlik Testi İçin %5 Anlamlılık Düzeyindeki Kritik Değerleri (Wijngaard ve diğ., 2003)

N	20	30	40	50	70	100
N_k	6.95	7.65	8.10	8.45	8.80	9.15

3.4.4 *t* Testi

Korelasyon katsayısı r iki rastgele değişken (X,Y) arasındaki bağımlılığın bir ölçüsüdür. Korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında bir değer alabilir. X ve Y'nin ortak dağılımlarının normal olduğu kabulü ile r'ye bağlı olarak tanımlanan t istatistiğinin örnekleme dağılımı serbestlik derecesi = n - 2 olan t dağılımıdır. n örnekteki eleman sayısı olup, t istatistiğinin değeri

$$t = \frac{r.\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \qquad \textbf{(3.8)}$$

ile hesaplanır. (3.8) ile hesaplanan t değeri, $H_0 : r = 0$ hipotezini $H_1 : r \neq 0$ karşıt hipotezine göre kontrol etmek için kullanılır. Bulunan t değeri %5 anlamlılık düzeyine karşı gelen güven aralığında kalıyorsa H_0 hipotezi kabul edilir. Yani X ve Y değişkenleri arasında bir bağımlılık bulunmadığı sonucuna varılır. Eğer hesaplanan t değeri güven aralığının dışında kalıyorsa H_0 hipotezi reddedilir ve H_1 karşıt hipotezi kabul edilir (Bayazıt, 1996).

3.4.5 Spearman Sıra Testi

Bu test de Pettitt testinde olduğu gibi verilerin sırası ile ilgilidir. Testte ilk olarak seride gözlenen değerlere ait gözlemler ayrı ayrı büyüklük sırasına dizilir. Gözlem sırasına göre dizili olan her bir elemanın sıra değerinden sıra numarası çıkarılarak

$$d_i = R_{yi} - i \qquad \textbf{(3.9)}$$

Hesap edilir. *t* istatistiğinin elde edilmesinde kullanılacak olan Spearman korelasyon katsayısı

$$r_s = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n(n^2-1)} \qquad \textbf{(3.10)}$$

ile hesaplanır. Gözlenen seriye ait *t* değeri (3.8) denklemi ile elde edilir. Bulunan *t* değeri %5 anlamlılık düzeyine karşı gelen güven aralığında kalıyorsa $H_0 : r_s = 0$ hipotezi kabul edilir. Eğer hesaplanan *t* değeri bu güven aralığının dışında kalıyorsa $H_0 : r_s = 0$ hipotezi reddedilir ve $H_1 : r_s \neq 0$ karşıt hipotezi kabul edilir (Bayazıt, 1996).

3.4.6 Homojenlik ve Trend Test Sonuçları

Yukarıda açıklanan testler çalışmada kullanılan üç meteoroloji istasyonuna ait yıllık toplam yağış verilerine uygulanmış, buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Von-Neumann oranı testine göre üç istasyona ait yıllık toplam yağışların homojen olduğu görülmüştür. Hesap edilen N_v değeri, kritik değeri aşmış, bu yüzden H_0 hipotezi kabul edilerek yağış serisinin homojen olduğu kabul edilmiştir.

Pettitt testi de H_0 hipotezini kabul etmiş, yani bu teste göre de Amman, Safawi ve Baqura yağış istasyonlarına ait verilerin homojen olduğu anlaşılmıştır.

Standart normal homojenlik testinde de benzer sonuçlar elde edilmiş, bu teste göre Ürdün'ün bu üç istasyonunun yağış verilerinin homojen olduğu belirlenmiştir

Trend analizi için yapılan *t* testi uygulaması sonucunda Amman, Safawi ve Baqura istasyonlarındaki yıllık toplam yağışla zaman (yıl) arasında %5 anlamlılık düzeyinde belirgin herhangi bir bağımlılık olmadığı görülmüştür. Yani hesaplanan test istatistiği kritik değeri (N_k) aşmamış, buna göre yıllık yağış serisinde zamanla herhangi bir trendin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Spearman Sıra testinin yapılan uygulaması sonucunda da Amman, Safawi ve Baqura istasyonlarındaki yıllık toplam yağışın her hangi bir trend içermediği anlaşılmıştır .

Tablo 3.7: Amman İstasyonunun Homojenlik ve Trend Analizi

Homojenlik testleri						Trend testleri			
Von-Neuman		Pettitt		Alexanderson		*t*		Spearman	
N_v	N_k	N_E	N_k	T_0	N_k	*t*	N_k	*t*	N_k
2.29	1.663	330	537.5	3.939	8.98	-0.888	1.989	-1.182	1.989

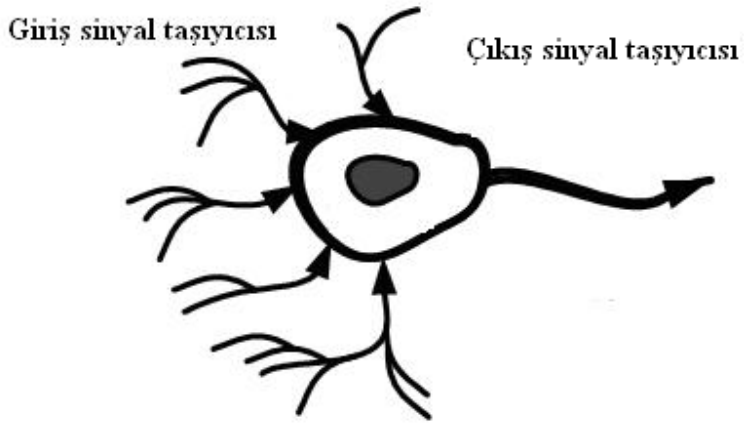
4. YÖNTEMLER

4.1 YSA Modelleri

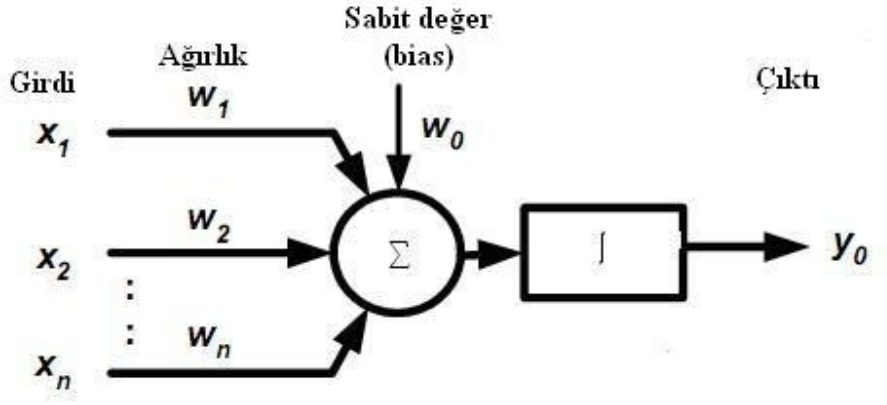
İnsanlardaki sinir sistemi sinir adı verilen hücrelerden meydana gelir. Sinirler canlıların hayati faaliyetlerinin yürütüldüğü en küçük birimlerdir. Beyin haberleşme sistemini oluşturan sinirlerin görevi sinyal alma, işlem yapma ve elektrokimyasal sinyallerin sinir ağları içinde iletimini sağlamaktır.

YSA insan beyninin çalışma mekanizması taklit edilerek geliştirilen ve insan beyninin yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan bir mantıksal programlama tekniğidir. Şekil 4.1'de biyolojik ve Şekil 4.2'de yapay bir sinir ağı gösterilmiştir. Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritma "Yapay Sinir Ağları" olarak adlandırılır (Civalek, 1999).

Bir yapay sinir hücresi, girdiler (girişler), girdi ile çarpılan ağırlılar, girdiye eklenen sabit değer (bias), toplayıcı (toplam fonksiyonu), aktivasyon fonksiyonu ve çıktı (beklenen değer) olmak üzere altı ana kısımdan oluşur. Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bunlar ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki bir tabakadaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Toplam fonksiyonu girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar.



Şekil 4.1: Nöronun Biyolojik Modeli



Şekil 4.2: Nöronun Matematik Modeli

YSA günümüzde biyolojik sinir sistemi ile ilgili olarak bilinen bazı bulguların ayrıntılarının ihmal edilerek teknoloji ve bilimsel araştırma yöntemlerine uygulanmasından başka bir şey değildir. YSA birbiri ile paralel iletişim içinde bulunan tabakalara sahip ve her bir tabakasında yeterli sayıda sinir hücresi bulunan bir sistemden ibarettir. Bu tabakaları ve tabakalardaki hücreler arasındaki oldukça karmaşık sayılabilecek iletişim incelenen olayın yapısına göre belirlenen ağırlık katsayıları vasıtasıyla temin edilmektedir (Şen, 2004).

YSA üzerindeki çalışmaların McCullogh ve Pitts (1943) tarafından yapay sinir tanımının yapılarak hücre modelini geliştirmeleri ile başladığı kabul edilir. Yapılan çalışmada sinir hücreleri sabit eşik değerli mantıksal elemanlar olarak modellenmiştir.

Hebb (1949) YSA'daki öğrenme için başlangıç noktası sayılabilecek bir kural geliştirmiştir. Ortaya atılan bu öğrenme kuralı o dönemde bir sinir ağının öğrenme işini nasıl gerçekleştirebileceği konusunda fikir vermekle birlikte, bugün halen geçerli olan öğrenme kurallarından birçoğunun da temelini teşkil etmiştir.

YSA konusunda daha sonra Rosenblatt (1958) tekli doğrusal algılayıcı (perceptron) modeli ve öğrenme kuralını geliştirerek YSA teknolojisine katkıda bulunmuştur. Önerilen bu model aynı zamanda bugünkü makine öğrenme algoritmasının da temeli olmuştur.

Widrow ve Hoff (1960) tarafından ise tekli yinelemeli doğrusal sinir ağı geliştirilmiştir. Yeni ve güçlü bir öğrenme kuralı olarak bu kuralda en önemli özellik eğitim boyunca toplam hatanın en aza indirmenin hedeflenmesidir.

Minsky ve Papert (1969)'un çalışmaları YSA'ya ve özellikle tekli doğrusal algılayıcıya karşı olan ilgiyi azaltmış, tek doğrusal algılayıcının birçok konuda yetersiz kaldığının gösterilmesi ile YSA üzerindeki çalışmalar bir süre durmuş ise de 1980'li yılların başında yapılan çalışmalarla YSA yeniden yaygın hale gelmiştir. Örneğin Hopfield (1982) eğrisel (doğrusal olmayan) ağları geliştirmiş, çalışmalarını özellikle çağrışmalı YSA ağları mimarisi üzerine yoğunlaştırmıştır. Kohonen (1982) ve Anderson (1983) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda eğiticisiz öğrenen ağların geliştirilmesiyle YSA çalışmalarının yeniden canlandığı görülmüştür.

Rumelhart ve diğ. (1986) tarafından çok tabakalı algılayıcı tipi ağlar için 'geriye yayılma' olarak adlandırılan ve güçlü olmakla birlikte oldukça karmaşık matematik esaslara dayanan bir eğitme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma halen en çok kullanılan YSA eğitim sistemlerinden biridir.

4.2 Nöron Modelleri

Nöronlar, yapay sinir ağlarının bilgi işleyen yapısal elemanlarıdır. Bir nöron yapısında üç temel yapıtaşı bulunur

Bağlantılar: Her bağlantının kendine ait W_{ij} ile gösterilen bir ağırlık çarpanı vardır. Bu ifadede i ile söz konusu nöron, j ile bağlantının giriş uygulanan ucu tanımlanmaktadır. Ağırlık çarpanı pozitif değerli olabileceği gibi negatif değerli de olabilir.

Toplayıcı: Uygun ağırlıkların uygulanmış olduğu giriş sinyallerini toplamak için kullanılır.

Aktivasyon fonksiyonu: Nöronun çıkışının genliğini kısıtlamak için kullanılır. Genelde bir nöronun normalize edilmiş genliği [0,1] veya [-1,1] kapalı aralığında ifade edilir.

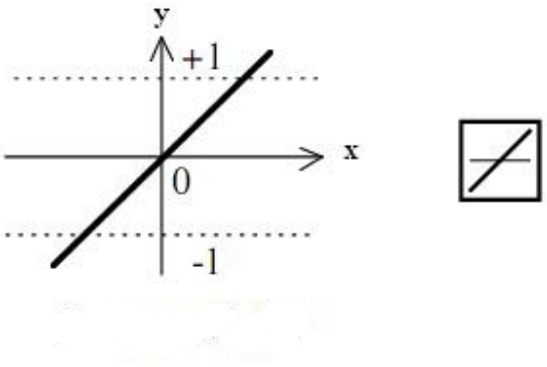
4.3 Aktivasyon Fonksiyonu Çeşitleri

Aktivasyon fonksiyonu, YSA'ya lineer olmayan bir yapı kazandırmak için ara ve çıkış tabakalarında kullanılan matematiksel bir fonksiyondur. Bu yüzden en uygun tasvirin yapılabilmesi için işlemci fonksiyonunun seçimi büyük önem kazanır. Her şeyden önce tasvirin doğrusal olup olmayacağına karar verilmelidir. Çok tabakalı YSA'larda saklı (gizli) tabaka hücrelerinde kullanılacak birkaç işlemci fonksiyonu vardır. Aktivasyon fonksiyonunun dört temel tipi bulunur:

(a) Doğrusal İşlemci: Şekil 4.3'te gösterilen doğrusal fonksiyonda saklı tabaka hücresine gelen bilgiler hiç bir değişikliğe uğratılmadan işlemci çıkışında olduğu gibi kalır. Doğrusal işlemci

$$y = x \qquad \textbf{(4.1)}$$

şeklinde gösterilebilir (Şen, 2004).

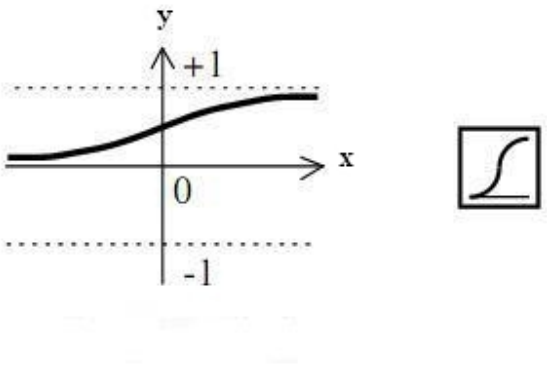


Şekil 4.3: Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

(b) Sigmoid İşlemcisi: Şekil 4.4'te gösterilen sigmoid fonksiyonu S şeklinde olduğundan çoğu zaman S fonksiyonu olarak da adlandırılır. Bu fonksiyonda işlemler [0,1] arasında yapılmaktadır. Sigmoid işlemcinin matematik ifadesi

$$y = \frac{1}{1+e^{-x}} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Şeklindedir (Şen, 2004).

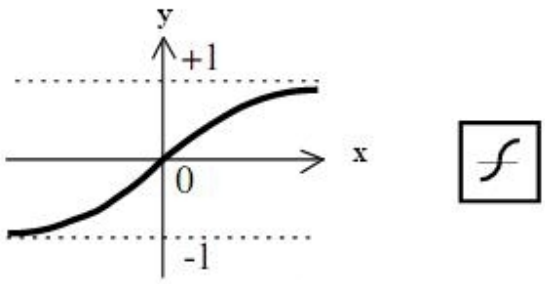


Şekil 4.4: Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

(c) Hiperbolik İşlemci: Şekil 4.5'te gösterilen yine S şeklindeki tanjant hiperbolik işlemci fonksiyonda işlemler [-1,1] arasında yapılmaktadır. Bu işlemcinin matematik ifadesi

$$y = \frac{1-e^{-2x}}{1+e^{-2x}} \qquad \textbf{(4.3)}$$

olarak verilmiştir (Şen, 2004).

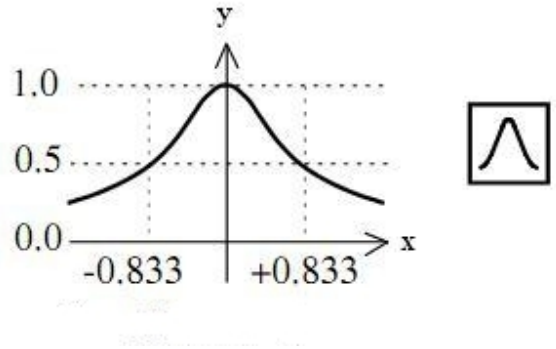


Şekil 4.5: Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu

(d) Gauss İşlemcisi: Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Gauss işlemcisi tepesinden geçen düşey eksene göre simetrik ve sıfırdan büyük olmak üzere bir varyans değerine sahiptir. Bu aktivasyon fonksiyonu radyal tabanlı ve genelleştirilmiş regresyon YSA gizli tabakasında kullanılır. Gauss işlemcisi, *c* merkez değer ve *s* standart sapma olmak üzere

$$y = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \qquad \textbf{(4.4)}$$

ile tanımlanmıştır (Şen, 2004).



Şekil 4.6: Gauss Aktivasyon Fonksiyonu

4.4 İleri Beslemeli Geri Yayılım (İBGY) YSA

Bu YSA metodunda girdi, gizli ve çıktı tabakası olmak üzere üç farklı birim bulunmaktadır. Her tabaka bir ya da birden çok nörondan oluşmakta, tabakalar aralarında ağırlık kümeleri ile bağlanmaktadır. Bağlanma şekli ve her kısımdaki nöron sayısı değişebilmektedir. Aynı tabakadaki nöronlar arasında iletişim olmasına izin verilmemektedir. Nöronlar girdiyi ya başlangıç girdilerinden ya da ara bağlantılardan almaktadır.

İBGY YSA algoritması iki etaptan oluşmaktadır: *(i)* çıktı tabakasındaki çıktı bilgi sinyalini hesaplamak için girdi nöronlarındaki dış girdi bilgisini ileriye doğru ileten bir ileriye doğru besleme etabı, *(ii)* çıktı tabakasındaki hesaplanan ve gözlenen bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru ilerleme etabı.

Bir eğitim sürecinin başında, bağlantı kuvvetleri rastgele değerler olarak atanmaktadır. Öğrenme algoritması her iterasyonda eğitim başarı ile tamamlanana kadar kuvveti değiştirmektedir. İterasyon süreci bir sonuca vardığında bağlantı kuvvetleri, eğitim sürecinde kullanılan örneklerdeki mevcut bilgiyi elde ederek saklamaktadır.

Yeni bir girdi grubu sunulduğunda, ileriye doğru besleme ile yapay sinir ağının bağlantı kuvvetlerindeki öğrenilmiş ve saklanan bilgi sayesinde bir çıktı grubu elde edilmektedir. Bir girdi, bir gizli ve bir çıktı tabakasından oluşan üç birimli bir öğrenme ağı Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Her birinin girdi nöronlarında X_i, i=1, …., k girdi değerleri, çıktı nöronlarında da O_n, n =1, .., m çıktı değerleri bulunmaktadır. Girdi değerleri gizli nöronlardaki ilk ara bağlantı ağırlıkları, W_{ij}, j=1, …, h, ile çarpılmakta, sonuçlar i indeksi boyunca toplanmakta ve gizli tabakadaki girdiler olmaktadır. Örneğin;

$$H_j = \sum_{i=1}^{k} W_{ij} X_i \qquad j=1,\ldots\ldots\ldots,h \qquad \textbf{(4.5)}$$

olup burada H_j, j gizli tabaka nodunun girdisi, W_{ij} ise i nöronundan j nöronuna doğru olan bağlantı ağırlığıdır. Her gizli tabaka nöronu bir sigmoid ya da başka bir fonksiyon yardımı ile bir gizli tabaka nöronu çıktısı, HO_j, oluşturmaktadır. Bu çıktı

$$HO_j = f(H_j) = \frac{1}{1+\exp\left[-\left(H_j + \theta_j\right)\right]} \quad \textbf{(4.6)}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada H_j nöronun girdisi, $f(H_j)$ nöronun çıktısı ve θ_j başlangıç veya taraflılık değeridir. Başlangıç değeri, θ_j, ağırlıklarla aynı şekilde öğrenilecektir. HO_j çıktısı bir sonraki tabakanın girdisi olmakta ve bu işlem çıktı tabakasına ulaşıncaya kadar devam etmektedir. *m* adet çıktı nöronlarına ulaşan girdi

$$IO_n = \sum_{j=1}^{h} W_{jn}\, HO_{jn} \qquad n=1,\ldots\ldots,m \quad \textbf{(4.7)}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu girdi değerleri daha önce tanımlanan sigmoid ya da başka bir fonksiyon tarafından işlenerek sinir ağı çıktı değerleri, Y_n, elde edilmektedir. Daha sonraki ağırlık düzenlemesi ya da öğrenme süreci geriye doğru ilerleme algoritması ile sağlanmaktadır. Çıktı tabakasındaki Y_n, hedef değeri T_n ile aynı olmayacaktır. Her girdi grubu (örneğin *p*'inci girdi grubu) için hata karelerinin toplamı

$$e_p = \sum_{n=1}^{m} \left(T_n - Y_n\right)^2 \quad \textbf{(4.8)}$$

şeklinde bulunmaktadır. Ortalama sistem hatası ya da ortalama kare hatası (*OKH*) bütün girdi grupları dikkate alınarak

$$OKH = \frac{1}{2N} \sum_{p=1}^{N} \sum_{n=1}^{m} \left(T_{pn} - Y_{pn}\right)^2 \quad \textbf{(4.9)}$$

ile belirlenmektedir. Burada T_{pn} , *p*'inci grup için T_n hedef değeri, Y_{pn} ise *p*'inci grup için Y_n çıktı değeridir. Geriye doğru ilerleme algoritmasının amacı ortalama kare hatasının iterasyonla en aza indirilmesidir. Bu önce çıktı tabakasındaki her nöron için δ_n gradyanının

$$\delta_n = Y_n\,(1-Y_n)\,(T_n-Y_n) \quad \textbf{(4.10)}$$

şeklinde hesaplanması ile gerçekleştirilir. Hata gradyanı δ_j daha sonra gizli tabakalar için bir önceki tabakadaki hataların

$$\delta_j = HO_j(1-HO_j) \sum_{n=1}^{m} \delta_n W_{jn} \quad \textbf{(4.11)}$$

olarak ağırlıklı toplamının hesaplanması ile bulunmaktadır. Hata gradyanları

$$\Delta W_{ij}(r) = \eta \delta_j x_i \quad \textbf{(4.12)}$$

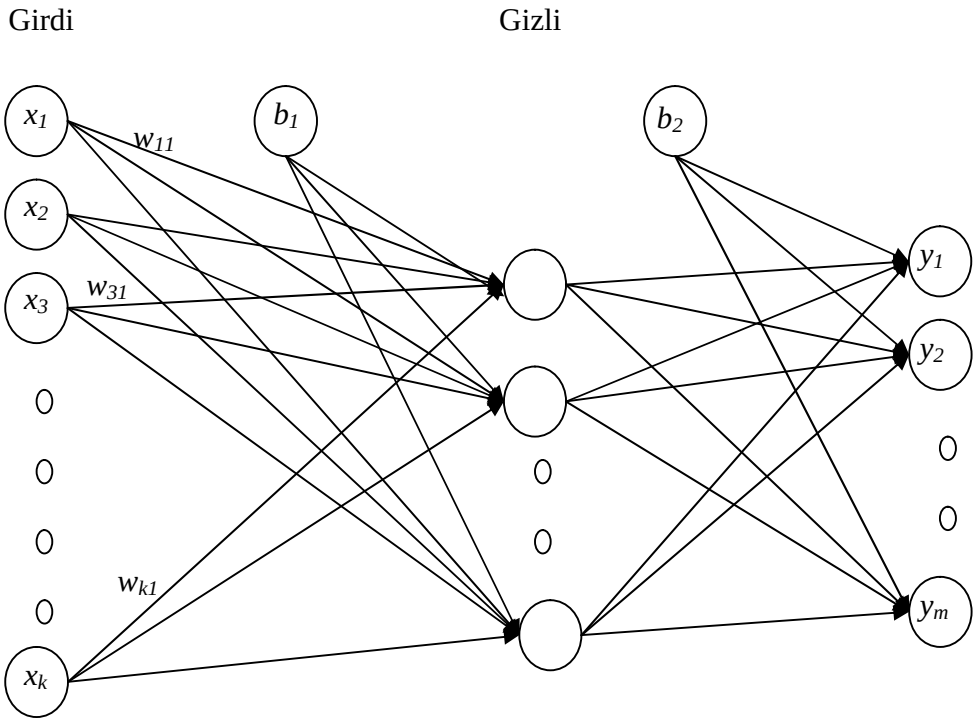
$$W_{ij}(r+1) = W_{ji}(r) + \Delta W_{ji}(r) \quad \textbf{(4.13)}$$

şeklinde ağ ağırlıklarını güncellemek için kullanılmaktadır. *n*'inci veri sunumundan sonraki ağırlık değişimi

$$\Delta w_{ji}(r) = = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ji}(r-1) \quad \textbf{(4.14)}$$

şeklindedir.

Burada ,α sonuca hızlı ulaşılmasını sağlayan momentum oran terimi, η etap boyutunu ayarlayan öğrenme oranı, *r* ise iterasyon numarasıdır. Bu YSA metodu ile ilgili daha detaylı bilgi çok sayıdaki kaynaklardan edinilebilir (Rumelhart ve diğ., 1986; Lippman, 1987; Pao, 1990; Eberhart ve Dobbins, 1990).



Şekil 4.7: İBGY YSA'da Girdi, Gizli ve Çıktı Tabakaları

4.5 Radyal Tabanlı (RT) İşlemci YSA

Radyal tabanlı fonksiyonlar kavramı YSA literatürüne Broomhead ve Lowe (1988) tarafından sokulmuştur. Radyal tabanlı fonksiyonlara dayalı YSA modeli insan sinir sistemindeki nöronlarda görülen yerel etki-tepki davranışlarından esinlenilerek oluşturulmuştur. Yerel tepki karakteristiği, sinir sisteminin bazı yerlerinde, örneğin görme sinirlerinin davranışlarında gözlenebilir. Bu sinirler görüş alanında bulunan değişik boyutlardaki görüntülere karşı duyarlıdır ve yerel olarak tepki vermeye ayarlanmıştır. Bunlar girdi uzayının sınırlı küçük bir bölümüne tepki verebilmektedir (Poggio ve Girosi, 1990).

Radyal tabanlı fonksiyonların teorisi çok değişkenli fonksiyonların enterpolasyonuna dayanmaktadır. Burada amaç $\left(x^s, y^s\right)_{s=1}^N$ ifadelerinin enterpolasyonunu yapmaktır. Bu durumda $x^s \in R^d$ olmalıdır. Bu denklemde F lineer uzayda bir fonksiyon olduğundan radyal tabanlı fonksiyonlar yaklaşımında F enterpolasyon fonksiyonu temel bazı fonksiyonların

$$F(x) = \sum_{s=1}^{N} w_s \phi\left(\left\| x - x^s \right\|\right) \qquad \textbf{(4.15)}$$

şeklinde lineer bir kombinasyonudur. Burada $\|\cdot\|$ öklid normu, w_1, w_1, ..., w_N reel sayılar, ϕ gerçek değişkenli bir fonksiyon , $p \in \prod_n^d$ ise en fazla n'inci dereceden olabilen d sayıda değişkeni olan bir polinomdur. Bu enterpolasyon probleminde amaç w_1, w_1, ..., w_N değişkenlerini bulmak ve $p = \sum_{j=1}^{d} a_j p_j$ polinom terimini elde etmektir. Bu polinomda p_1, p_2, ..., p_d standart temel ve a_1, a_2, ..., a_d sayıları da reel katsayılardır. Enterpolasyon şartları şunlardır:

$$F\left(x^s\right) = y^s, \quad s = 1, ..., N \qquad \textbf{(4.16)}$$

$$\sum_{s=1}^{N} w_s p_j\left(x^s\right) = 0, \quad j = 1, ..., d \qquad \textbf{(4.17)}$$

Veri noktalarından herhangi birisi için enterpolasyon problemi tek çözümlü ise ϕ fonksiyonu radyal tabanlı fonksiyon olarak tanımlanır. Bu durumda (4.15)'teki polinomun terimleri ihmal edilebilir ve denklem (4.16)'daki terimler ile toplandığında

$$\phi w = y \qquad \textbf{(4.18)}$$

meydana gelir.

Bu denklemde $w = (w_1, w_2 \ldots, w_N)$, $y = (y^1, y^2, \ldots, y^N)$, ve ϕ de NxN elemanlı bir matristir. Bu matris

$$\phi = \left(\phi\left(\left\| x^k - x^s \right\|\right)\right)_{k,s=1,\ldots,N} \qquad \textbf{(4.19)}$$

ile tanımlanabilir. ϕ fonksiyonunun tersi mevcutsa enterpolasyon probleminin çözümü olan w değerleri kesin bir şekilde hesaplanabilir ve

$$w = \phi^{-1} y \qquad \textbf{(4.20)}$$

formunu alır.

En popüler ve en çok kullanılan radyal tabanlı fonksiyonlar Gauss tabanlı fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar

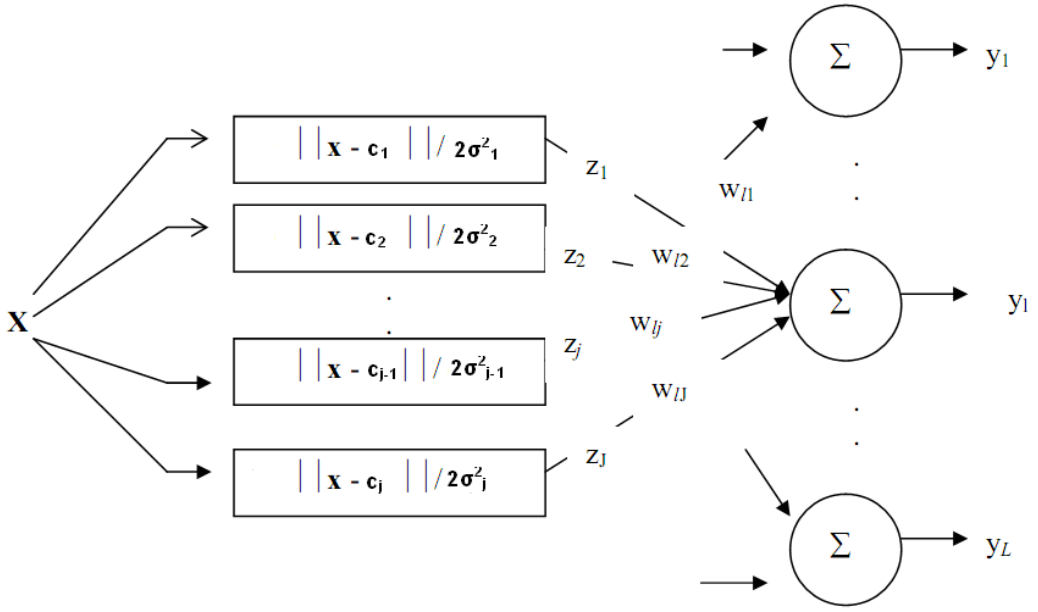
$$\phi\left(\left\| x - c \right\|\right) = e^{-\left(\left\| x-c \right\| / 2\sigma^2\right)} \qquad \textbf{(4.21)}$$

şeklinde ifade edilir. Bu fonksiyon $c \in R^d$ merkezinde en yüksek değeri alır ve merkezden uzaklaştıkça fonksiyonun değeri küçülür.

Radyal tabanlı fonksiyonların enterpolasyonunda kesin çözüm her (x^s,y^s) veri noktası için vardır. Normal şartlarda enterpolasyon probleminin kesin çözümü verilen noktalar arasında salınım yapan sıradan bir fonksiyondur. Kesin enterpolasyon prosedüründe karşılaşılan bir başka problem de temel fonksiyonların sayısının veri noktalarının sayısına eşit olması ve bu nedenle NxN'lik ϕ matrisinin tersini hesaplamanın pratikte çok zor olmasıdır.

Radyal tabanlı fonksiyonlar yöntemi üç tabakadan oluşan bir YSA metodudur (Şekil 4.8). Girdi tabakası ağa giren verilerin yer aldığı tabakadır. Gizli hücre tabakasında ise nöronlar yer alır. Burada temel fonksiyonların çıktıları hesaplanır. Gizli tabakadaki

işlemci elemanlar girişlerin ağırlıklandırılmamış şeklini kullanmakta ve gizli tabakadaki işlemci elemanların çıkışları YSA girişleri ile temel fonksiyonun merkezi arasındaki uzaklığa göre belirlenmektedir. RT YSA yapılarının son tabakası doğrusaldır ve gizli tabakanın çıkışlarından ağırlıklandırılmış toplam çıkışı üretir.



Şekil 4.8: RT YSA'da Girdi, Örnek ve Çıktı Tabakaları

4.6 Genelleştirilmiş Regresyon (GR) YSA

Specht (1991) tarafından önerilen genelleştirilmiş regresyon YSA geriye yayılım metodunda olduğu gibi bir iteratif eğitim prosedürü gerektirmemektedir. GR YSA, eğitim verisini kullanarak girdi ve çıktı vektörleri arasındaki herhangi bir fonksiyonu tahmin etmektedir. Eğitim seti genişledikçe tahmin hatası sıfıra iner. GR YSA tıpkı standart regresyon tekniklerinde olduğu gibi sürekli değişkenlerin tahmini için kullanılmaktadır.

GR YSA, radyal tabanlı fonksiyonlara benzer ve çekirdek regresyon denilen bir standart istatistik tekniğine dayanır. Tanım olarak bilindiği gibi regresyon bir *y* bağımlı değişkeninin en olası değerini bağımsız *x* değişkenine bağlı olarak ortalama kare hatasını (*OKH*) en aza indirecek şekilde tahmin eder. GR YSA, bir eğitim seti verildiğinde *x* ve

y'nin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) $f(x,y)$'yi tahmin eden bir metottur. OYF veriden bir ön kabul yapılmadan elde edildiği için sistem genel olarak idealdir.

f(x,y)'nin bilinmesi durumunda, bağımsız *x* değişkenine göre bağımlı *y* değişkeninin regresyonu

$$E\left[y|X\right]=\frac{\int_{-\infty}^{\infty} y\,f(X,y)dy}{\int_{-\infty}^{\infty} f(X,y)dy} \qquad \textbf{(4.22)}$$

şeklinde ifade edilir. Eğer olasılık yoğunluk fonksiyonu bilinmiyorsa gözlenen X^i ve Y^i değerlerinden bu fonksiyon tahmin edilir.

$$\hat{f}(X,Y)=\frac{1}{(2\pi)^{(p+1)/2}\sigma^{(p+1)}}\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\exp\left[-\frac{\left(X-X^i\right)^T(X-X^i)}{2\sigma^2}\right]\exp\left[-\frac{\left(Y-Y^i\right)^2}{2\sigma^2}\right] \qquad \textbf{(4.23)}$$

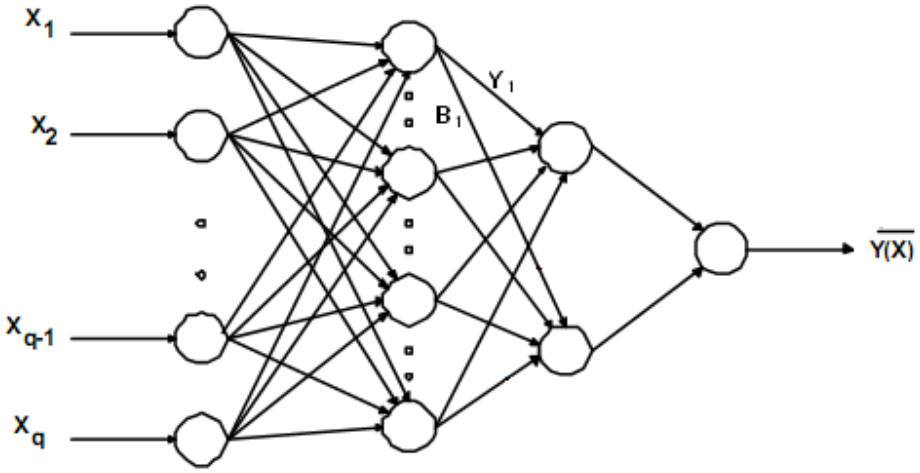
Bu denklemde *p*, *x* vektörünün boyutu, *n* gözlenen veri sayısı, *σ* ise düzeltme parametresidir. D_i^2 bir skaler fonksiyon olmak üzere,

$$D_i^2=(X-X^i)^T(X-X^i) \qquad \textbf{(4.24)}$$

olarak tanımlanırsa, bağımsız *x* değişkenine göre bağımlı *y* değişkeninin regresyonu,

$$\hat{Y}(X)=\frac{\sum_{i=1}^{n}Y^i\exp\left(-\frac{D_i^2}{2s^2}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\exp\left(-\frac{D_i^2}{2s^2}\right)} \qquad \textbf{(4.25)}$$

şeklinde bulunur. GR YSA'nın yapısı Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi modeldeki hücreler paralel yapıda olup birbirlerine etkisi yoktur. Girdiler örnek tabakaya girince merkezleri bulunur. Daha sonra bulunan merkezler girdilerden çıkartılıp ağırlık katsayıları belirlenir. Ağırlık katsayıları toplama tabakasında ayarlanıp çıktılar hesaplanır. Bu işlemler iteratif bir süreçte tamamlanmaktadır..



Şekil 4.9: GR YSA'da Girdi, Örnek, Toplama ve Çıktı Tabakaları

4.7 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon (ÇDR)

Y bağımlı değişkeninin X_1, X_2, ..., X_m gibi *m* bağımsız değişkenden etkilendiği kabul edilir ve aralarındaki ilişki için doğrusal bir denklem seçilirse *Y*'nin doğrusal regresyon

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + ... + b_mx_m \quad \textbf{(4.26)}$$

şeklinde yazılır. Burada, *y* bağımsız değişkenler $X_1=x_1$, $X_2=x_2$, ..., $X_m=x_m$ değerlerini aldığında *Y* değişkeninin beklenen değerini göstermektedir. *a*, b_1, b_2, ..., b_m regresyon katsayıları basit regresyondakine benzer şekilde, gözlem noktalarının regresyon denkleminin gösterdiği düzlemden olan e_{yi} uzaklıklarının karelerinin toplamı olan

$$\sum_{i=1}^{N} e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^{N} (y_i - a - b_1x_{1i} - b_2x_{2i} - ... - b_mx_{mi})^2 \quad \textbf{(4.27)}$$

ifadesini minimum yapacak şekilde hesaplanır (Bayazıt, 1996).

5. YSA MODELLERİ

5.1 Girdilerin Seçilmesi

Bu çalışmada geliştirilen modeller, önceki aylara ait gözlenmiş yağış verilerini kullanarak gelecek ayın yağışının tahmin edilmesi prensibine dayanarak kurulmuştur. Deneme–yanılma yöntemi ile çok sayıda model seçeneği üretilmiş, bu seçenekler Tablo 5.1'de verilmiştir. Girdi sayısı minimum olacak şekilde önce sadece bir önceki ayın yağışının girdi olarak kullanıldığı model seçeneği ile başlanmış, seçilen girdiler farklı hücre sayıları ile denenmiştir. Hücre sayısı girdi sayısı kadar seçilmiş, ampirik bir düşünce ile girdi sayısının iki katına kadar birer birer artırılmıştır. Periyodikliğin etkisinin görülmesi açısından modellere

$$p_t = \sin\left(\frac{2\pi t}{12}\right) + \cos\left(\frac{2\pi t}{12}\right) \qquad \textbf{(5.1)}$$

şeklinde ifade edilen bir periyodik bileşenin eklenmesi uygun görülmüştür. Denenen her bir modelin performansı

$$OKH = \frac{\sum_{i=1}^{N} (P_{o,i} - P_{f,i})^2}{N} \qquad \textbf{(5.2)}$$

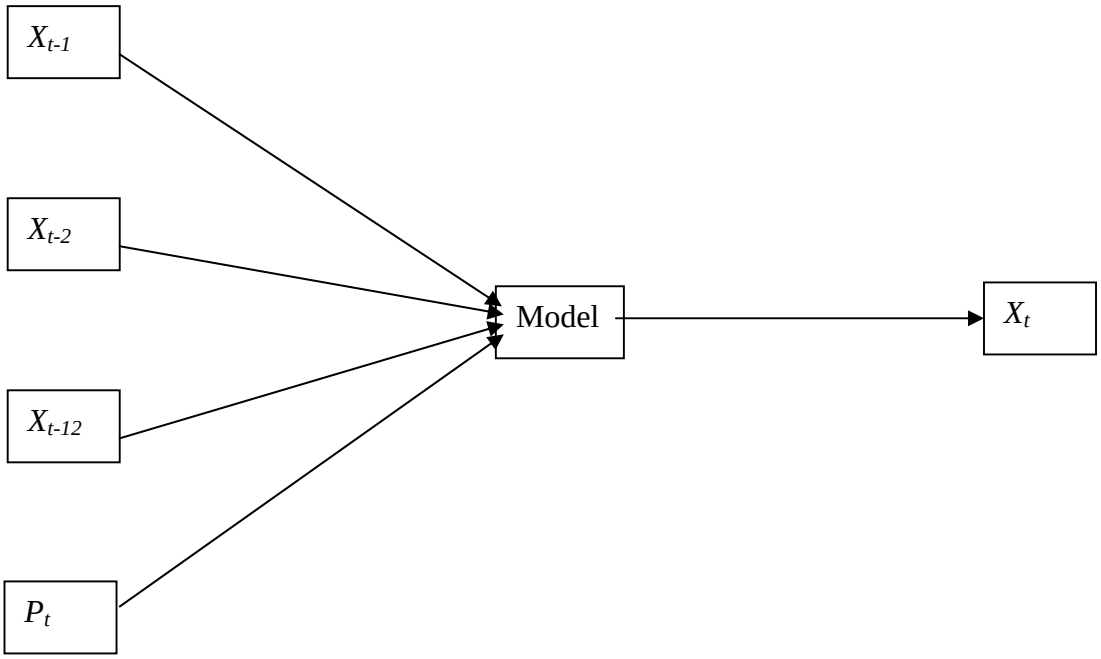
$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(P_{o,i} - \overline{P}_o\right)\left(P_{f,i} - \overline{P}_f\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left(P_{o,i} - \overline{P}_o\right)} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left(P_{f,i} - \overline{P}_f\right)}} \right] \qquad \textbf{(5.3)}$$

ile tanımlanan ortalama karesel hata (*OKH*) ve belirlilik katsayısı (R^2) ile ölçülmüştür. Buna göre Tablo 5.1'den de görüldüğü gibi tahmin edilecek aydan (X_t) bir ve iki önceki aylar (X_{t-1}, X_{t-2}) ile tahmin edilecek ayın bir önceki yıla (X_{t-12}) ait gözlenmiş yağışını periyodiklik bileşeni (P_t) ile birlikte girdi olarak kabul eden modelin denenen 28 seçenek arasında yukarıda bahsedilen performans kriterine göre en uygun sonucu verdiği anlaşılmıştır. Bu model tercihi, YSA seçeneklerinin üçünde

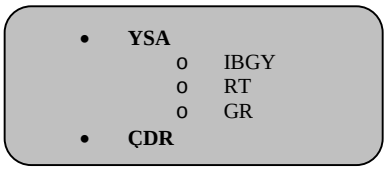
de (İBGY, RT ve GR) ayrıca ÇDR'de de kullanılacak ve kullanılan veriye bağlı olarak (istasyondan istasyona) değiştirilmeyecektir. Yani bu model Amman, Safawi ve Baqura istasyonlarının üçü için de kullanılacaktır. Karar verilen bu model şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu model şeması Şekil 5.2'deki modellerin tamamında kullanılacaktır.

Tablo 5.1: Model Seçimi

Model No	Girdi	Hücre sayısı	*OKH* (mm^2)	R^2
1	X_{t-1}	1	1020.4	0.23
2	X_{t-1}	2	1020.5	0.23
3	X_{t-1},P_t	2	731.9	0.45
4	X_{t-1},P_t	3	730.8	0.45
5	X_{t-1},P_t	4	729.3	0.45
6	X_{t-1},X_{t-12}	2	866.2	0.35
7	X_{t-1},X_{t-12}	3	865.4	0.35
8	X_{t-1},X_{t-12}	4	863.6	0.35
9	X_{t-1},X_{t-12},P_t	3	648.0	0.51
10	X_{t-1},X_{t-12},P_t	4	697.8	0.48
11	X_{t-1},X_{t-12},P_t	5	701.1	0.47
12	X_{t-1},X_{t-12},P_t	6	690.2	0.48
13	X_{t-1},X_{t-2}	2	1005.3	0.25
14	X_{t-1},X_{t-2}	3	1007.0	0.24
15	X_{t-1},X_{t-2}	4	1006.0	0.24
16	X_{t-1},X_{t-2},P_t	3	702.9	0.47
17	X_{t-1},X_{t-2},P_t	4	715.3	0.46
18	X_{t-1},X_{t-2},P_t	5	684.8	0.49
19	X_{t-1},X_{t-2},P_t	6	684.5	0.49
20	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	3	846.3	0.36
21	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	4	842.0	0.37
22	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	5	835.1	0.37
23	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	6	801.7	0.40
24	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	4	706.3	0.47
25	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	5	696.2	0.48
26	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	6	668.5	0.50
27	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	7	614.6	0.54
28	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	8	642.5	0.52



Şekil 5.1: Şematik Model Yapısı



Şekil 5.2: Kullanılan YSA Modelleri ve ÇDR Denklemi

5.2 Performans Kriterleri

Model çıktılarının gözlenen verilere benzerliklerine karar vermek için değişik performans kriterleri kullanılmıştır. Sayısal performans kriteri olarak *OKH* ve R^2'nin yanısıra gözlenen ve tahmin edilen yağışlar arasında çizilen saçılma diyagramlarına uydurulan doğruların eğimleri ve başlangıç değerleri de irdelenmiştir.

Bunun yanında tahmin edilen yağışlar ile gözlenen yağışlar arasındaki fark herhangi bir *i* ayı için

$$(Hata)_i=(Tahmin\ edilen\ yağış)_i-(Gözlenen\ yağış)_i,\ i=1,\ ...,N_a \qquad \textbf{(5.4)}$$

şeklinde hesaplanmış bu çalışmada "kalıntı" olarak adlandırılmıştır. Kalıntı değerinin *j* ayı için ortalaması

$$\overline{Hata}_j = \frac{1}{N_y}\sum_{k=0}^{N_y-1} Hata_{j+12k} \qquad , j=1, ..., 12 \tag{5.5}$$

olarak elde edilmiştir. Burada N_a test süresindeki toplam ay sayısını, N_y de yıl sayısını göstermektedir.

(5.4) ile hesaplanan hatanın mutlak değerinin aylık ortalaması da modellerin performans değerlendirmesinde kullanılmıştır. Mutlak hata herhangi bir ay için

$$\left|Hata\right|_i = \left|Hata_i\right| \tag{5.6}$$

şeklinde hesaplandıktan sonra, mutlak hatanın j ayı için ortalaması

$$\left|\overline{Hata}\right|_j = \frac{1}{N_y}\sum_{k=0}^{N_y-1}\left|Hata\right|_{j+12k} \tag{5.7}$$

ile belirlenmiştir. (5.5) ve (5.7) ile hesaplanan hata kriterleri yağışların her ay için ortalamasına bölünmek suretiyle

$$OH_j = \frac{\overline{Hata}_j}{(Ort\ yagis)_j} \tag{5.8}$$

$$OMH_j = \frac{\left|\overline{Hata}\right|_j}{(Ort\ yagis)_j} \tag{5.9}$$

şeklinde elde edilmiştir. *OH* ve *OMH* bu çalışmada (boyutsuz kalıntı) olarak adlandırılmıştır.

5.3 İBGY YSA Modeli

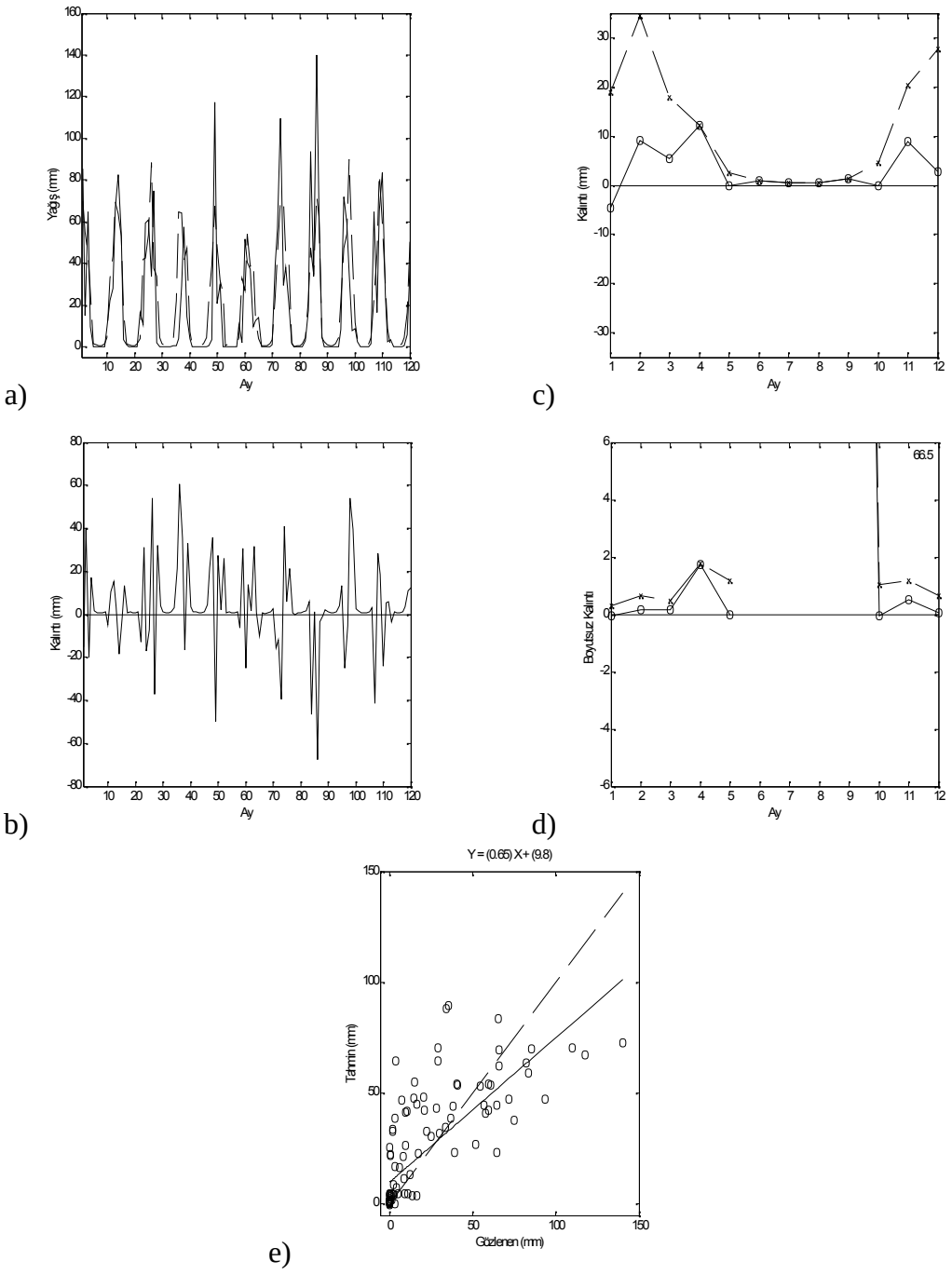
İBGY YSA'da girdi, gizli ve çıktı tabakaları olmak üzere üç farklı tabaka bulunmaktadır. Bu çalışmada gizli ve çıktı tabakalarında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanılmıştır. Kullanılan aktivasyon fonksiyonunun özelliğinden dolayı, veri setleri ağa verilmeden önce her bir giriş ve çıkış değerleri 0 ile 1 arasında

normalize edilmiştir. Orijinal verilere dönmek için normalize etme işlemlerinin tersi alınarak çıkış değerleri bulunmuştur.

Amman istasyonu için yapılan denemeler sonucunda en iyi model çıktısının ara tabakadaki hücre sayısının 7 olması durumunda elde edildiği belirlenmiştir. Böylece bu istasyon için kurulan modelin mimarisi (4,7,1)'dir. Safawi istasyonu için yapılan denemelerde ise aynı girdili modelin ara tabakasındaki hücre sayısı 5, Baqura istasyonu içinse Amman istasyonunda olduğu gibi 7 bulunmuştur. Modeller tüm istasyonlar için hep tek çıktılıdır. Böylece Safawi için kurulan model (4,5,1), Baqura için kurulan model ise (4,7,1)'dir.

Amman istasyonu için kurulan modelin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 379.9 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.58 olarak hesaplanırken en yüksek yağış miktarının 89.7 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış değeri yaklaşık olarak 0 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Her ne kadar sıfıra yakın en düşük yağış tahminleri yapılmışsa da, tamamen kuru ay tahmini bu YSA modelinde mümkün olmamıştır. Oysa bu istasyonda %38 gibi kuruyan ay mevcuttur.

İBGY YSA modeline ait Şekil 5.3'deki sonuçlar incelendiğinde modelin yüksek yağış miktarlarını tahminde başarılı olmadığı görülmektedir (Şekil 5.3a). Şekil 5.3b'de gözlenen yağış verilerinin tahmin edilen verilerden çıkarılması ile elde edilen hata (kalıntı) verilmiştir. Buna göre pozitif kalıntılar gözlenen verilerden daha büyük tahmin yapıldığına işaret etmektedir. Bu model ile çoğunlukla gözlemlerden büyük tahminler yapıldığı, pik yağışların tahmininde ise modelin genellikle gözlenenden daha düşük yağışlar verdiği görülmektedir. Ortalama hatalar (Şekil 5.3c) incelendiğinde Ocak aylarında tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edildiği, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında tahmin edilen yağış miktarlarının ise gözlenen yağış miktarlarından daha yüksek hesaplandığı anlaşılmaktadır. Mayıstan Eylüle kadar olan dönemde ise tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına çok yakın olduğu görülmüştür. Ortalama mutlak hata (Şekil 5.3c) incelendiğinde kış aylarında yapılan tahminlerdeki hataların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Boyutsuz hata değerleri (Şekil 5.3d) incelendiğinde, yağış ortalaması 0.02 mm olan Eylül ayı dışarıda tutulduğunda tahminde en büyük hatanın Nisan ayında yapıldığı, diğer aylarda yapılan hataların aylık ortalama yağış miktarlarına oranlarının düşük olduğu gözlenmiştir. Tahmin edilen ve gözlenen yağış miktarlarının 45°'lik doğru etrafında



Şekil 5.3: Amman İstasyonuna Ait İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

saçılma diyagramı incelendiğinde düşük yağışların fazla saçılmadığı ancak yüksek yağışların fazla saçıldığı görülmektedir (Şekil 5.3e).

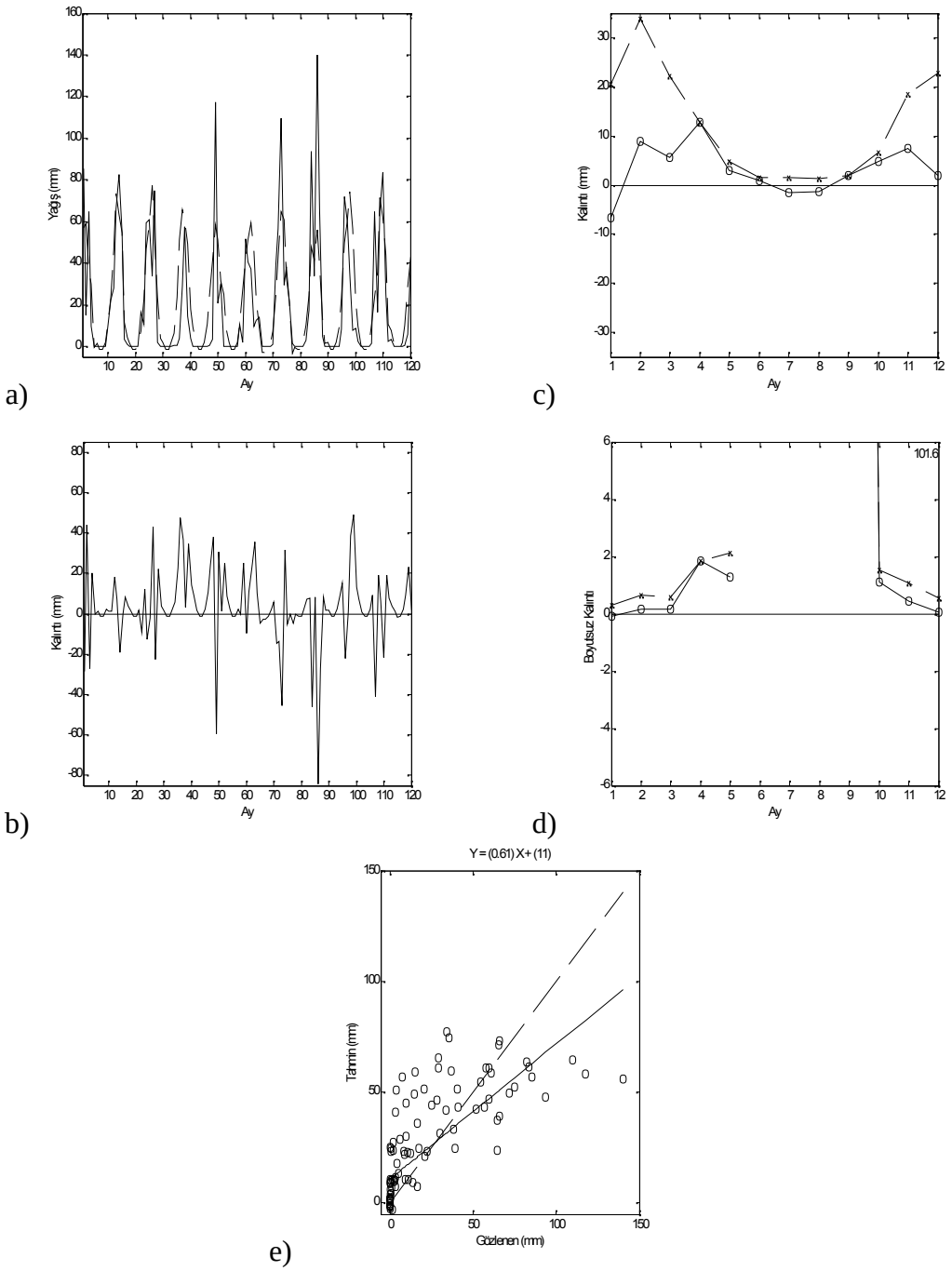
5.4 RT YSA Modeli

İBGY YSA'da olduğu gibi RT YSA'da da girdi, gizli (örnek) ve çıktı tabakaları olmak üzere üç farklı tabaka bulunmaktadır. Gizli tabakada aktivasyon fonksiyonu olarak radyal tabanlı (Gauss) kullanılmıştır. Çıktı tabakasında doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan aktivasyon fonksiyonu özelliğinden dolayı, veri setleri ağa verilmeden önce 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir.

Girdileri İBGY YSA'da olduğu gibi (X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t) olan modelin Amman istasyonu için yapılan denemelerinde yayılma katsayısı 5 alındığında ve ara tabakada 38 hücre kullanıldığında en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Elde edilen model (4,38,1)'dir. Safawi istasyonu için yapılan denemelerde model (4,37,1), Baqura istasyonu için (4,26,1) bulunmuştur. Safawi ve Baqura istasyonları için yapılan denemelerde en iyi sonucu yayılma katsayısının 5 alındığı modeller vermiştir.

RT YSA modelinin test aşamasında modelin ortalama karesel hatası 383.1 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.57 olarak hesaplanmıştır. Bu İBGY YSA'dakine benzer bir performansı göstermektedir. Tahmin edilen en yüksek yağış 77.0 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarı -3.2 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Görüldüğü gibi bu model belirgin bir şekilde negatif yağışlar türetmektedir.

RT YSA modeline ait grafikler incelendiğinde en yüksek ve en düşük yağış tahminlerinde iyi sonuçlar alınmadığı tespit edilmiştir (Şekil 5.4a). Genel olarak tahmin edilen yağış miktarları değerlerinin gözlenen yağış miktarları değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.4b). Ortalama hatalar (Şekil 5.4c) incelendiğinde Ocak aylarında tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir. Ancak Şubat-Nisan ve Ekim-Aralık dönemlerinde tahmin edilen yağışlar gözlenen yağışlardan daha yüksek tahmin edilmiştir. Mayıstan Eylüle kadar olan dönemde tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına yakın olduğu ancak Temmuz ve Ağustos aylarında negatif yağış tahmininde bulunulduğu görülmüştür. Ortalama mutlak hata (Şekil 5.4c) incelendiğinde kış aylarındaki hataların daha yüksek olduğu görülmüş olmakla



Şekil 5.4: Amman İstasyonuna Ait RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

birlikte boyutsuz hata değerleri incelendiğinde ise kış aylarındaki hatanın aslında fazla olmadığı, Nisan, Mayıs ve Ekim ayları dışında düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5.4d). Tahmin edilen ve gözlenen yağışların saçılma diyagramından düşük yağış değerlerinden çok yüksek yağışların saçıldığı görülmektedir (Şekil 5.4e).

5.5 GR YSA Modeli

Bu çeşit YSA'da kurulan model dört farklı tabakadan oluşmaktadır. Bunlar sırası ile girdi, gizli (örnek), toplama ve çıktı tabakalarıdır. Gizli tabakada aktivasyon fonksiyonu olarak radyal tabanlı (Gauss) kullanılmıştır. Çıktı tabakada ise doğrusal fonksiyon kullanılmıştır. Burada da veri setleri ağa verilmeden önce 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Amman, Safawi ve Baqura istasyonları için yapılan denemelerde en iyi sonucun 0.06 yayılma katsayısı için elde edilmiştir.

GR YSA ile tahmin edilen yağışlar incelendiğinde ortalama karesel hata 734.6 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.22 olarak belirlenmiştir. En yüksek yağış 122.2 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış 3.8 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Negatif yağış tahmin etmeyen bu modelde kuruyan aylarda yağış tahmin edilmiş, bu yüzden gözlenen kuru aylar oranı %38 iken bu modelde bu oran %0 olmuştur.

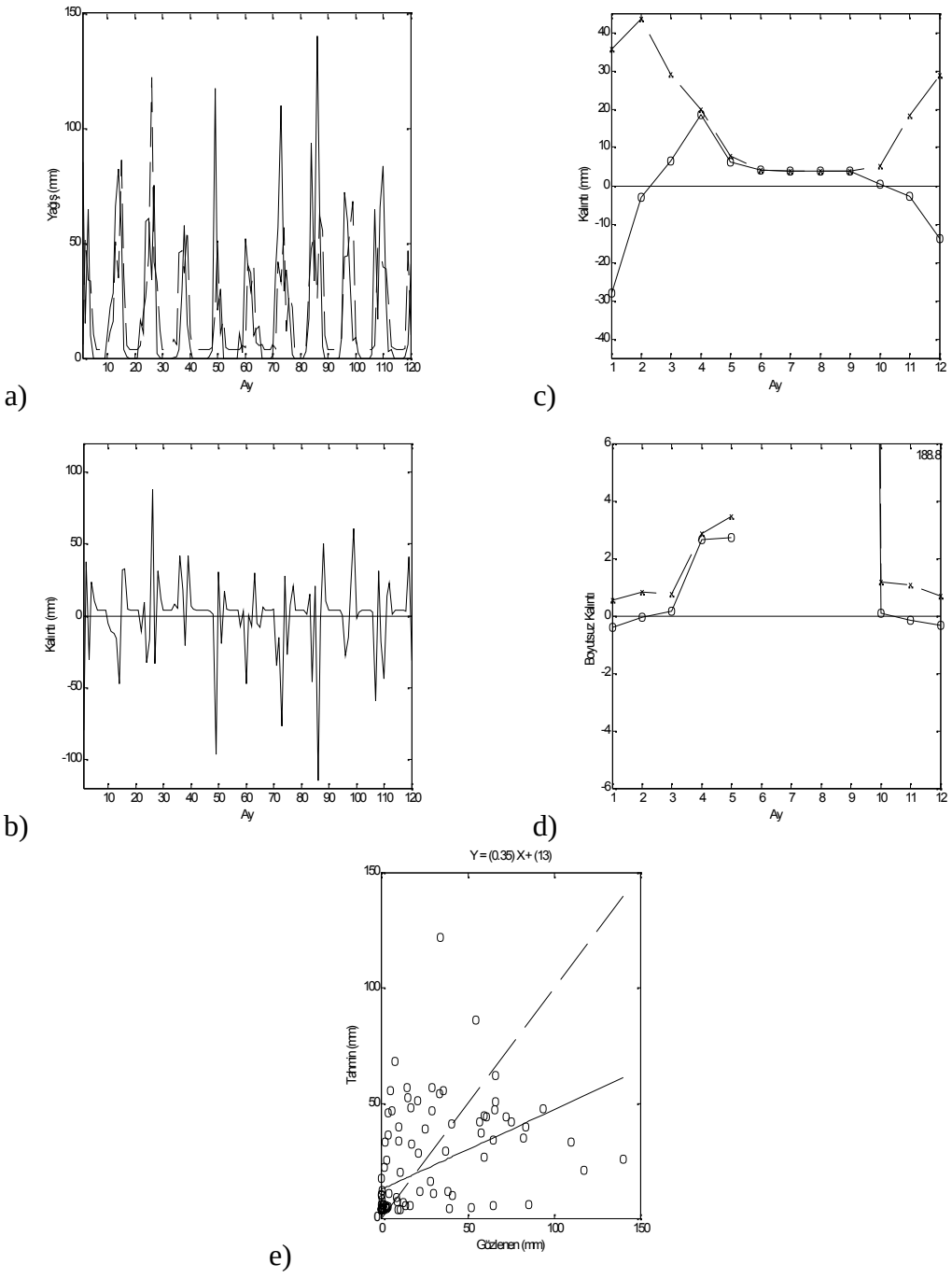
Şekil 5.5 incelendiğinde GR YSA'nın diğer iki YSA modeline göre daha az başarılı olduğu kolaylıkla görülebilir. En basit şekilde Şekil 5.5b'de kalıntıların ±100 mm ve Şekil 5.5c'de aylık ortalama kalıntıların ±40 mm arasında değişmesi bu modelin diğer iki modele göre daha az başarılı olduğunu göstermektedir. Şekil 5.5e regresyon denklemindeki eğim değerinin diğer iki modeldekine göre daha küçük olduğu, sabit değerinin de daha büyük olduğuna dikkat edilmelidir.

5.6 ÇDR Modeli

YSA modelleri ile karşılaştırmak üzere bağımsız değişkenleri YSA modellerindeki girdiler olan ÇDR denklemi de kurulmuştur. Regresyon denklemleri eğitme için kullanılan verilerden elde edilip tahmin için kullanılmıştır. Amman istasyonu için kullanılan regresyon denklemi

$$X_t=22.11+0.03X_{t-1}-0.05X_{t-2}+0.06X_{t-12}+21.99P_t \quad \textbf{(5.10)}$$

şeklinde elde edilmiştir.



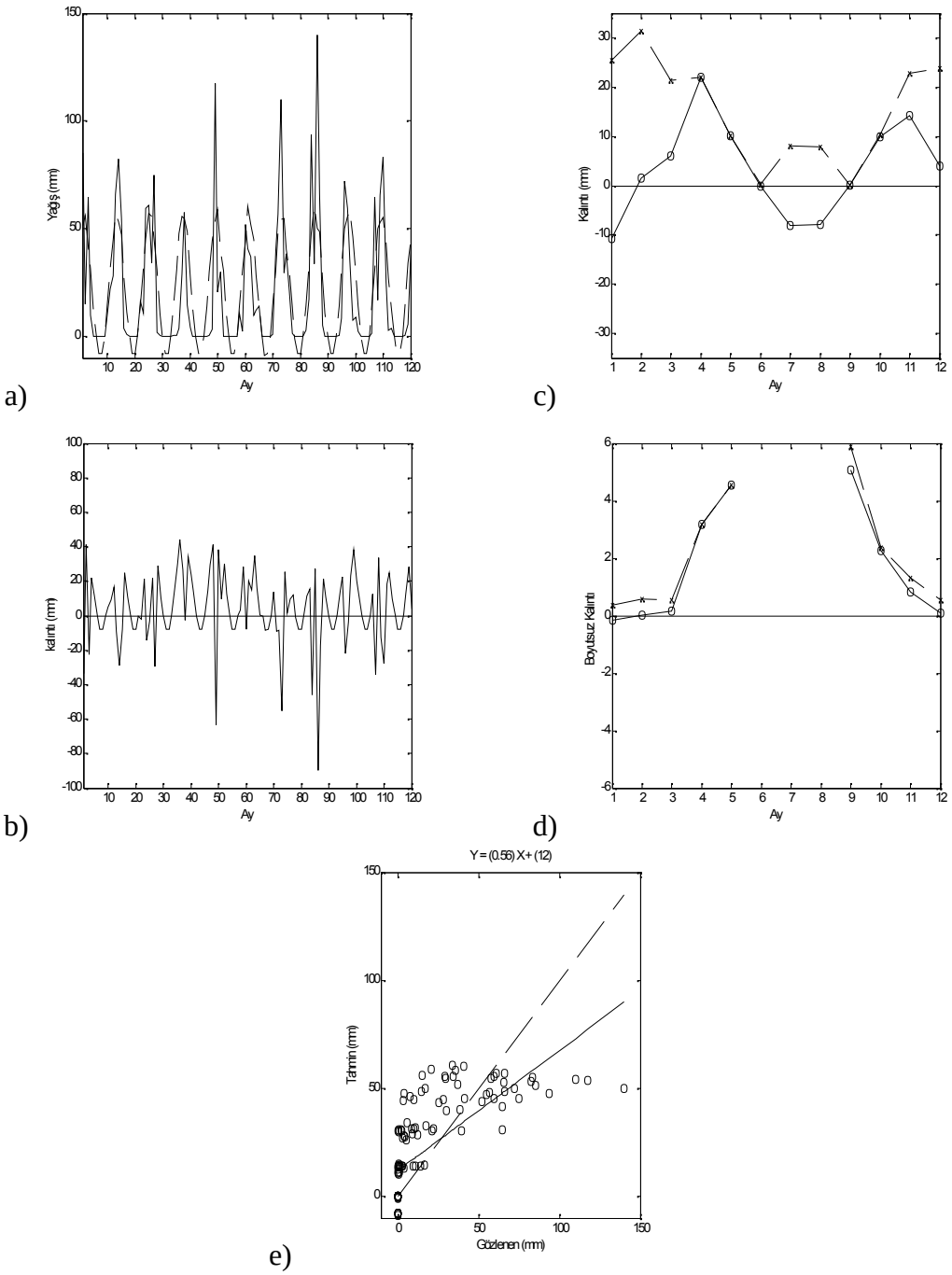
Şekil 5.5: Amman İstasyonuna Ait GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

ÇDR ile tahmin edilen yağışlar incelendiğinde belirlilik katsayısı 0.50 ve ortalama karesel hata 449.9 mm^2 olarak bulunmuştur. En yüksek yağış 60.7 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış -8.6 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Negatif yağış tahmin eden bu modelde kuruyan aylarda da negatif yağış tahmin edilmiş, bu yüzden gözlenen kuru aylar oranı %38 iken bu modelde bu oran %0 olmuştur.

ÇDR modeline ait grafikler incelendiğinde en yüksek ve en düşük yağış tahminlerinde iyi sonuçlar alınmadığı görülmektedir (Şekil 5.6a). Genel olarak tahmin edilen yağış miktarları değerlerinin gözlenen yağış miktarları değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 5.6b). Ortalama hatalar (Şekil 5.6c) incelendiğinde Ocak, Temmuz ve Ağustos aylarındaki tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir. Ancak Mart-Mayıs ve Ekim-Aralık dönemlerinde tahmin edilen yağışlar gözlenen yağışlardan daha yüksek tahmin edilmiştir. Şubat, Haziran ve Eylül aylarındaki tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına yakın olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama mutlak hata (Şekil 5.6c) incelendiğinde kış aylarındaki hataların daha yüksek olduğu görülmüş olmakla birlikte boyutsuz hata değerleri (Şekil 5.6d) incelendiğinde ise kış aylarındaki hatanın aslında fazla olmadığı, Nisan, Mayıs, Eylül, Ekim ve Kasım ayları dışında düşük olduğu görülmektedir. Tahmin edilen ve gözlenen yağışların saçılma diyagramından düşük yağışların yüksek, yüksek yağışların düşük tahmin edildiği görülmektedir (5.6e).

5.7 Modellerin Karşılaştırılması

Tablo 5.2'de yukarıdaki dört modele ait performans kriterleri ile tahmin edilen maksimum, minimum yağışlar ve kuru ayların oranı verilmiştir. Buna göre, İBGY YSA modelinin dört performans kriterine göre de en iyi model olduğu söylenebilir. 140.1 mm olarak gözlenen maksimum yağışa en fazla GR YSA modeli yaklaşabilmiştir. Modeller ya negatif minimumlar türetmiş, ya da GR YSA'da olduğu gibi her ay mutlaka yağış olacağı tahmininde bulunmuştur. Bu yüzden dört model de kuru geçen ayların tahminini yapamamıştır.



Şekil 5.6: Amman İstasyonuna Ait ÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Modellerin performansının yeterli olduğu söylenemez. Tüm modellerin, (özellikle ÇDR modelinin) saçılma diyagramı incelendiğinde tahmin edilen en büyük yağışların belli bir değerin üstüne çıkamadığı görülmektedir. Modellerin tahmindeki performanslarının iyileştirilmesi için bir sonraki bölümde modeller Markov zinciri ile birleştirilmiştir.

Tablo 5.2: Modellerin Performans Kriteri

Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
İBGY	379.9	0.58	0.65	9.8	89.7	≈ 0	0
RT	383.1	0.57	0.61	11.0	77.0	-3.2	0
GR	734.6	0.22	0.35	13.0	122.2	3.8	0
ÇDR	449.9	0.50	0.56	12.0	60.7	-8.6	0

6. MARKOV ZİNCİRLERİ EKLENMİŞ YSA MODELLERİ

6.1 Markov Zincirleri

Bir rastgele değişkenin zaman içinde ardışık anlarda (veya uzayda ardışık noktalarda) aldığı değerlerden oluşan sürece stokastik süreç denir. Bir stokastik sürecin X değişkeni, Δt zaman aralıklarıyla $t_0, t_1, t_2, \ldots$ anlarında (veya uzaydaki Δs adımlarıyla $s_0, s_1, s_2, \ldots$ noktalarında) ölçülen $x_0, x_1, x_2, \ldots$ değerleri ile ifade edilir. Bu değerler bir çok süreçte birbirinden bağımsız değildir.

Sonlu sayıda durumdan birinde bulunabilen (sonlu sayıda değerden birini alabilen) bir rastgele değişkenin zaman içinde ardışık anlarda (veya uzayda ardışık noktalarda) bulunduğu durumların (aldığı değerlerin) birbiri üzerindeki etkisi gözönünde bulundurularak oluşturulan süreç Markov Zinciri olarak adlandırılır. Sürecin $t_0, t_1, t_2, \ldots$ anlarında aldığı değerler ($X_0=x_0, X_1=x_1, \ldots, X_n=x_n$) ile gösterilsin ve bilinsin. Bu sürecin t_{n+1} anında j durumunda bulunması olasılığı $P(X_{n+1}=j|X_0=x_0, X_1=x_1, \ldots, X_n=x_n)$ koşullu olasılığı şeklinde yazılabilir. Bu olasılık $P(X_{n+1}=j|X_n=x_n)$ koşullu olasılığına eşit ise,

$$P(X_{n+1}=j \mid X_0=x_0, X_1=x_1,\ldots, X_n=x_n) = P(X_{n+1}=j \mid X_n=x_n) \qquad \textbf{(6.1)}$$

elde edilir. Bu da, sürecin rastgele değişkeninin herhangi bir t_{n+1} anındaki değeri sadece bir önceki t_n değeri ile bağımlı demektir. Yani daha önceki $t_{n-1}, t_{n-2}, \ldots$ anlarında sürecin bulunduğu durumlar t_{n+1} anındaki durumu doğrudan doğruya etkilememektedir. Böyle bir özelliği bulunan sürece (birinci mertebe, basit) Markov Zinciri adı verilir (Aksoy, 1998). Markov zinciri süreçlerdeki iç bağımlılığın basit bir halini oluşturur. Bir Markov zincirinde ($n>m$ olmak üzere) t_m anında i durumunda iken t_n anında j durumuna geçme olasılığı kısaca $P_{ij}(m,n)$ şeklinde gösterilebilir ve bu olasılık,

$$P_{ij}(m,n) = P(X_n = j \mid X_m = i) \qquad n > m \qquad \textbf{(6.2)}$$

ile verilebilir. Markov zinciri homojen ise $P_{ij}(m,n)$ olasılığı sadece t_m ve t_n anları arasında geçen süreye bağlıdır. Homojen bir zincirin k adımlı geçiş olasılık fonksiyonu

$$P_{ij}(k) = P(X_{t+k} = j \mid X_t = i) \qquad k > 0 \tag{6.3}$$

şeklinde tanımlanabilir. k=1 alınırsa Markov zincirinin geçiş olasılıkları $P_{ij}(1)$ bulunur. Bu olasılıklar kısaca P_{ij} ile gösterilirse,

$$P_{ij} = P_{ij}(1) = P(X_{t+1} = j \mid X_t = i) \tag{6.4}$$

yazılabilir. P_{ij} olasılıkları **P** geçiş olasılıkları matrisinin elemanları olarak düşünülebilir. Boyutu mxm olan bu matris

$$\mathbf{P}= P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{bmatrix} \tag{6.5}$$

şeklinde yazılabilir. Matriste bir satır üzerinde bulunan elemanların toplamları 1'e eşittir.

$$\sum_j P_{ij} = 1 \tag{6.6}$$

Çünkü bu elemanlar t anında belli bir durumda bulunan sürecin $t+1$ anında çeşitli durumlara geçme olasılıklarını göstermektedir (Bayazıt, 1996).

6.2 Yağışlı Olan ve Yağışlı Olmayan Aylar

Yağışlı olma ve olmama gibi iki durumu olan bir süreçte birinci mertebe Markov zincirinin geçiş olasılıkları matrisi

$$\mathbf{P}= \begin{bmatrix} P_{11} & P_{10} \\ P_{01} & P_{00} \end{bmatrix} \tag{6.7}$$

şeklinde oluşturulabilir. (6.7)'de verilen geçiş olasılıkları matrisinde,

11: yağışlı olan bir ayı yine yağışlı olan bir ayın izlemesi

10: yağışlı olan bir ayı yağışlı olmayan bir ayın izlemesi

01: yağışlı olmayan bir ayı yağışlı olan bir ayın izlemesi

00: yağışlı olmayan bir ayı yine yağışlı olmayan bir ayın izlemesi

geçişlerini, **P** de bu geçişlere karşı gelen olasılıkları göstermektedir. Bu olasılıklar n_{11}, n_{10}, n_{01} ve n_{00} yukarıdaki kategorilere giren ay sayıları olmak üzere,

$$P_{11} = \frac{n_{11}}{n_{11} + n_{10}} \quad \textbf{(6.8)}$$

$$P_{10} = \frac{n_{10}}{n_{11} + n_{10}} \quad \textbf{(6.9)}$$

$$P_{01} = \frac{n_{01}}{n_{01} + n_{00}} \quad \textbf{(6.10)}$$

$$P_{00} = \frac{n_{00}}{n_{01} + n_{00}} \quad \textbf{(6.11)}$$

bağıntıları da sağlanır.

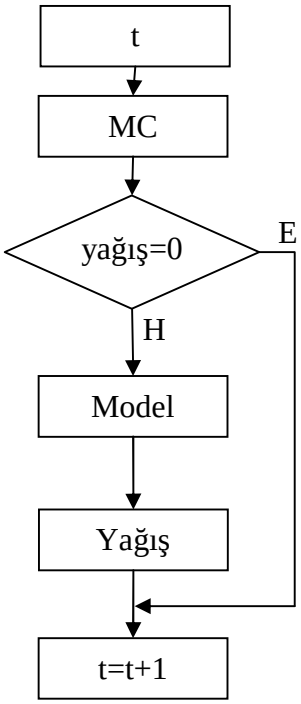
İki durumlu Markov zincirlerinde parametre sayısı, *k* zincirin mertebesi olmak üzere 2^k kadardır. Buna göre, birinci mertebe Markov zincirinde parametre sayısı 2 (P_{11} veya P_{10} ve P_{00} veya P_{01})'dır.

6.3 Markov Zincirlerinin Tahmin Algoritması

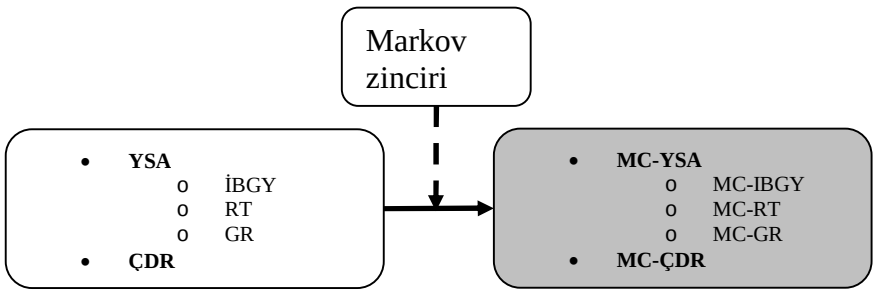
Şekil 6.1'deki akış şemasına göre herhangi bir ayın öncelikle yağışlı olup olmayacağına Markov zincirleri ile karar verilmektedir. Eğer Markov zinciri ile aşağıda izah edilen tahmin algoritması sonucunda sözkonusu ayda yağış olmayacağı belirlenmişse, tahmin edilecek bir sonraki aya geçilmektedir. Markov zincirleri ile yağış olacağı tahmin edilen bir ayda ise yağış yüksekliğine YSA veya ÇDR modeli ile karar verilmektedir. Bu şekilde geliştirilen modeller şekil 6.2'de verilmiştir. Bölüm 5'te verilen modeller MC ile birleştirilmiş, böylece Şekil 6.2'deki modeller elde edilmiştir.

Bu çalışmada tahmin yapılacak ayın yağışlı olup olmadığının tespit edilmesi için 2 durumlu Markov zincirleri kullanılmıştır. Markov zincirinin geçiş olasılıkları modeli eğitmede kullanılan verilerden hesaplanmış ve Tablo 6.1'de verilmiştir. Markov zincirinin tahmin algoritması şu şekildedir: Yağışlı olan ve yağışlı olmayan ayların

tahmini için (0,1) aralığında değişen üniform dağılımlı sayılar kullanılmaktadır. Önceki ay yağışsız olmak koşulu ile üretilen üniform sayı, yağışsız bir ayı yine yağışsız bir ayın izlemesi olasılığından büyük ($u>P_{00}$) ise içinde bulunan ay yağışlı olacak, üniform sayı bu olasılıktan küçük veya ona eşit ($u<=P_{00}$) ise yağışlı olmayan ay gözlenecektir. Benzer şekilde, önceki ay yağışlı olmak koşulu ile üretilen üniform sayı, yağışlı olan bir ayı yağışsız bir ayın izlemesi olasılığından büyük ($u>P_{10}$) ise, tahmin edilecek ay yağışlı olacak, üniform sayının ($u<=P_{10}$) olması halinde ise tahmin edilecek ay yağışlı olmayacaktır.



Şekil 6.1: Markov Zincirleri Akış Diyagramı



Şekil 6.2: MC ile Birleştirilmiş Modeller

Tablo 6.1: Amman İstasyonuna Ait 2 Durumlu Markov Zinciri Geçiş Olasılıkları

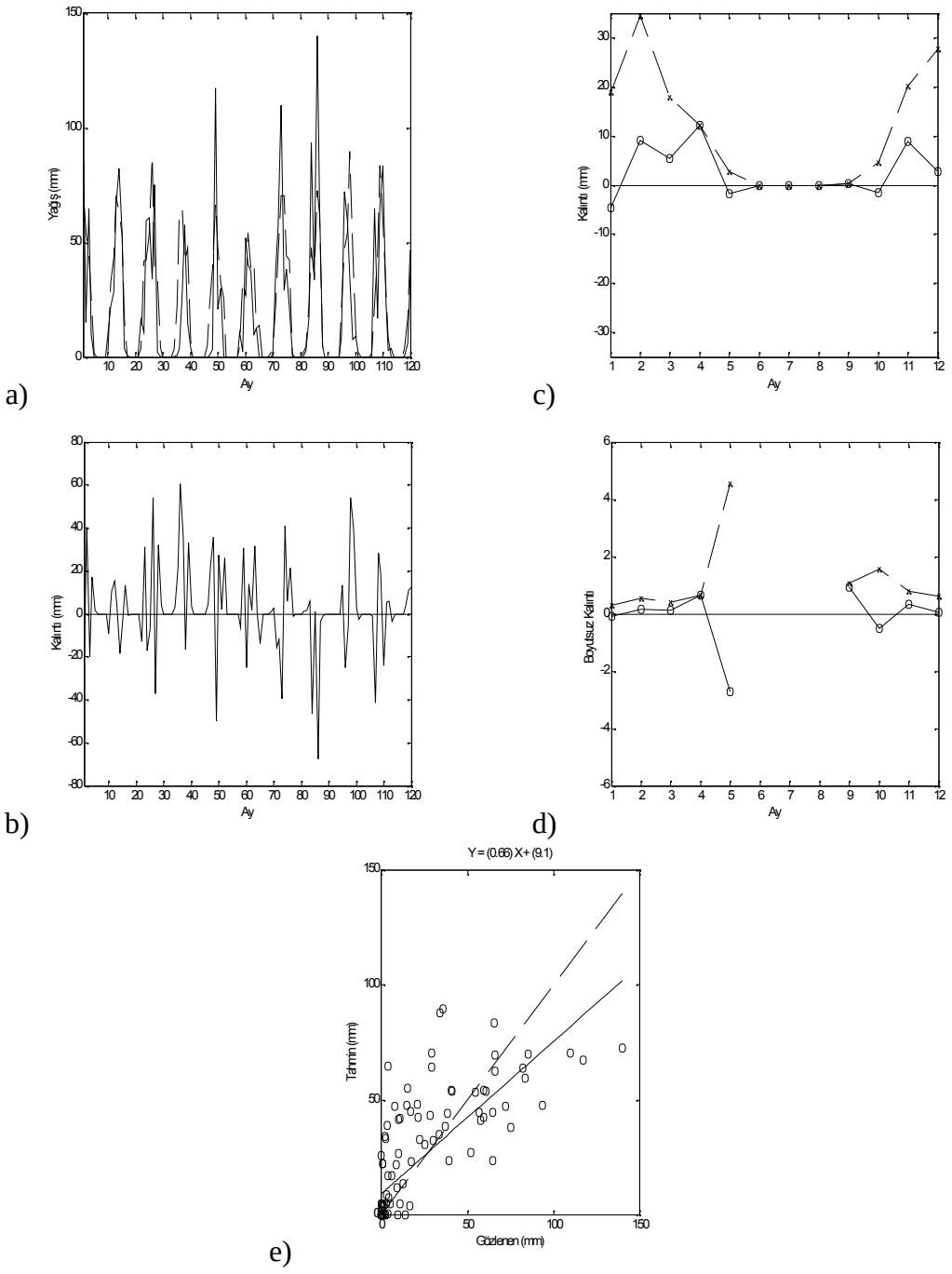
Ay	P_{11}	P_{10}	P_{00}	P_{01}
Ocak	1.000	0.000	-	-
Şubat	1.000	0.000	-	-
Mart	0.986	0.014	-	-
Nisan	0.931	0.069	0.000	1.000
Mayıs	0.647	0.353	0.600	0.400
Haziran	0.065	0.935	0.963	0.037
Temmuz	0.000	1.000	0.986	0.014
Ağustos	0.000	1.000	1.000	0.000
Eylül	-	-	0.918	0.082
Ekim	0.667	0.333	0.239	0.761
Kasım	0.964	0.036	0.056	0.944
Aralık	1.000	0.000	0.000	1.000

6.4 MC-İBGY YSA Modeli

Burada Markov zincirleri, YSA ile birleştirilerek yeni bir model kurulmuştur. Literatür incelemesi yapıldığında daha önce böyle bir çalışma olmadığı tespit edilmiştir. Bu model ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır.

Kurulan modelin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 380.8 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.58 olarak hesaplanırken en yüksek yağış miktarının 89.7 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarı değeri 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Bu modelde kuru aylar oranı %40 (gözlenen %38) hesaplanmıştır. Bu model kuru ay oranı tahmininde yüksek performans göstermiştir.

MC-İBGY YSA modeline ait Şekil 6.3'teki sonuçlar incelendiğinde modelin düşük yağış miktarlarını tahminde büyük bir başarı gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 6.3a). Aylık hatalar (Şekil 6.3b) incelendiğinde negatif kalıntılar gözlenen verilerden daha düşük tahmin yapıldığına işaret ettiğinden bu model ile çoğunlukla gözlemlerden büyük tahminler yapıldığı, pik yağışların tahmininde ise modelin genellikle gözlenenden daha düşük yağışlar verdiği görülmektedir. Ortalama hatalar (Şekil 6.3c) incelendiğinde Ocak, Mayıs ve Ekim aylarında tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edildiği, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında ise tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarından daha yüksek hesaplandığı anlaşılmaktadır. Hazirandan Eylüle



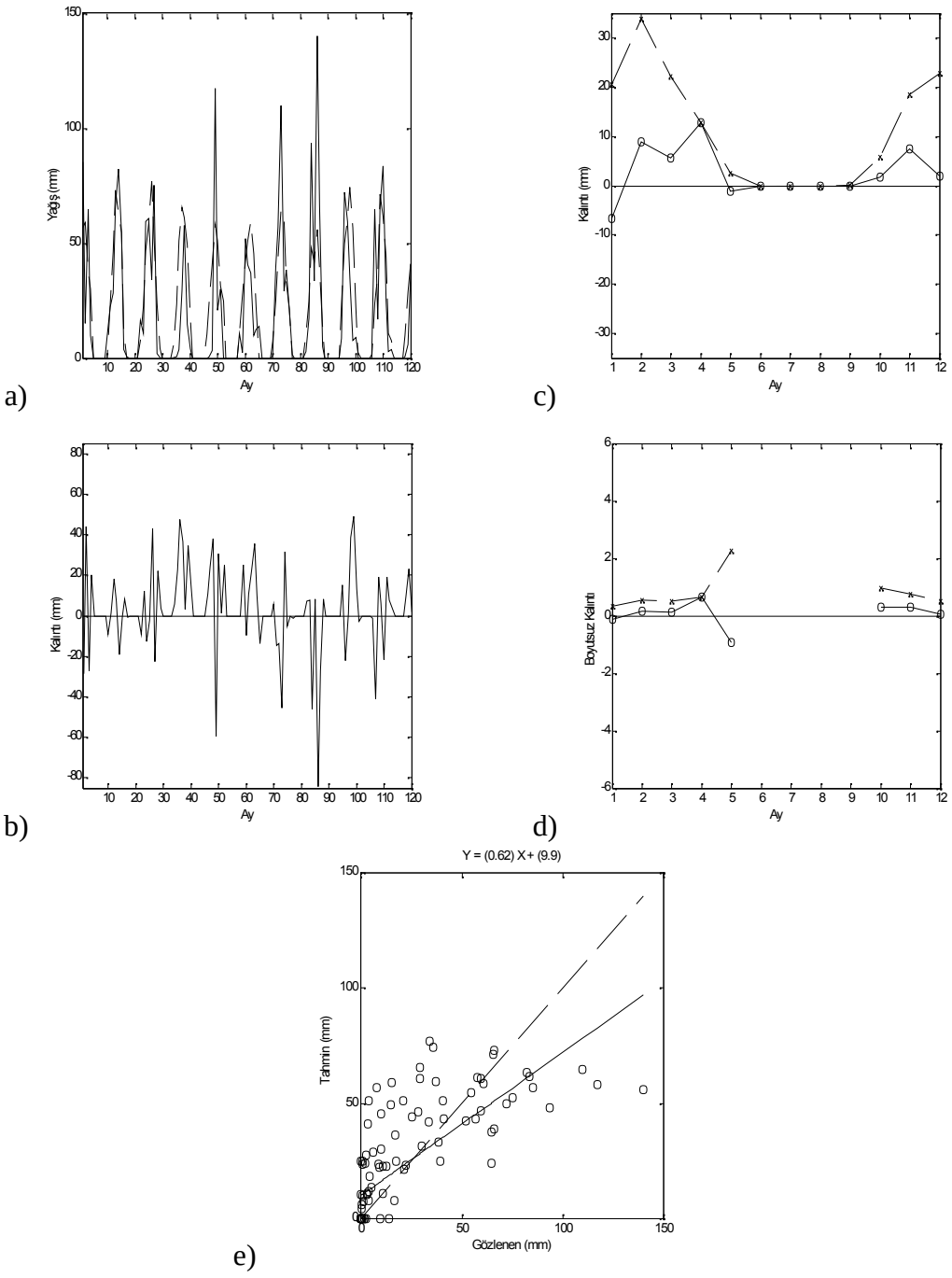
Şekil 6.3: Amman İstasyonuna Ait MC-İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

kadar olan dönemde ise tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına eşit olduğu görülmektedir. Ortalama mutlak hata (Şekil 6.3c) incelendiğinde kış aylarında yapılan tahminlerdeki hataların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Boyutsuz hata değerleri (Şekil 6.3d) tahminde en büyük hatanın Mayıs ayında yapıldığını, diğer aylarda yapılan hataların aylık ortalama yağış miktarlarına oranlarının düşük olduğunu göstermektedir. Tahmin edilen ve gözlenen yağış miktarlarının 45°'lik doğru etrafında saçılma diyagramı incelendiğinde düşük yağışların yüksek, yüksek yağışların düşük tahmin edildiği görülmektedir (Şekil 6.3e).

6.5 MC-RT YSA Modeli

MC-RT YSA modelinin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 381.0 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.57 olarak hesaplanmıştır. Bu model MC-İBGY YSA'dakine benzer bir performans göstermiştir. Tahmin edilen en yüksek yağış 77.0 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarı değeri 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Bu modelde kuru aylar oranı %42 (gözlenen %38) hesaplanmıştır.

MC-RT YSA modeline ait sonuçlar incelendiğinde düşük yağış tahminlerinde iyi sonuçlar alındığı tespit edilmiştir (Şekil 6.4a). Aylık hatalar (Şekil 6.4b) incelendiğinde bu model ile de çoğunlukla gözlemlerden büyük tahminler yapıldığı, pik yağışların tahmininde ise modelin genellikle gözlenenden daha düşük yağışlar verdiği görülmektedir. Ortalama hatalar incelendiğinde Ocak ayındaki tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir (Şekil 6.4c). Ancak Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha yüksek hesaplanmıştır. Hazirandan Eylüle kadar tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına eşit olduğu görülmüştür. Ortalama mutlak hata (Şekil 6.4c) incelendiğinde kış aylarında yapılan tahminlerdeki hataların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Boyutsuz hata değerleri (Şekil 6.4d) tahminde en büyük hatanın Mayıs ayında yapıldığını, diğer aylarda yapılan hataların aylık ortalama yağış miktarlarına oranlarının düşük olduğunu göstermiştir. Tahmin edilen ve gözlenen yağış miktarlarının saçılma diyagramından düşük yağışların yüksek, yüksek yağışların düşük tahmin edildiği görülmektedir (Şekil 6.4e).



Şekil 6.4: Amman İstasyonuna Ait MC-RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

6.6 MC-GR YSA Modeli

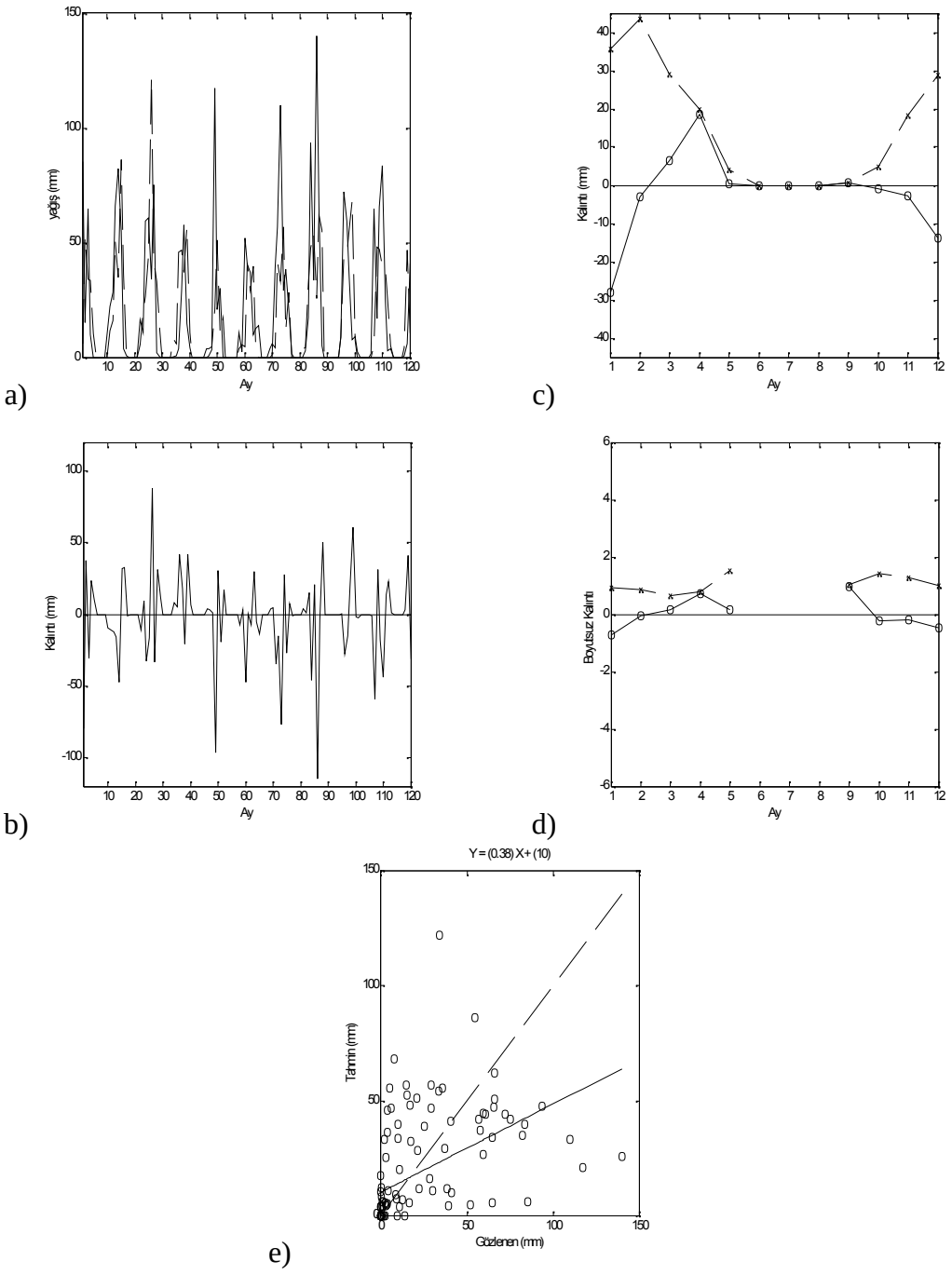
MC-GR YSA modelinin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 726.3 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.25 hesaplanmıştır. En yüksek yağış 122.2 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuru aylar oranı %40 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır.

Bu modele ait sonuçlardan MC-GR YSA'nın diğer iki MC-YSA modeline göre daha az başarılı olduğu kolaylıkla görülebilir (Şekil 6.5a). En basit şekilde Şekil 6.5b'de kalıntıların ±100 mm ve Şekil 6.5c'de aylık ortalama hataların ±40 mm arasında değişmesi bu modelin diğer iki modele göre daha az başarılı olduğunu göstermektedir. Regresyon denklemindeki eğim değerinin diğer iki modeldekine göre daha küçük olduğu, sabit değerinin de daha büyük olduğuna dikkat edilmelidir. Saçılmanın fazla olması dolayısıyla gözlenen ile aynı ayda olmayan bir yüksek yağış (122.2 mm) tahmini yapılmıştır.

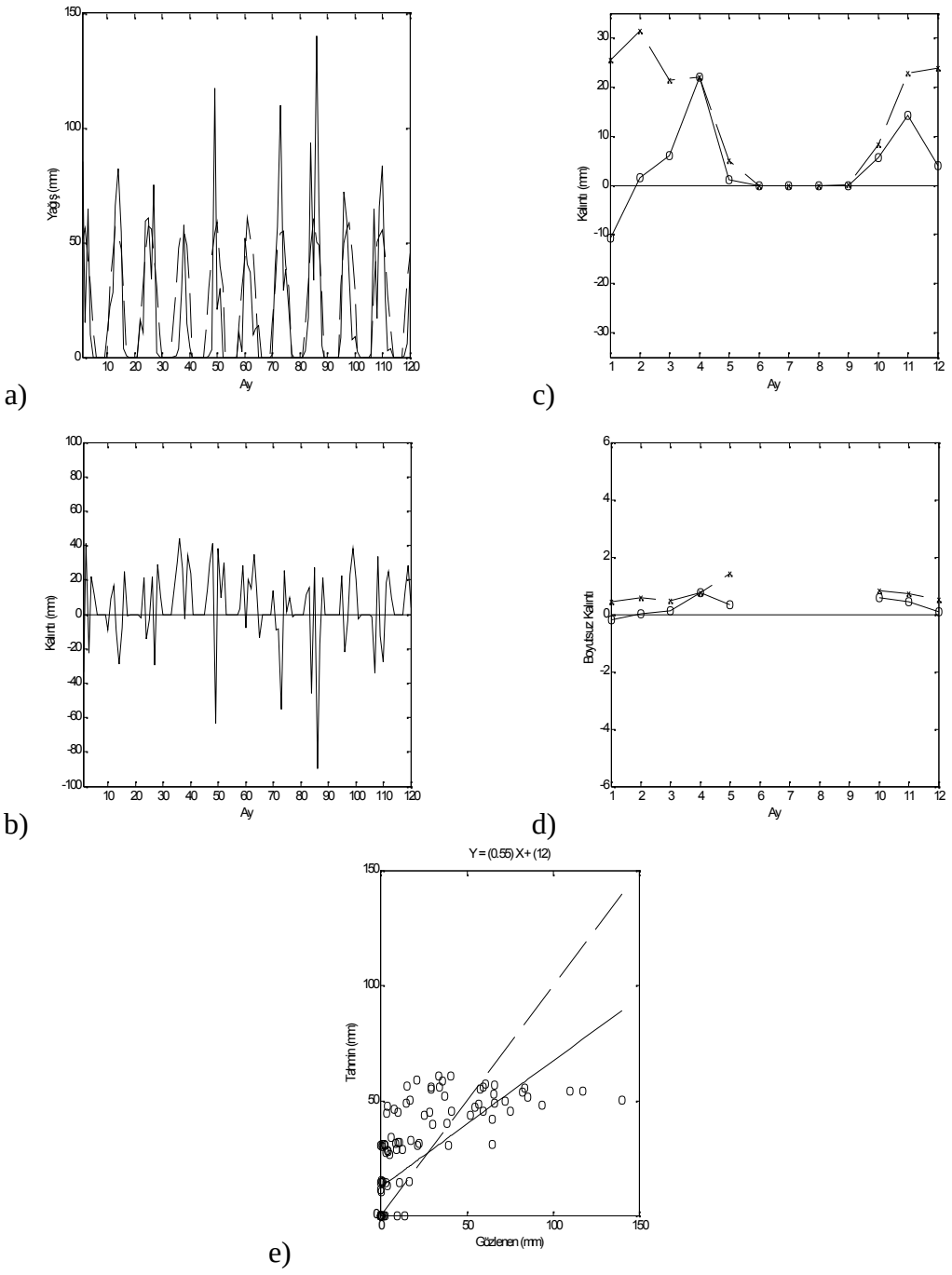
6.7 MC-ÇDR Modeli

ÇDR modelinde kullanılan (5.10) regresyon denklemi ifadesi, MC-ÇDR modelinde kullanılmıştır. MC-ÇDR ile tahmin edilen yağışlar incelendiğinde ortalama karesel hata 431.5 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.52 hesaplanmıştır. En yüksek yağış 60.7 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuru aylar oranı %42 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır.

MC-ÇDR modeline ait sonuçlardan en düşük yağış miktarları tahminlerinde iyi sonuçlar alındığı görülmektedir (Şekil 6.6a). Bu modelde tahmin edilen yağış miktarları değerlerinin genellikle gözlenen yağış miktarları değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.6b). Şekil 6.6c'de ortalama hatalar incelendiğinde Ocak ayında tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir. Nisan ayında tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha yüksek hesaplanmıştır. Ortalama mutlak hata (Şekil 6.6c) incelendiğinde kış aylarındaki hataların daha yüksek olduğu görülmüş olmakla birlikte boyutsuz hata değerleri incelendiğinde ise kış aylarındaki hata aslında fazla olmamakla birlikte yıl boyunca benzer hatalar yapıldığı görülmektedir (Şekil 6.6d). Tahmin edilen ve gözlenen yağış miktarlarının saçılma diyagramından tahminlerin belli bir değerin üstüne çıkmadığı görülmektedir (Şekil 6.6e).



Şekil 6.5: Amman İstasyonuna Ait MC-GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil 6.6: Amman İstasyonuna Ait MC-ÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

6.8 MC Eklenmiş Modellerin Karşılaştırılması

Tablo 6.2'de özetlenen performans kriterlerine göre en iyi modelin MC-İBGY modeli olduğu, MC-RT modelinin de hemen hemen aynı başarıyı gösterdiği söylenebilir. Modellerin performansı hala tatmin edici olmaktan uzaktır. Tablo 6.2 önceki bölümde verilen Tablo 5.1 ile karşılaştırıldığında modellerin performanslarının iyileştiğine dair bir sonuç çıkmamaktadır. Ancak modellerin MC ile birleştirilmesi sonucu sağlanan en önemli gelişme, kuru geçen yaz aylarında tahmin aşamasında da yağış olmadığının belirlenmesi olmuştur. Böylelikle YSA modellerinin fiziksel anlamı olmayan negatif yağışlar tahmin etmesi önlenmiştir.

Tablo 6.2: MC ile Birleştirilmiş Modellerin Performans Kriteri

Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
MC-İBGY	380.8	0.58	0.66	9.1	89.7	0.0	40
MC-RT	381.0	0.57	0.62	9.9	77.0	0.0	42
MC-GR	726.3	0.25	0.38	10.0	122.2	0.0	40
MC-ÇDR	431.5	0.52	0.55	12.0	60.7	0.0	42

YSA modelleri yapılarında gizli olan çok sayıdaki ağırlıkların belirlenmesi (eğitme) aşamasında olabildiğince uzun verilere gereksinim duyar. Bu yüzden, özellikle kısa gözlemleri olan veri kümeleri kullanılarak geliştirilen YSA modellerinin performansı düşük kalabilmektedir. Bölüm 5'te geliştirilen ve Bölüm 6'da MC ile birleştirilen YSA ve ÇDR modellerinin sentetik veriler kullanılarak performanslarının geliştirilmesi için yapılan çalışmalar Bölüm 7'de verilmiştir.

7. SENTETİK SERİLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ YSA MODELLERİ

7.1 Sentetik Seri Türetilmesi

Hidrometeorolojik veriler çoğunlukla kısa süreli gözlemlere dayanmaktadır. Bu gözlemlere dayalı model geliştirilmesi, modellerin tahmin amaçlı kullanılması durumunda model parametrelerinin toplum değerlerine yakınsamaması sorunu ortaya çıkar. Yani geliştirilen modelin parametreleri ancak eldeki gözlemlere göre belirlendiğinden modellenen süreci tam olarak yansıtmaları beklenmez. Bu yüzden hidrometeorolojik uygulamalarda sentetik verilerin türetilmesi yoluna gidilir. Bu sentetik veriler gözlenen verilere ait belli istatistikleri koruyan yani istatistik anlamda gözlenen verilere benzer verilerdir.

YSA modellerinin eğitme (model parametrelerinin belirlenmesi) aşamasında çok veri gerektirdiği bilinmektedir. Bu yüzden veri uzunluğunun model parametrelerinin belirlenmesinde etkisinin araştırılması için bu bölümde sentetik serilerle güçlendirilmiş YSA modelleri konusu incelenmiştir. Daha önce Cığızoğlu (2003) buna benzer bir çalışmayı aylık akış verileri için kullanmış ve sentetik serilerle güçlendirilmiş YSA modellerinin tahmin performanslarının geliştiği sonucuna varmıştır. Yağış modelleme çalışmalarında böyle bir uygulama sözkonusu değildir. Bu çalışma sentetik verilerin yağış YSA modellerinde kullanılması açısından bir ilktir.

Sentetik verilerin türetilmesinde kullanılan çok sayıda yöntem vardır. Bölüm 2'de stokastik yöntemler konusunda değinilen kısa literatür özeti bile bu tür çalışmaların ne kadar yaygın olduğunu göstermektedir. Burada, aylık değişkenlerin modellenmesinde kullanılan Thomas ve Fiering (1962) modeli (T-F modeli) kullanılacaktır.

7.2 T-F Modeli

Akış, yağış, su kalitesi, katı madde vb. değişkenlerin sentetik serilerinin türetilmesi ve tahmininde başarı ile kullanılan bir modeldir. Thomas ve Fiering (1962) tarafından geliştirilen bu model haftalık, aylık, mevsimlik ve yıllık akış zaman serilerinin türetilmesinde kullanılabilmektedir. Modelin genel ifadesi

$$x_{i+1} = \bar{x}_{j+1} + b_j (x_i - \bar{x}_j) + t_i s_{j+1} \sqrt{(1 - r_j^{\,2})} \qquad \textbf{(7.1)}$$

gibi yazılabilir. Burada

x_i : i mevsiminde türetilen yağış miktarı

$\bar{x}_j$: j mevsiminin ortalama yağış miktarı

b_j : regresyon katsayısı

t_i : ortalaması 0 ve varyansı 1 olan normal dağılmış sayı

s_j : j mevsiminin standart sapması

r_i : korelasyon katsayısıdır.

Regresyon katsayısı

$$b_j = r_j \frac{s_{j+1}}{s_j} \qquad \textbf{(7.2)}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. T-F modeli aylık yağışların modellenmesinde kullanıldığında 12 regresyon denklemi ortaya çıkar, yani her ay için bir denklem gerekir. Her denklemde 3 tane parametre mevcuttur. Bunlar (7.1) denkleminden görüldüğü gibi ortalama, standart sapma ve korelasyon katsayısıdır (Clarke, 1984).

Bu çalışmada T-F modeli kullanılarak sentetik yağış verileri türetilmiştir. Sentetik veri türetmek için önce yağış verileri kare kökü alınarak normal hale getirilmiştir. Daha sonra bilgisayar ortamında normal dağılmış (ortalaması 0, standart sapması 1) rastgele sayılar [(7.1) ifadesindeki t_i bağımsız değişkeni] türetilmiş, sentetik seri uzunluğu gözlenen zaman serisinin 30 katı olarak seçilmiştir.

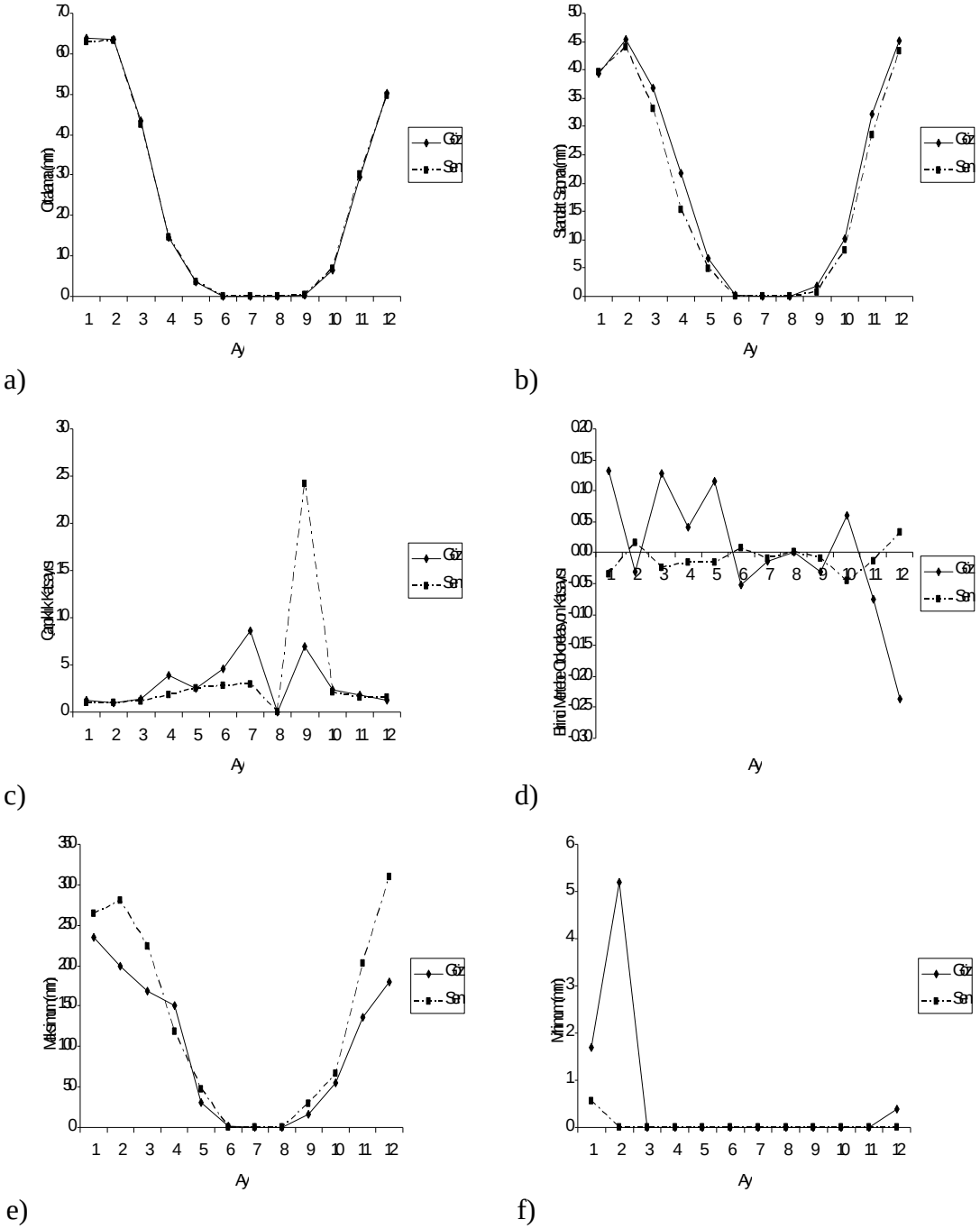
Amman istasyonuna ait gözlenmiş ve yukarıdaki gibi türetilmiş aylık toplam yağışların istatistikleri (ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı, birinci mertebe otokorelasyon katsayısı, maksimum yağış ve minimum yağış miktarları) Şekil 7.1'de verilmiştir. Buna göre ortalamanın mükemmel bir şekilde korunduğu, standart sapmanın da çok iyi bir şekilde benzeştirildiği görülmektedir. Temmuz ayında düşük ve Eylül ayında yüksek olan sentetik serinin çarpıklık katsayısı diğer aylarda gözlenen değere çok yakın bulunmuştur. Otokorelasyon katsayısı aylar boyunca çalkantılı bir seyir izlemiş olmakla birlikte yaz aylarında gözlenene benzer bir iç bağımlılık yapısına sahip sentetik serilerin türetildiği söylenebilir. Kış ayları dışında maksimum ve minimum aylık toplam yağış yükseklikleri korunmuştur.

Sentetik veriler, gözlenmiş verilerin 1995 yılı sonuna kadar olan kısmı ile birlikte YSA ve ÇDR modellerini eğitmek için kullanılmıştır. Aşağıda Bölüm 6'da verilen MC ile birleştirilmiş YSA modellerinin sentetik veriler kullanarak eğitilmiş şekillerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu modeller sırasıyla sMC-İBGY, sMC-RT, sMC-GR ve sMC-ÇDR olarak kısaltılmıştır. Bölüm 5'te verilen YSA ve ÇDR modellerinin sentetik verilerle eğitilmesinden elde edilen sonuçlar Ek A'da verilmiştir. Bu modeller de sİBGY, sRT, sGR ve sÇDR şeklinde gösterilmiştir (Şekil 7.2).

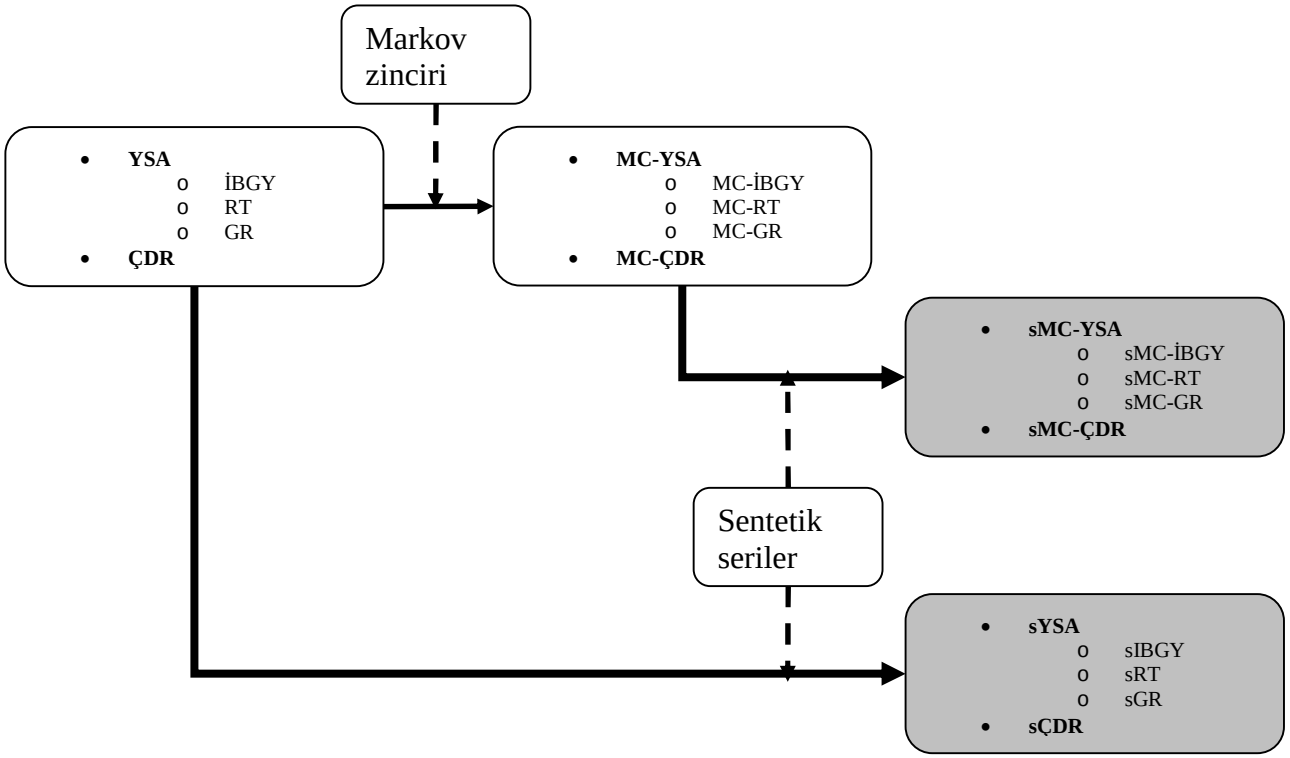
7.3 sMC-İBGY YSA Modeli

Amman istasyonu için kurulan modelin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 387.5 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.58 olarak hesaplanırken en yüksek yağış miktarının 79.1 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarının değeri 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuruma oranı %42 (gözlenen %38) bulunmuş, model böylece kuruma oranı tahmininde yüksek performans göstermiştir.

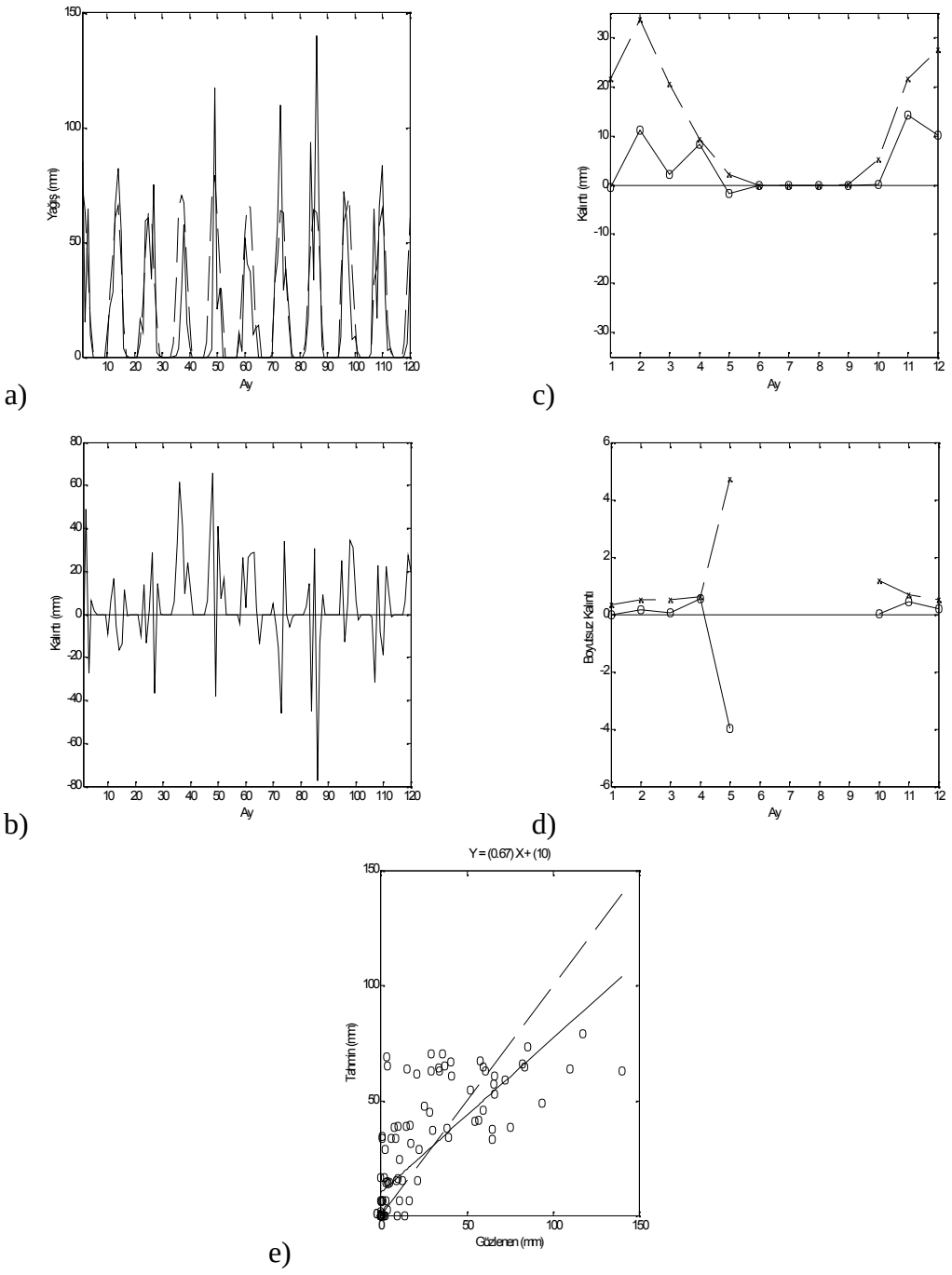
sMC-İBGY YSA modeline ait sonuçlara göre düşük yağışların tahmininde modelin başarılı olduğu görülmektedir (Şekil 7.3a). Şekil 7.3b'deki genellikle pozitif olan kalıntılar gözlenen verilerden daha büyük tahmin yapıldığına işaret etmektedir. Bu model ile çoğunlukla gözlemlerden büyük tahminler yapıldığı, pik yağışların tahmininde ise modelin genellikle gözlenenden daha düşük yağışlar verdiği görülmektedir. Ortalama hatalar (Şekil 7.3c) incelendiğinde Şubat, Nisan, Kasım ve Ekim aylarında tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarından daha



Şekil 7.1: Amman İstasyonuna Ait Gözlenmiş v T-F İle Türetilmiş Aylık Toplam Yağış İstatistikleri a)Ortalama, b)Standart Sapma, c)Çarpıklık Katsayısı, d)Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı, e)Maksimum, f)Minimum



Şekil 7.2: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modeller



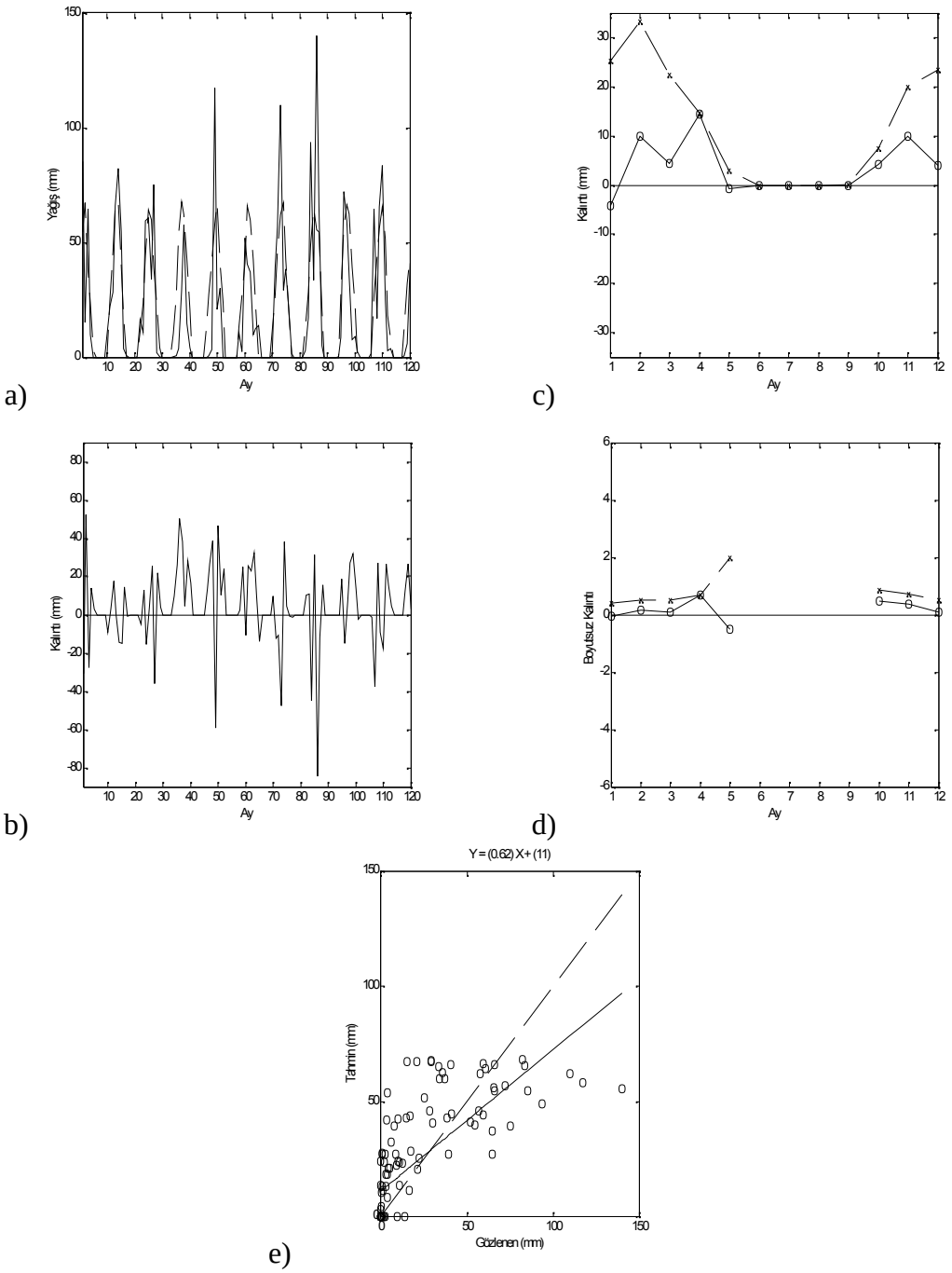
Şekil 7.3: Amman İstasyonuna Ait sMC-İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

büyük tahmin edildiği anlaşılmaktadır. Mayıstan Ekime kadar olan dönemde ise tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına çok yakın olduğu görülmüştür. Ortalama mutlak hata (Şekil 7.3c) incelendiğinde kış aylarında yapılan tahminlerdeki hataların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Boyutsuz hata değerleri (Şekil 7.3d) incelendiğinde tahminde yapılan en büyük hatanın Mayıs ayında yapıldığı, diğer aylarda yapılan hataların aylık ortalama yağış miktarlarına oranlarının düşük olduğu gözlenmiştir. Saçılma diyagramı incelendiğinde düşük yağışların genellikle yüksek, yüksek yağışların ise düşük tahmin edildiği görülmektedir (Şekil 7.3e).

7.4 sMC-RT YSA Modeli

sMC-RT YSA modelinin test aşamasında modelin ortalama karesel hatası 401.6 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.56 olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen en yüksek yağış 68.1 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarı 0 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuruma oranı %42 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır. Bu sMC-İBGY YSA'dakine benzer bir performansı göstermektedir.

sMC-RT YSA modeline ait grafikler incelendiğinde yüksek yağışların tahmininde iyi sonuçlar alınmadığı tespit edilmiştir (Şekil 7.4a). Genel olarak tahmin edilen yağış miktarları değerlerinin gözlenen yağış miktarları değerlerinden büyük olduğu, ancak yüksek yağışlarda tahminlerin gözlenen değerlerin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 7.4b). Ortalama hatalar (Şekil 7.4c) incelendiğinde Ocak aylarındaki tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir. Ancak Şubat-Nisan ve Ekim-Aralık dönemlerinde tahmin edilen yağışlar gözlenen yağışlardan daha yüksek tahmin edilmiştir. Mayıstan Eylüle kadar olan dönemde tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına yakın olduğu görülmüştür. Ortalama mutlak hata (Şekil 7.4c) incelendiğinde kış aylarındaki hataların daha yüksek olduğu görülmüş olmakla birlikte boyutsuz hata değerleri incelendiğinde ise kış aylarındaki hatanın aslında fazla olmadığı görülmektedir (Şekil 7.4d). Tahmin edilen ve gözlenen yağışların saçılma diyagramından düşük yağış değerlerinden çok yüksek yağışların elde edildiği görülmektedir (Şekil 7.4e).



Şekil 7.4: Amman İstasyonuna Ait sMC-RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

7.5 sMC-GR YSA Modeli

sMC-GR YSA modelinin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 605.9 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.33 hesaplanmıştır. En yüksek yağış 66.2 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuru aylar oranı %40 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır. sMC-GR YSA, GR YSA ile kıyaslandığında ortalama karesel hatası 734.6 mm^2'den 605.9 mm^2'ye düşmüştür. Belirlilik katsayısı ise GR YSA için 0.22 iken sMC-GR YSA için 0.33'e yükselmiştir. Mevcut zaman serisi sentetik serilerle uzatıldığında daha iyi sonuç alındığı görülmektedir.

Bu modele ait sonuçlardan sMC-GR YSA'nın diğer iki sMC-YSA modeline göre daha az başarılı olduğu kolaylıkla görülebilir (Şekil 7.5a). Şekil 7.5b'de kalıntıların ±100 mm ve Şekil 7.5c'de aylık ortalama hataların ±40 mm arasında değişmesi bu modelin diğer iki modele göre daha az başarılı olduğunu göstermektedir. Regresyon denklemindeki eğim değerinin de diğer iki modeldekine göre daha küçük olduğu dikkat edilmelidir.

7.6 sMC-ÇDR Modeli

Sentetik verilerin eklenmesi ile oluşan yeni eğitme verisi kümesine göre ÇDR denklemi yenilenmiştir. Buna göre elde edilen denklem

$$X_t=14.17+0.82X_{t-1}-0.66X_{t-2}+0.04X_{t-12}+13.20P_t \quad \textbf{(7.3)}$$

şeklindedir.

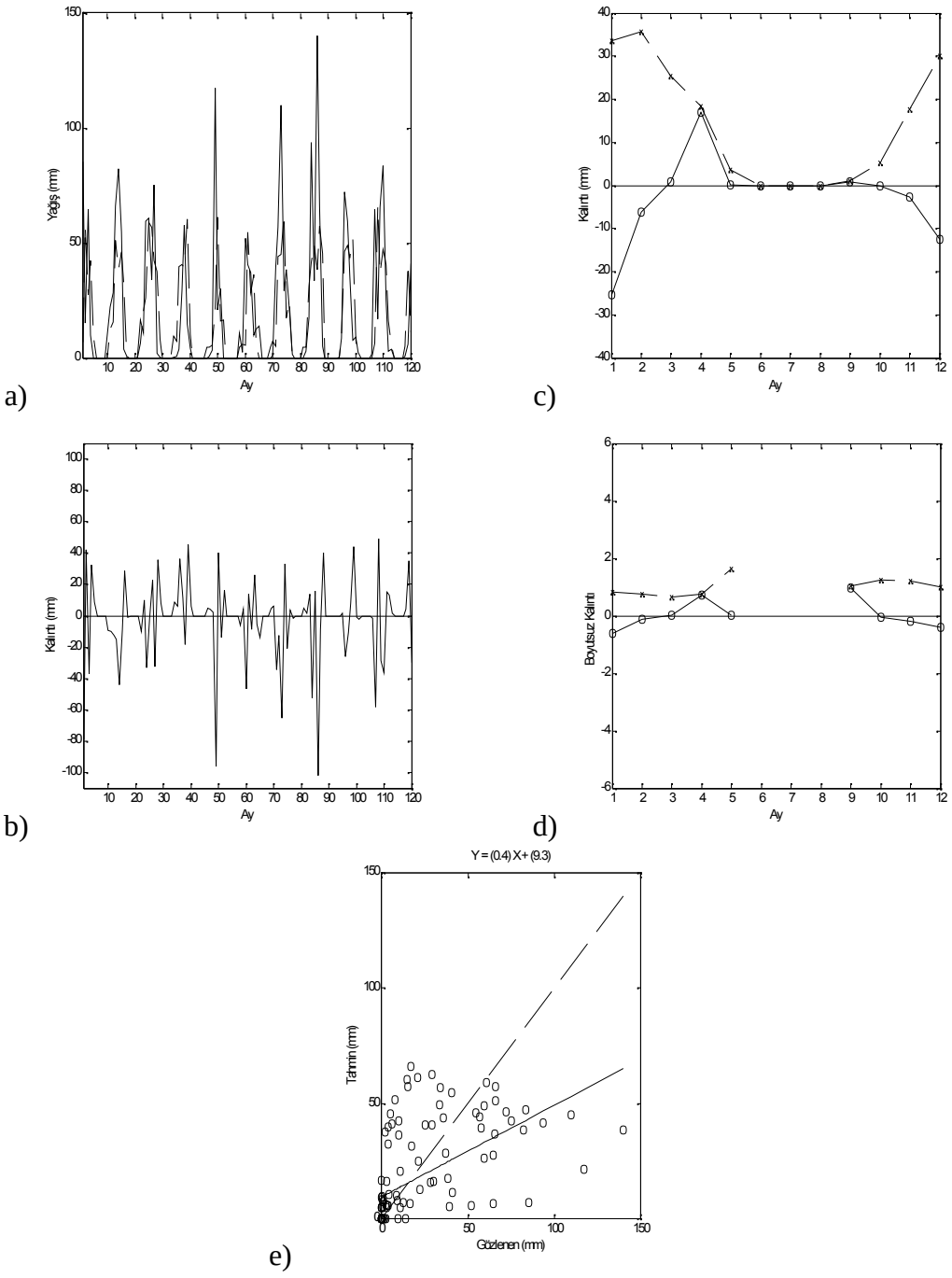
Bu çalışmada kurulan modelin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 430.9 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.52 olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen en yüksek yağış 62.1 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarı 0 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuru aylar oranı %42 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır.

Bu modele ait sonuçlara göre en yüksek yağış tahmininde iyi sonuçlar alınmadığı tespit edilmiştir (Şekil 7.6a). sMC-ÇDR modelinde tahmin edilen yağış miktarları değerlerinin gözlenen yağış miktarları değerlerinden yüksek olmadığı görülmektedir (Şekil 7.6b). Ortalama hatalar incelendiğinde Ocak aylarındaki tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir. Ancak Mart,

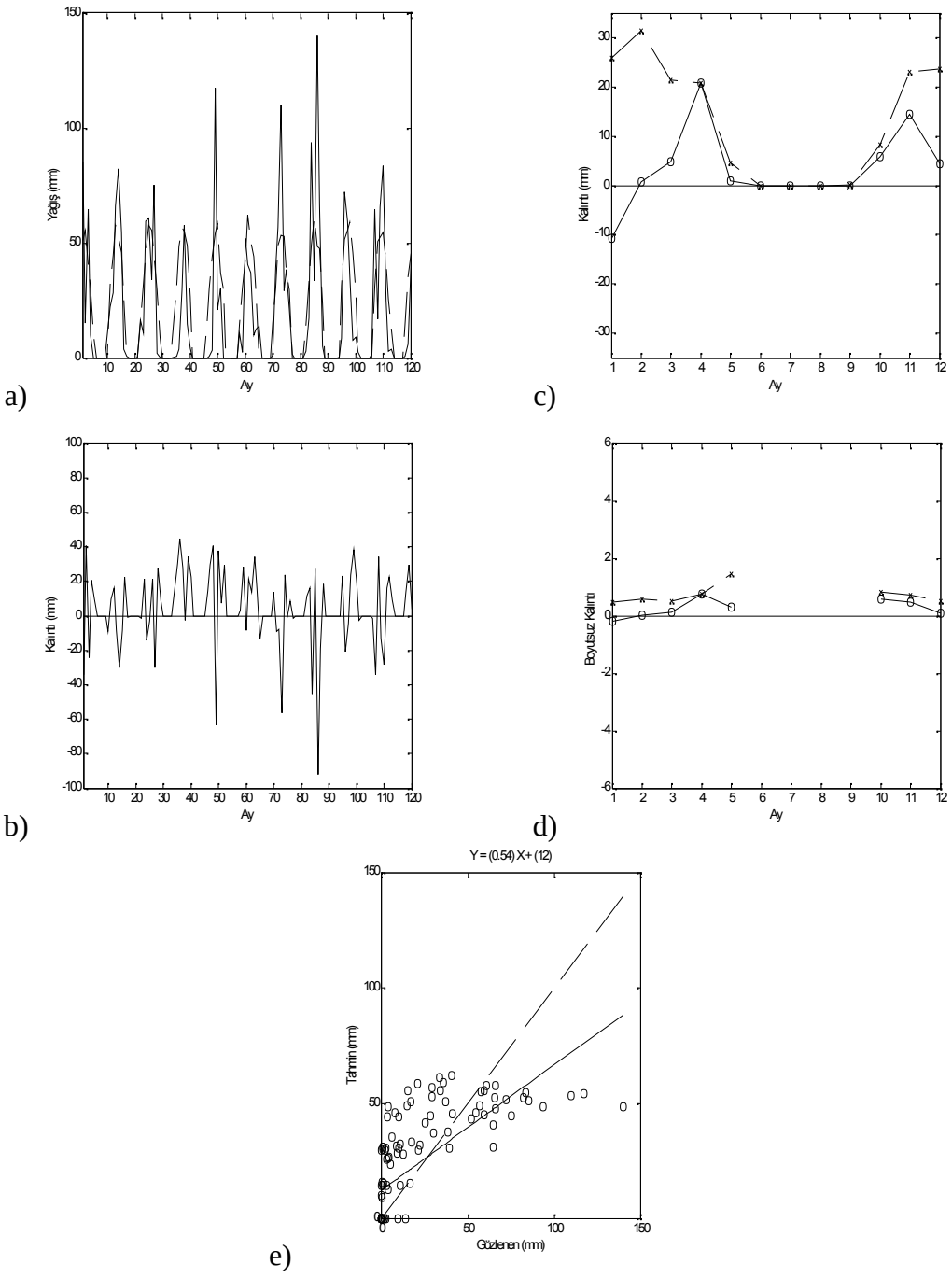
Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha büyük tahmin edilmiştir. Mayıstan Eylüle kadar olan dönemde tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 7.6c). Hesaplanan boyutsuz hataların ise çok düşük olduğu görülmektedir (Şekil 7.6d). Ortalama mutlak hata (Şekil 7.6c) incelendiğinde kış aylarındaki ortalama hataların daha yüksek olduğu görülmüş olmakla birlikte boyutsuz hata değeri incelendiğinde kış aylarındaki hatanın aslında fazla olmadığı görülmüştür (Şekil 7.6d) . Hesaplanan ve gözlenen yağışların değerlerinin 45° lik doğru etrafında belirgin bir şekilde iyi saçılmadığı, tahminlerin belli bir değerin üstüne çıkmadığı görülmektedir (Şekil 7.6e).

7.7 Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Karşılaştırılması

Tablo 7.1'de verilen kriterlere göre aylık toplam yağış yüksekliklerinin tahmininde sentetik serilerle güçlendirilmiş Markov zincirleri ile birleştirilmiş İBGY (sMC-İBGY) YSA modelinin denenen seçenekler arasında en başarılı olduğu görülmektedir. Tablo 7.1, Tablo 6.2 ile birlikte değerlendirildiğinde modelin sentetik verilerle güçlendirilmiş olmasının tahmin performansını artırmadığı kolaylıkla görülebilir. Bu durum diğer üç model için de geçerlidir. Yani modellerin eğitme aşamasında sentetik verilerin kullanılmış olması modellerin daha iyi tahmin yapmalarını sağlayamamıştır. Modellerin performansının geliştirilmesi için Bölüm 8'de anlatılan ampirik yaklaşım önerilmiş, bu yaklaşım model yapısında içerdiği koşullu önerme dolayısıyla koşullu modeller olarak adlandırılmıştır.



Şekil 7.5: Amman İstasyonuna Ait sMC-GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil 7.6: Amman İstasyonuna Ait sMC-ÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo 7.1: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

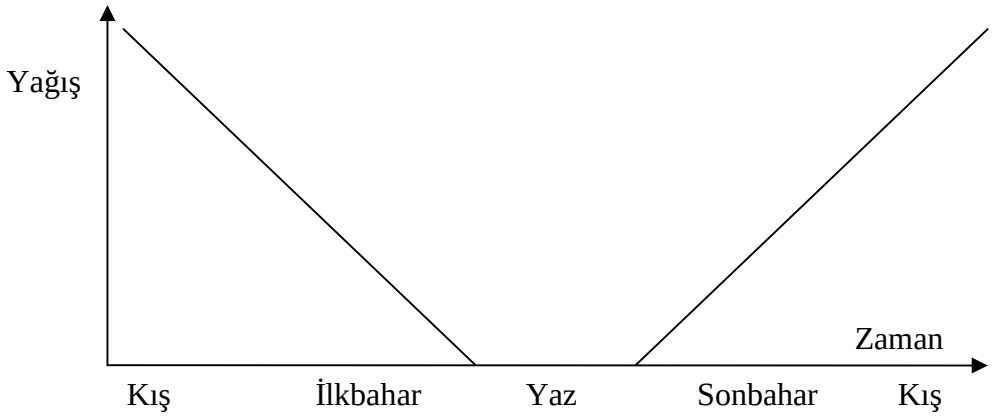
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sMC-İBGY	387.5	0.58	0.67	10.0	79.1	0.0	42
sMC-RT	401.6	0.56	0.62	11.0	68.1	0.0	42
sMC-GR	605.9	0.33	0.40	9.3	66.2	0.0	40
sMC-ÇDR	430.9	0.52	0.54	12.0	62.1	0.0	42

8. KOŞULLU YSA MODELLERİ

8.1 Giriş

Ürdün'ün bulunduğu iklim kuşağında aylık toplam yağışların yıl boyunca değişimi incelendiğinde yağışların kış aylarından yaz aylarına doğru azaldığı, yaz aylarından sonra kış aylarına doğru arttığı görülmektedir. Bu durum önceki bölümlerde Şekil 3.4a ve 7.1a'da da gözlenmiştir. Şekil 8.1'de bu iklim kuşağına ait yıl içinde aylık toplam yağışın değişimi şematik olarak verilmiştir. Buna göre azalan yağışı olan ilkbahar dönemi ve artan yağışı olan sonbahar dönemi arasında yağışsız yaz dönemi mevcuttur. Yıl boyunca böyle bir değişim olan bir süreç için model kurmak zordur. Bu tip süreçlerin modellenmesinde her dönemin ayrı ayrı modellenmesi yoluna gidilebilir. Ancak bu durumda kurulacak model sayısı artacak, her model için ayrı ayrı parametre tahmini gerekecektir. Bu çalışmada bu yönlü bir sınıflandırmaya gidilmeksizin aylık toplam yağış sürecinin yıl boyunca tek bir model ile tanımlanması amaçlanmıştır. Bu yaklaşım doğal olarak model performansını etkileyecek, her bir dönem için model geliştirilmesi durumunda sağlanan performans elde edilemeyecektir. Nitekim, Bölüm 5'te verilen YSA modelleri ile regresyon denkleminin yeterli performans göstermediği görülmüş; bu modeller Bölüm 6'da Markov zinciri ile birleştirildiği halde performansta yeterli bir gelişme sağlanamamıştır. Modeller Bölüm 7'de sentetik verilerle güçlendirilmiş, ancak yine de başarılı olmaktan uzak kalmıştır.

Geliştirilen YSA ve ÇDR modellerinin özellikle maksimum yağışları tahmin etmede zorlandıkları görülmüştür. Modeller tahminlerinde belli bir maksimum değere kadar çıkmakta, daha büyük değerleri tahmin edememektedir. Bu durum, Şekil 8.1'deki üç bölgenin de tek bir model ile tanımlanmasına bağlanmıştır.



Şekil 8.1: Aylık Yağışların Yıl Boyunca Değişimi

Modellerin iyileştirilmesi için yapılan denemeler sonrasında koşullu bir ifadenin model yapısı içine yerleştirilmesi ile tahminlerin oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Tamamen ampirik esaslara dayalı olmakla birlikte bu yaklaşımın Ürdün'den alınan Amman, Safawi ve Baqura yağış istasyonlarının üçünde de modellerin performansını geliştirdiği görülmüştür. Bu bölümde verilen modeller içerdikleri koşullu önermeler dolayısıyla "koşullu YSA ve regresyon modelleri" olarak adlandırılmıştır. Koşullu modeller Şekil 8.2'deki akış diyagramına sahiptir. Buna göre

$$x_t = f(x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-12}, p_t) \qquad \textbf{(8.1)}$$

ile tanımlanan modele girdiler girilerek bir tahmin yapılmaktadır. Yapılan tahminin kendisinden önceki iki aya ait ayların toplam yağışlarından büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu iki aya ait yağışlardan herhangi birisinin tahmin edilen değerden büyük $(x_{t-1} > x_t$ veya $x_{t-2} > x_t)$ olması durumunda bu aylara ait yağışlar sıfır alınarak modele sokulmaktadır. Bu durum matematiksel ifadelerle

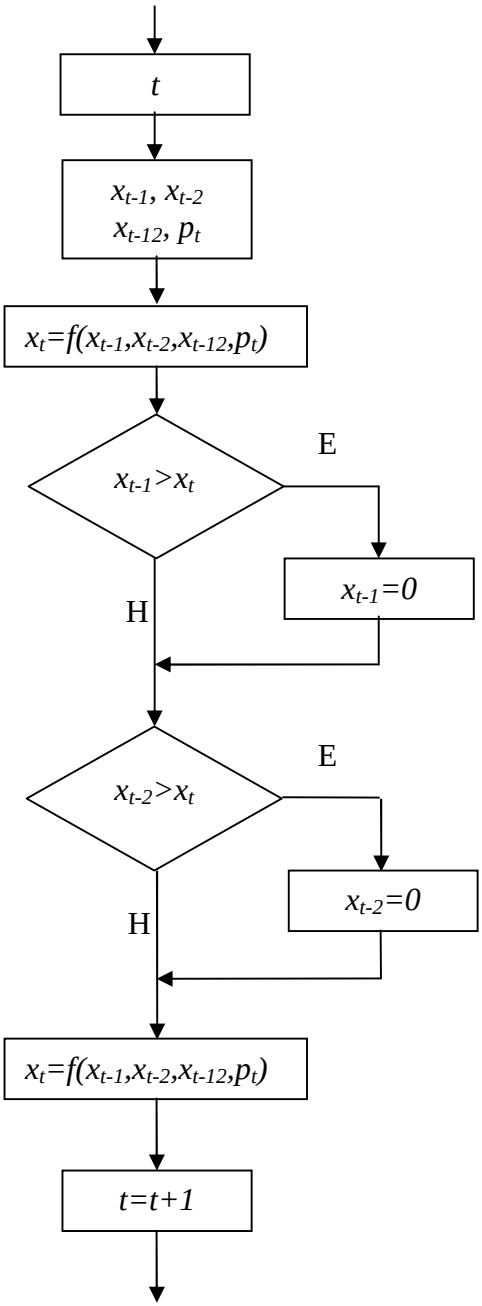
$$(x_{t-1} > x_t \Rightarrow x_{t-1} = 0) \cap (x_{t-2} > x_t \Rightarrow x_{t-2} = 0) \qquad \forall t \ \ için \qquad \textbf{(8.2)}$$

şeklinde yazılabilir. x_{t-1} ve x_{t-2}'ye ait yenilenmiş değerler kullanarak (8.1) modeli yeniden çalıştırılır ve tahmin bir kez tekrarlanır. Bu tahmin modelin çıktısı olarak kullanılır.

Ürdün'deki yağış karakteristiği Şekil 8.1'de görüldüğü gibi yıl boyunca kış aylarında en yüksek yaz aylarında ise en düşük değerdedir. Kurulan YSA ve ÇDR modelleri ile az yağışlı ve kuru dönemdeki yağışlar için oldukça iyi tahminler yapılmıştır. Ancak maksimum yağış tahmininde aynı başarı görülememiştir. Bu durum Bölüm 5'teki sonuçlardan açıkça anlaşılmaktadır.

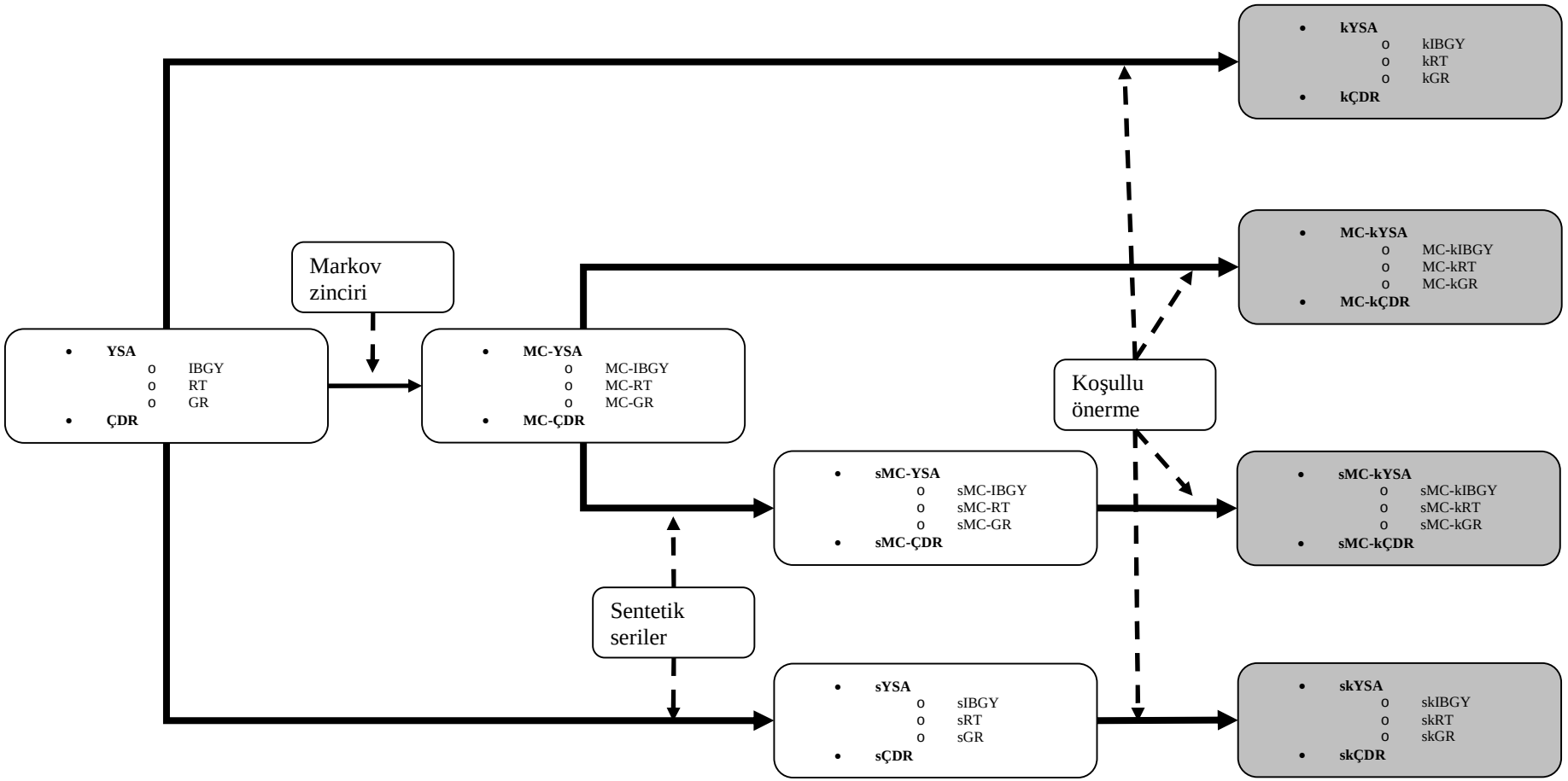
Modele katılan bu koşulun maksimum yağışları yakalamada başarılı tahminlerde bulunmasının nedeni olarak, aşağıdaki görüş ortaya konabilir:

Tahmin edilen aydan önceki iki ayın yağışının (x_{t-1} ve x_{t-2}) tahmin edilen ayın yağışından (x_t) büyük olması durumunda model eğitilirken bu ayların tahmine olan katkılarını azaltmak, buna karşın diğer serbest değişkenlerin (x_{t-12} ve P_t) katkılarını artırmak için (8.2)'deki koşul konmuştur. Bu koşulun kullanılması ile YSA modellerinin serbest değişkenlerine ait ağırlıkları değişecektir. Buna göre Şekil 8.1'deki kış-ilkbahar dönemi yağışlarını tahmin ederken azalan yöndeki yağış eğilimi tahmin edilen aydan önceki iki ayın etkisinin azaltılmış olması ile yakalanacak, benzer şekilde sonbahar-kış dönemindeki artan eğilimin tahmin edilen aydan önceki az yağışlı ayların azaltılan etkisi dolayısıyla pik yağışlara yaklaşması sağlanmış olacaktır.



Şekil 8.2: Koşullu Modelin Akış Diyagramı

Şekil 8.3'te bu çalışma kapsamındaki modellerin geliştirilme süreçleri özetlenmiştir. Bölüm 5'te verilen YSA modelleri Bölüm 6'da Markov zincirleri ile birleştirilmiştir. Hem YSA, hem de MC-YSA modellerinin performanslarının artırılması için sentetik serilerle güçlendirilmesi Bölüm 7'de açıklanmıştır. sMC-YSA modelleri Bölüm 7'de tartışılmış, sYSA modellerinin sonuçları Ek A'da sunulmuştur. Yukarıda açıklanan koşullu ifadelerin bu dört model ile birleştirilmesi sonucunda koşullu YSA (kYSA),



Şekil 8.3: Koşullu YSA Modelleri ve ÇDR Denklemleri

Markov zinciri ile birleştirilmiş koşullu YSA (MC-kYSA), sentetik serilerle güçlendirilmiş koşullu YSA (skYSA) ve Markov zincirleri ile birleştirilmiş ve sentetik serilerle güçlendirilmiş koşullu YSA (sMC-kYSA) modelleri ortaya çıkmıştır. Böylece toplam 8 farklı model tipinden bahsedilebilir. Bu bölümde sMC-kYSA modelinin sonuçları tartışılmış; kYSA modeli Ek B, MC-kYSA modeli Ek C ve skYSA modelinin sonuçları Ek D'de tablo ve şekiller halinde sunulmuştur.

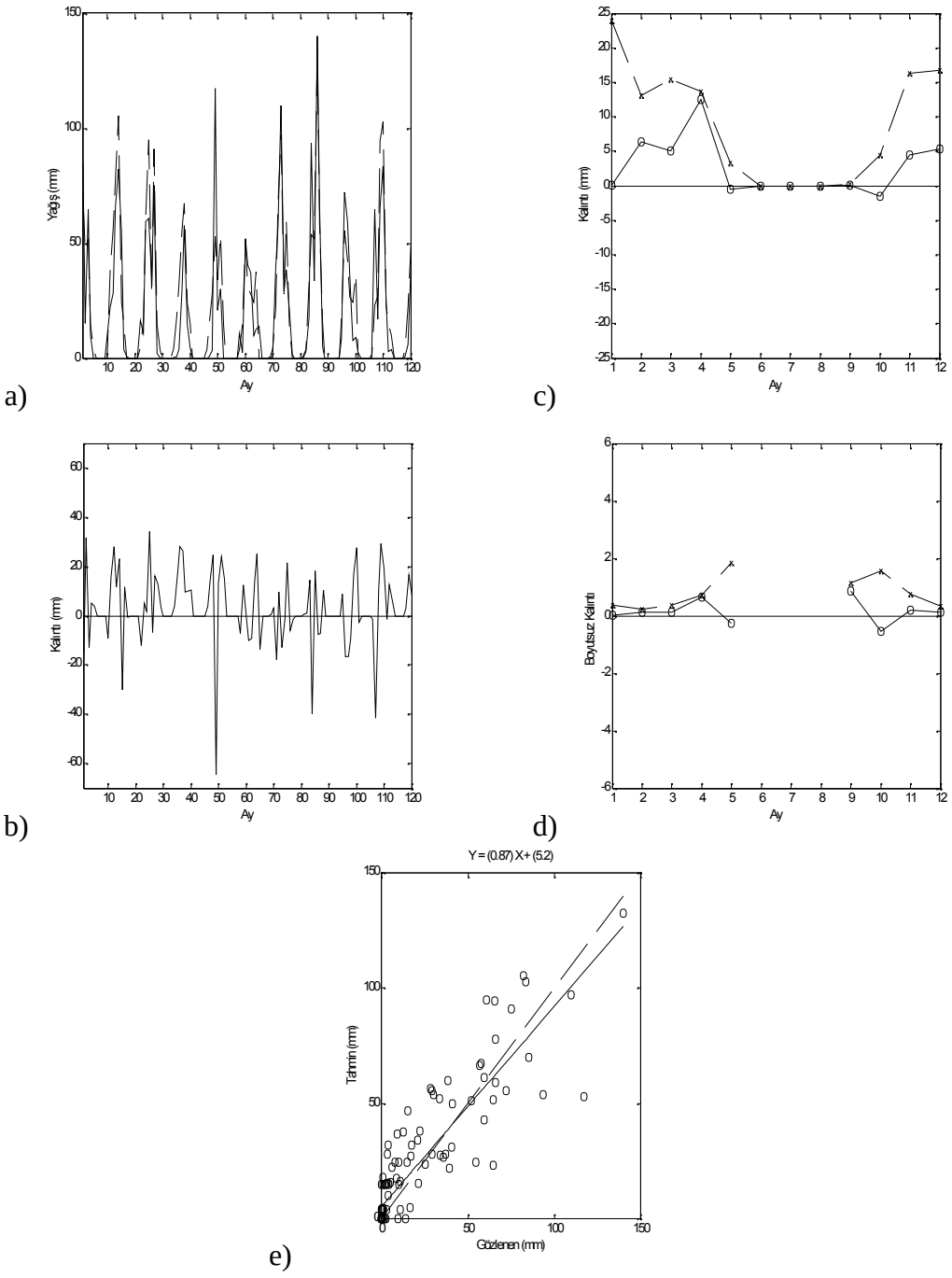
Bu çalışmada üç farklı YSA kullanılmış; ayrıca ÇDR denklemleri kullanılmıştır. Buna göre geliştirilen model sayısı 32'dir.

8.2 sMC-kİBGY YSA Modeli

Amman istasyonu için yapılan denemeler sonucunda en iyi model çıktısının ara tabakadaki hücre sayısının 6 olması durumunda elde edildiği belirlenmiştir. Böylece bu istasyon için kurulan modelin mimarisi (4,6,1)'dir. Safawi istasyonu için yapılan denemelerde ise aynı girdili modelin ara tabakasındaki hücre sayısı 7, Baqura istasyonu içinse Safawi istasyonunda olduğu gibi 7 bulunmuştur. Modeller tüm istasyonlar için hep tek çıktılıdır. Böylece Safawi ve Baqura için kurulan modeller (4,7,1)'dir.

Amman istasyonu için kurulan modelin test aşamasındaki ortalama karesel hatası 203.1 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.78 olarak hesaplanırken en yüksek yağış miktarı 132.7 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarı 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Bu modelde kuru aylar oranı %40 (gözlenen %38) hesaplanmıştır. Bu model MC'yi içerdiğinden kuru ay oranı tahmininde yüksek performans göstermektedir.

sMC-kİBGY YSA modeline ait Şekil 8.4'teki sonuçlar incelendiğinde modelin yüksek ve düşük yağış miktarlarını tahminde büyük bir başarı gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 8.4a). Aylık hatalar (Şekil 8.4b) incelendiğinde bir kaç ay dışında hatalar küçük olduğu görülmektedir. Ortalama hatalardan (Şekil 8.4c) tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarından daha büyük tahmin edildiği, yaz aylarında ise tahmin edilen yağış miktarlarının gözlenen yağış miktarlarına eşit olduğu görülmektedir. Ortalama mutlak hata (Şekil 8.4c) incelendiğinde kış aylarında yapılan tahminlerdeki hataların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Boyutsuz hata değerleri (Şekil 8.4d) incelendiğinde yapılan hataların aylık ortalama



Şekil 8.4: Amman İstasyonuna Ait sMC-kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

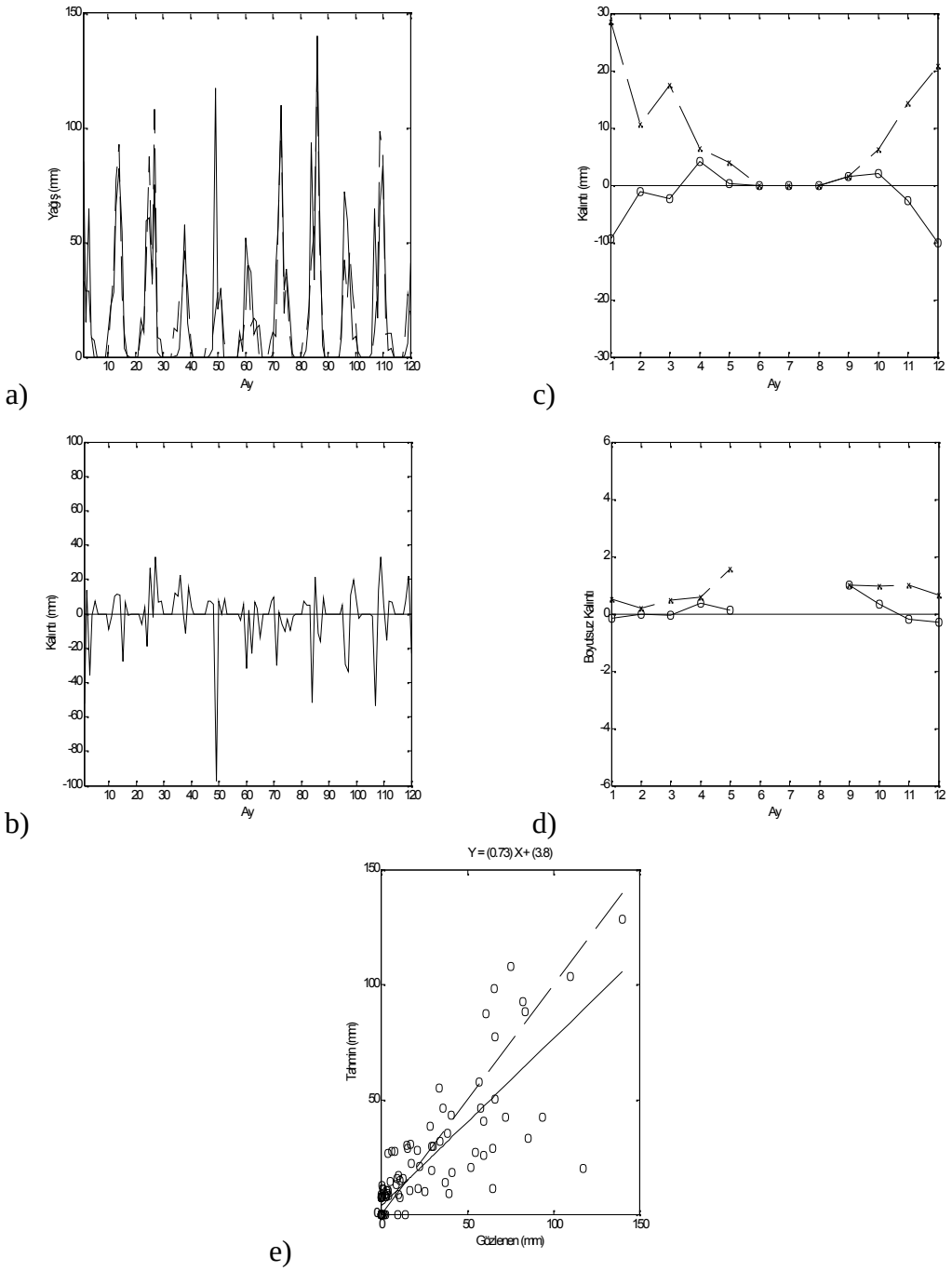
yağış miktarlarına oranlarının düşük olduğu gözlenmiştir. Tahmin edilen ve gözlenen yağış miktarlarının 45°'lik doğru etrafında saçılma diyagramı incelendiğinde hem yüksek hem düşük yağışların fazla saçılmadığı, en uygun doğrunun 1:1 doğrusuna yaklaştığı görülmektedir (Şekil 8.4e).

8.3 sMC-kRT YSA Modeli

Girdiler yalın YSA'da olduğu gibi (x_{t-1},x_{t-2},x_{t-12},p_t) olan modelin Amman istasyonu için yapılan denemelerinde yayılma katsayısı 5 alındığında ve ara tabakada 3 hücre kullanıldığında en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bu hali ile elde edilen model (4,3,1)'dir. Safawi istasyonu için yapılan denemelerde model (4,27,1), Baqura istasyonu için (4,13,1) bulunmuştur. Safawi ve Baqura istasyonları için yapılan denemelerde en iyi sonucu yayılma katsayısının sırasıyla 5 ve 13 alındığı modeller vermiştir.

sMC-kRT YSA modelinin test aşamasında modelin ortalama karesel hatası 281.3 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.68 olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen en yüksek yağış 128.6 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış miktarı 0 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuruma oranı %42 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır.

sMC-kRT YSA modeline ait sonuçlar incelendiğinde yüksek ve düşük yağış tahminlerinde iyi sonuçlar alındığı tespit edilmiştir (Şekil 8.5a). Aylık hatalar (Şekil 8.5b) incelendiğinde bir ay dışında hesaplanan hataların büyük olmadığı görülmektedir. Ortalama hatalar incelendiğinde Ocak ve Aralık aylarındaki tahmin edilen yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir (Şekil 8.5c). Ortalama mutlak hata (Şekil 8.5c) incelendiğinde kış aylarında yapılan tahminlerdeki hataların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Boyutsuz hata değerleri (Şekil 8.5d) tahminde yapılan hataların aylık ortalama yağış miktarlarına oranlarının düşük olduğunu göstermiştir. Tahmin edilen ve gözlenen yağış miktarlarının saçılma diyagramı incelendiğinde tahminlerin saçılmış olmakla birlikte en büyük yağışı yakladığı görülmektedir (Şekil 8.5e).



Şekil 8.5: Amman İstasyonuna Ait sMC-kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

8.4 sMC-kGR YSA Modeli

Girdiler yine x_{t-1},x_{t-2},x_{t-12},p_t olmak üzer modelin Amman, Safawi ve Baqura istasyonları için yapılan denemelerinde en iyi sonucun 0.02 yayılma katsayısı için elde edildiği gözlenmiştir.

sMC-kGR YSA'nın test aşamasındaki ortalama karesel hatası 298.6 mm^2 ve belirlilik katsayısı 0.67 hesaplanmıştır. En yüksek yağış 122.3 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış 0 mm (gözlenen 0 mm) tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuru aylar oranı %40 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır.

sMC-kGR YSA modeli sonuçlarına yüksek ve düşük yağışlar iyi tahmin edilmiştir (Şekil 8.6a). Aylık hatalar (Şekil 8.6b) incelendiğinde bir pik değerin düşük tahmin edildiği, bunun dışında kalan hataların küçük olduğu görülmektedir. Ortalama hatalar incelendiğinde Kasım, Aralık ve Ocak aylarında yağış miktarları gözlenen yağış miktarlarından daha düşük tahmin edilmiştir (Şekil 8.6c). Ortalama mutlak hata (Şekil 8.6c) incelendiğinde kış aylarında yapılan tahminlerdeki hataların daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Boyutsuz hata değerleri (Şekil 8.6d), tahminde yapılan hataların aylık ortalama yağış miktarlarına oranlarının genellikle düşük olduğunu göstermiş, boyutsuz hatanın Mayıs ayında en fazla olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde tahmin edilen ve gözlenen yağış miktarlarının saçılma diyagramı incelendiğinde uydurulan doğrunun 1:1 doğrusuna yakın olduğu görülmektedir (Şekil 8.6e).

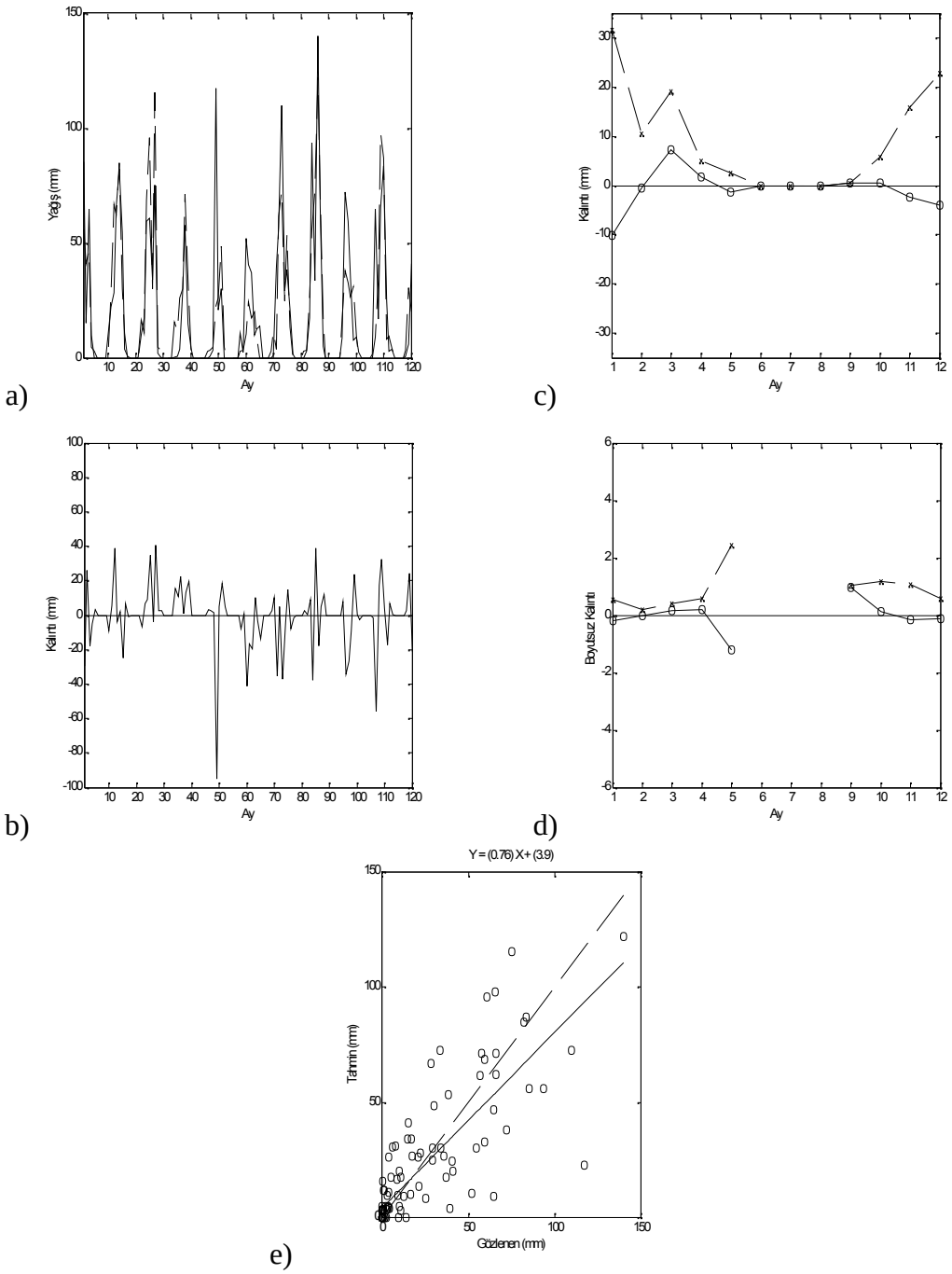
8.5 sMC-kÇDR Modeli

YSA modelleri ile karşılaştırmak üzere bağımsız değişkenleri YSA modellerindeki girdiler olan ÇDR denklemi de kurulmuştur. Regresyon denklemleri eğitme için kullanılan verilerden elde edilip tahmin için kullanılmıştır. Amman istasyonu için kullanılan regresyon denklemi

$$X_t=14.83+0.78X_{t-1}+0.79X_{t-2}+0.01X_{t-12}+14.83P_t \quad \textbf{(8.3)}$$

Şeklinde yazılabilir.

sMC-kÇDR ile tahmin edilen yağışlar incelendiğinde belirlilik katsayısı 0.74 ve ortalama karesel hata 236.8 mm^2 olarak bulunmuştur. En yüksek yağış 122.8 mm (gözlenen 140.1 mm), en düşük yağış 0 mm (gözlenen 0 mm) olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen kuruma oranı %42 (gözlenen %38) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8.6: Amman İstasyonuna Ait sMC-kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

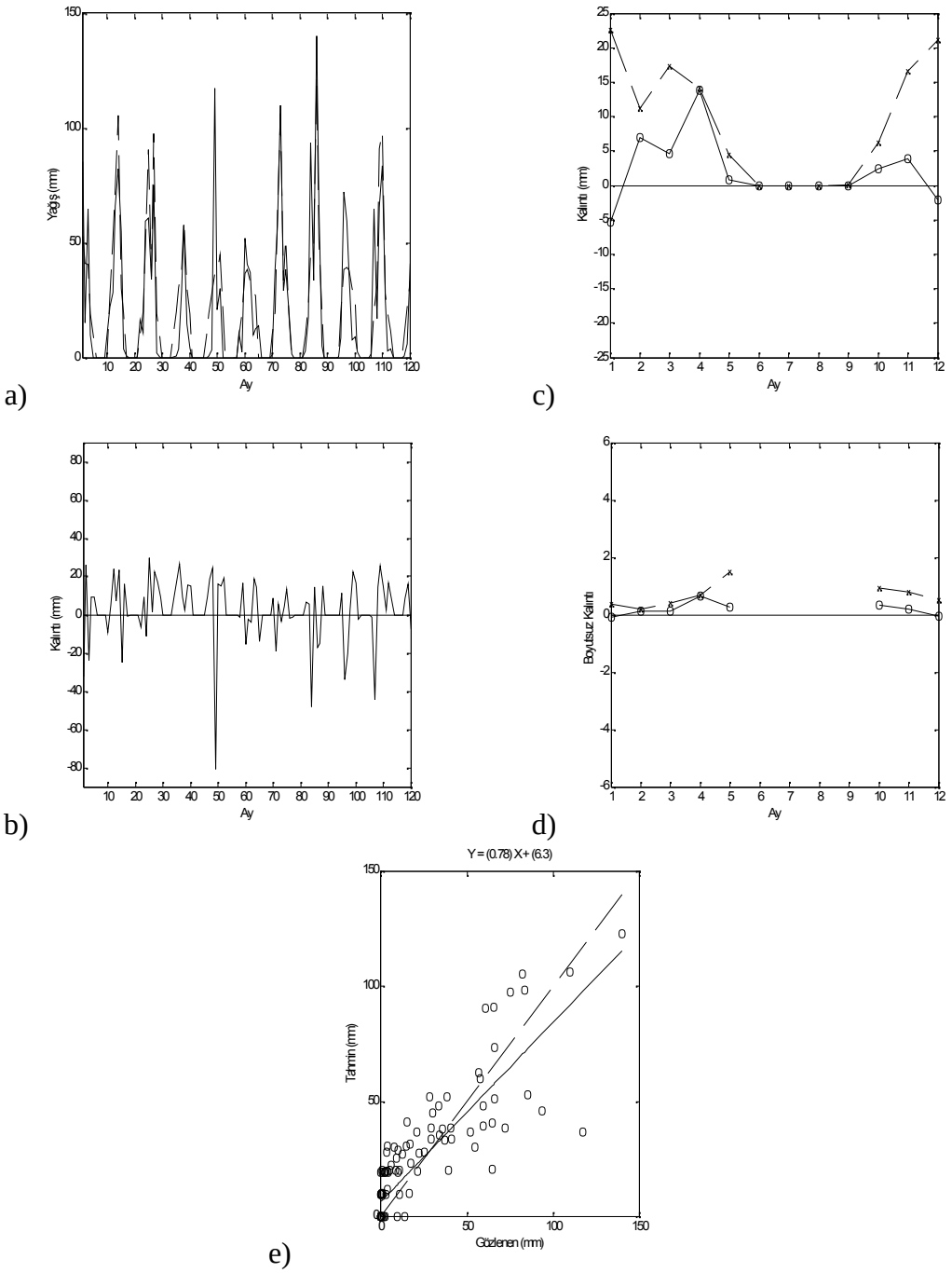
Bu model YSA modelleri kadar olmasa da hem maksimum hem de minimum yağış tahminlerinde iyi bir başarı göstermiştir.

sMC-kÇDR modeline ait sonuçlar (Şekil 8.7a) incelendiğinde en düşük ve en yüksek yağış miktarları tahminlerinde iyi sonuçlar alındığı, genellikle hataların (Şekil 8.7b) küçük olduğu görülmektedir. Şekil 8.7c'deki ortalama hataların da küçük olduğu, ortalama mutlak hataların (Şekil 8.7c) incelendiğinde kış aylarında yüksek olmakla birlikte boyutsuz hata değerleri incelendiğinde kış aylarındaki hatanın aslında fazla olmadığı görülmektedir (Şekil 8.7d). Tahmin edilen ve gözlenen yağışların 1:1 doğrusu etrafında saçıldığı görülmektedir (Şekil 8.7e).

8.6 Koşullu Modellerin Karşılaştırılması

Tablo 8.1 MC ile birleştirilmiş ve sentetik serilerle güçlendirilmiş koşullu modellerin performans kriterlerini göstermektedir.

Yukarıda da açıklandığı üzere koşullu modellerin tamamı Bölüm 5, 6 ve 7'deki eşdeğerlerine göre çok önemli üstünlükler göstermiştir. Tablo 8.1, önceki bölümlerde verilen eşdeğer tablolarla (Tablo 5.1, 6.2 ve 7.1) birlikte incelendiğinde *OKH*'nın düştüğü, R^2'nın arttığı anlaşılmıştır. Saçılma diyagramındaki doğru denkleminde eğimin 1'e yaklaştığı, başlangıç değerinin de 0'a inme eğilimi gösterdiği de görülmüştür. Tahminlerde, test süresindeki en büyük aylık yağışın artık yakalandığı, hatta aşılabildiği, sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 8.7: Amman İstasyonuna Ait sMC-kÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo 8.1: Seçilen Modellerin Performans Kriterleri

Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sMC-kİBGY	203.1	0.78	0.87	5.2	132.7	0.0	0.40
sMC-kRT	281.3	0.68	0.73	3.8	128.6	0.0	0.40
sMC-kGR	298.6	0.67	0.76	3.9	122.3	0.0	0.40
sMC-kÇDR	236.8	0.74	0.78	6.3	122.8	0.0	0.42

9. DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1 Değerlendirmeler

Bu çalışmada lineer olmayan bir kara kutu modeli olarak YSA Ürdün yağışlarının tahmini için kullanılmıştır. YSA modellerinin üç farklı şekli (İBGY, RT ve GR) kullanılmış, bu modellere ÇDR denklemi de eklenmiştir. YSA modelleri deneme-yanılma esasına dayanmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada kullanılan model mimarilerine ulaşmak için çok sayıda deneme yapılmış, bu denemelerden sadece bazıları bu çalışmada anılmıştır. Sonuçta kullanılan modellerin girdileri belirlenmiştir.

Çalışmada aylık toplam yağış tahmini gözlenmiş önceki yağışlar esas alınarak yapılmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi en iyi model mimarisi, yağışı tahmin edilecek herhangi bir aydan bir ve iki önceki aylar ile sözkonusu ayın bir önceki yıl gözlenen aylık yağışları girdi olarak kullanıldığında elde edilmiştir. Yıl boyunca meydana gelen periyodikliğin gözönünde bulundurulması için model girdilerinin arasına periyodik bileşen de katılmıştır.

Kullanılan YSA teknolojisi her ne kadar yeni değil ise de bu çalışma birkaç açıdan ilkler taşımaktadır. Bunlar şu başlıklar altında verilebilir.

- Ürdün yağışları YSA modelleri ile ilk kez geniş bir modellemeye tabi tutulmuştur.
- Sentetik serilerle güçlendirilmiş YSA modelleri ilk kez yağış verilerinin modellenmesinde kullanılmıştır.
- Hidroloji alanında Markov zincirleri ilk kez YSA ile birleştirilmiştir.
- Koşullu önerme içeren YSA modelleri ilk kez kullanılmıştır.

İBGY, RT ve GR YSA modelleri ile ÇDR denklemi yukarıda bahsedilen girdiler kullanılarak kurulmuştur. Bu modeller daha sonra Markov zincirleri ile birleştirilmiştir. Modeller ayrıca hem yalın halde hem de Markov zincirleri ile birleştirilmiş şekilde sentetik verilerle eğitilerek yeni parametreleri hesaplanmıştır.

En sonunda koşullu önermeler modellere dahil edilmiş, böylece toplam 32 farklı model ortaya çıkmıştır.

Çalışmada Ürdün'ün üç farklı coğrafi bölgesinden alınan Amman, Safawi ve Baqura meteoroloji istasyonlarında gözlenmiş aylık toplam yağış yükseklikleri kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen 32 model üç istasyona da uygulandığından bu çalışmada 96 ayrı uygulama sözkonusudur. Bu şekli ile çalışma önemli gelişme ve uygulamalar içermektedir.

9.2 Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışmada geliştirilen modeller ve yapılan uygulamalar sonrasında aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır.

1. YSA modelleri ve ÇDR denklemleri kurak bölge aylık yağışlarının modellenmesinde yeterli düzeyde gelişmiş araçlar değildir.
2. YSA modelleri fiziksel anlamı olmayan negatif değerler üretmekte ya da kuru dönemlerde yağış düşmeyen aylarda yağış tahmininde bulunmaktadır.
3. Çalışmada yapılan denemeler sonrasında YSA modelleri ve ÇDR denklemi özellikle maksimum yağışları tahmin edememektedir.
4. Modellenen yağış verisindeki kuruyan ay yüzdesi arttıkça modellerin performanslarının düştüğü görülmüştür. Yani kurak bölge yağışlarının modellenmesi kurak olmayan bölge yağışlarına göre daha zordur.
5. Kısa gözlemlerin modellerin eğitme aşamasında ağırlıkların (parametrelerin) belirlenmesi üzerindeki negatif etkisini azaltmak için sentetik veriler türetilmiş, bu veriler gözlenmiş eğitim verisi kümesine eklenerek yapılan eğitmeye rağmen, modellerin performansları gelişmemiştir.
6. Modeller Markov zincirleri ile birleştirildiğinde kuru dönemlerde yağış gözlenmeyen ayların yağışsız olacağı tahmininde bulunabilmiştir. Böylelikle YSA modellerinin negatif yağış tahmininde bulunmaları veya yağış olmayan bir ayda yağış tahmin etmeleri önlenmiştir.

7. Markov zincirleri ile birleştirilmiş ve hatta sentetik serilerle güçlendirilmiş modeller maksimum yağışı yakalamada başarısız kalmıştır. Bunun önlenmesi için modellere koşullu bir önerme eklenmek sureti ile koşullu modeller ampirik bir düşünce ile geliştirilmiştir. Bu şekli ile modeller başarılı tahminler yapar konuma gelmiştir.

8. Aylık yağış verileri yıl boyunca geçerli tek bir model şeması ile tanımlanmıştır. Modellerin başarılarının sınırlı kalmasının bir nedeni periyodiklik içeren bir sürecin yıl boyunca geçerli tek bir model ile tanımlanmasıdır. Ancak modellerde periyodiklik tam olarak gözardı edilmemiş, periyodik bileşen modellere girdi olarak kullanılmıştır.

9. Gizli tabakadaki hücre sayısı ya da yayılma katsayısı ile iteratif çözüm yapan YSA modellerinde iterasyon sayısı optimum bir şekilde belirlenmelidir. Aksi takdirde modelin aşırı bir eğitme sonrasında ezberlemesi sorunu ortaya çıkar. Bu durum mükemmel bir eğitme sonrasında test sürecinde modelin başarısız olmasına neden olur.

10. Modellerin sadece gözlenmiş yağışları girdi olarak kullanması da modellerin performansının düşük kalmasına neden olmuştur. Modellerde girdi olarak önceki yağışlar yerine veya bu yağışlarla birlikte yağışı oluşturan meteorolojik ve iklimsel faktörlerin kullanılması durumunda modellerin performansının yükseleceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abdel-Aty, S.H., 1976. On the distribution of rainfall sequences with application to actual data. *Dirasat*, Univ. of Jordan, Natural Sciences, **3**, 15-26.

Abdulla, F.A., Amayreh, J. ve Hossain, A.H., 2002. Single event watershed model for simulating runoff hydrograph in desert regions, *Water Resources Management*, **16**, 221-238.

Ahmad, S. ve Simonovic, S.P., 2005. An artificial neural network model for generating hydrograph from hydro-meteorological parameters, *Journal of Hydrology* **315**, 236–251.

Ahmad, S., Khan, I.H ve Parida, B.P., 2001. Performance of stochastic approaches for forecasting river water quality, *Wat. Res*., **35**(18), 4261–4266, 2001.

Ahmed, J.A., ve Sarma, A, K., 2007. Artificial neural network model for synthetic streamflow generation, *Water Resour*. *Manage*., **21**, 1015–1029.

Aksoy, H., 1998. Kuruyan Akarsuların Günlük Akımlarının Modellenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aksoy, H. ve Bayazıt, M., 2000. A model for daily flows of intermittent streams, *Hydrol*. *Process*., **14**, 1725-1744.

Aksoy, H., Toprak, Z.F., Aytek, A. ve Ünal, N.E., 2004. Stochastic generation of hourly mean wind speed data, *Renewable Energy*, **29**, 2111-2131.

Aksoy, H., Guven, A., Aytek, A., Yuce, M.I. ve Unal, N.E., 2007. Discussion of ‘‘Generalized regression neural networks for evapotranspiration modeling). *Hydrological Sciences Journal*, **52**(4), 825-828.

Aksoy, H., Guven, A., Aytek, A., Yuce, M.I. ve Unal, N.E., 2008. Comment on ‘Kisi O. 2007. Evapotranspiration modeling from climatic data using a neural computing technique. *Hydrological processes*, (baskıda).

Alexandersson, A., 1986. A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data. *J.Climatol*., **6**, 661-675.

Al-Kharabsheh, A., 2000. Ground-water modeling and long-term management of the Azraq basin as an example of arid area conditions (Jordan), *Journal of Arid Environment*, **44**(2), 143-153.

Al-Salihi, A.H., 2003. Drought identification and characterization in Jordan, *Journal of Arid Environments*, **53**, 585-606.

Al-Shalash, A., 1964. Rainfall atlas of the Hashemite kingdom of Jordan, Publication of the University of Jordan, Amman.

Al-Weshah, R.A., 2005. Jordan's water resources: Technical perspective,

(http://www.wsta-gcc.org/includes/GWC_4th/doc/w6.htm, last visited on March 16, 2005).

Anderson, J.A., 1983. Congnitive and psychological computation with neural models, IEEE Transactions on systems, *Man and Cybernetics*, **13**(5), 799-814.

Aqil, M., Kita, I., Yano, A. ve Nishiyama, S., 2007. A comparative study of artificial neural networks and neuro-fuzzy in continuous modeling of the daily and hourly behaviour of runoff, *Journal of Hydrology* **337**, 22– 34.

ASCE (2000a). Artificial Neural Networks In Hydrologyı. I: Preliminary Concepts. *Journal Of Hydrologic Engineering*, **5**(2), 115-123.

ASCE (2000b). Artificial Neural Networks In Hydrology. II: Hydrologic Applications. *Journal Of Hydrologic Engineering*, **5**(2), 124-137.

Aytek, A., Guven, A., Yuce, M. I. ve Aksoy, H., (2007). An explicit neural network formulation for evapotranspiration, *Hydrol. Sci. J*., (baskıda).

Bani Domi, M., 2000. Analysis of unusual atmospheric conditions which caused two successive khamassine and snow storms that affected Jordan between 15-18 march 1998, *Abhath Alyarmouk*, **18**, 2(A), 385-409.

Bayazıt, M. ve Aksoy, H., 2001. Using wavelets for data generation, *Journal of Applied Statistics*, **28**(2).

Bayazıt, M., 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Bayazıt, M., Önöz, B. ve Aksoy, H., 2001. Nonparametric Streamflow Simulation by Wavelet or Fourier analysis, *Hydrological sciences*, **46**, 623-634.

Bodri, L. ve Cermak, V., 2000. Prediction of extreme precipitation using a neural network: application to summer flood occurrence in Moravia, *Advances in Engineering Software*, **31**, 311-321.

Bodri, L. ve Cermak, V., 2001. Neural network prediction of monthly precipitation: Application to summer flood occurrence in two regions of central europe, *Studia geoph. et geod*., **45**, 155-167.

Bodri, L. ve Cermak, V., 2003. Prediction of Surface Air Temperatures By Neural Network, Example Based On Three-Year Temperature Monitoring At Spořilov Station, *Studia geoph. et geod*., **45**, 155-167.

Bohling, G.C. ve Dubois, M.K., 2003. An Integrated Application of Neural Network and Markov Chain Techniques to Prediction of Lithofacies from Well Logs, *Kansas Geological Survey Open File Report* 2003-50.

Broomhead, D. ve Lowe, D., 1988. Multivariable adaptive networks, *Complex Syst*., **2**, 321–355.

Chantasut, N., Charoenjit, C. ve Tanprasert, C., 2004. Predictive Mining of Rainfall Predictions Using Artificial Neural Networks for Chao Phraya River, *The 4th International Conference of The Asian Federation of Information Technology in Agriculture and The 2nd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources*, August 9-12, 2004, Bangkok, Thailand, pp. 117-122.

Chattopadhyay, S., 2007. Feed forward Artificial Neural Network model to predict the average summer-monsoon rainfall in India, *Acta Geophysica*, **55**(3), 369-382.

Civalek, Ö., 1999. Dairesel Plakların Nöro-Fuzzy Tekniği ile Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi *Fen ve Mühendislik Dergisi*, **2**(1), 13-31.

Cığızoğlu, H.K. ve Kişi, Ö., 2006. Methods to improve the neural network performance in suspended sediment estimation, *Journal of Hydrology*, **317**, 221–238.

Cığızoğlu, H.K., 2005a. Generalized regression neural network in monthly flow forecasting, *Civil Engineering and Environmental Systems*, **22**(2), 71–84.

Cığızoğlu, H.K., 2005b. Application of Generalized Regression Neural Networks to Intermittent Flow Forecasting and Estimation, *Journal Of Hydrologic Engineering*, **10**(4), 336-341.

Cığızoğlu, H.K. ve Alp, M., 2004. Rainfall-Runoff Modeling Using Three Neural Network Methods, *Artificial Intelligence and Soft Computing- ICAISC 2004 Lecture Notes in Artificial Intelligence*, **3070**, 166-171.

Cığızoğlu, H.K., 2003. Incorporation of ARMA models into flow forecasting by artificial neural networks, *Environmentrics*, **14**, 417-427.

Cığızoğlu, H.K., 2002. Intermittent River flow forecasting by artificial neural networks, *Computational methods in water resources*, **2**, 1653-1659.

Cığızoğlu, H.K. ve Bayazıt, M., 1998. Application of gamma autoregressive model to analysis of dry periods, *Journal of hydrologic engineering*, **3**(3), 218-221.

Clarke, R.T., 1984. Mathematical models in hydrology, FAO, Irrigation and Drainage Paper, 19, Rome.

Coulibaly, P. ve Evora, N.D., 2007. Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records, *Journal of Hydrology*, **341**, 27–41.

Dahamsheh, A., 2003. Monitoring meteorological drought in Jordan, *M. Sc. Thesis*, ITU, Institute of science and technology, Istanbul.

Dahamsheh, A. ve Aksoy, H., 2007. Structural characteristics of annual precipitation data in Jordan, *Theor. Appl. Climatol*., **88**, 201–212.

Daliakopoulos, I.N., Coulibaly, P. ve Tsanis, I.K., 2005. Groundwater level forecasting using artificial neural networks, *Journal of Hydrology*, **309**, 229–240.

Dawson, C.W. ve Wilby, R.L., 1999. A comparison of artificial neural networks used for river flow forecasting, *Hydrology and earth System Sciences*, **3**(4), 529-540.

Dawson, C.W., Harpham, C., Wilby, R.L. ve Chen,Y., 2002. Evaluation of artificial neural network techniques for flow forecasting in the River Yangtze, China, *Hydrology and Earth System Sciences*, **6**(4), 619–626.

Delleur, J.W. ve Kavas, M.L., 1978. Stochastic models for monthly rainfall forecasting and synthetic generation, *J. Appl. Meteorol*., **17**(10), 1528-1536.

Dibike, Y.B. ve Coulibaly, P., 2006. Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes, *Neural Networks*, **19**, 135–144.

Dibike, Y.B. ve Solomatine, D.P., 2001. River Flow Forecasting Using Artificial Neural Networks. *Phys. Chem. Earth* (B), **26**(1), 1-7.

Eberhart, R.C. ve Dobbins, R.W., 1990. Neural Network PC Tools: A Practical Guide, Academic Press, San Diego.

Freiwan, M. ve Cığızoğlu, H.K., 2005. Prediction of total monthly rainfall in Jordan using feed forward backpropagation method, *Fresenius Environmental Bulletin*, **14**(2), 142-151.

Garbrecht, J. D., 2006. Comparison of Three Alternative ANN Designs for Monthly Rainfall-Runoff Simulation, *Journal of hydrologic engineering*, technical notes, 502-505.

Ghanem, A., 1997. Analysis of decadal rainfall in Jordan, *Dirasat*, Natural and engineering science, **24**(1), 179-201.

Hall, T., 1998. Precipitation Forecasting Using a Neural Network. *Weather and forecasting*, **14**, 338-345.

Hazen, A., 1914. Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply, *Trans., ASCE*, 77 no. 1539.

Hebb, D., 1949. The organization of behavior, Willy, New York.

Hopfield, J.J., 1982. Neural Networks and physical systems with emergent collective computationla abeylities, *Proc. Natl. Acad. Sci*., **79**, 2554-2558.

Hung, N.Q., Babel, M.S., Wesakul, S. ve Tripathi, N.K., 2008. An artificial neural network model for rainfall forecasting in Bangkok, Thailand, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*., **5**, 183–218.

Ionides, M.G., 1939. The water resources of trans Jordan and their development, London.

Joorabchi, A., Zhang, H. ve Blumenstein, M., 2007. Application of artificial neural networks in flow discharge prediction for the Fitzroy River, Australia, *Journal of Coastal Research*, Special Issue **50**, 287-291.

Kalteh, A.M. ve Berndtsson, R., 2007. Interpolating monthly precipitation by self-organizing map (SOM) and multilayer perceptron (MLP), *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, **52**(2), 305-317.

Kişi, Ö., 2006. Generalized regression neural networks for evapotranspiration modelling. *Hydrological Sciences Journal*, **51**(6), 1092-1105.

Kişi, Ö., 2007. Streamflow Forecasting Using Different Artificial Neural Network Algorithms. *Journal of hydrologıc engineering*, **12**(5), 532-539.

Kohonen, T., 1982. The self-organized formation of topography correct feature maps, *Biological Cybernetics*, **43**, 59-69.

Koutsoyianns, D., 2007. Discussion of ‘‘Generalized regression neural networks for evapotranspiration modeling). *Hydrological Sciences Journal*, **52**(4), 832-835.

Kuligowski, R.J. ve Barros, A.P., 1997. Experiments in Short-Term Precipitation Forecasting Using Artificial Neural Networks. *Monthly Weather Review*, **126**, 470-482.

Kuligowski, R.J. ve Barros, A.P., 1998a. Localized Precipitation Forecasts from a Numerical Weather Prediction Model Using Artificial Neural Networks. *Weather and forecasting*, **13**, 1194-1204.

Kuligowski, R.J. ve Barros, A.P., 1998b. Using Artificial Neural Networks To Estimate Missing Rainfall Data. *Journal Of The American Water Resources Association*, **34**(6), 1437-1447.

Kumarasiri, A.D. ve Sonnadara, D.U.J., 2006. Rainfall Forecasting: An Artificial Neural Network Approach. *Proceedings of the Technical Sessions*, **22**, 1-13 Institute of Physics – Sri Lanka.

Kurunç, A. ve Yurtseven, E., 2005. Time Series Modeling and Trend Detection of Streamflow and Selected Water Quality Variables in a River: Case Study, Euphrates River Monitoring Stations of 2102 and 2119, *Journal of Applied Sciences*, **5**(6), 1016-1021.

Lippman, R.P., 1987. An introduction to computing with neural networks, *IEEE ASSP Magazine*, 4-22.

Liu, H., Chandrasekar, V. ve Xu, G., 2001. An Adaptive Neural Network Scheme for Radar Rainfall Estimation from WSR-88D Observations. *Journal of Applied Meteorology*, **40**, 2038-2050.

Liu, J.N.K. ve Lee, R.S.T., 1999. Rainfall Forecasting from Multiple Point Sources Using Neural Networks. *In IEEE SMC’99 Conference Proceedings. 1999*

IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics., **3**, 429–434, Piscataway, NJ. IEEE Service Center.

Maier, H.R. ve Dandy,G.C., 2000. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications, *Environmental Modelling & Software*, **15**, 101–124.

McCullagh, J., Bluff, K. ve Ebert, E., 1995. A Neural Network Model for Rainfall Estimation, *2nd New Zealand Two-Stream International Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems*.

McCulloh, W.S. ve Pitts, W.A., 1943. Principles of geostatistics, *Econ. Geo*., **58**:1246-1266.

Minns, A. W. ve Hall, M. J., 1996. Artificial neural networks as rainfall-runoff models, *Hydrological Sciences -Journal- des Sciences IIydrologiques*, **41**(3), 399-417.

Minsky, M. ve Paperts, S., 1969. Perceptrons, Cambridge, MA, Mit Pres.

Mishra, A.K. ve Desai, V.R., 2006. Drought forecasting using feed-forward recursive neural network, *ecological modeling*, **198**, 127-138.

Nor, N.I.A., Harun, S. ve Kassim, A.H.M., 2007. Radial Basis Function Modeling of Hourly Streamflow Hydrograph, *Journal of hydrologic engineering*, **12**(1), 113-123.

Ochoa-Rivera, J.C., Garcia-Bartual, R. ve Andreu, J., 2002. Multivariate synthetic streamflow generation using a hybrid model based on artificial neural Networks, *Hydrology and Earth System Sciences*, **6**(4), 641–654.

Pao, Yoh-Han, 1990. Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks, Addison Wesley, New York, USA.

Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change point problem, *Appl. Statistics*, **28**, 126-135.

Piotrowski, A., Napiorkowski, J.J. ve Rowinski, P.M., 2006. Flash-flood forecasting by means of neural networks and nearest neighbour approach – a comparative study, *Nonlin. Processes Geophys*., **13**, 443–448.

Poggio, T. ve Girosi, F., 1990. Regularization algorithms for learning that are equivalent to multilayer networks, *Science*, **247**(4945), 978 - 982.

Raman, H. ve Sunilkumar, N., 1995. Multivariate modelling of water resources time series using artificial neural Networks, *Hydrological Sciences - Journal-des Sciences Hydrologiques*, **40**(2), 145-163.

Riad, S. Mania, J., Bouchaou, L. ve Najjar, Y., 2004. Predicting catchment flow in a semi-arid region via an artificial neural network technique, *Hydrol. Process*. **18**, 2387–2393.

Rippl, W., 1883. The capacity of storage reservoirs for water supply, Proc. Institution of Civil Engineers, 71, 270.

Rosenblatt, F., 1958. The Perceptron: A Probabilistic model for information storage and organization in the brain, *Phsychol Rev*., **65**(6):386-408.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. ve Williams, R. J., 1986. Learning Represantation by Back-Propagation Error, *Nature*, **323**, 533-536.

Sahai, A.K., Somon, M.K. ve Satyan, V., 2000. All India summer monsoon rainfall Prediction using an artificial neural network, *Climate Dynamics*, **16**, 291-302.

Senthil Kumar, A.R., Sudheer, K.P., Jain, S.K. ve Agarwal, P.K., 2005. Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks:comparison of network types, *Hydrol. Process*. **19**, 1277–1291.

Shamseldin, A.Y., Nasr, A.E. ve O'Connor, K.M., 2002. Comparison of different forms of the Multi-layer Feed-Forward Neural Network method used for river flow forecasting, *Hydrology and Earth System Sciences*, **6**(4), 671–684.

Shehadeh, N., 1976. The variability of rainfall in Jordan, *Dirasat*, Univ. of Jordan. Humanities, **3**, 67-84.

Singh, P. ve Deo, M.C., 2007. Suitability of different neural networks in daily flow forecasting, *Applied Soft Computing*, **7**, 968–978.

Specht, D.F., 1991. A general regression neural network, *IEEE Transactions on Neural Networks*, **2**(6), 568-576.

Srikanthan, R. ve McMahon, T.A., 1982. Simulation of Annual and Monthly Rainfalls- A Preliminary Study at Five Australian Stations, *Journal of applied meteorology*, **21,** 1472-1479.

Srikanthan, R., Sharma, A. ve McMahon, T.A., 2006. Comparison of Two Nonparametric Alternatives for Stochastic Generation of Monthly Rainfall. *Journal of hydrologic engineeiıng*, **11**(3), 222-229.

Sudheer, K.P., Gosain, A.K. ve Ramasastri, K.S., 2002. A data-driven algorithm for constructing artificial neural network rainfall-runoff models, *Hydrol. Process*. **16**, 1325–1330.

Sudheer, K.P., Nayak, P.J. ve Ramasastri, K.S., 2003. Improving peak flow estimates in artificial neural network river flow models, *Hydrol. Process*. **17**, 677–686.

Sudler, C.E., 1927. Storage required for the regulation of stream flow, *trans., ASCE*, 91. no. 622.

Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları.

Şen, Z., Kadıoğlu, M. ve Batur, E., 2000. Stochastic Modeling of the Van Lake Monthly Level Fluctuations in Turkey, *Theor. Appl. Climatol*., **65**, 99-110.

Tarawneh, Q. ve Kadıoğlu, M., 2003. An analysis of precipitation climatology in Jordan, *Theor. Appl. Climatol*., **74**, 123-136.

Tarawneh, S., 1999. Drought analysis of desert and badia of Jordan, *Abhath Alyarmouk*, Basic science and engineering, **2**, 117-145.

Tarawneh, S., 2000. Drought analysis of selected rainfall in Jordan, *Dirasat*, engineering science, **2**, 117-145.

Thirumalaiah, K. ve Deo, M.C., 2000. Hydrological forecastıng using neural Networks, *Journal of hydrologic engineering*, **5**(2), 180-189.

Thomas, H.A. ve Fiering, M.B., 1962. Mathematical Synthesis of Streamflow Sequences fort he Analysis of River Basins by Simulation, in Design of Water Resource Systems, ed. By A. Maass, M.M. Hufschmith, R. Dorfman, H.A. Thomas, S.A. Marglinand, G.M. Fair, McMillan, Londan, pp. 459-493.

Ünal, N.E., Aksoy, H. ve Akar, T., 2004. Annual and monthly rainfall data generation schemes, *Stoch Envir Res and Risk Ass*, **18**, 245 – 257.

Venkatesan, C., Raskar, S.D., Tambe, S.S., Kulkarni, B.D. ve Keshavamurty, R.N., 1997. Prediction of All India Summer Monsoon Rainfall Using Error-

back-propagation Neural Networks, *Meteorol. Atmos. Phys*., **62**, 225-240.

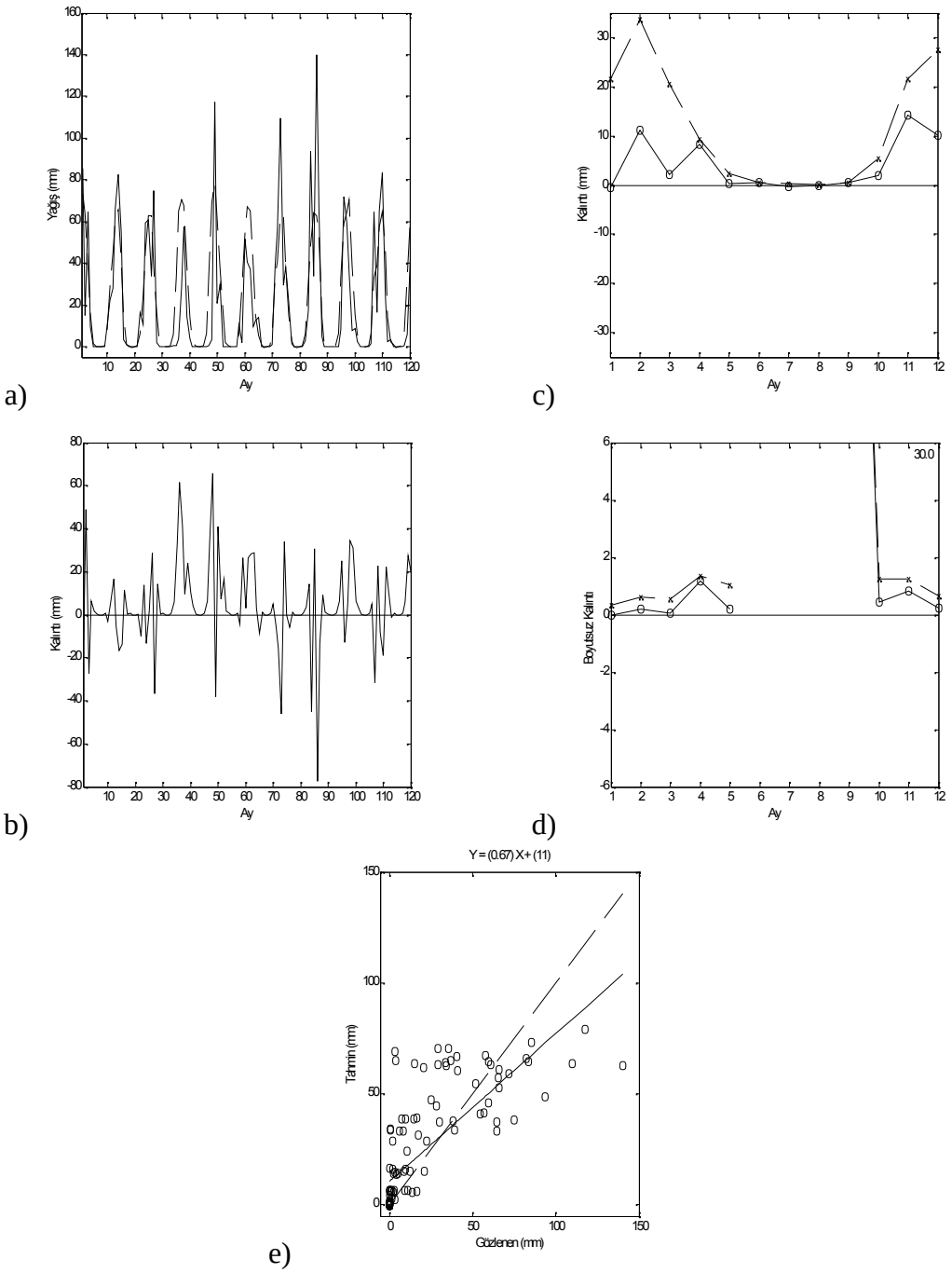
Von Neumann, J., 1941. Distribution of the Ratio of the Mean Square Successive Difference and the Variance, *Annals of Mathematical Statistics*, **12**, 367–395.

Widrow, G. ve Hoff, M., 1960. Adaptive switching circuit, In Institute of Radio Engineers, *Western Electronic Show and Convention, Convention Record*, **4**, 96-104.

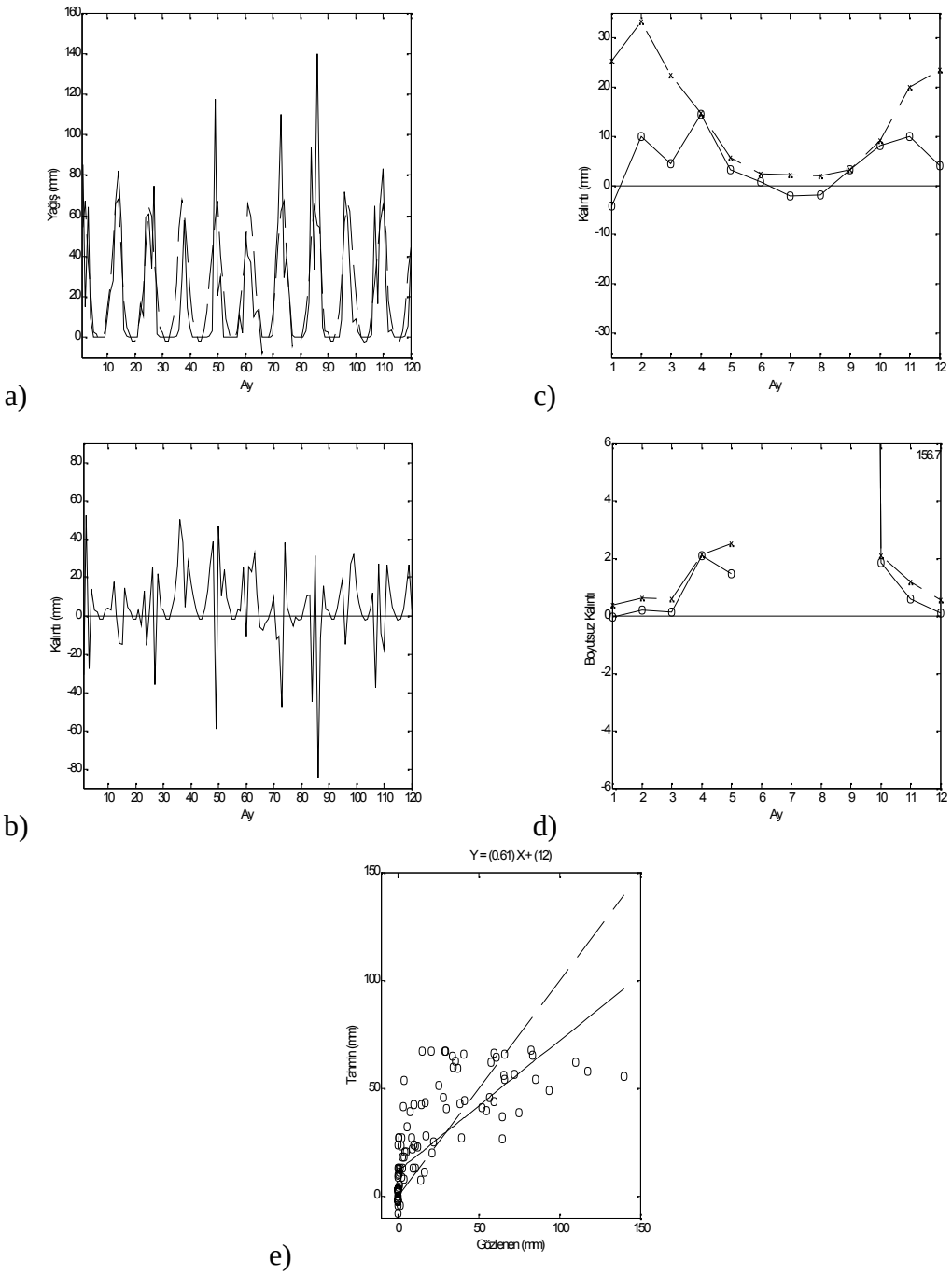
Wijngaard, J.B., Klein Tank, A.M.G. ve Können, G.P., 2003. Homogenity of 20th century European daily temperature and precipitation series, *International Journal of Climatology*, **23**, 679-692.

EK A

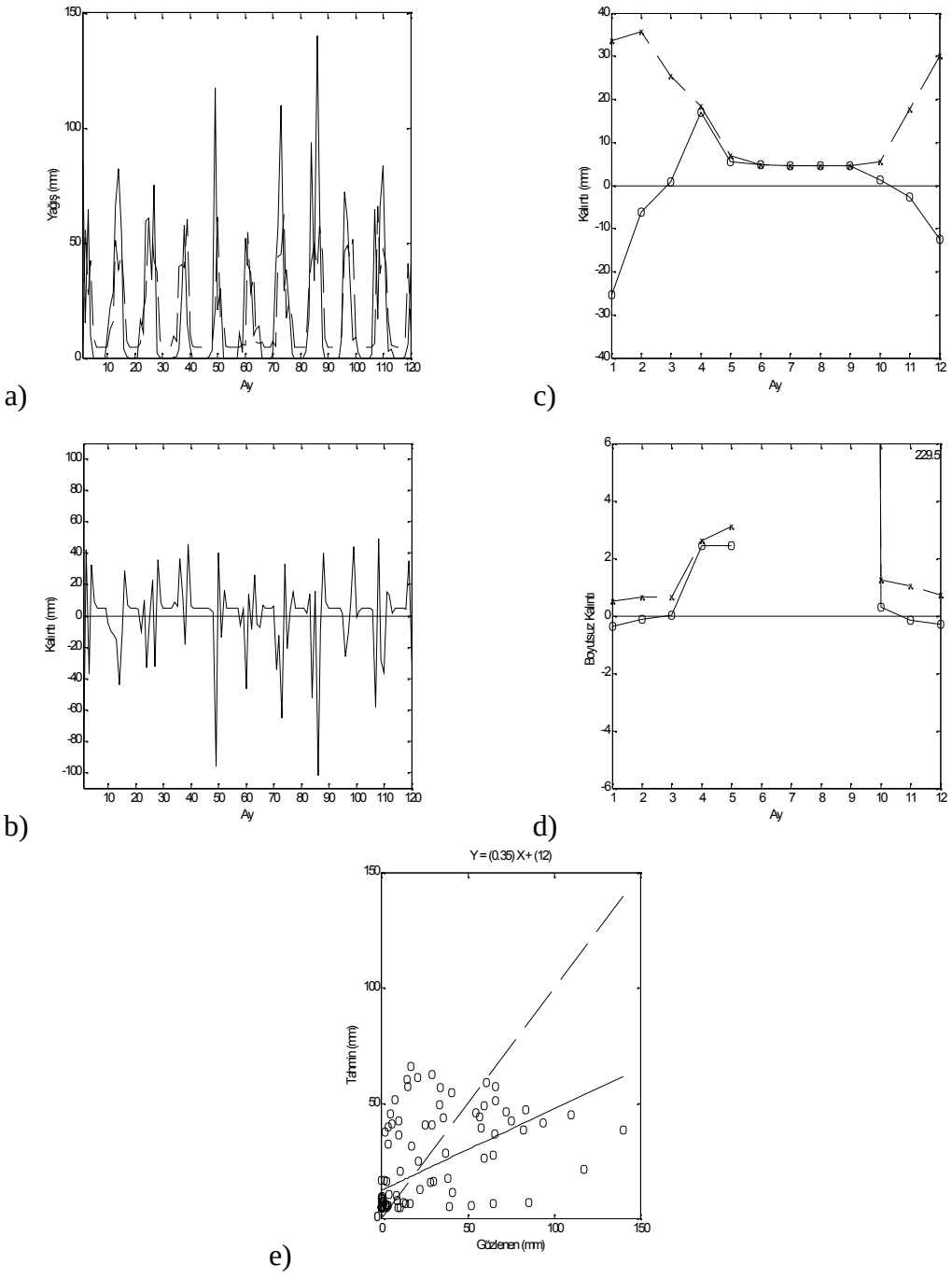
Amman İstasyonuna Ait sİBGY, sRT, sGR ve sÇDR Model Sonuçları



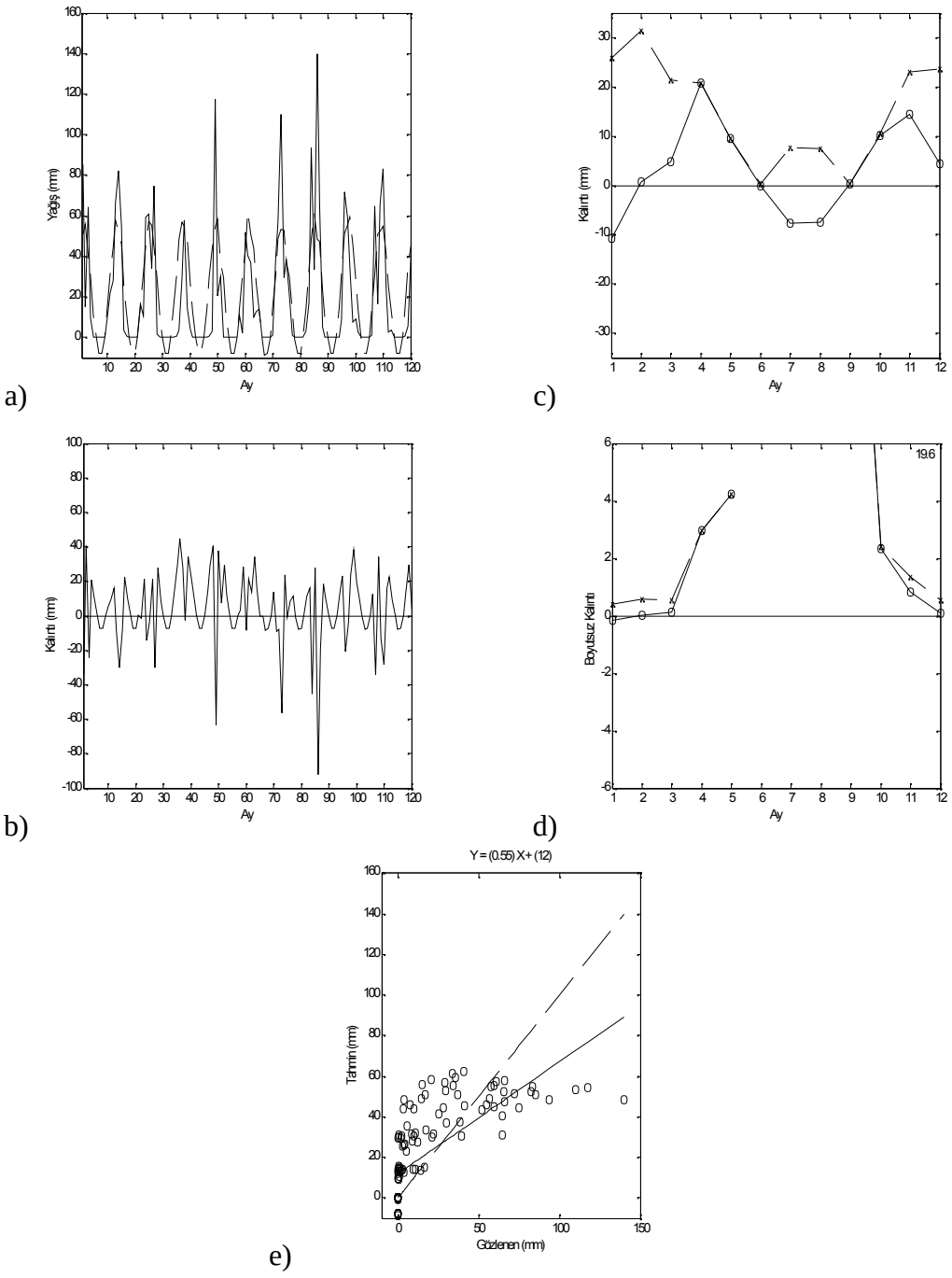
Şekil A.1: Amman İstasyonuna Ait sİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil A.2: Amman İstasyonuna Ait sRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil A.3: Amman İstasyonuna Ait sGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



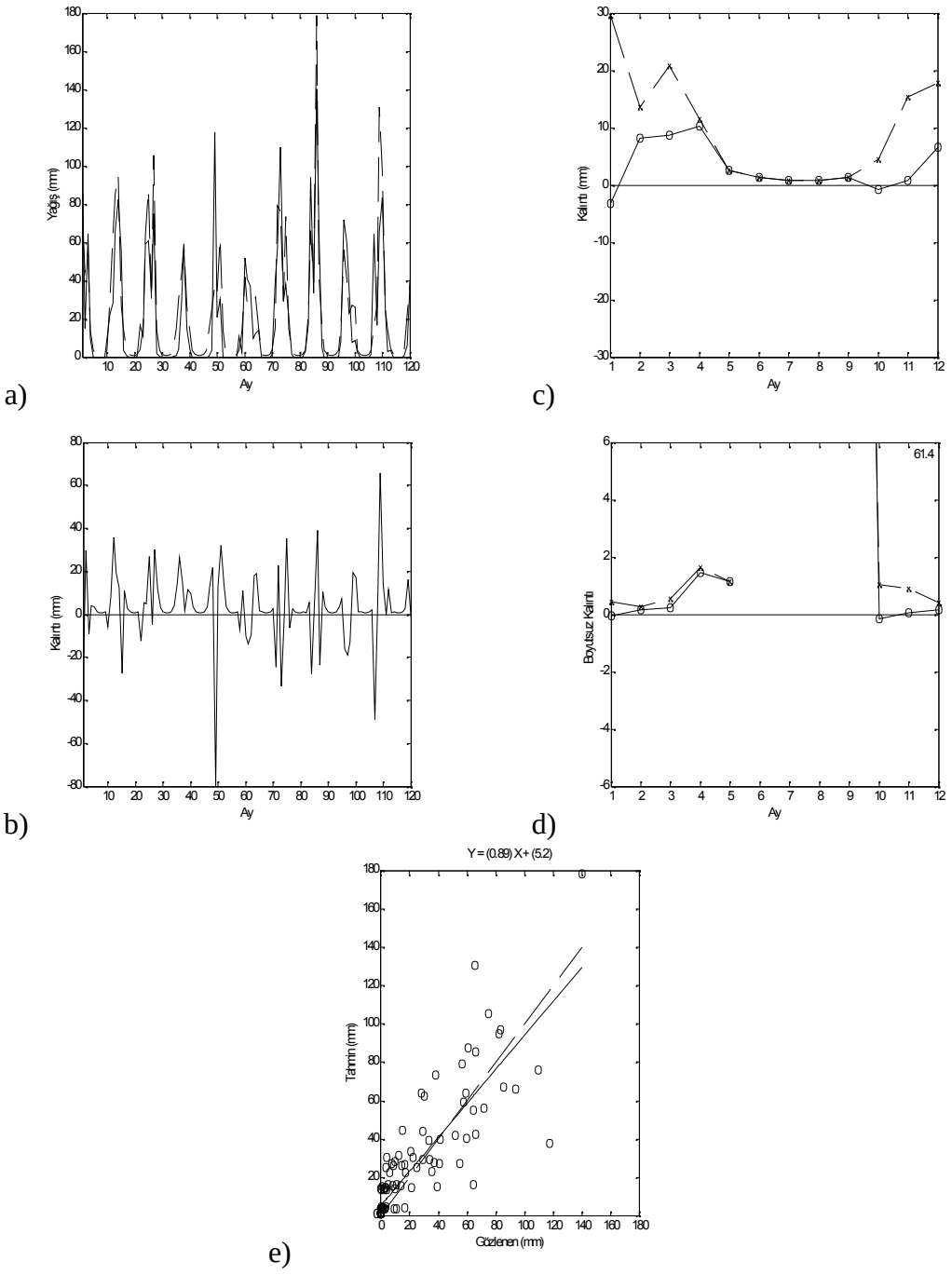
Şekil A.4: Amman İstasyonuna Ait sÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo A.1: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

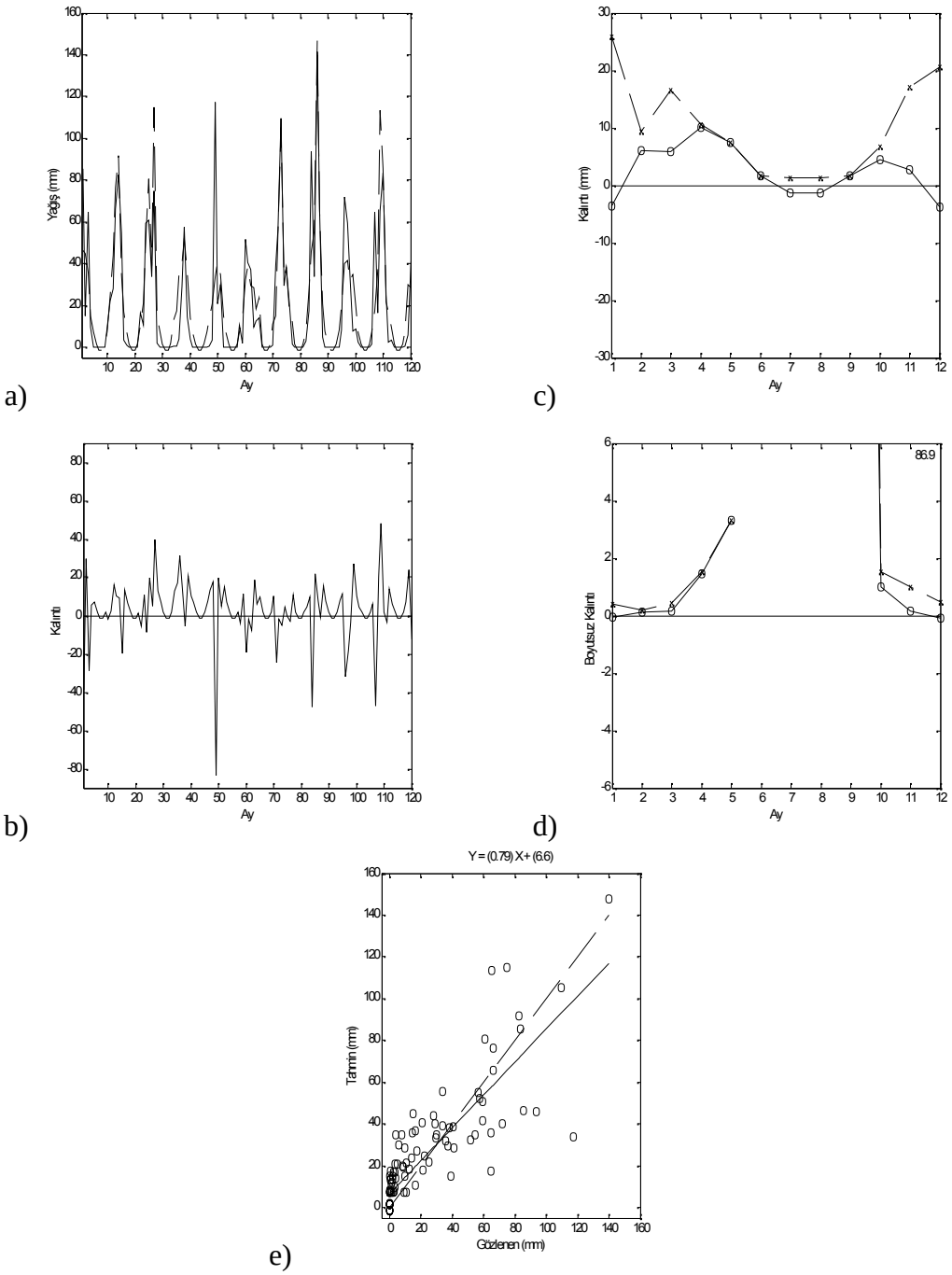
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sİBGY	386.6	0.59	0.67	11.0	79.1	-0.5	0
sRT	406.9	0.56	0.61	12.0	68.1	-7.8	0
sGR	614.7	0.30	0.35	12.0	66.2	4.5	0
sÇDR	447.9	0.50	0.55	12.0	62.1	-8.5	0

EK B

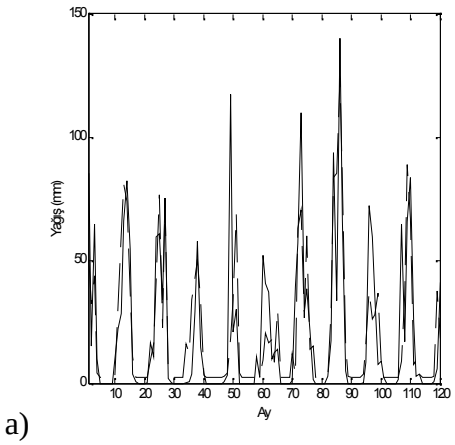
Amman İstasyonuna Ait kİBGY, kRT, kGR ve kÇDR Model Sonuçları



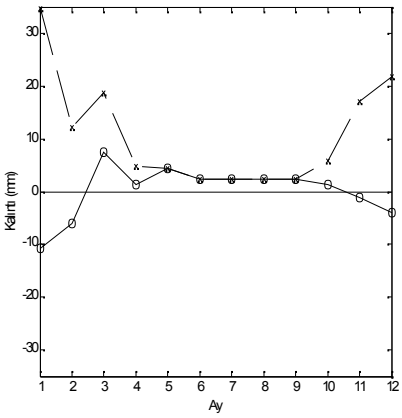
Şekil B.1: Amman İstasyonuna Ait kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



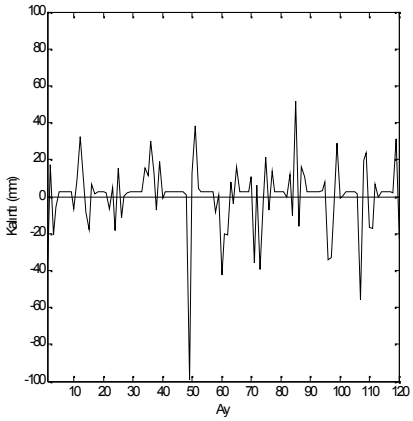
Şekil B.2: Amman İstasyonuna Ait kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



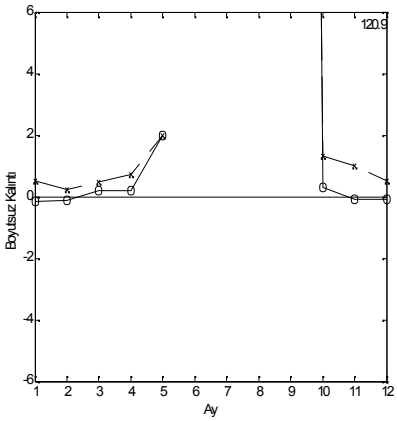
a)



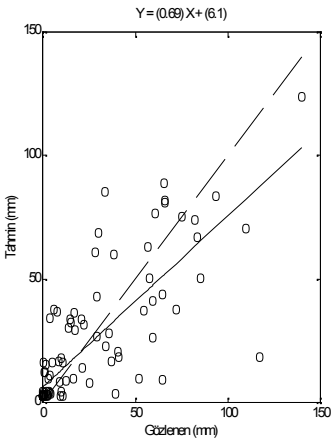
c)



b)

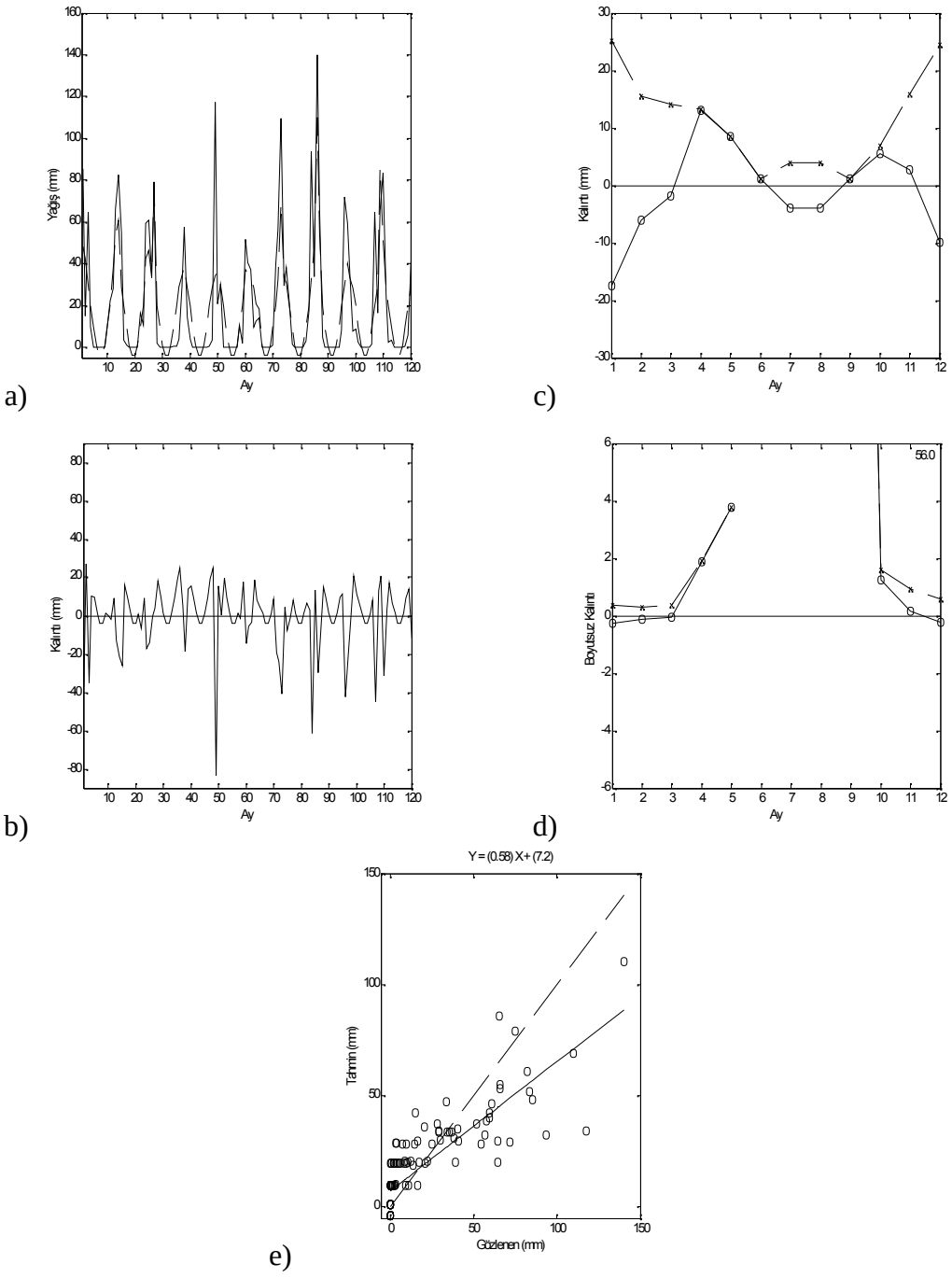


d)



e)

Şekil B.3: Amman İstasyonuna Ait kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



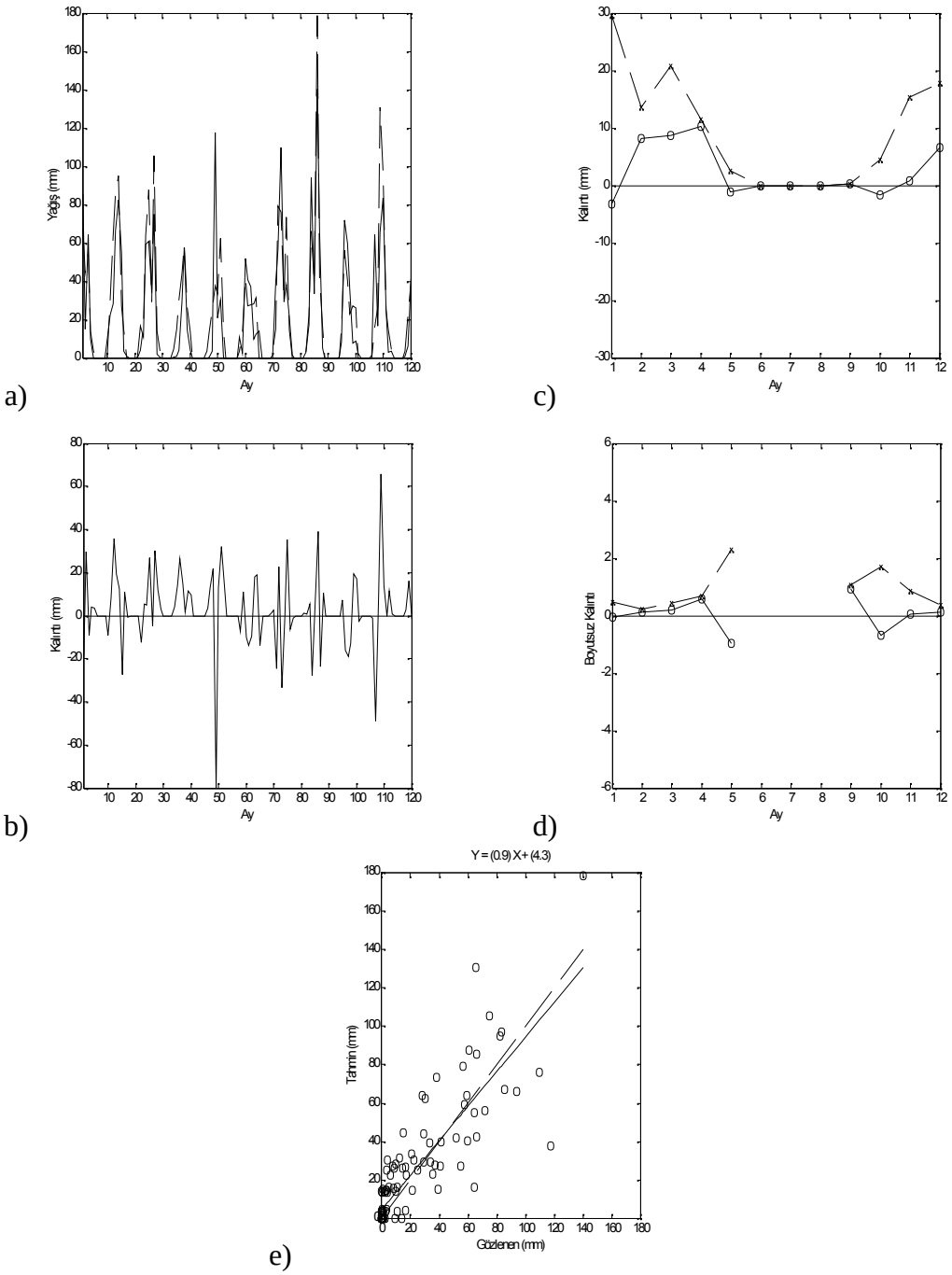
Şekil B.4: Amman İstasyonuna Ait kÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo B.1: Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

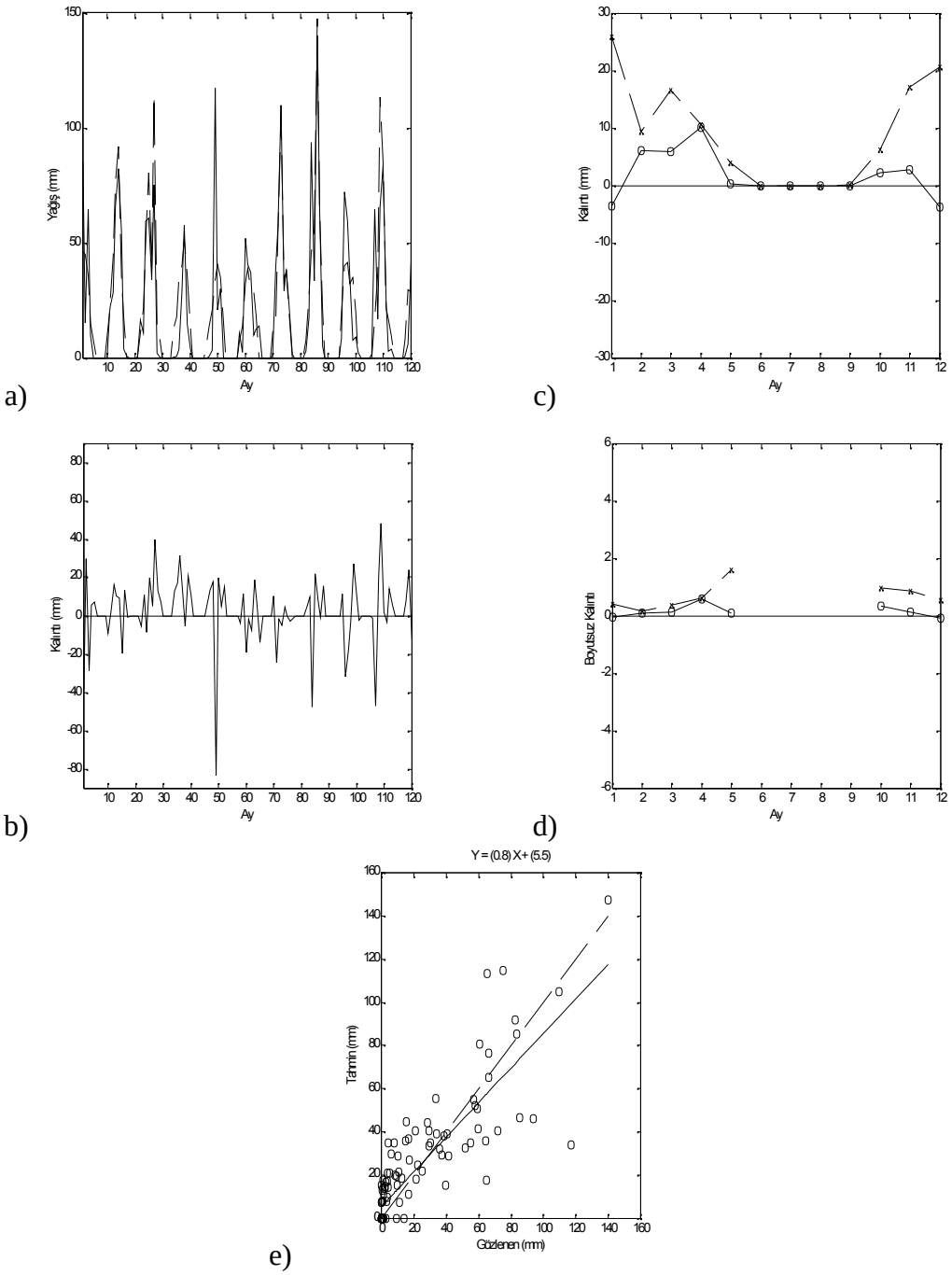
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
kİBGY	272.6	0.73	0.89	5.2	178.9	0.7	0
kRT	257.7	0.72	0.79	6.6	147.7	-1.4	0
kGR	317.7	0.64	0.69	6.1	124.1	2.4	0
kÇDR	284.2	0.69	0.58	7.2	110.3	-3.9	0

EK C

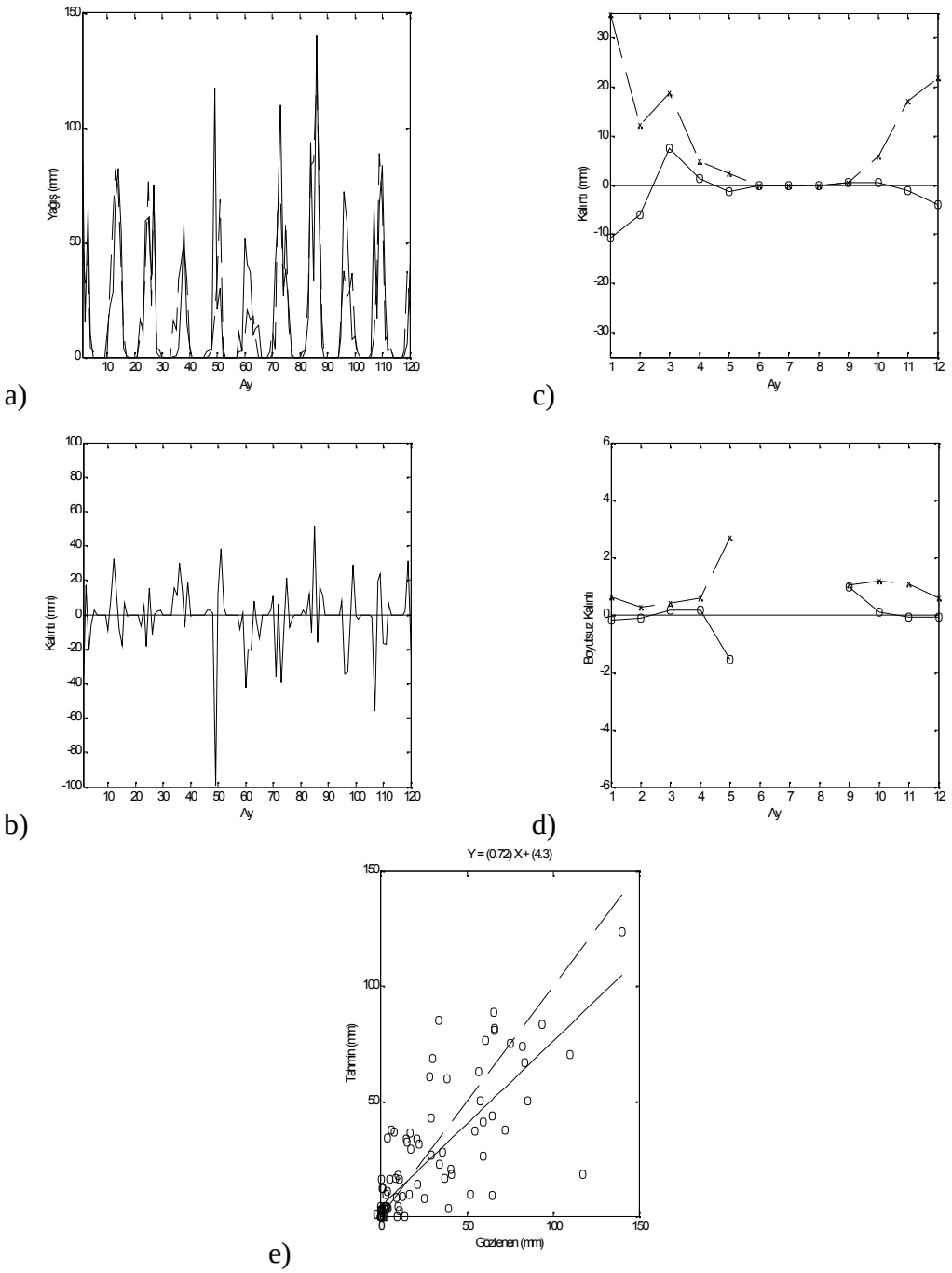
Amman İstasyonuna Ait MC-kİBGY, MC-kRT, MC-kGR ve MC-kÇDR Model Sonuçları



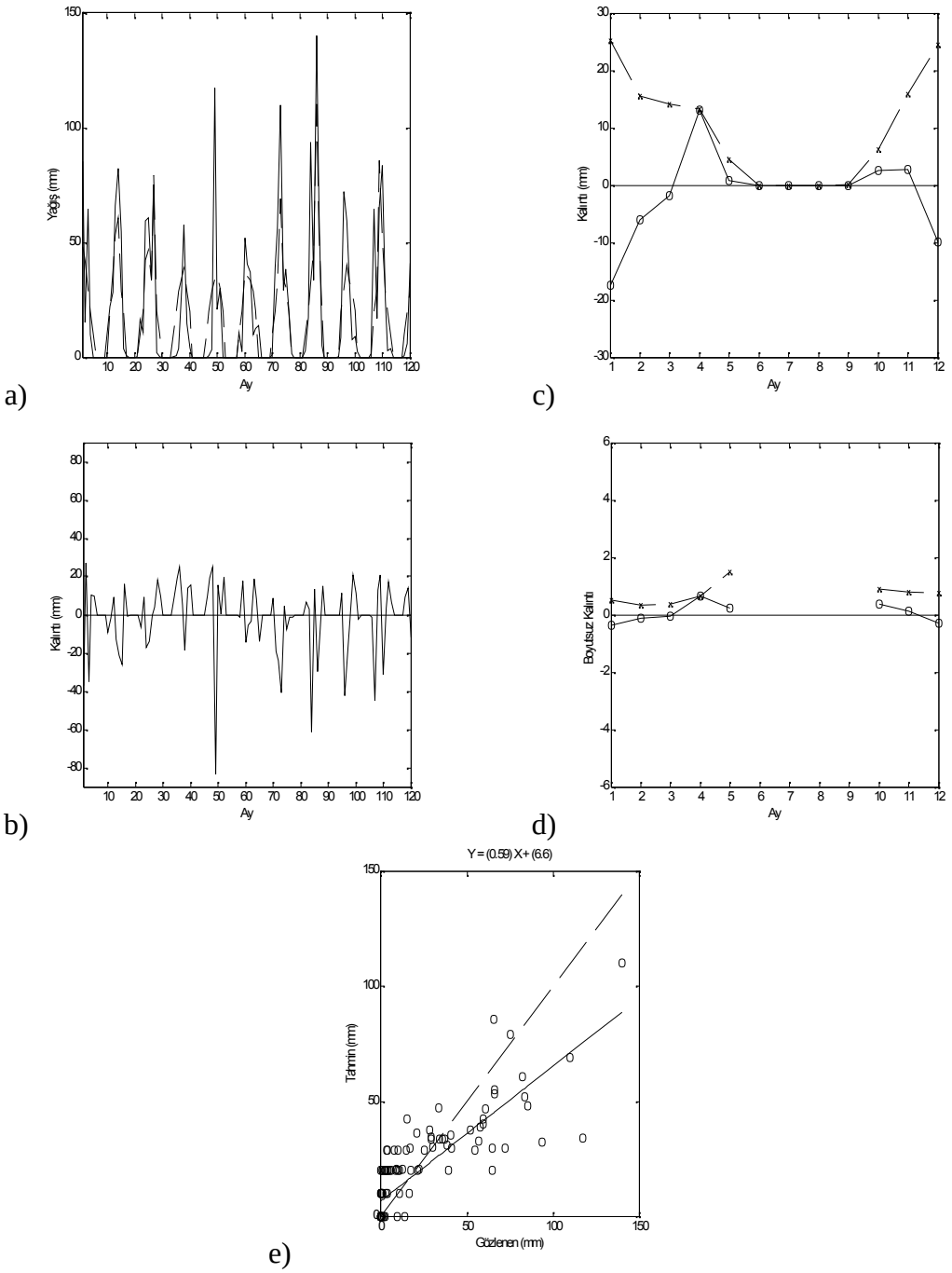
Şekil C.1: Amman İstasyonuna Ait MC-kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil C.2: Amman İstasyonuna Ait MC-kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil C.3: Amman İstasyonuna Ait MC-kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



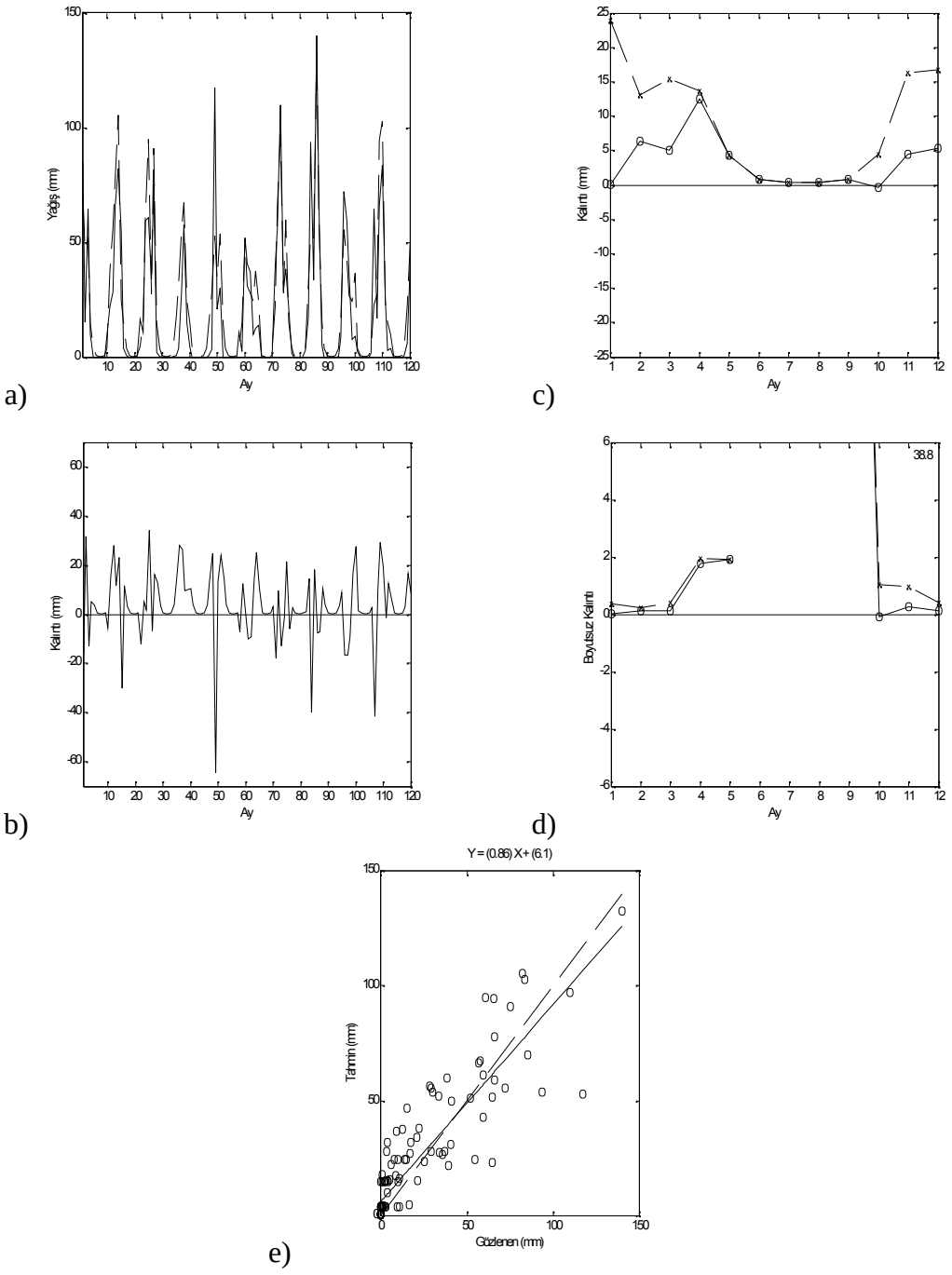
Şekil C.4: Amman İstasyonuna Ait MC-kÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo C.1: Markov Zincirleri ile Birleştirilmiş Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

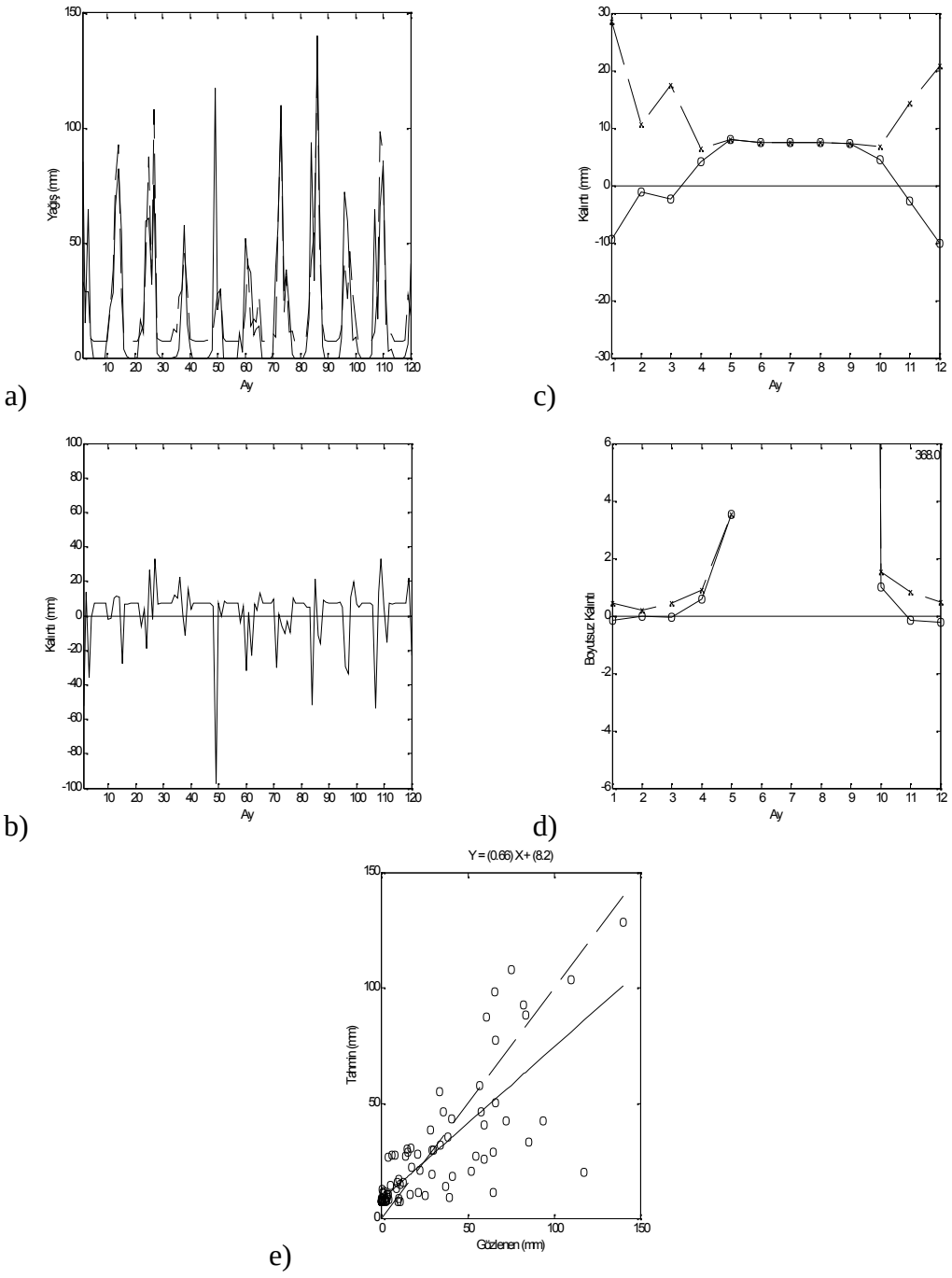
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
MC-kİBGY	273.8	0.73	0.90	4.3	178.9	0	40
MC-kRT	254.7	0.72	0.80	5.5	147.7	0	42
MC-kGR	313.3	0.65	0.72	4.3	124.1	0	40
MC-kÇDR	278.2	0.70	0.59	6.6	110.3	0	42

EK D

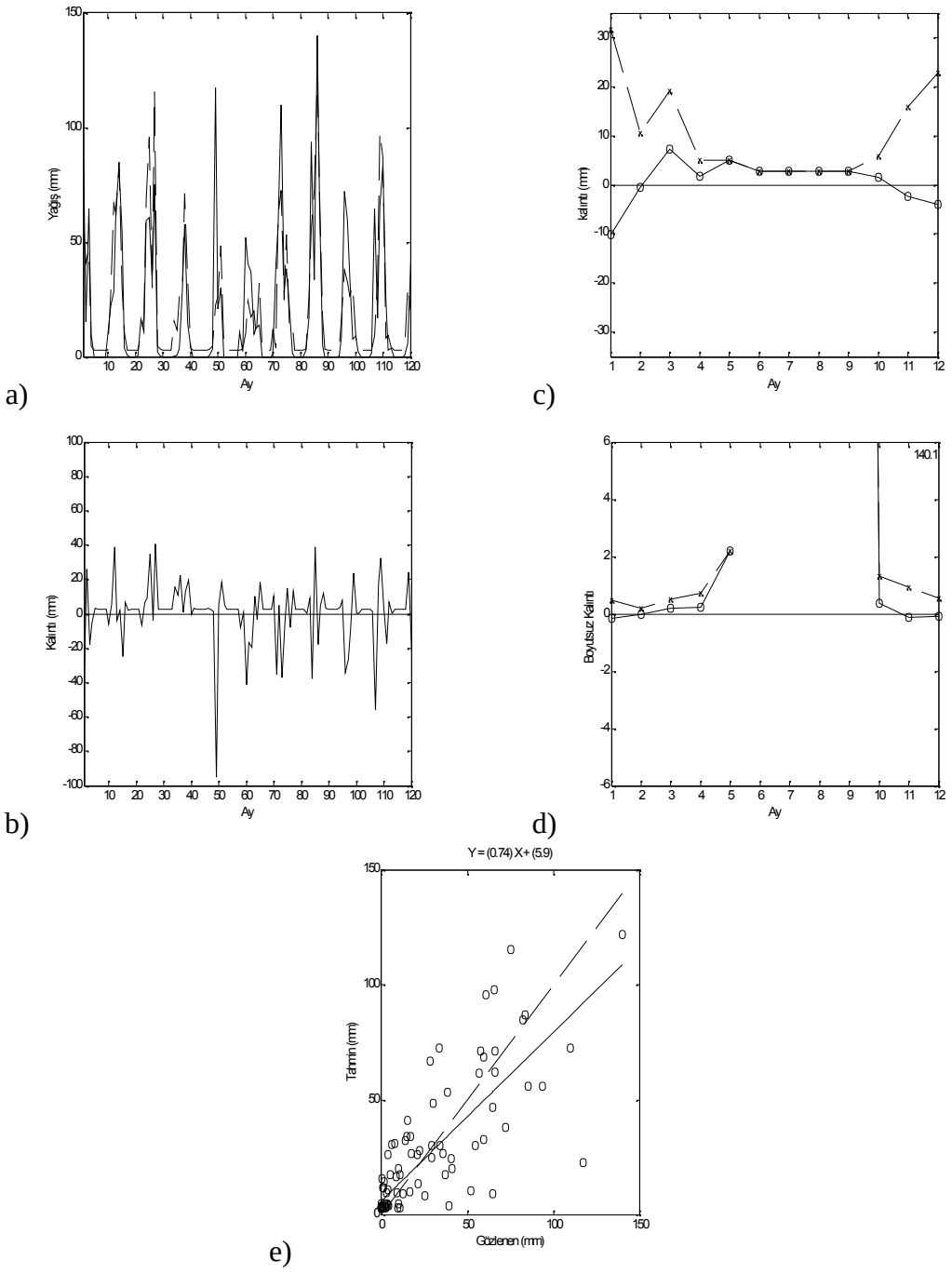
Amman İstasyonuna Ait skİBGY, skRT, skGR ve skÇDR Model Sonuçları



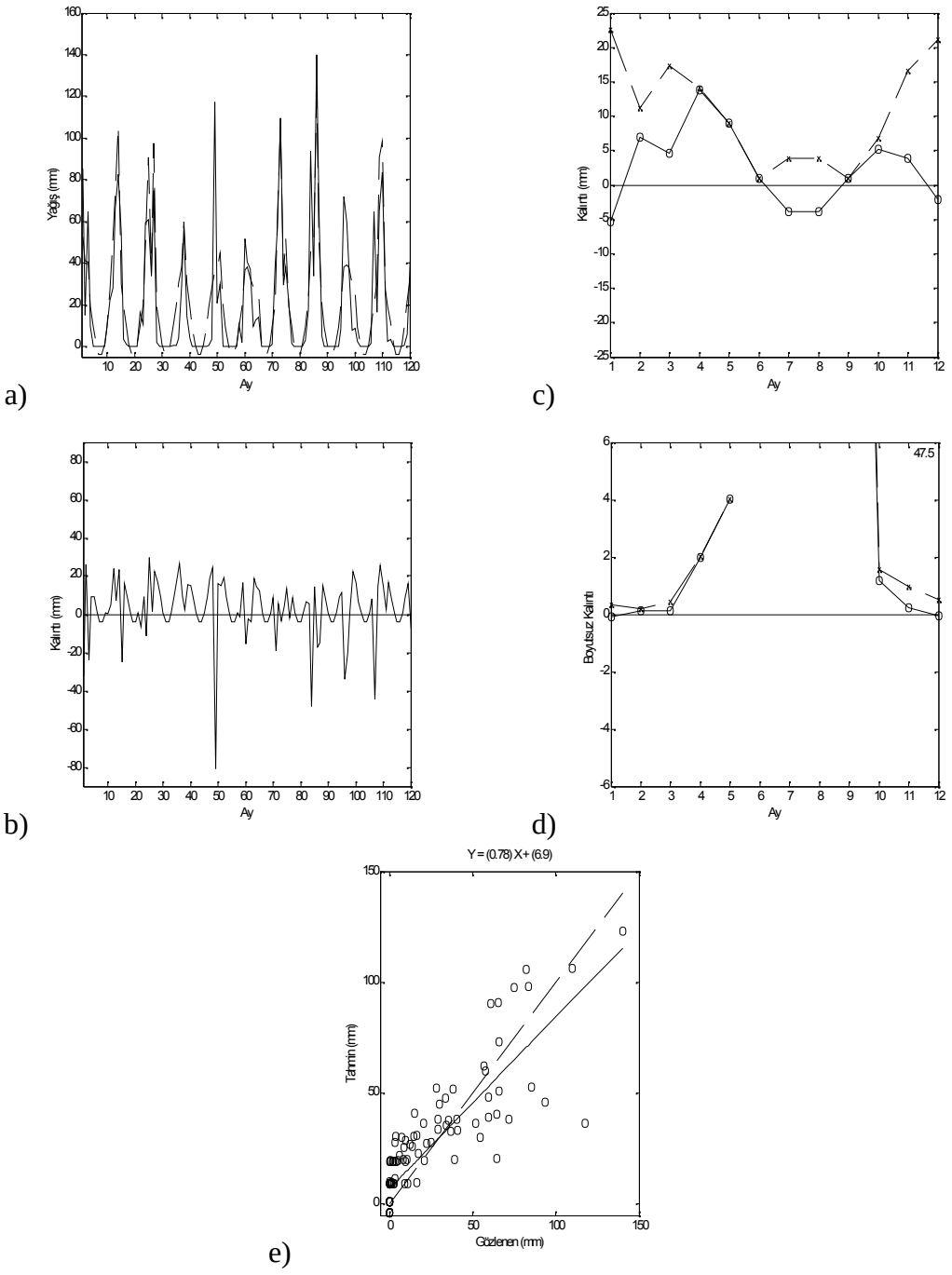
Şekil D.1: Amman İstasyonuna Ait skİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil D.2: Amman İstasyonuna Ait skRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil D.3: Amman İstasyonuna Ait skGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



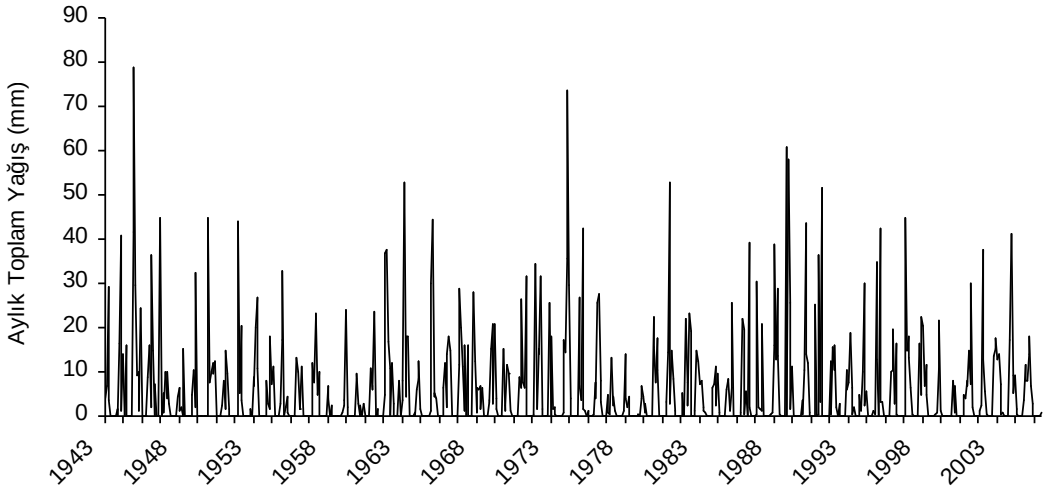
Şekil D.4: Amman İstasyonuna Ait skÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo D.1: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
skİBGY	202.7	0.79	0.86	6.1	132.7	0.4	0
skRT	301.3	0.66	0.66	8.2	128.6	7.4	0
skGR	304.1	0.66	0.74	5.9	122.3	2.8	0
skÇDR	243.3	0.73	0.78	6.9	122.8	-3.9	0

EK E

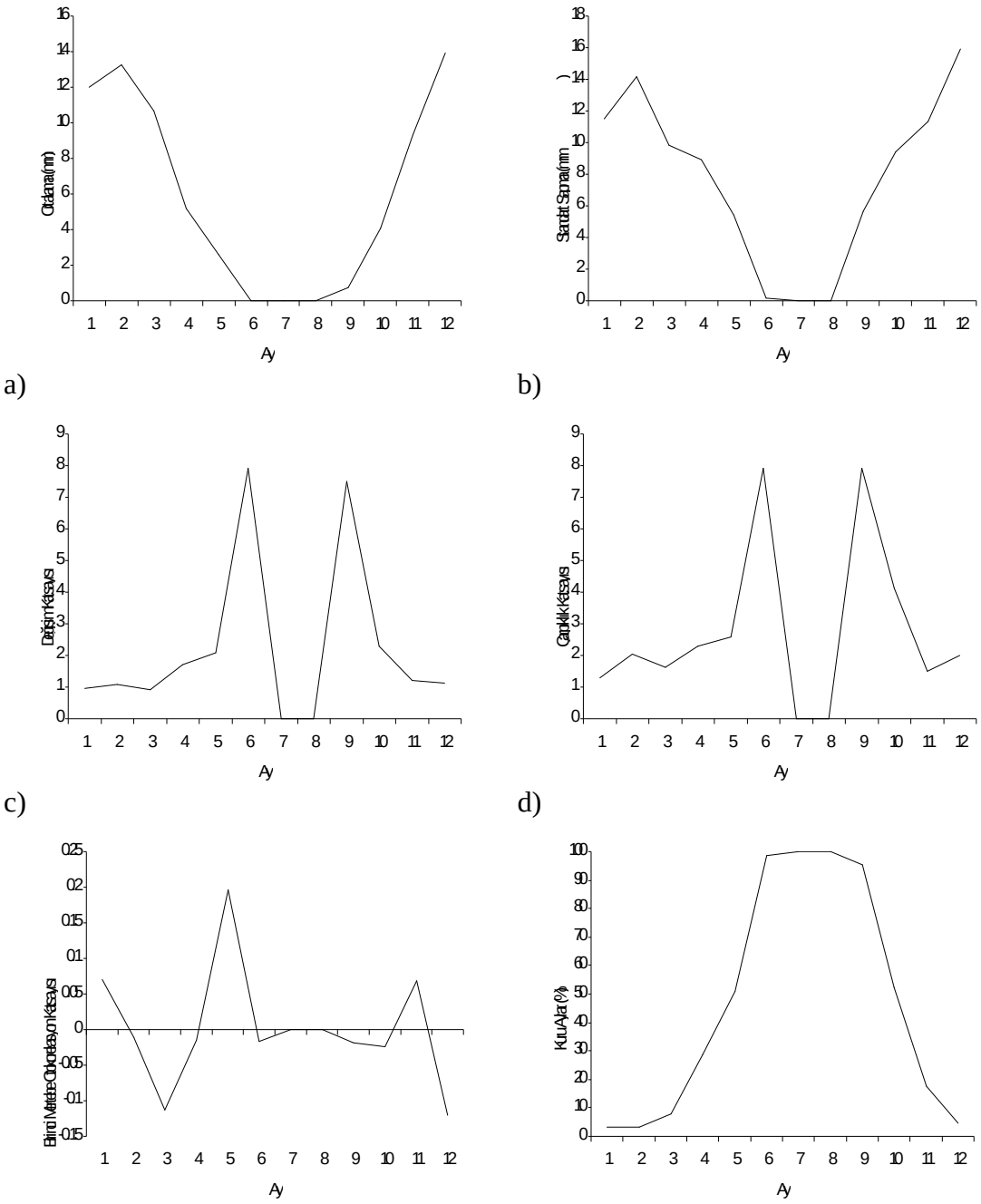
Safawi İstasyonuna Ait Sonuçlar



Şekil E.1: Safawi İstasyonu Aylık Toplam Yağışı

Tablo E.1: Safawi İstasyonu Yağış Serisinin İstatistikleri

Ortalama (mm)	Standart Sapma (mm)	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı	Kuru Ay (%)
6.0	10.7	1.80	2.73	0.25	47



Şekil E.2: Safawi İstasyonu Aylık Toplam Yağış İstatistikleri a) Ortalama, b) Standart Sapma, c) Değişim Katsayısı, d) Çarpıklık Katsayısı, e) Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı, f) Kuru Aylar

Tablo E.2: Safawi İstasyonu Aylık Toplam Yağış Verilerinin İstatistikleri

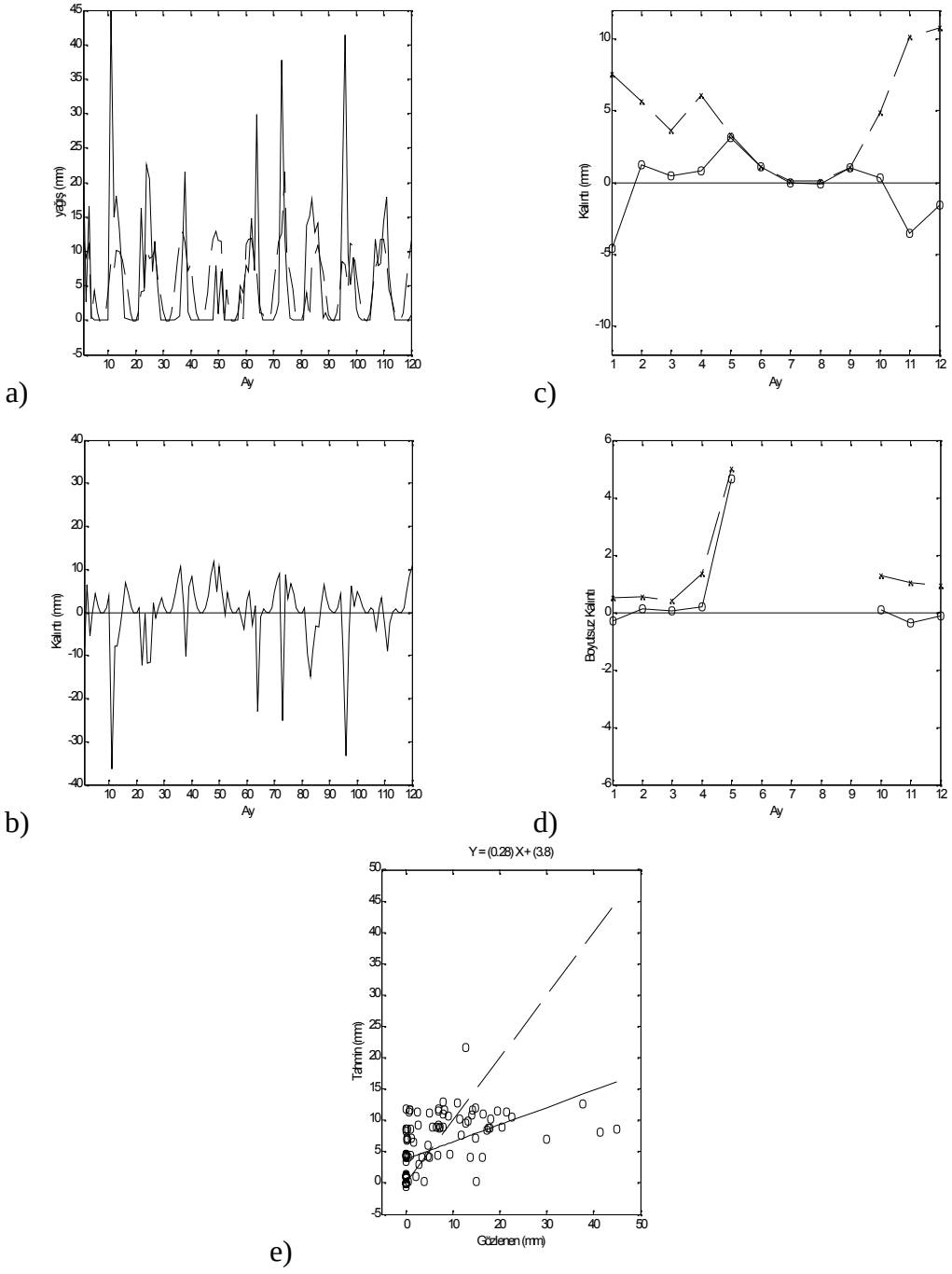
Veri	Ortalama (mm)	Standart Sapma (mm)	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Eğitme	6.1	11.0	1.80	2.74	0.24	0.0	79.0
Test	5.4	8.8	1.63	2.24	0.36	0.0	45.0

Tablo E.3: Safawi İstasyonunun Homojenlik ve Trend Analizi

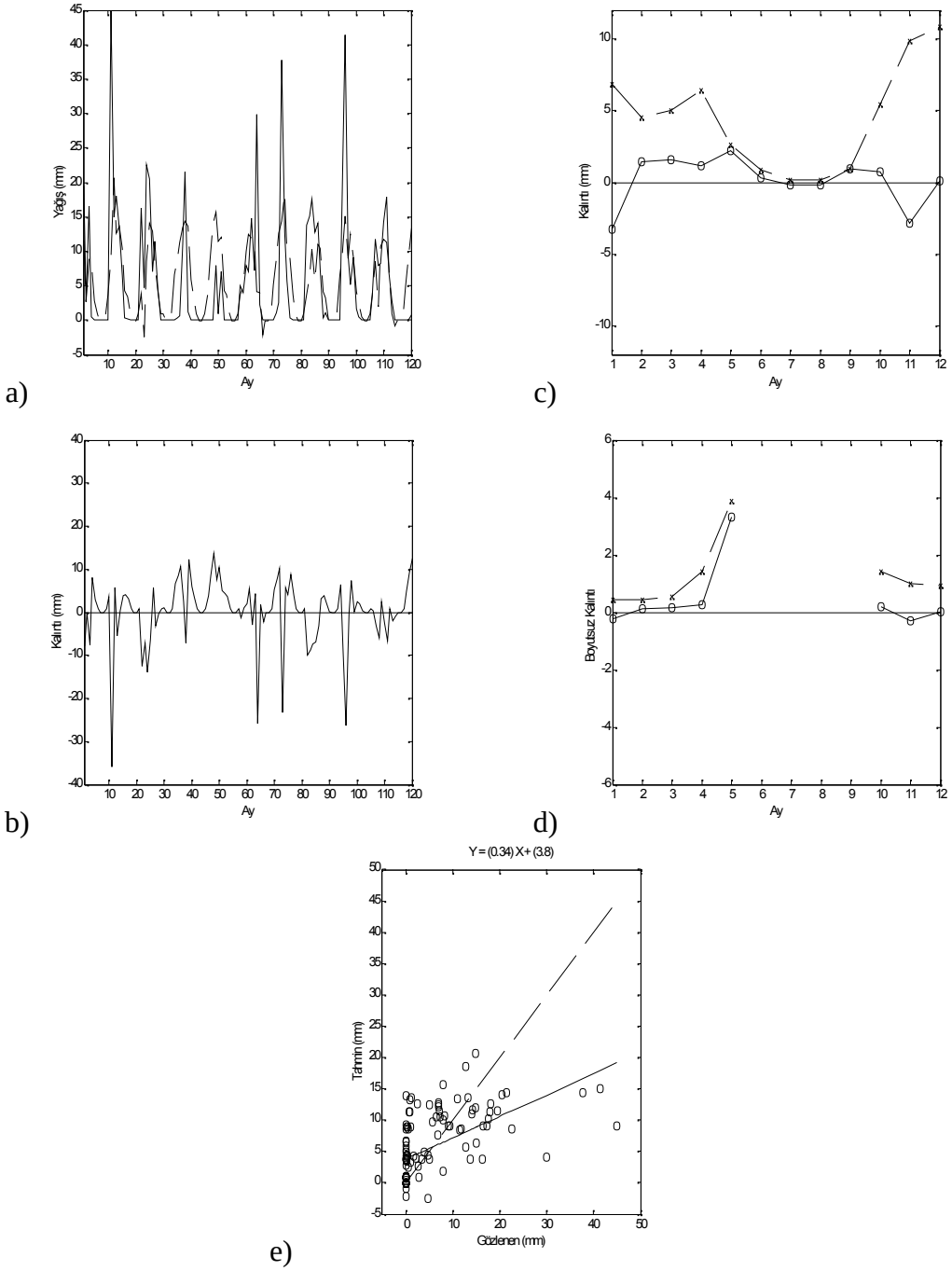
Homojenlik testleri						Trend testleri			
Von-Neuman		Pettitt		Alexanderson		*t*		Spearman	
N_v	N_k	N_E	N_k	T_0	N_k	*t*	N_k	*t*	N_k
2.195	1.618	152	356.1	5.573	8.695	-0.156	1.999	-0.100	1.999

Tablo E.4: Model Seçimi

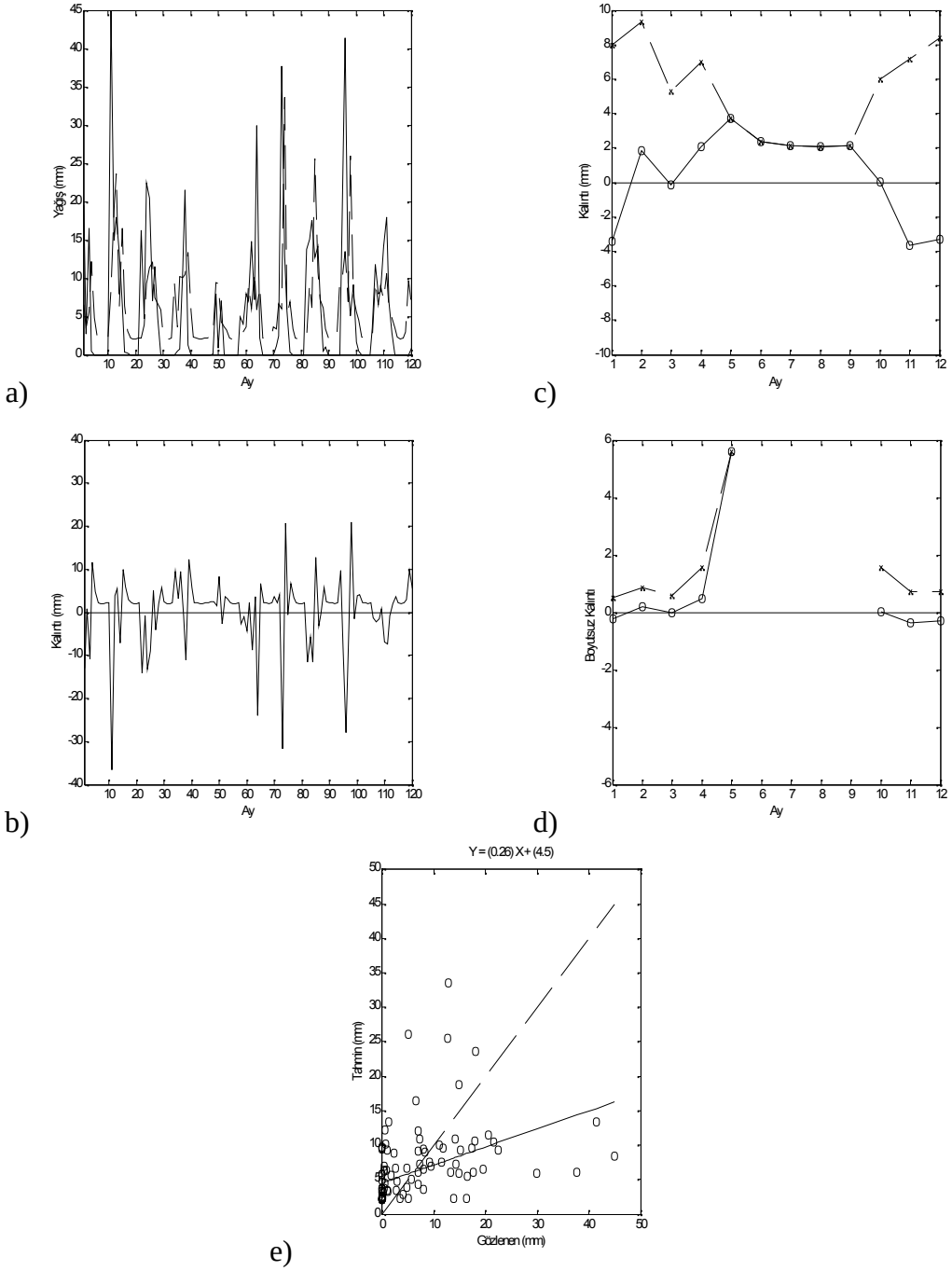
Model No	Girdi	Hücre sayısı	*OKH* (mm^2)	R^2
1	X_{t-1}	1	112.5	0.07
2	X_{t-1}	2	112.9	0.07
3	X_{t-1},P_t	2	94.7	0.22
4	X_{t-1},P_t	3	95.2	0.22
5	X_{t-1},P_t	4	93.4	0.23
6	X_{t-1},X_{t-12}	2	99.3	0.18
7	X_{t-1},X_{t-12}	3	99.6	0.18
8	X_{t-1},X_{t-12}	4	100.0	0.18
9	X_{t-1},X_{t-12},P_t	3	90.7	0.25
10	X_{t-1},X_{t-12},P_t	4	93.2	0.23
11	X_{t-1},X_{t-12},P_t	5	87.4	0.28
12	X_{t-1},X_{t-12},P_t	6	87.4	0.28
13	X_{t-1},X_{t-2}	2	111.9	0.08
14	X_{t-1},X_{t-2}	3	106.6	0.13
15	X_{t-1},X_{t-2}	4	106.4	0.12
16	X_{t-1},X_{t-2},P_t	3	90.5	0.26
17	X_{t-1},X_{t-2},P_t	4	90.1	0.26
18	X_{t-1},X_{t-2},P_t	5	88.8	0.27
19	X_{t-1},X_{t-2},P_t	6	88.9	0.27
20	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	3	100.4	0.17
21	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	4	96.1	0.21
22	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	5	89.6	0.27
23	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	6	93.2	0.23
24	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	4	89.1	0.27
25	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	5	70.0	0.42
26	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	6	80.8	0.34
27	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	7	86.9	0.28
28	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	8	78.4	0.36



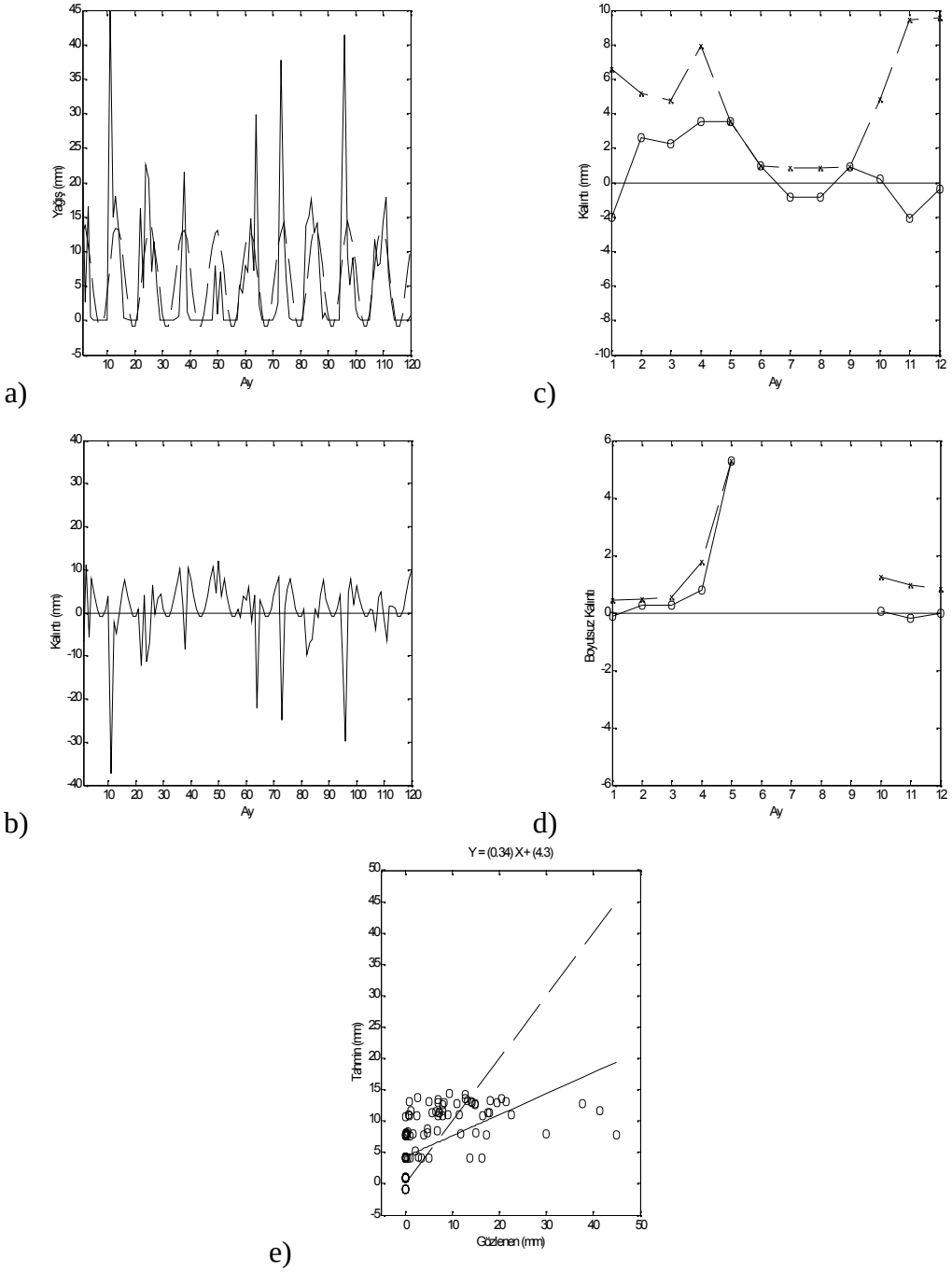
Şekil E.3: Safawi İstasyonuna Ait İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.4: Safawi İstasyonuna Ait RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.5: Safawi İstasyonuna Ait GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



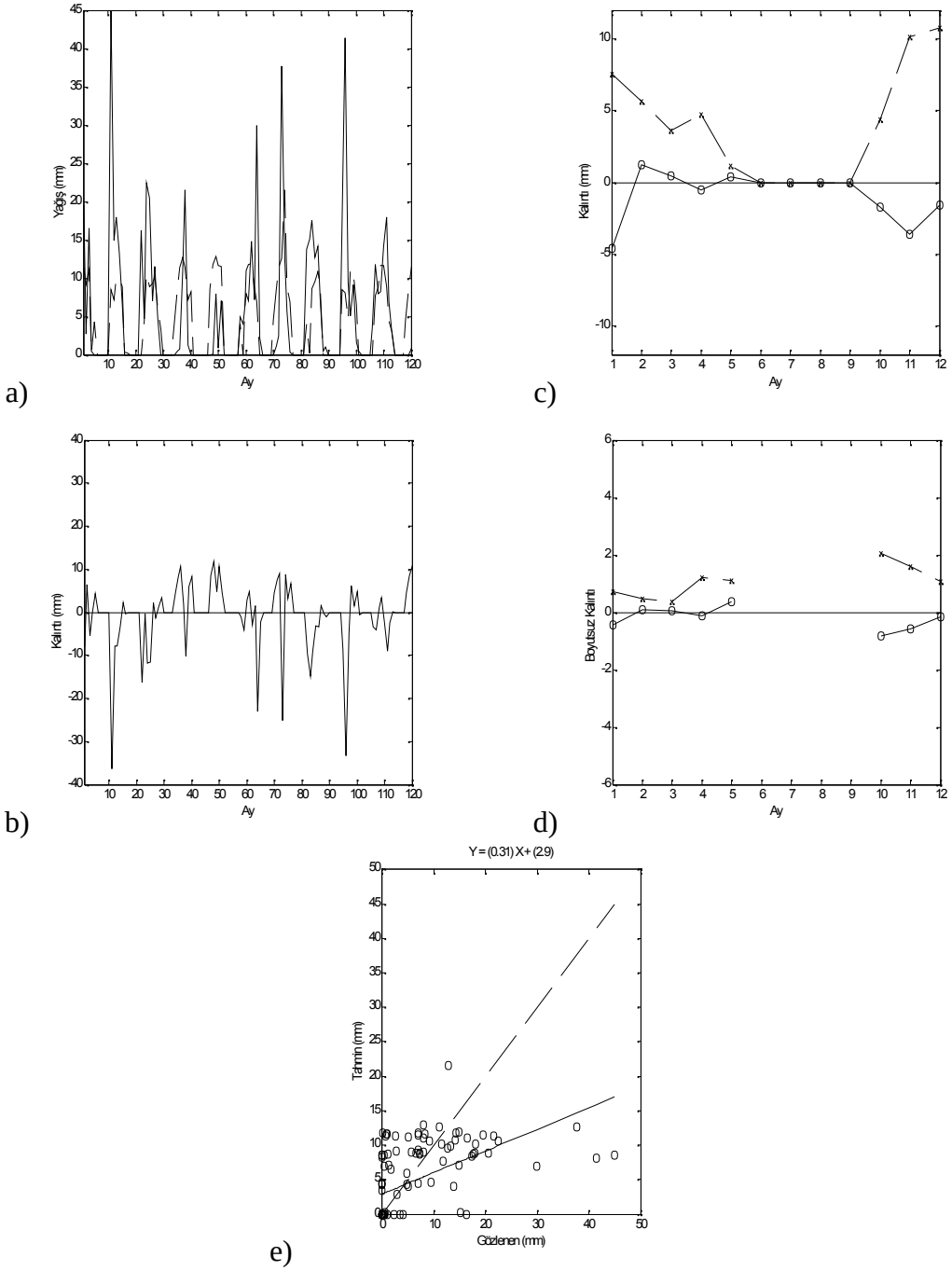
Şekil E.6: Safawi İstasyonuna Ait ÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.5: Modellerin Performans Kriterleri

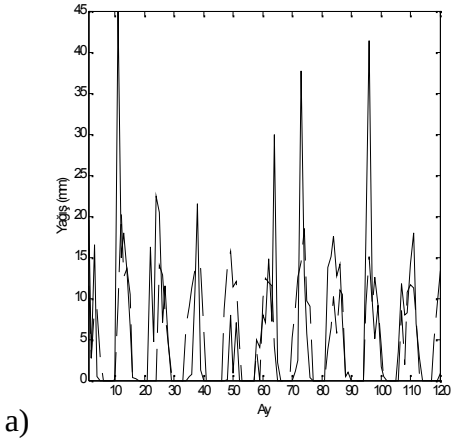
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
İBGY	55.3	0.28	0.28	3.8	21.6	-0.6	0.0
RT	52.2	0.32	0.34	3.8	20.6	-2.4	0.0
GR	65.2	0.18	0.26	4.5	33.6	2.1	0.0
ÇDR	52.2	0.32	0.34	4.3	14.3	-0.9	0.0

Tablo E.6: Safawi İstasyonuna Ait 2 Durumlu Markov Zinciri Geçiş Olasılıkları

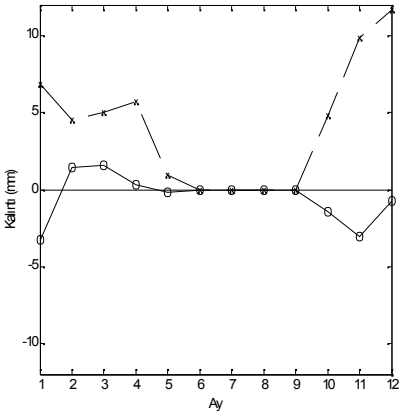
AY	P11	P10	P00	P01
Ocak	0.960	0.040	0.000	1.000
Şubat	0.961	0.039	0.000	1.000
Mart	0.902	0.098	0.000	1.000
Nisan	0.688	0.313	0.200	0.800
Mayıs	0.595	0.405	0.750	0.250
Haziran	0.000	1.000	0.963	0.037
Temmuz	0.000	1.000	1.000	0.000
Ağustos	-	-	1.000	0.000
Eylül	-	-	0.943	0.057
Ekim	0.667	0.333	0.540	0.460
Kasım	0.840	0.160	0.179	0.821
Aralık	0.932	0.068	0.000	1.000



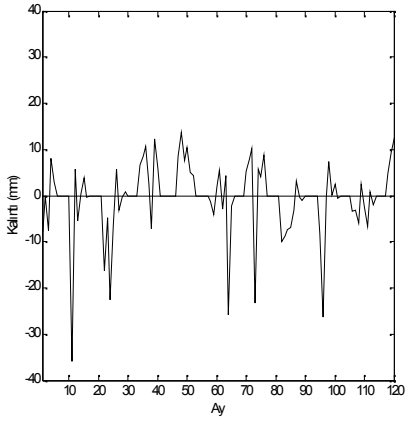
Şekil E.7: Safawi İstasyonuna Ait MC-İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



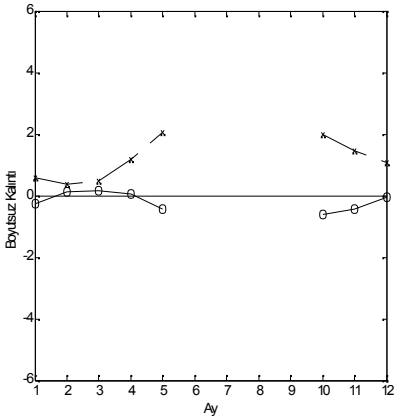
a)



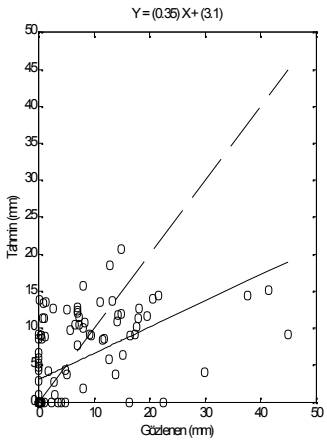
c)



b)

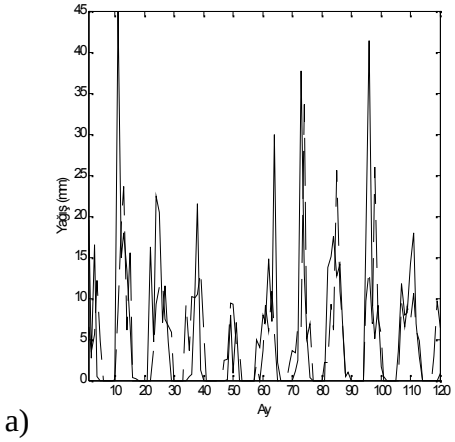


d)

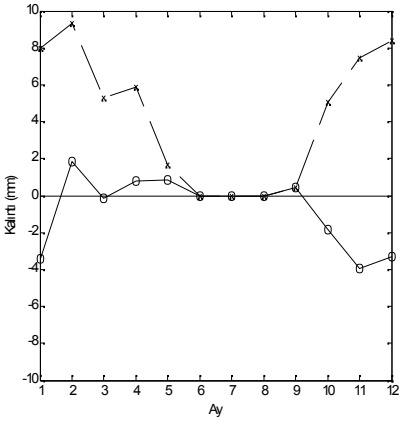


e)

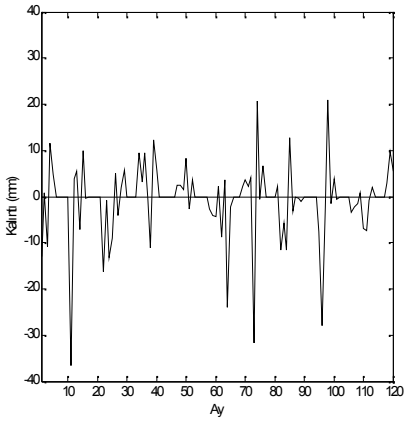
Şekil E.8: Safawi İstasyonuna Ait MC-RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



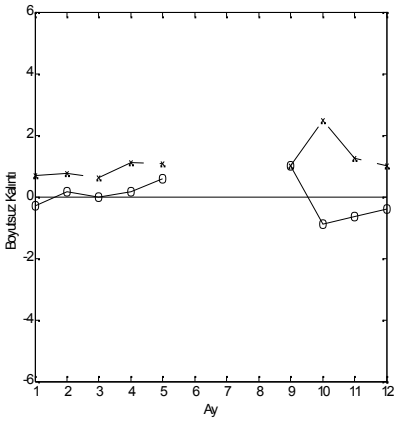
a)



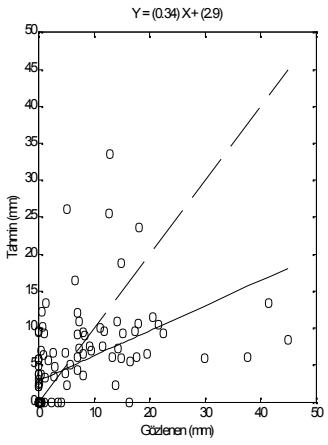
c)



b)

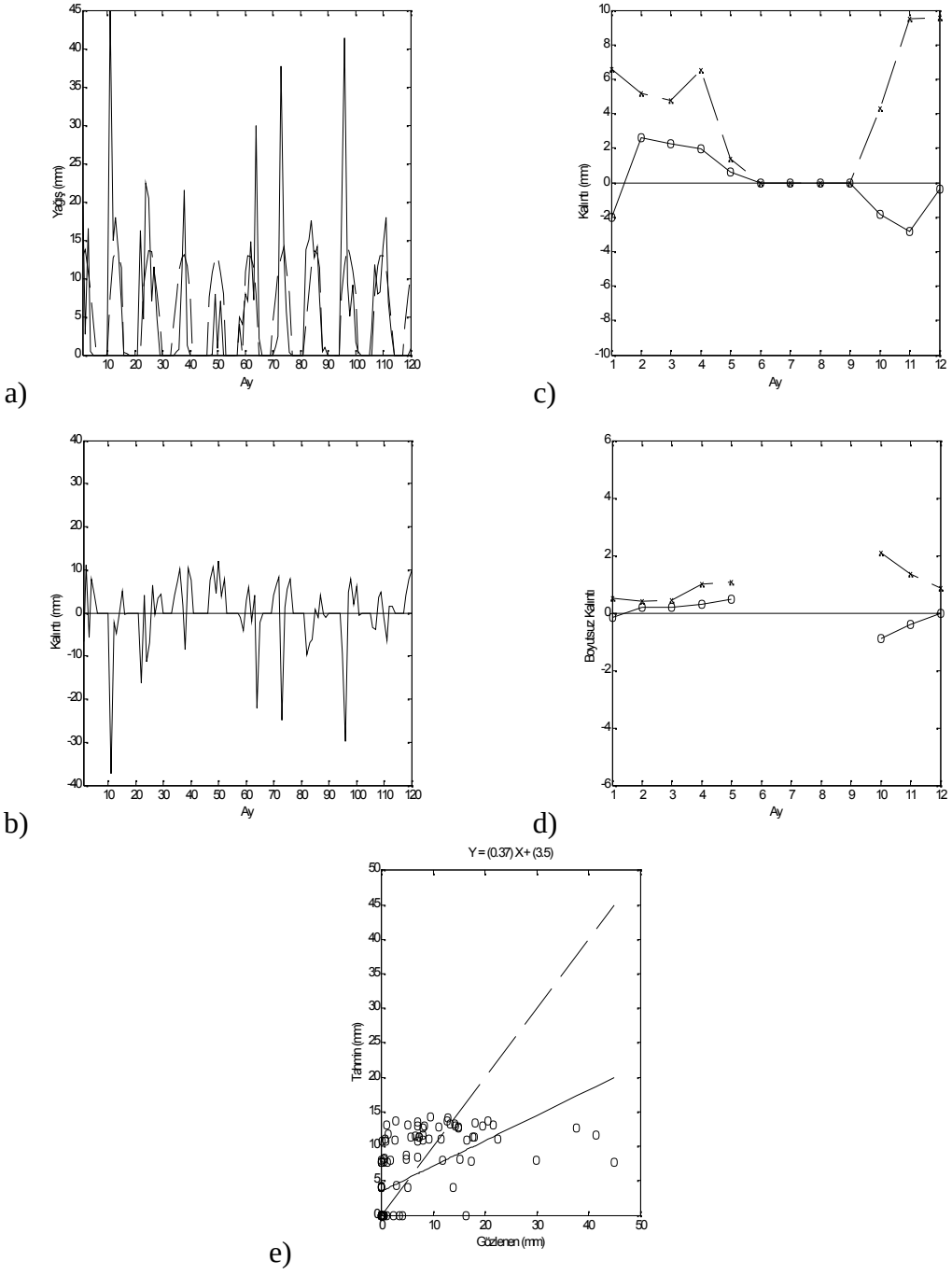


d)



e)

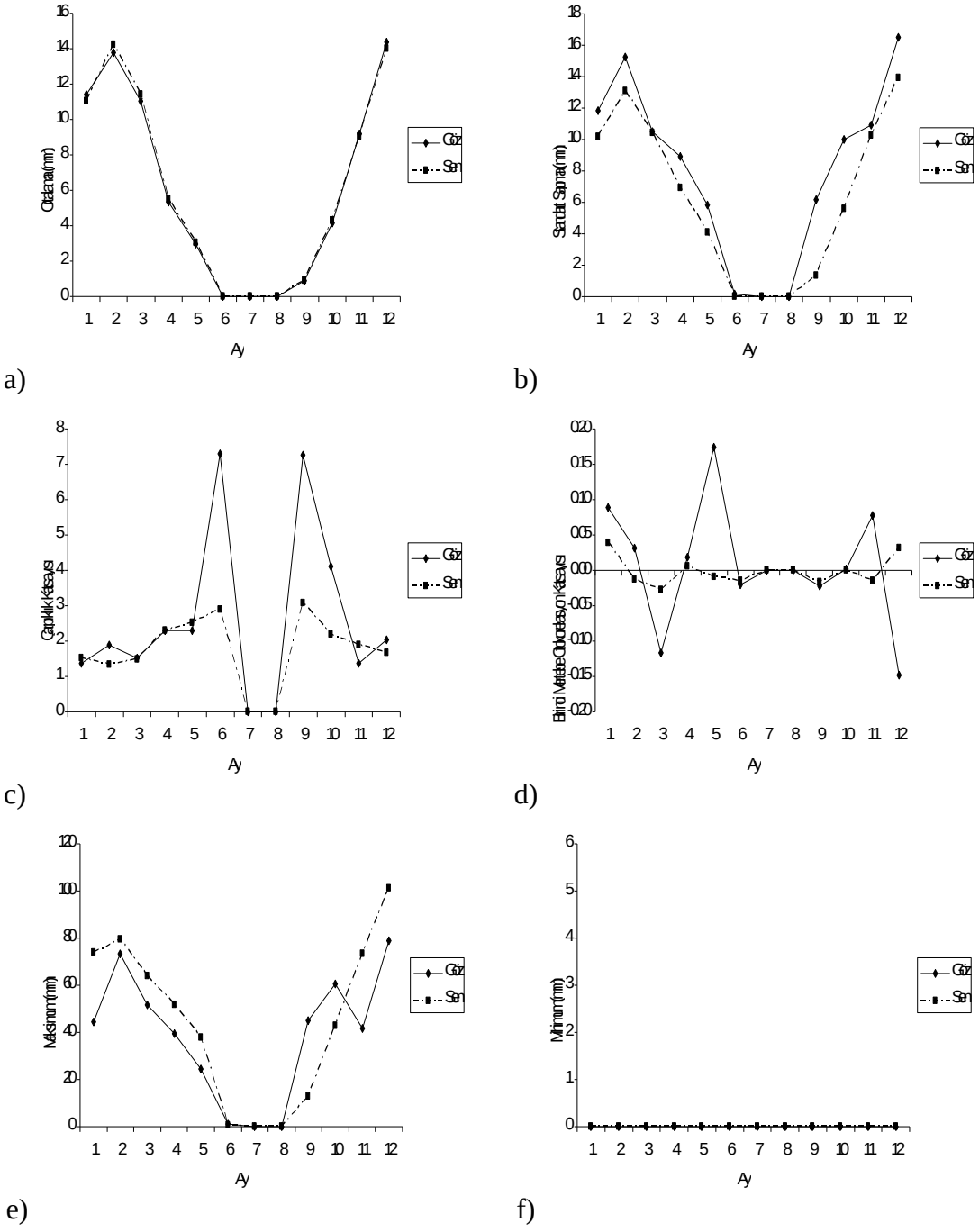
Şekil E.9: Safawi İstasyonuna Ait MC-GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



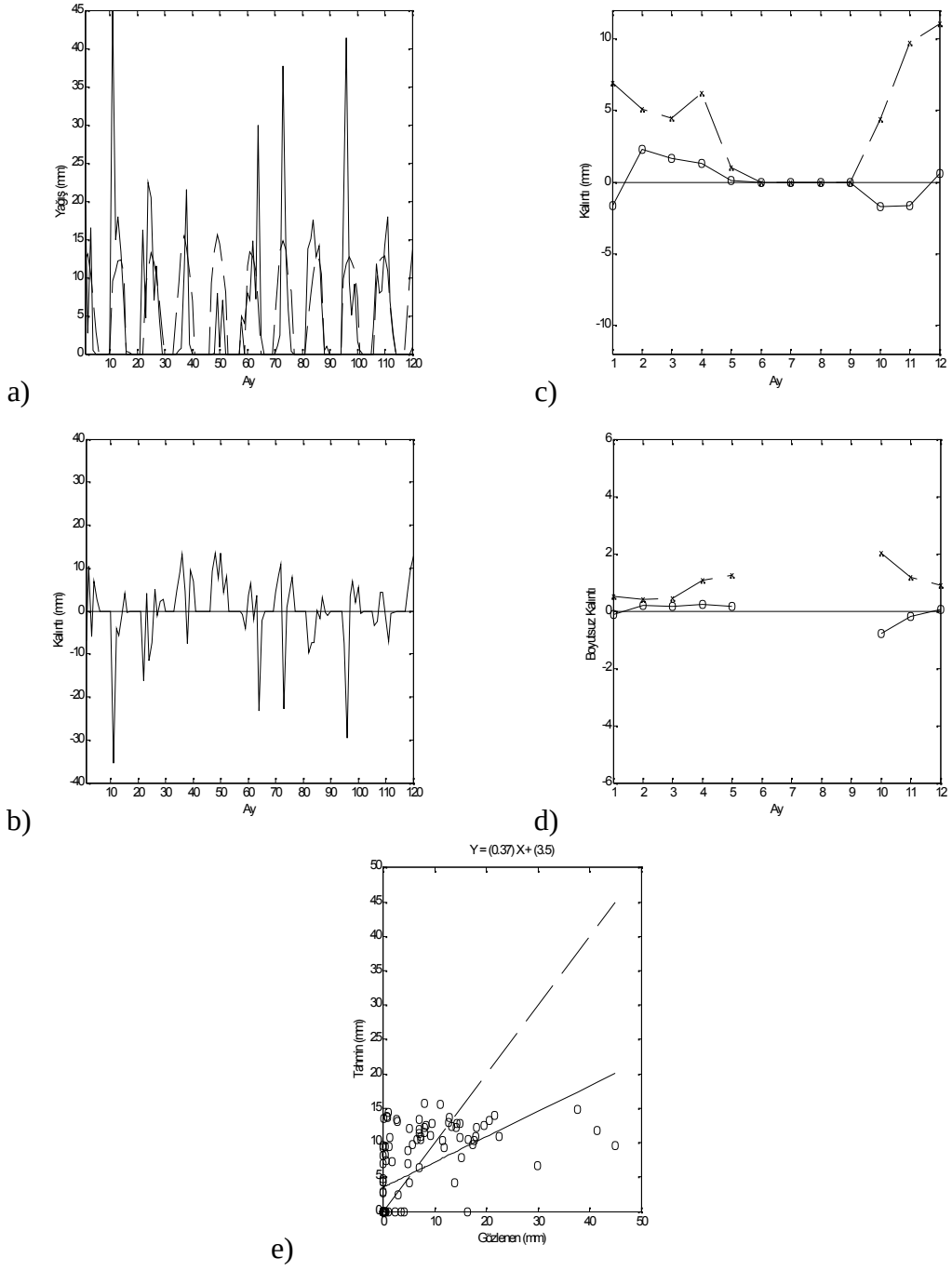
Şekil E.10: Safawi İstasyonuna Ait MC-ÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.7: Markov Zincirleri ile Birleştirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

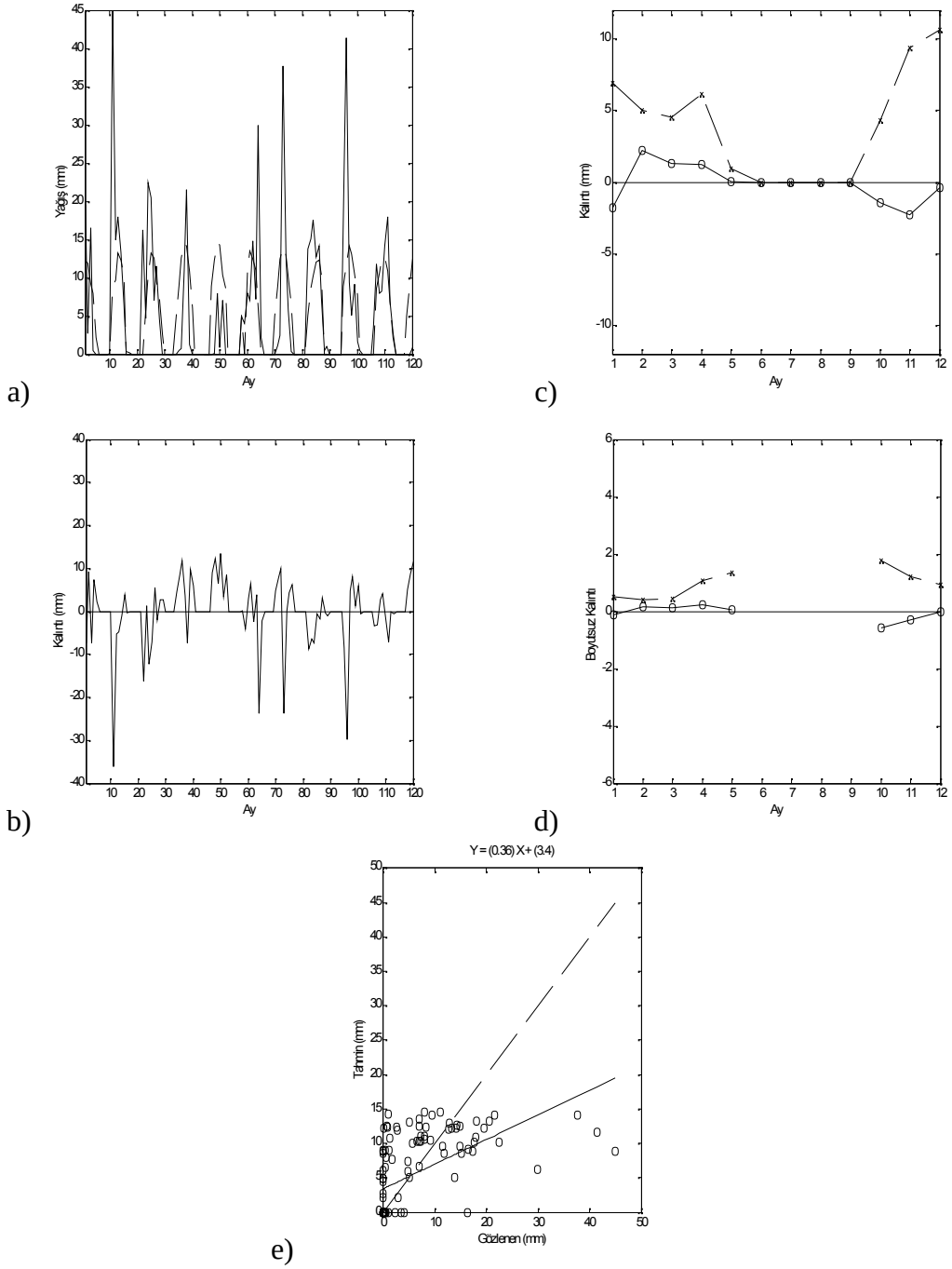
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
MC-İBGY	54.3	0.30	0.31	2.9	21.6	0.0	47
MC-RT	54.2	0.30	0.35	3.1	20.6	0.0	46
MC-GR	62.3	0.24	0.34	2.9	33.6	0.0	44
MC-ÇDR	50.9	0.34	0.37	3.5	14.3	0.0	46



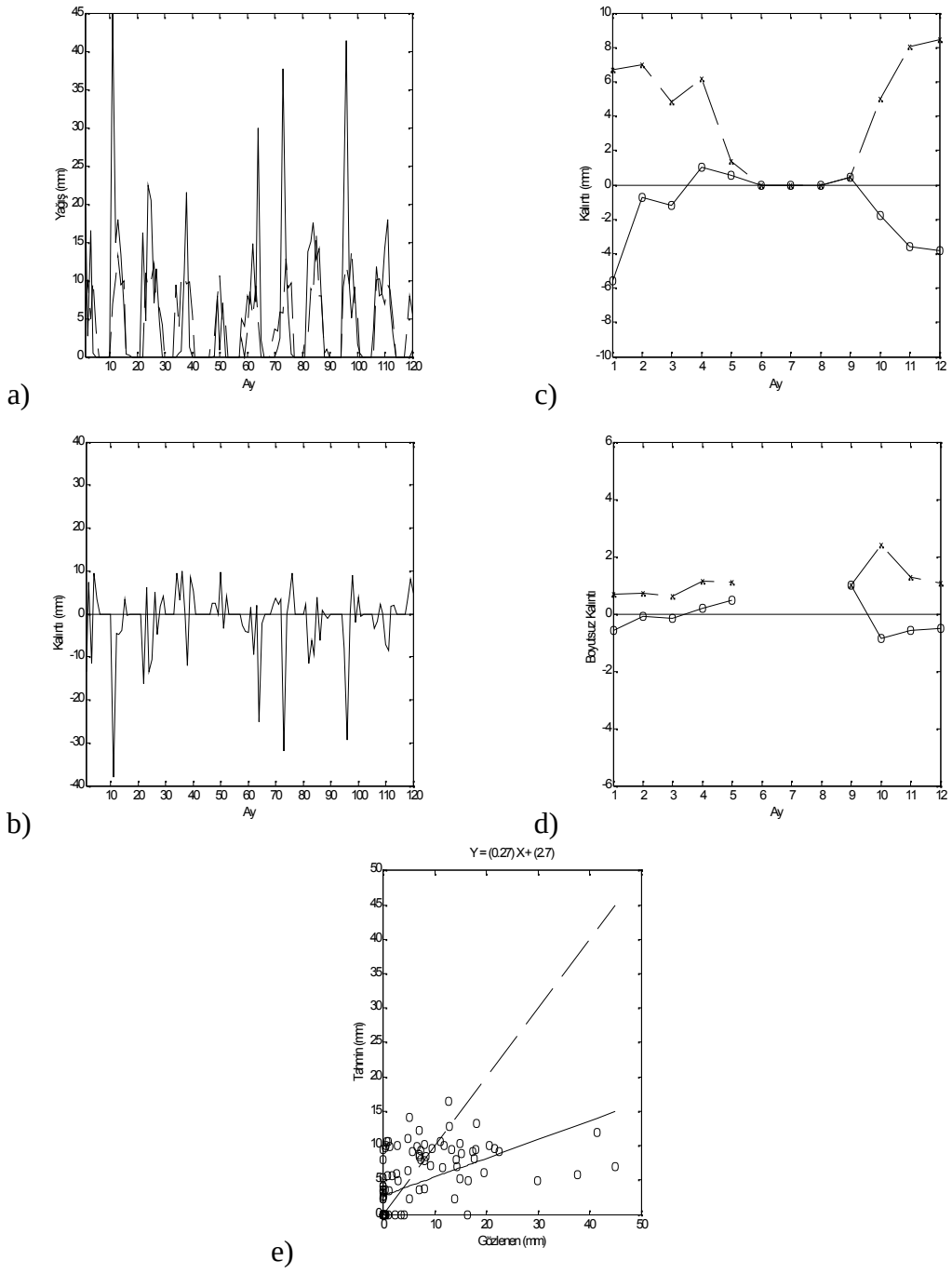
Şekil E.11: Safawi İstasyonuna Ait Gözlenmiş ve T-F ile Türetilmiş Aylık Toplam Yağış İstatistikleri a)Ortalama, b)Standart Sapma, c)Çarpıklık Katsayısı, d)Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı, e)Maksimum, F)Minimum



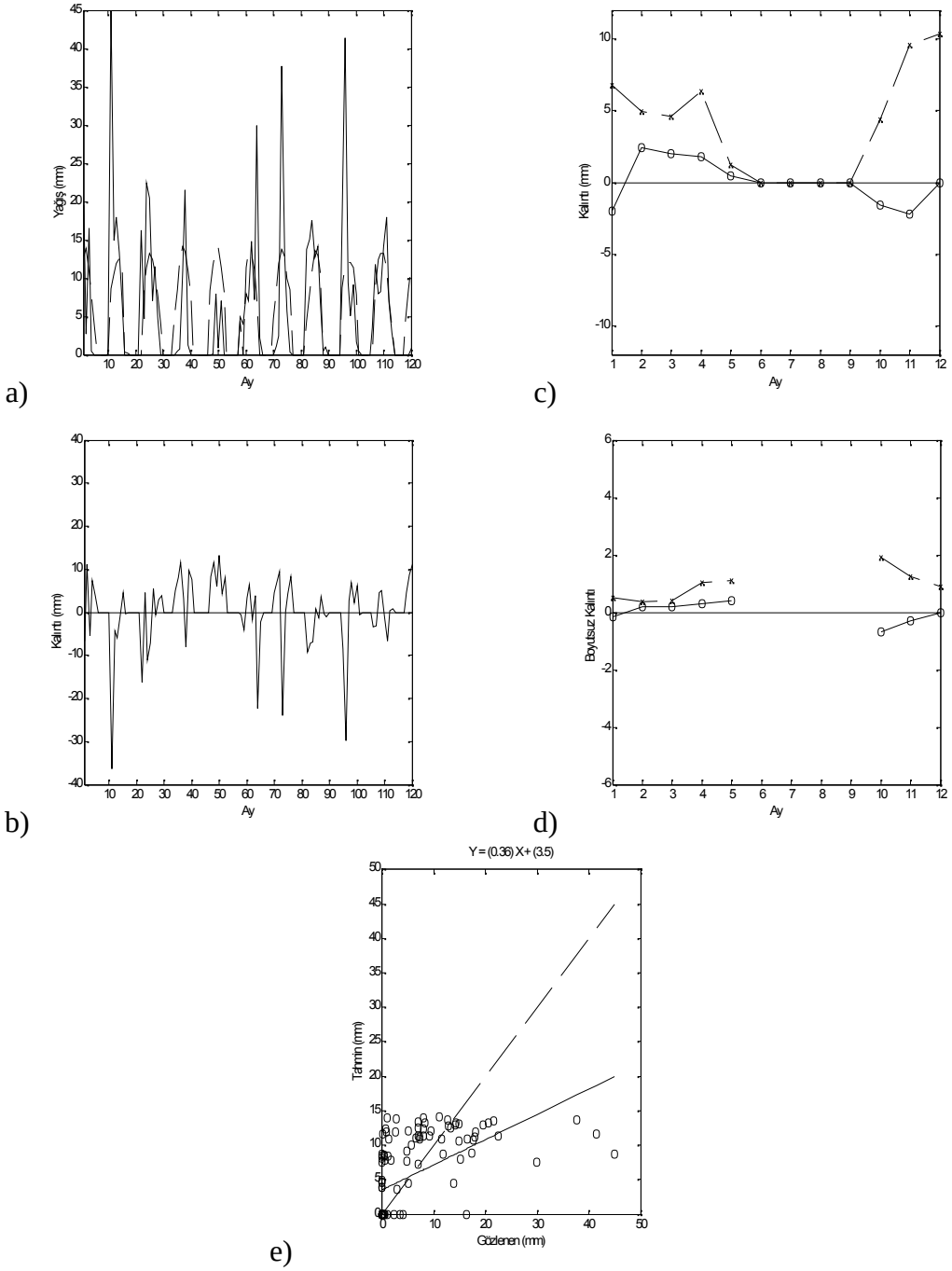
Şekil E.12: Safawi İstasyonuna Ait sMC-İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.13: Safawi İstasyonuna Ait sMC-RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



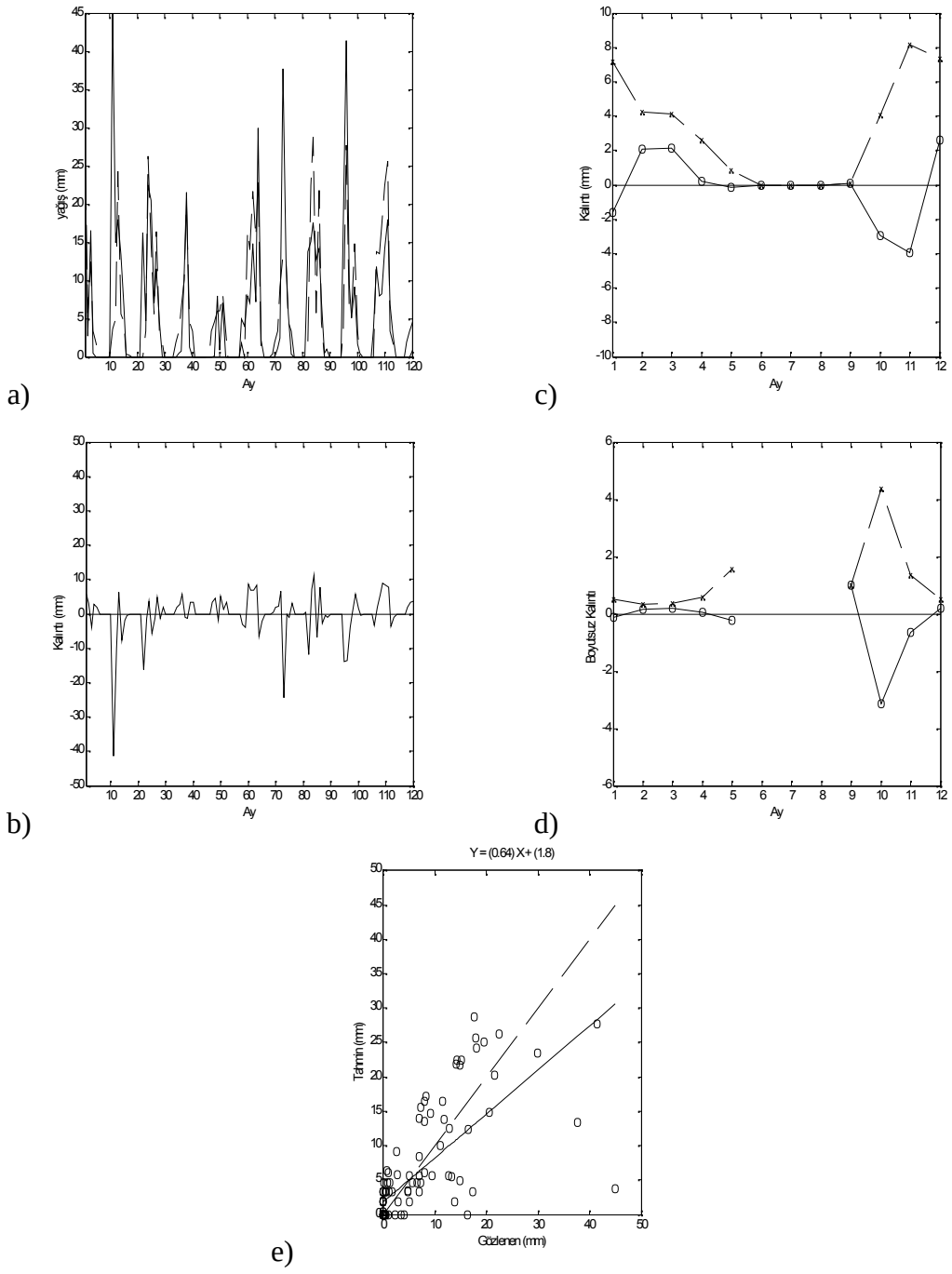
Şekil E.14: Safawi İstasyonuna Ait sMC-GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



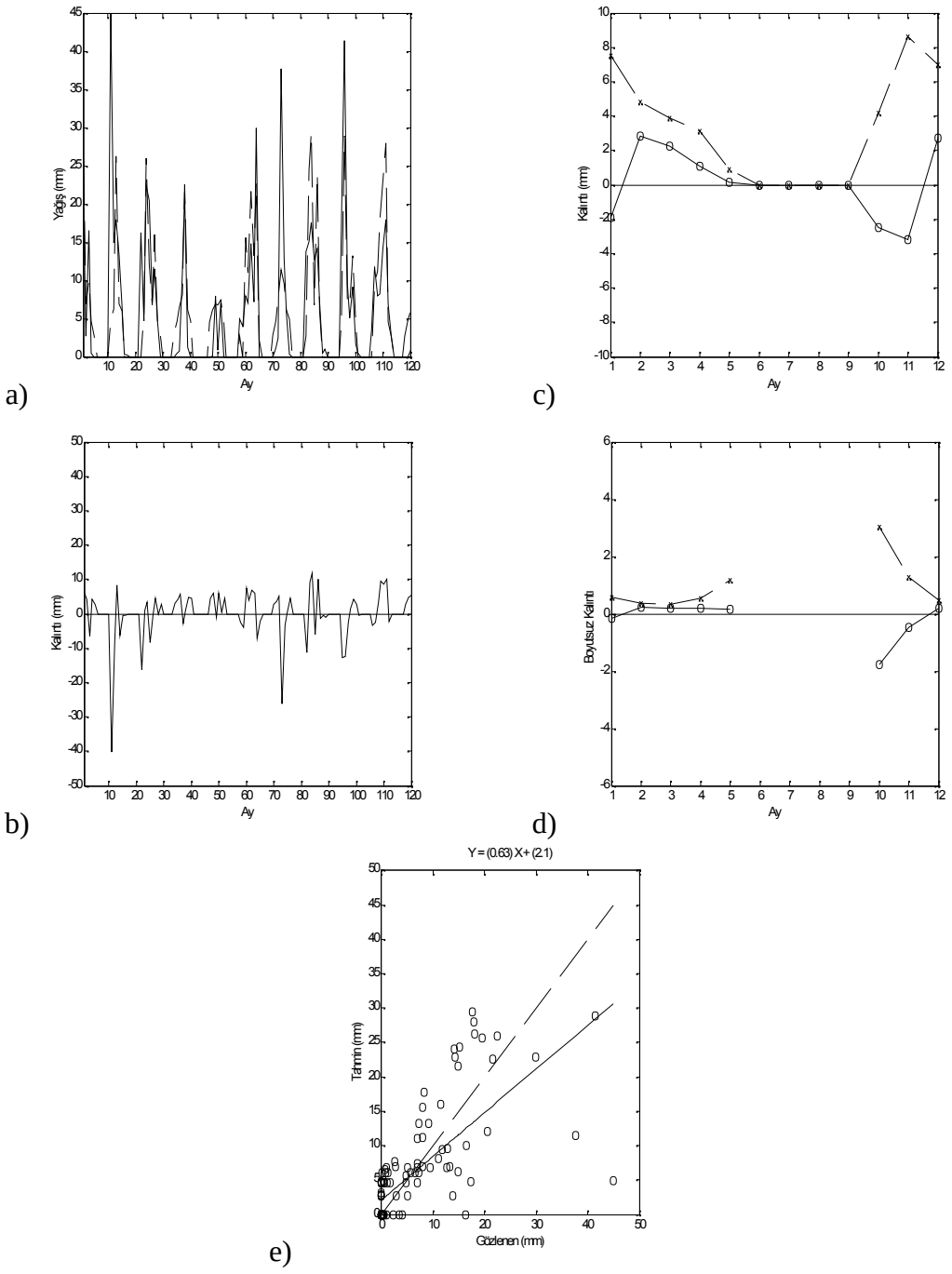
Şekil E.15: Safawi İstasyonuna Ait sMC-ÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.8: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

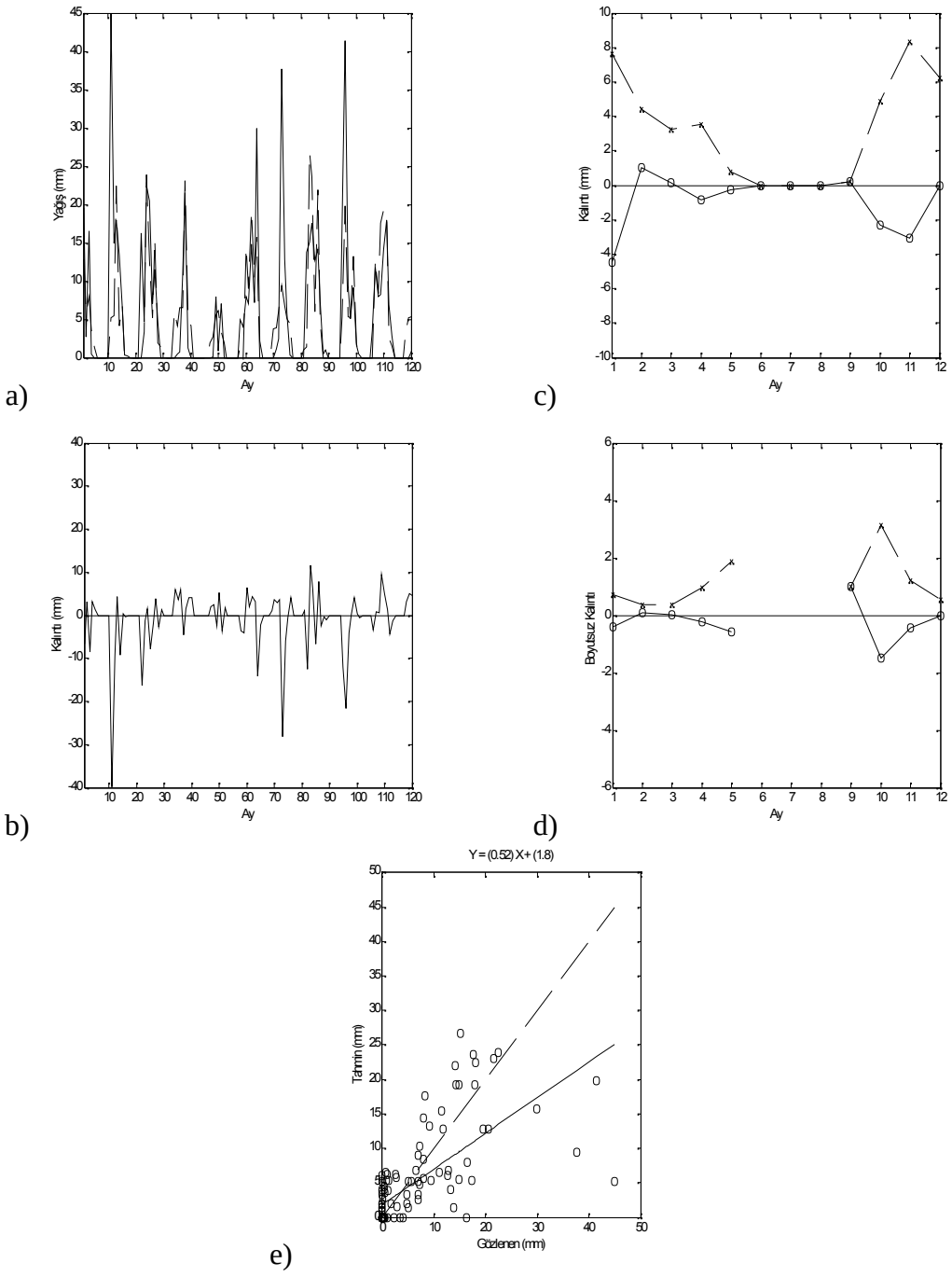
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sMC-İBGY	51.9	0.33	0.37	3.5	16.6	0.0	46
sMC-RT	51.4	0.33	0.36	3.4	14.6	0.0	46
sMC-GR	56.4	0.28	0.27	2.7	16.5	0.0	44
sMC-ÇDR	51.2	0.33	0.36	3.5	14.2	0.0	46



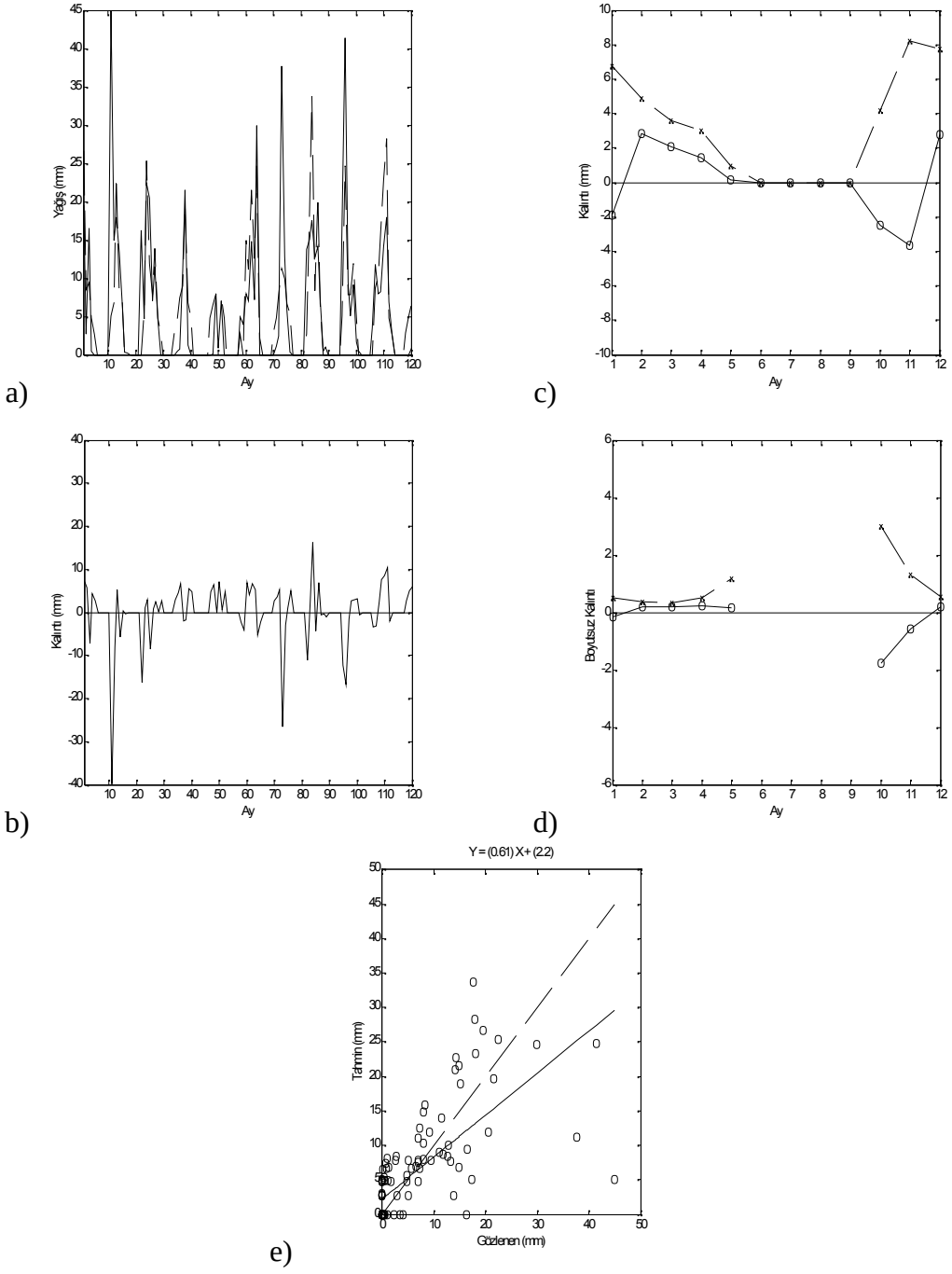
Şekil E.16: Safawi İstasyonuna Ait sMC-kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.17: Safawi İstasyonuna Ait sMC-kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



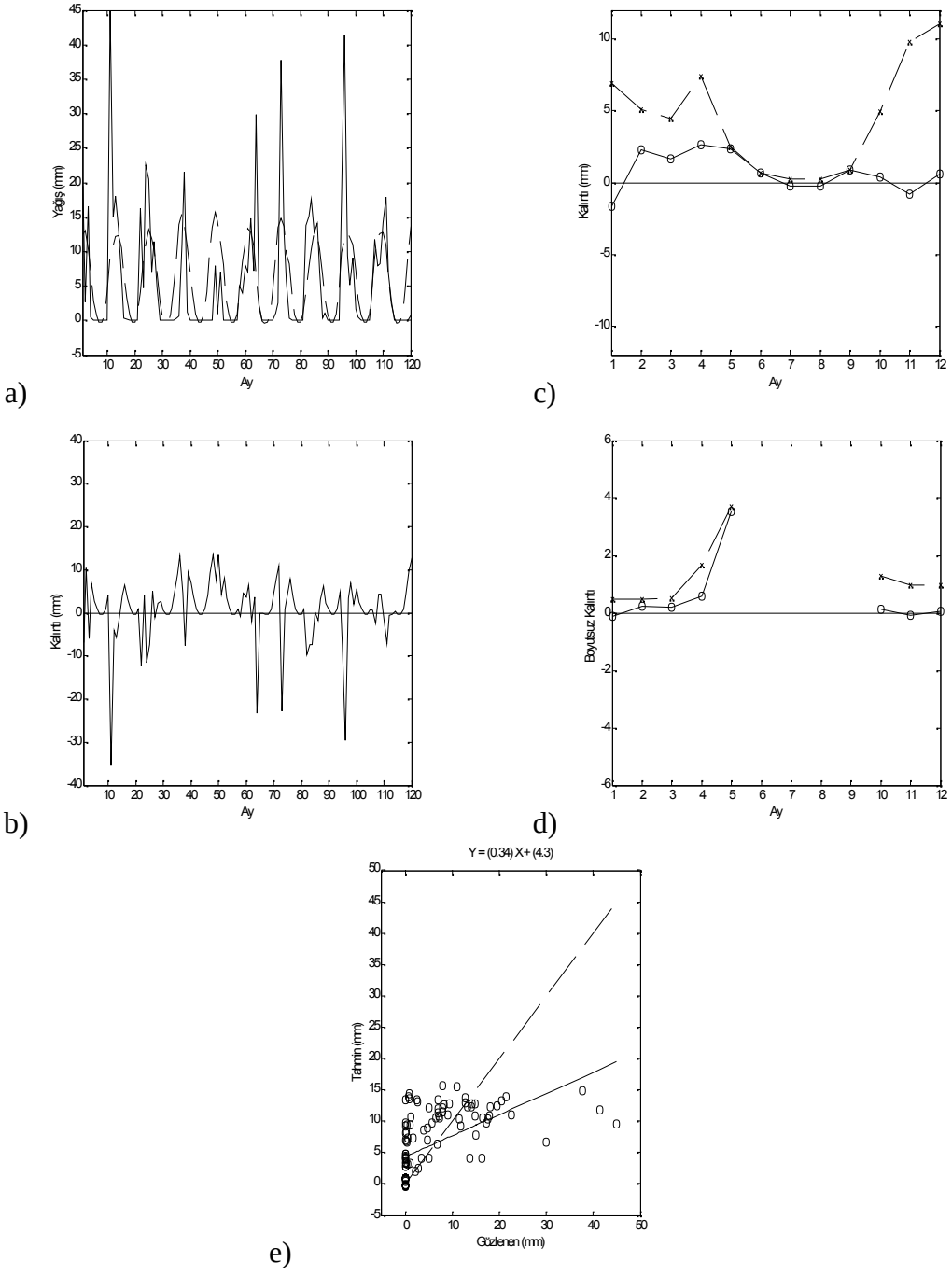
Şekil E.18: Safawi İstasyonuna Ait sMC-kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



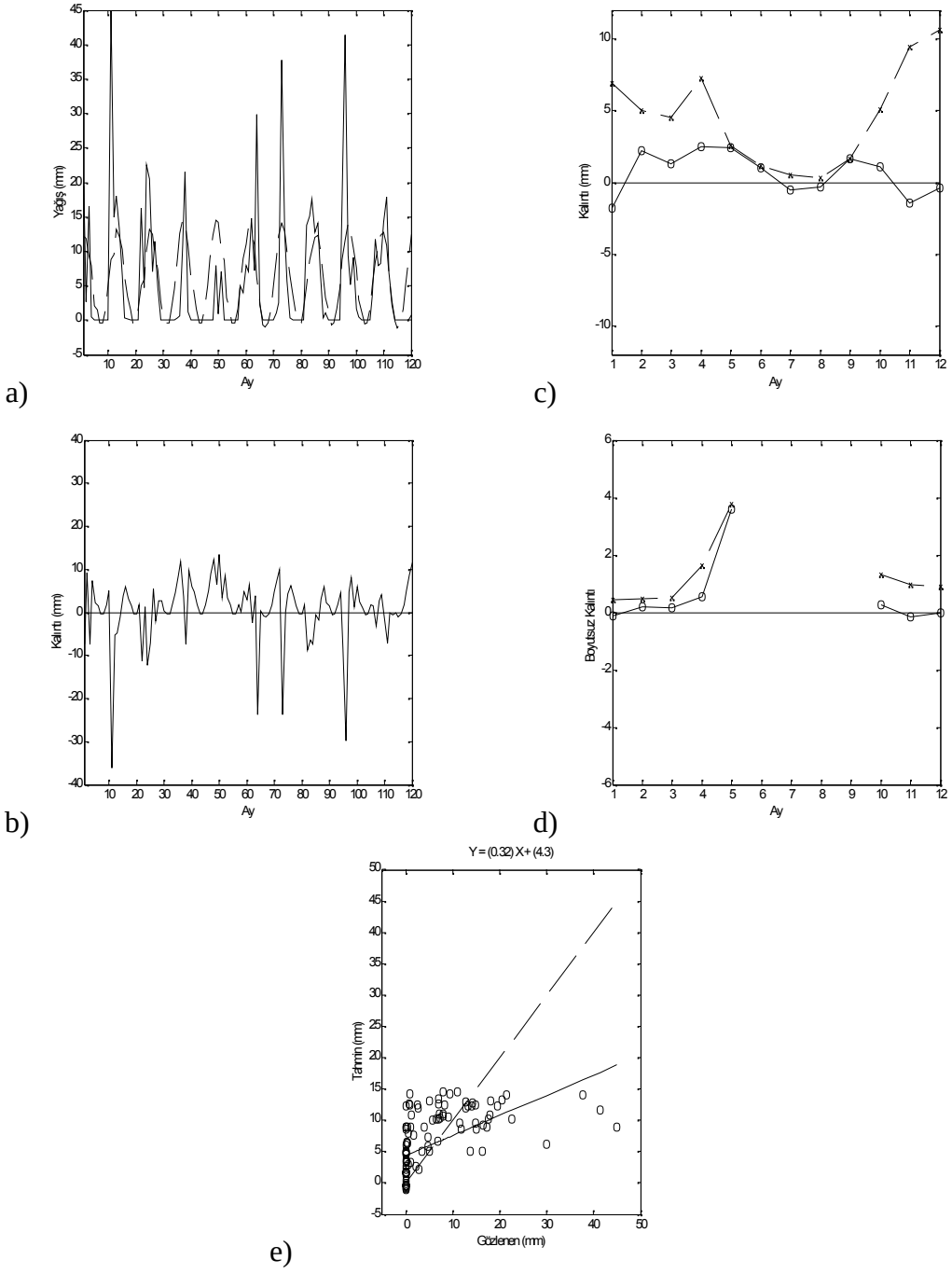
Şekil E.19: Safawi İstasyonuna Ait sMC-kÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.9: Seçilen Modellerin Performans Kriterleri

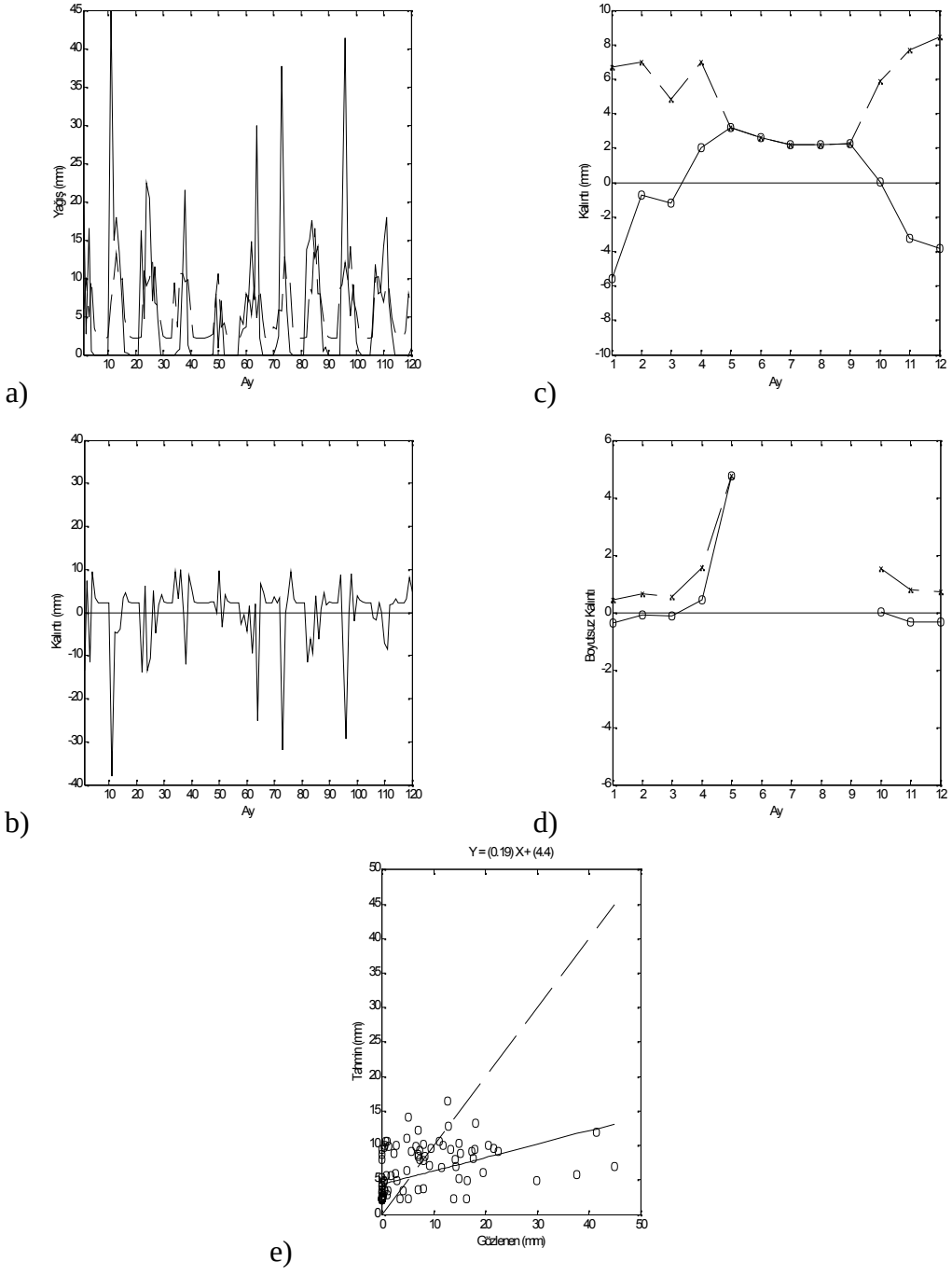
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sMC-kİBGY	38.3	0.52	0.64	1.8	28.7	0.0	44
sMC-kRT	39.4	0.51	0.63	2.1	29.4	0.0	46
sMC-kGR	41.4	0.47	0.52	1.8	26.7	0.0	44
sMC-kÇDR	39.7	0.50	0.61	2.2	33.7	0.0	46



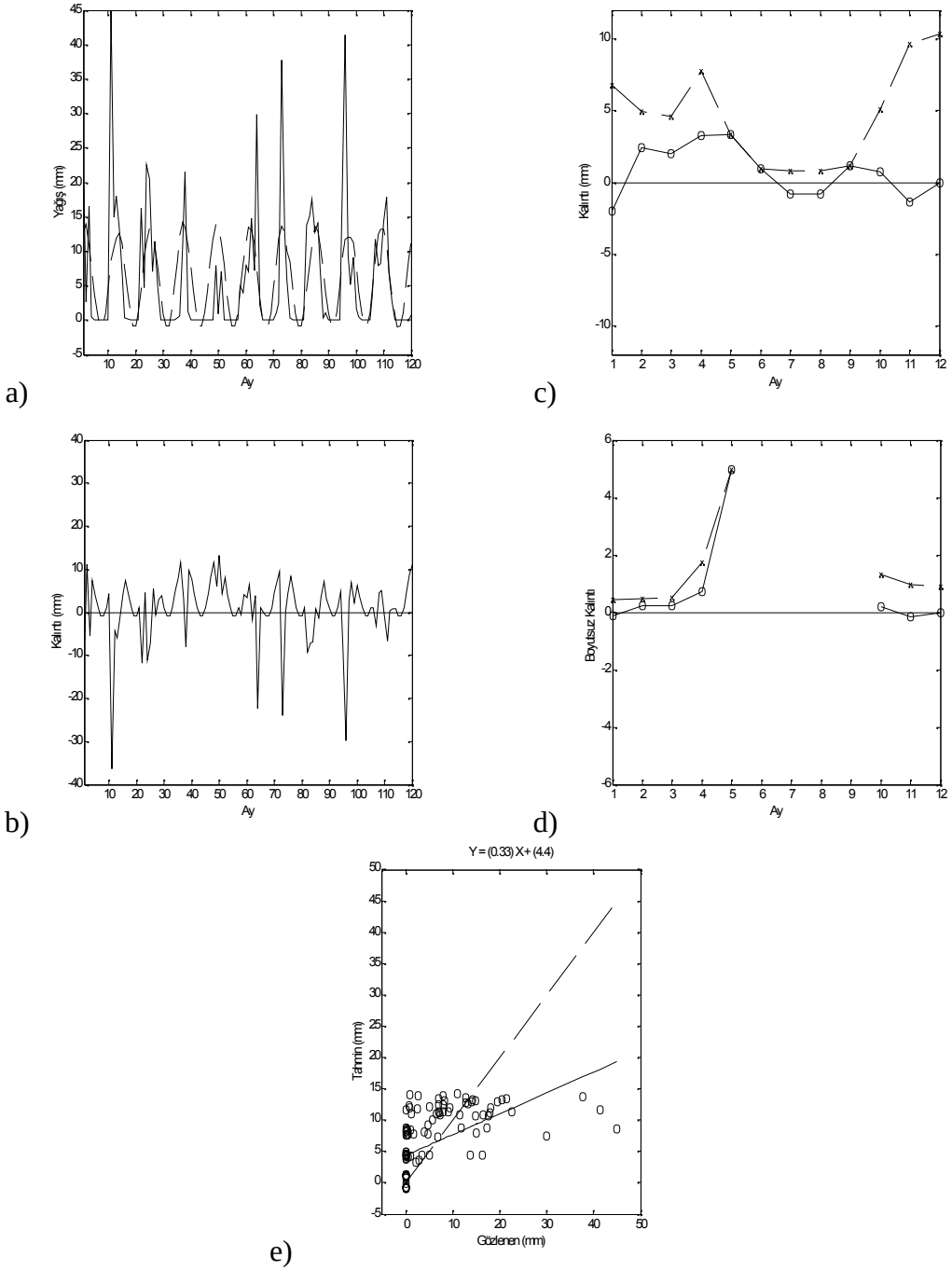
Şekil E.20: Safawi İstasyonuna Ait sİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.21: Safawi İstasyonuna Ait sRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



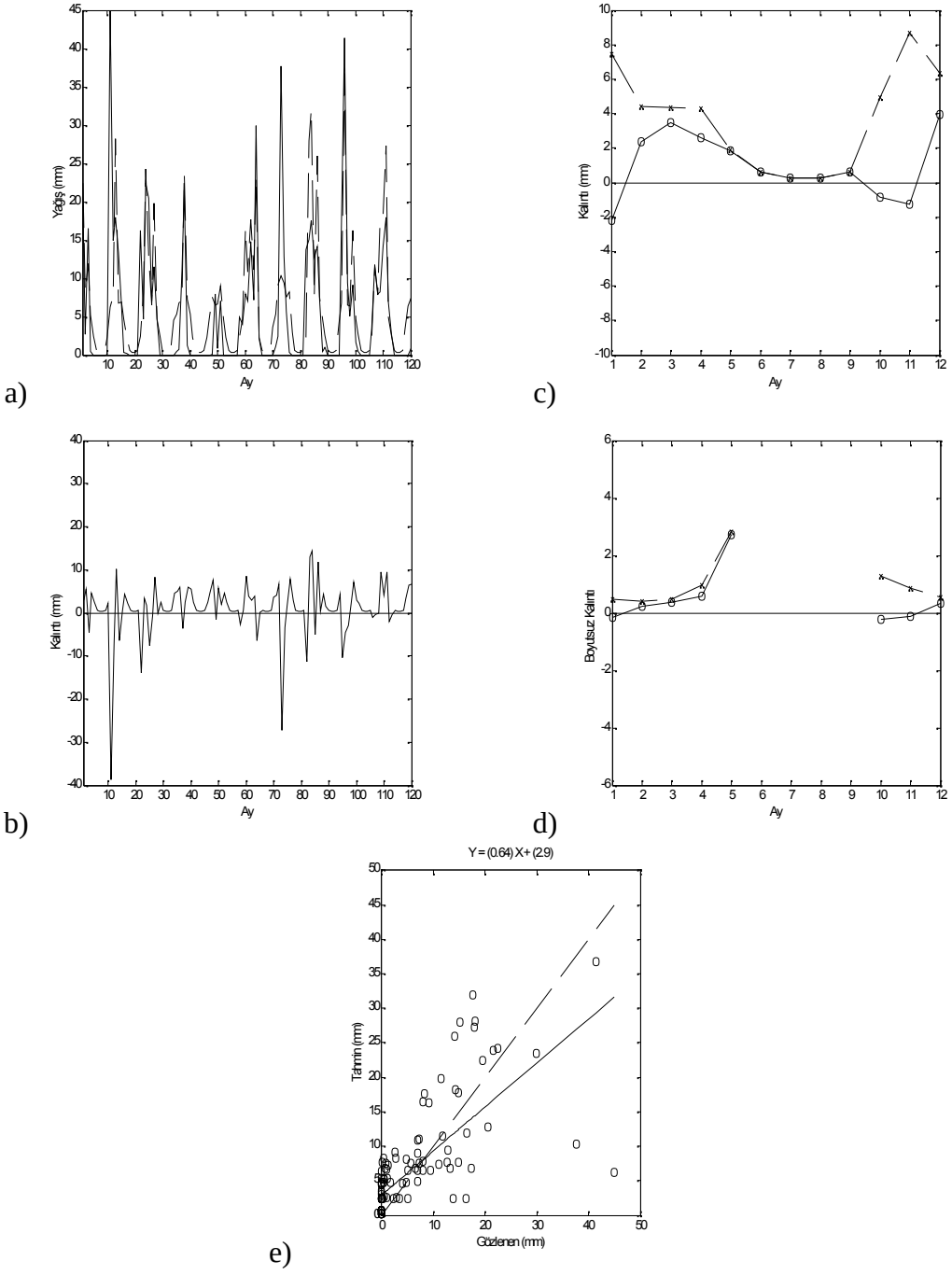
Şekil E.22: Safawi İstasyonuna Ait sGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



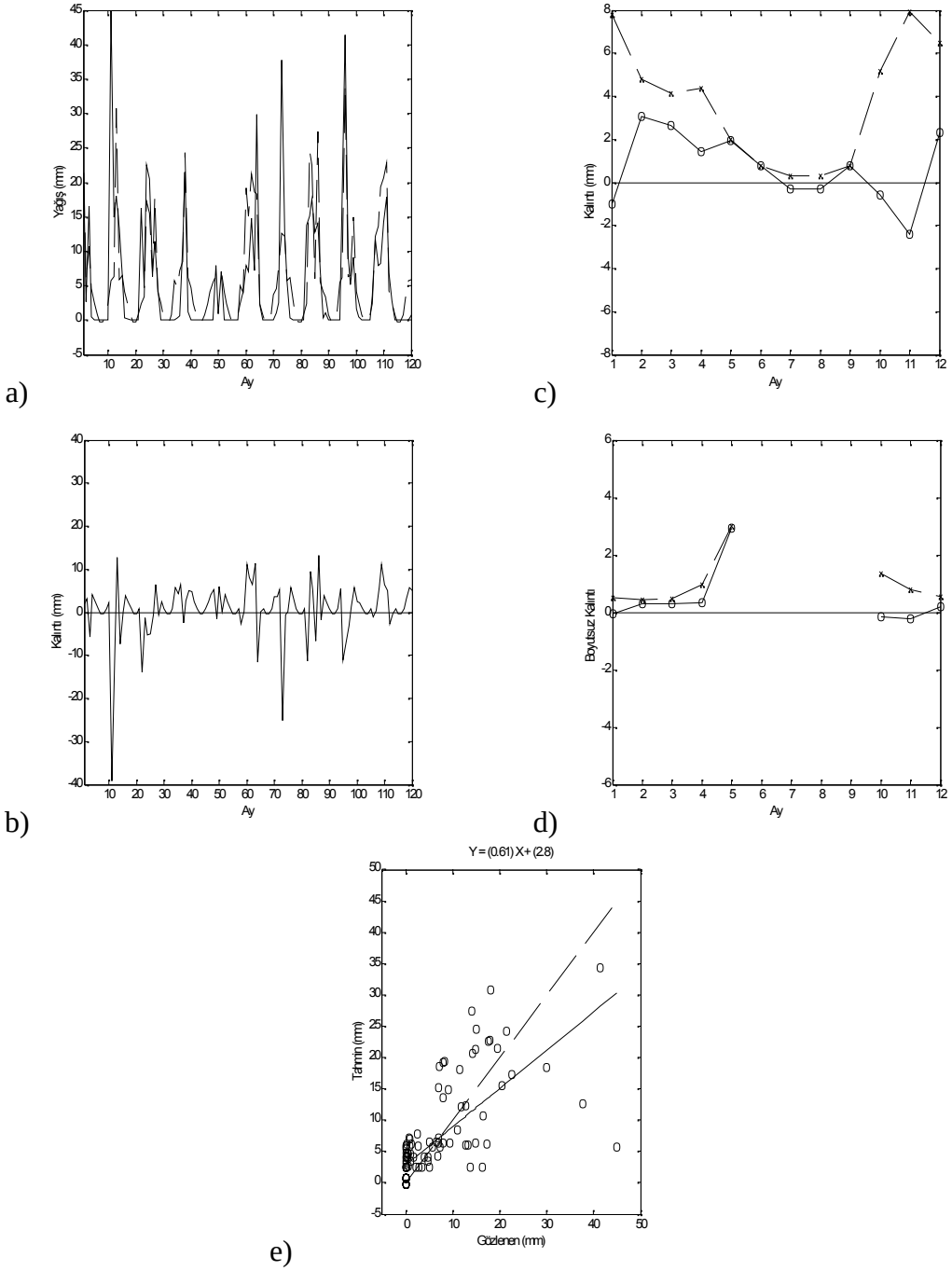
Şekil E.23: Safawi İstasyonuna Ait sÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.10: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

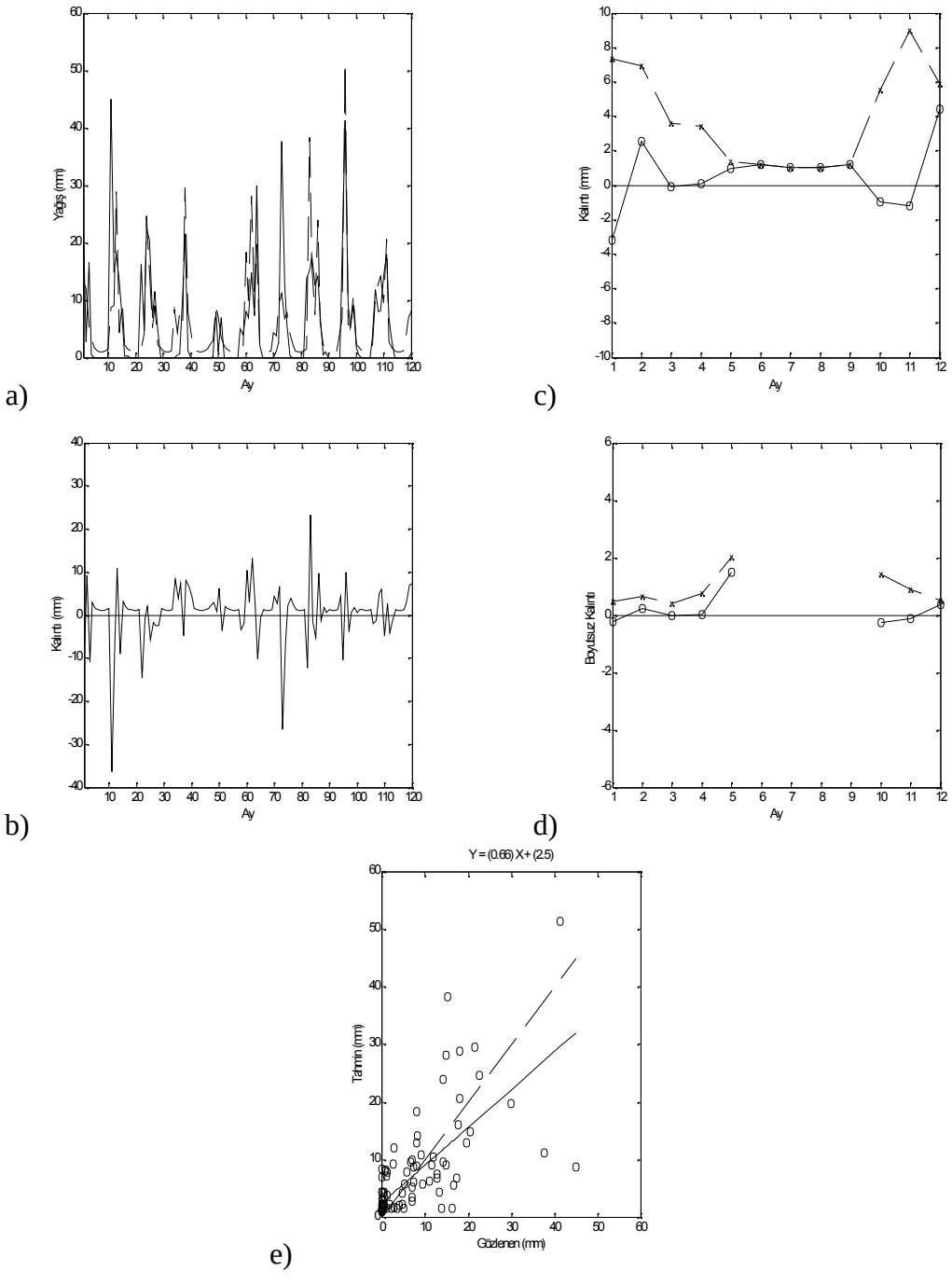
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sİBGY	52.6	0.32	0.34	4.3	15.6	-0.3	0.0
sRT	52.3	0.32	0.32	4.3	14.6	-1.1	0.0
sGR	59.1	0.23	0.19	4.4	16.5	2.2	0.0
sÇDR	52.5	0.32	0.33	4.4	14.2	-0.9	0.0



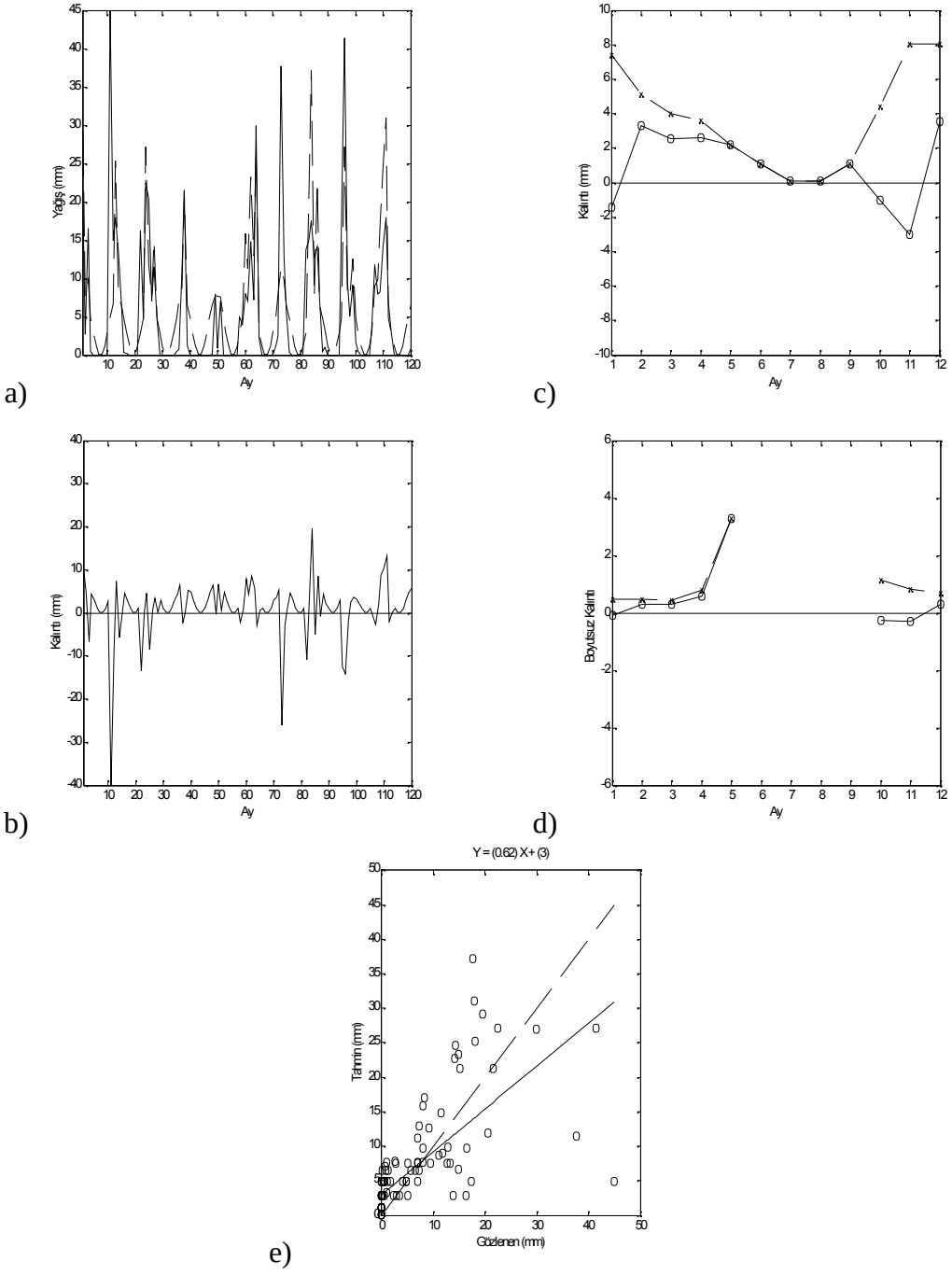
Şekil E.24: Safawi İstasyonuna Ait kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.25: Safawi İstasyonuna Ait kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



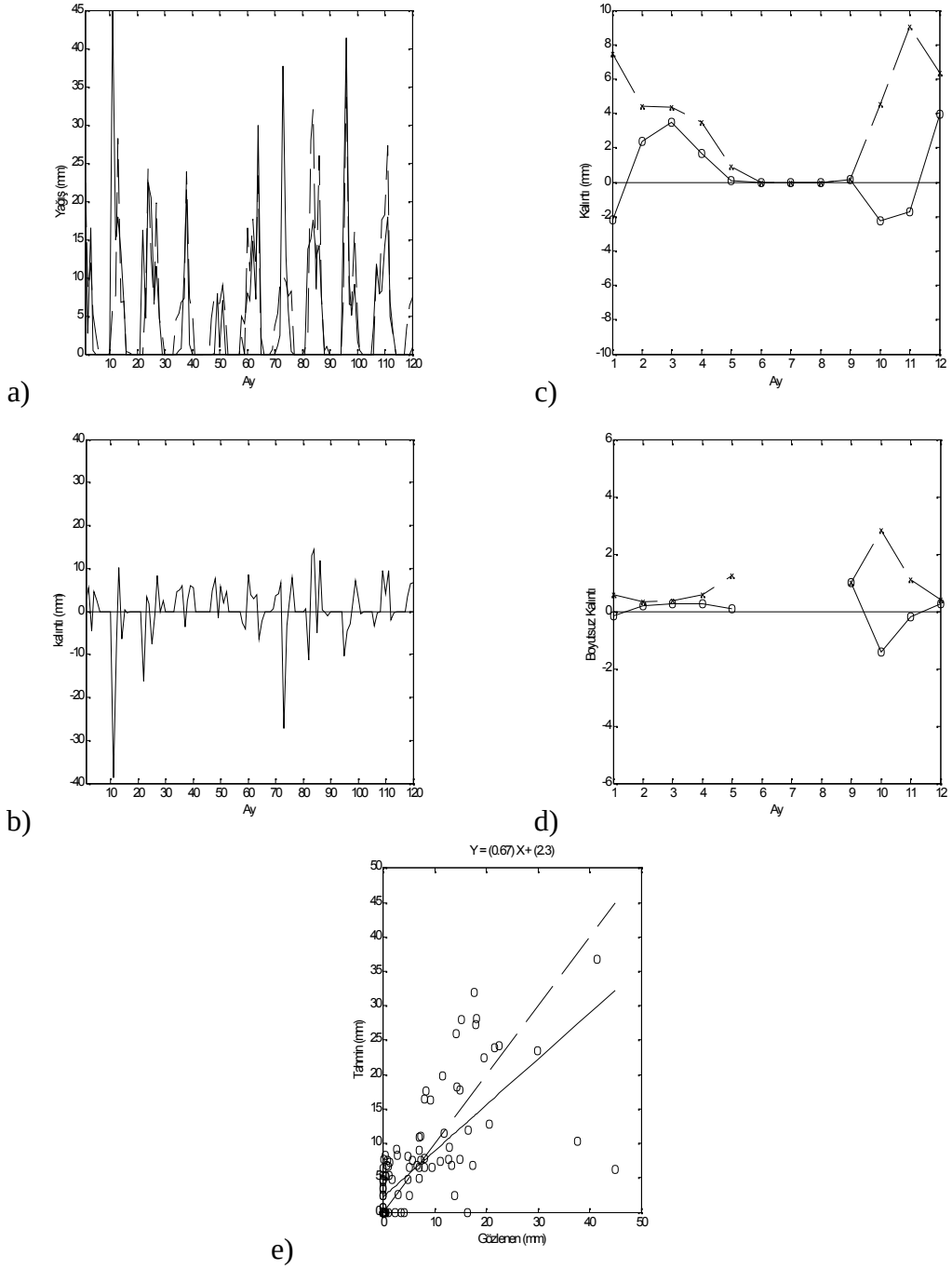
Şekil E.26: Safawi İstasyonuna Ait kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



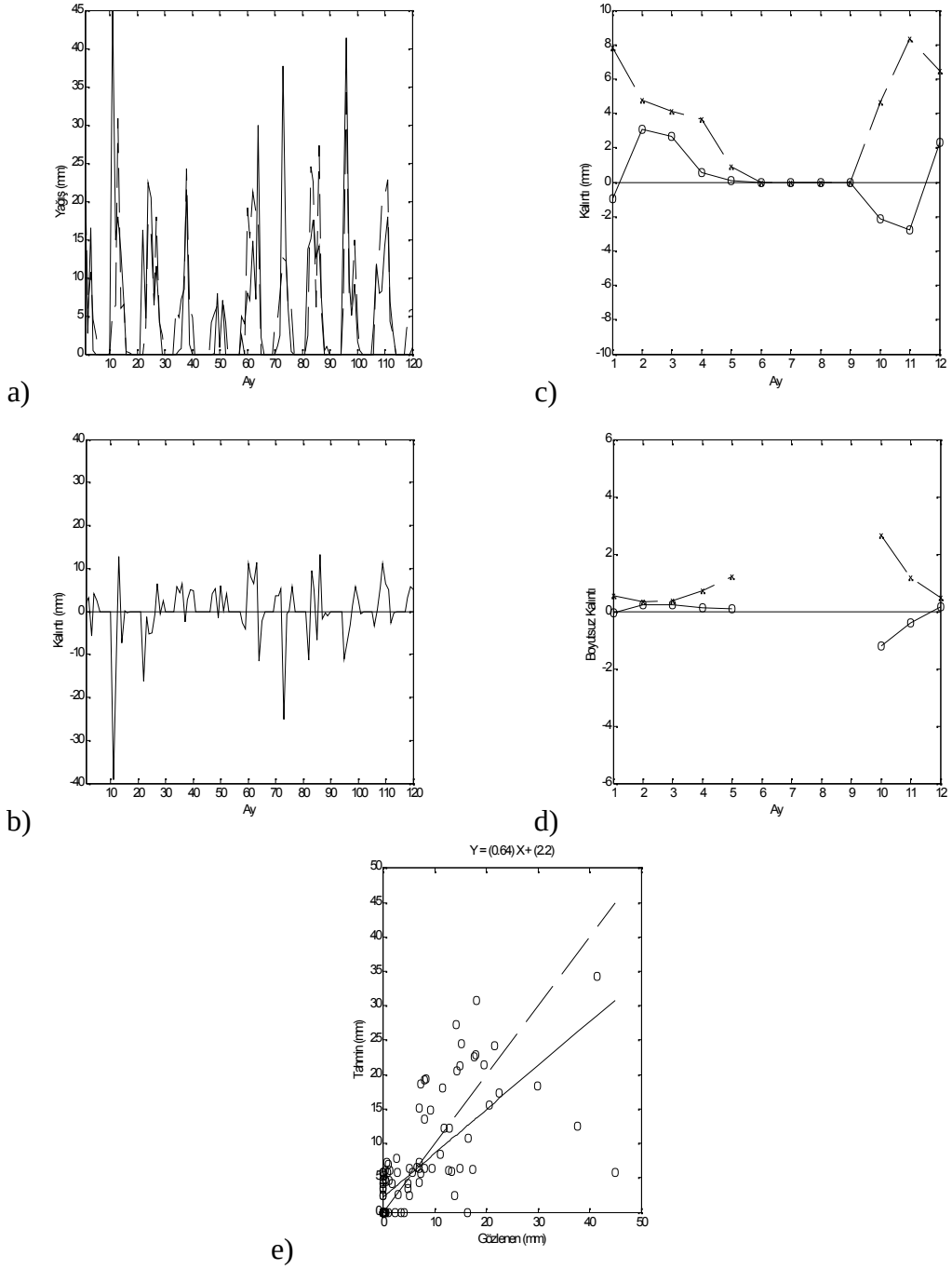
Şekil E.27: Safawi İstasyonuna Ait kÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.11: Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

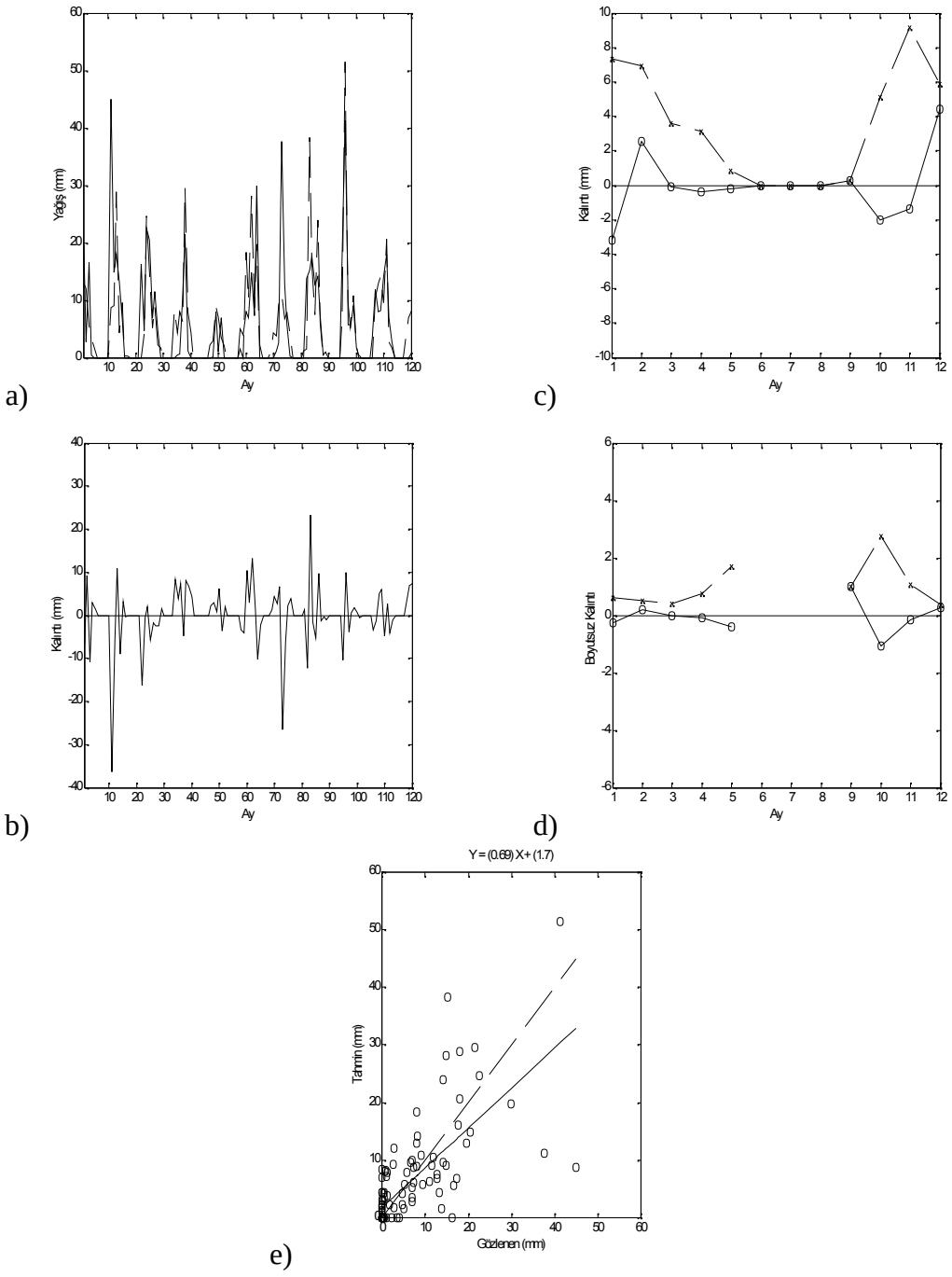
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
kİBGY	39.8	0.52	0.64	2.9	36.7	0.3	0.0
kRT	39.9	0.51	0.61	2.8	34.3	-0.3	0.0
kGR	42.2	0.50	0.66	2.5	51.4	1.0	0.0
kÇDR	42.2	0.49	0.62	3.0	37.2	0.1	0.0



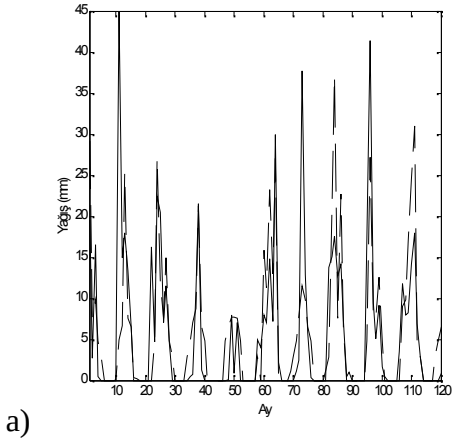
Şekil E.28: Safawi İstasyonuna Ait MC-kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



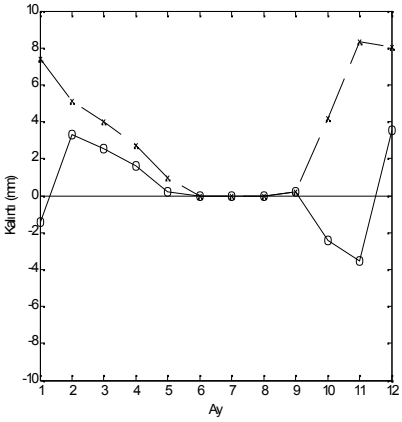
Şekil E.29: Safawi İstasyonuna Ait MC-kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



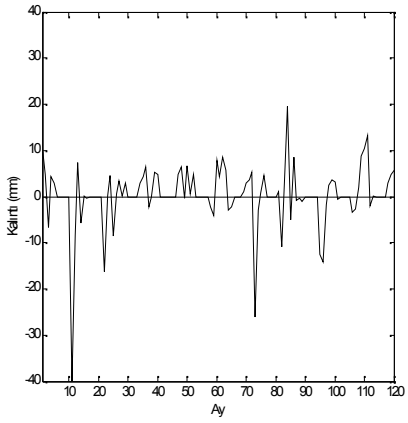
Şekil E.30: Safawi İstasyonuna Ait MC-kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



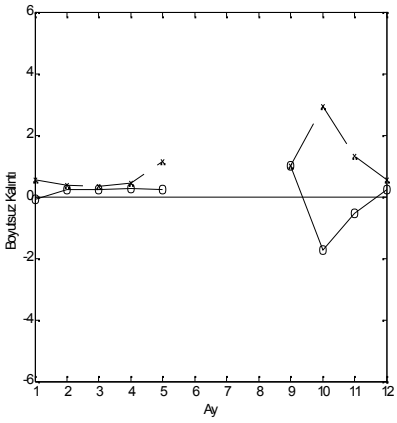
a)



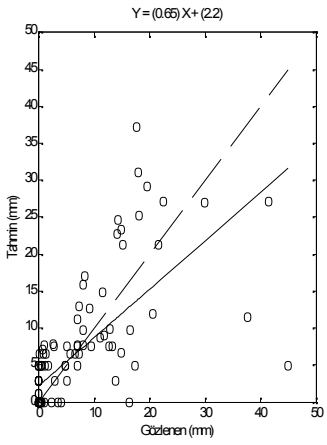
c)



b)



d)

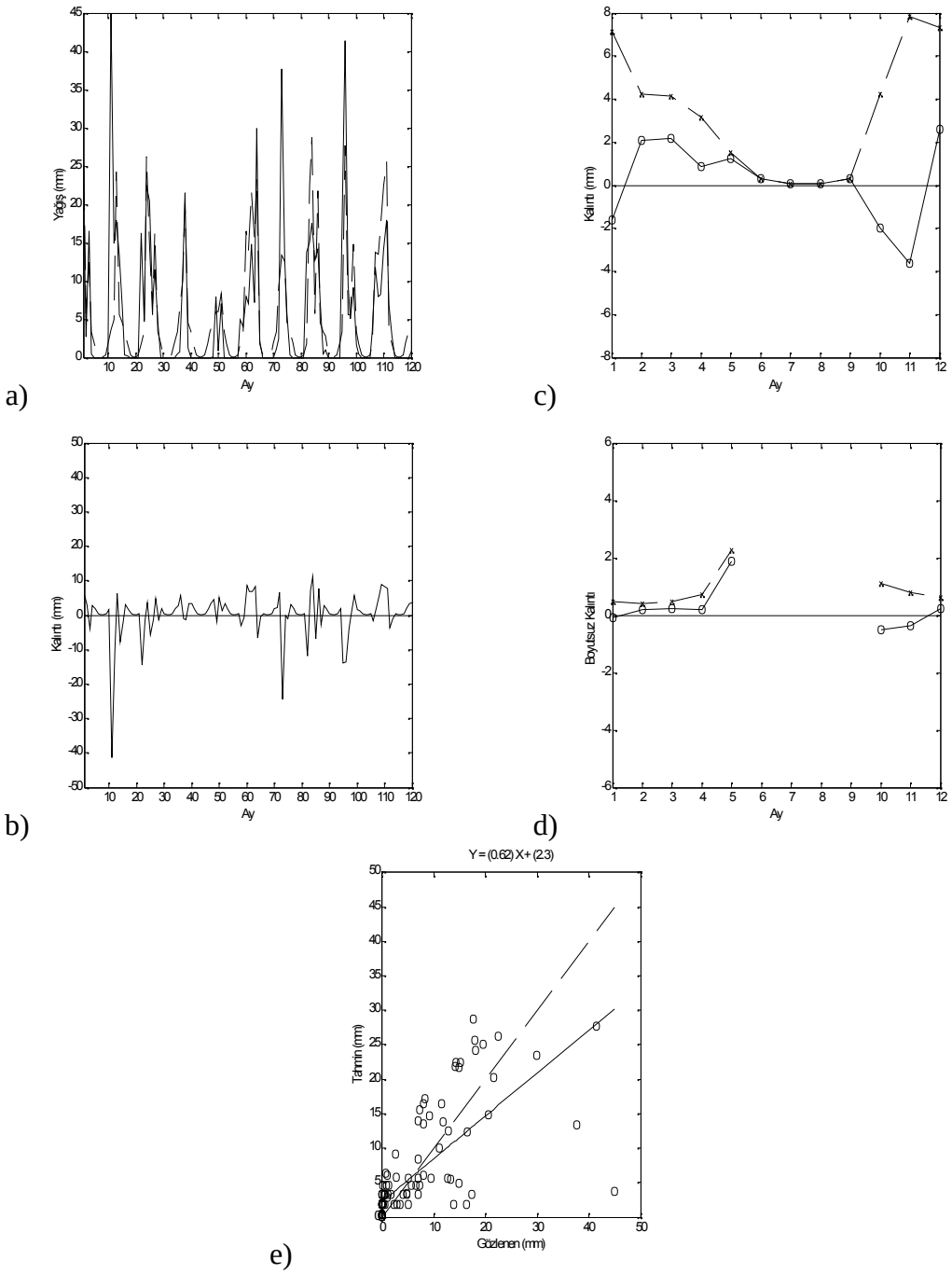


e)

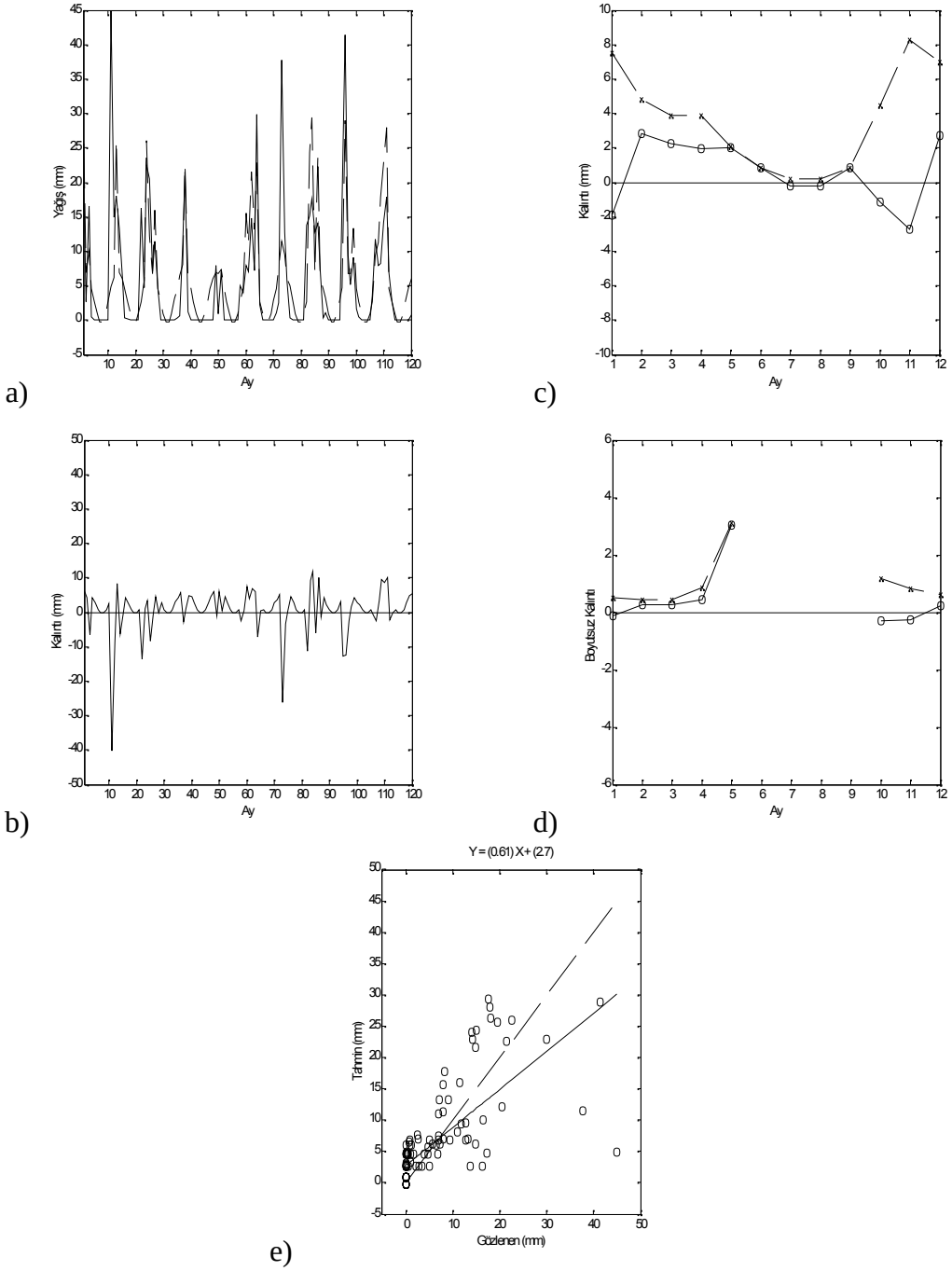
Şekil E.31: Safawi İstasyonuna Ait MC-kÇDR Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.12: MC ile Birleştirilmiş Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

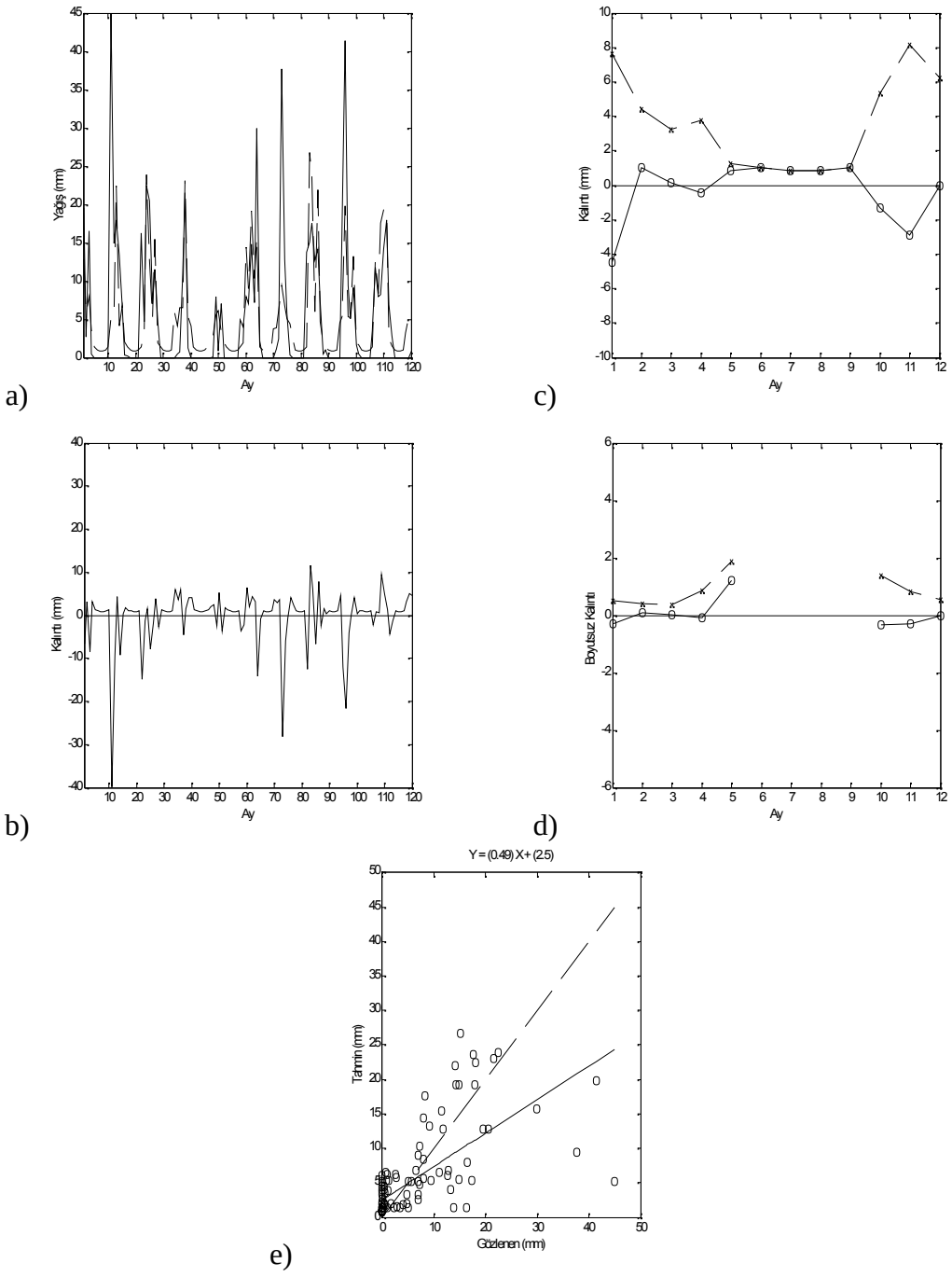
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
MC-kİBGY	39.8	0.52	0.67	2.3	36.7	0.0	44
MC-kRT	39.8	0.51	0.64	2.2	34.3	0.0	46
MC-kGR	42.1	0.51	0.69	1.7	51.4	0.0	44
MC-kÇDR	42.1	0.50	0.65	2.2	37.2	0.0	44



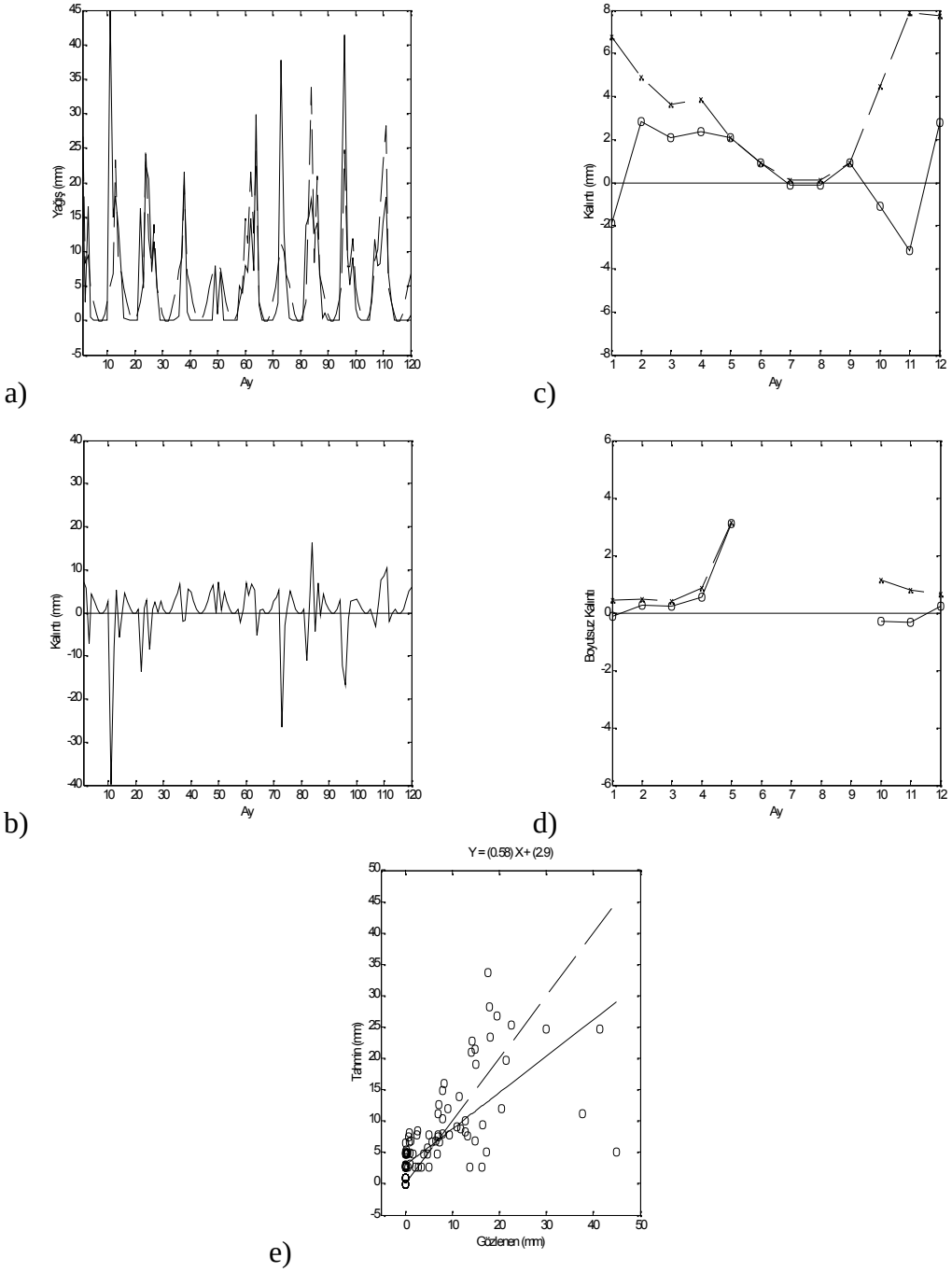
Şekil E.32: Safawi İstasyonuna Ait skİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.33: Safawi İstasyonuna Ait skRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil E.34: Safawi İstasyonuna Ait skGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



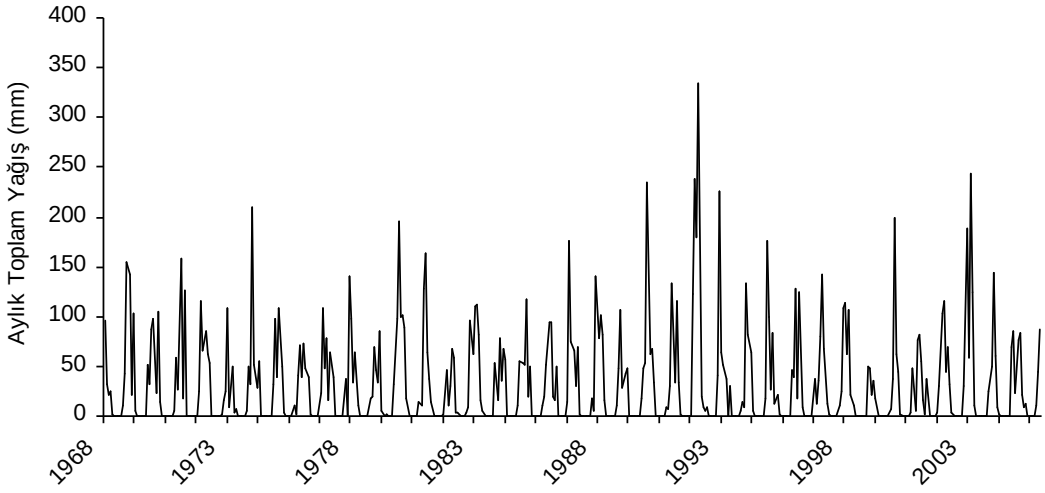
Şekil E.35: Safawi İstasyonuna Ait skÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo E.13: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
skİBGY	38.0	0.52	0.62	2.3	28.7	0.1	0
skRT	39.4	0.51	0.61	2.7	29.4	-0.2	0
skGR	41.5	0.46	0.49	2.5	26.7	0.9	0
skÇDR	39.7	0.50	0.58	2.9	33.7	-0.1	0

EK F

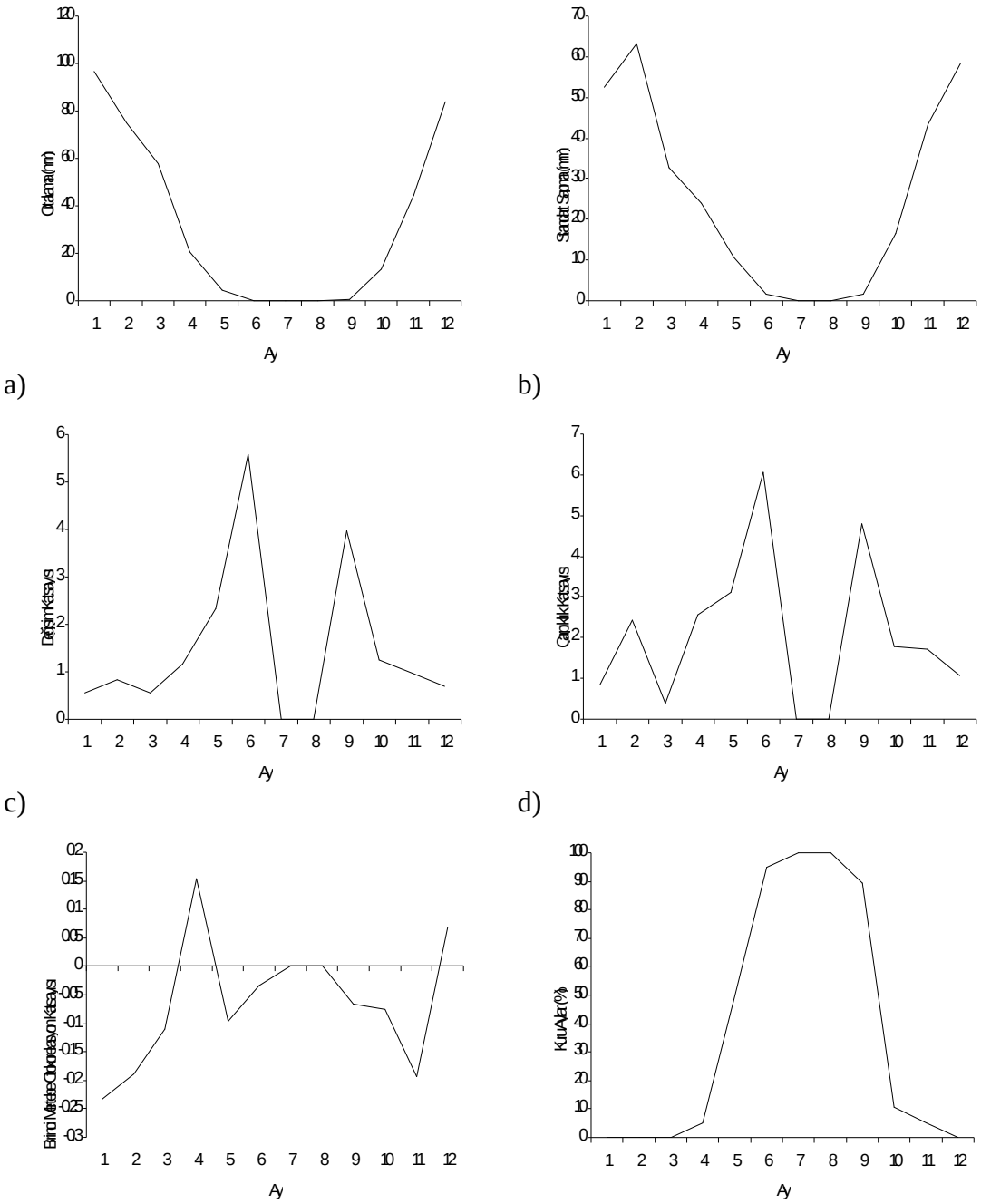
Baqura İstasyonuna Ait Sonuçlar



Şekil F.1: Baqura İstasyonu Aylık Toplam Yağışı

Tablo F.1: Baqura İstasyonu Yağış Serisinin İstatistikleri

Ortalama (mm)	Standart Sapma (mm)	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı	Kuru Ay (%)
33.1	48.8	1.47	2.13	0.39	38



Şekil F.2: Baqura İstasyonu Aylık Toplam Yağış İstatistikleri a) Ortalama, b) Standart Sapma, c) Değişim Katsayısı, d) Çarpıklık Katsayısı, e) Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı, f) Kuru Aylar

Tablo F.2: Baqura İstasyonu Aylık Toplam Yağış Verilerinin İstatistikleri

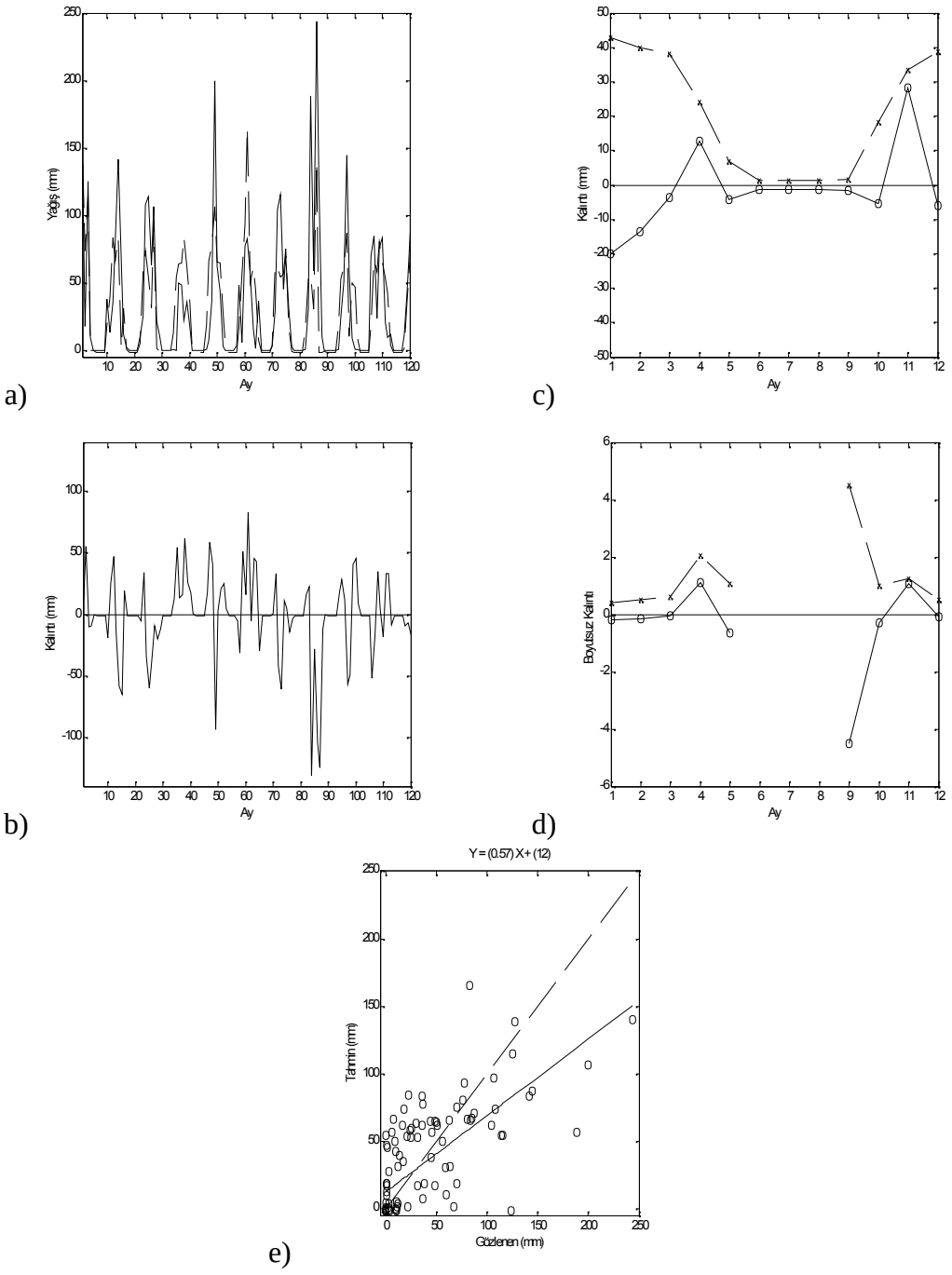
Veri	Ortalama (mm)	Standart Sapma (mm)	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı	Minimum (mm)	Maksimum (mm)
Eğitme	33.5	49.4	1.47	2.19	0.42	0.0	333.7
Test	32.1	47.5	1.48	1.97	0.43	0.0	243.8

Tablo F.3: Baqura İstasyonunun Homojenlik ve Trend Analizi

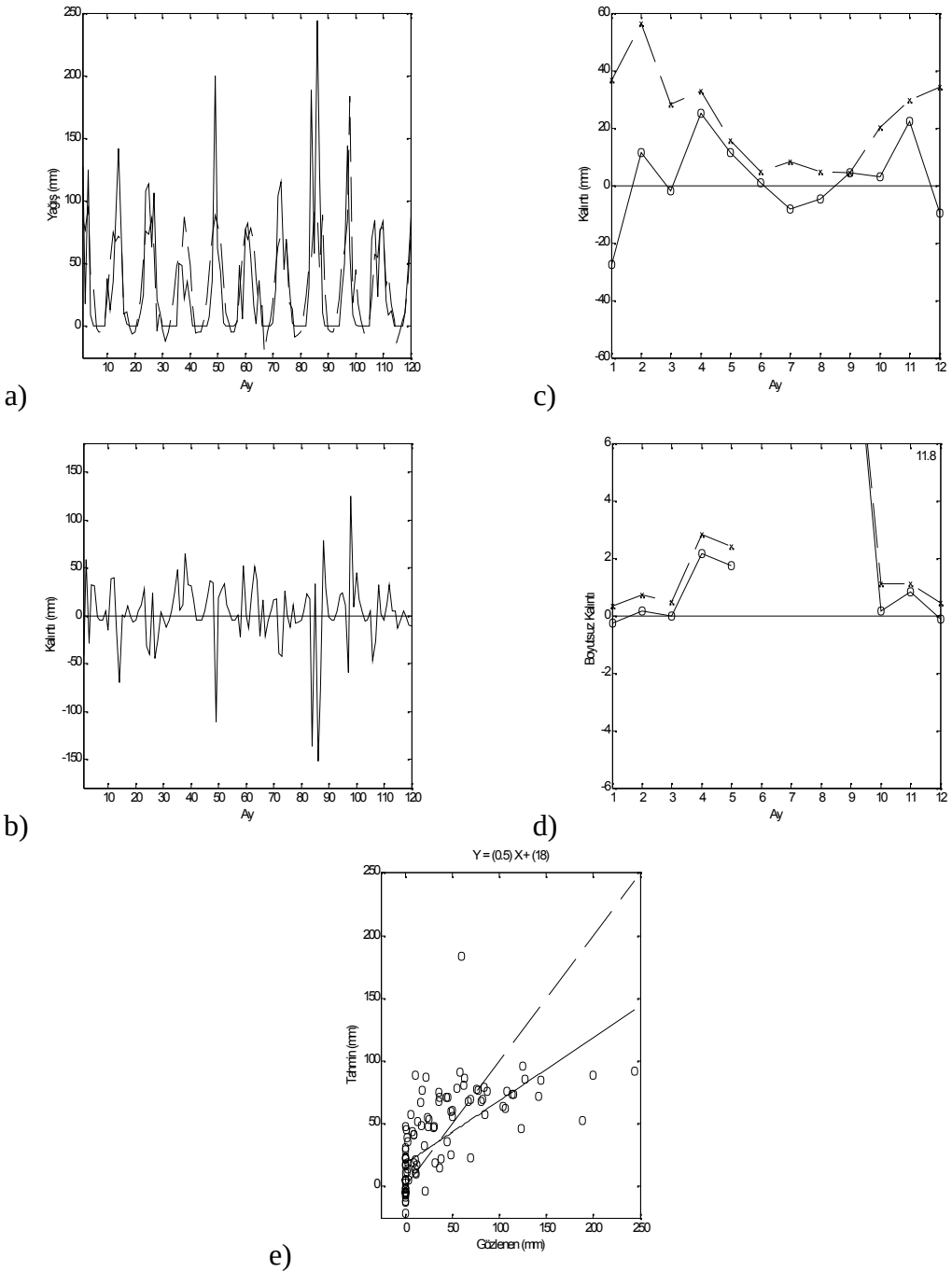
Homojenlik testleri						Trend testleri			
Von-Neuman		Pettitt		Alexanderson		*t*		Spearman	
N_v	N_k	N_E	N_k	T_0	N_k	*t*	N_k	*t*	N_k
2.273	1.521	70	167.7	1.447	7.985	0.532	2.027	0.673	2.027

Tablo F.4: Model Seçimi

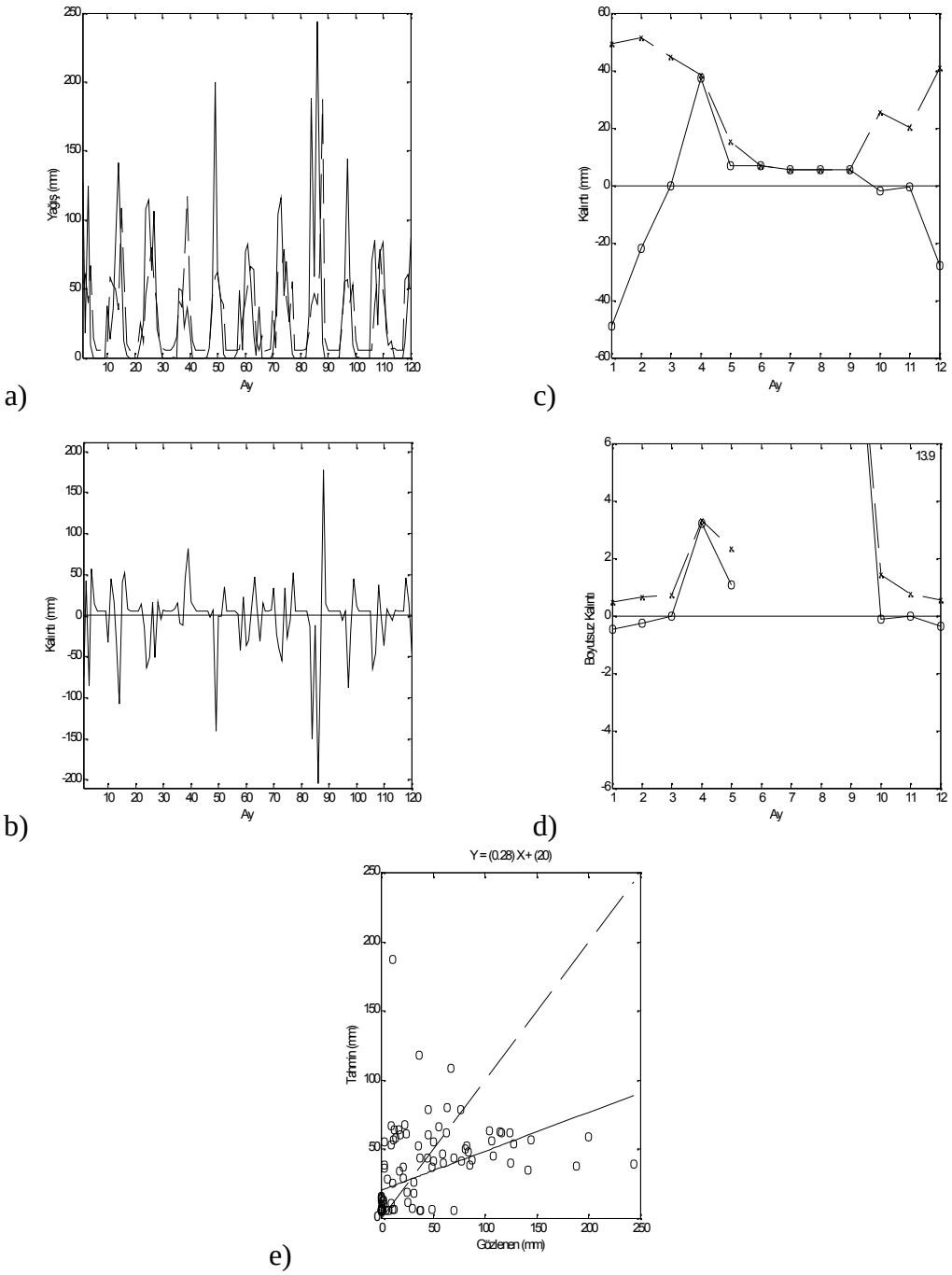
Model No	Girdi	Hücre sayısı	*OKH* (mm^2)	R^2
1	X_{t-1}	1	1803.8	0.26
2	X_{t-1}	2	1725.8	0.29
3	X_{t-1},P_t	2	1276.6	0.48
4	X_{t-1},P_t	3	1279.7	0.48
5	X_{t-1},P_t	4	1239.0	0.49
6	X_{t-1},X_{t-12}	2	1489.8	0.39
7	X_{t-1},X_{t-12}	3	1490.4	0.39
8	X_{t-1},X_{t-12}	4	1320.1	0.46
9	X_{t-1},X_{t-12},P_t	3	1028.6	0.58
10	X_{t-1},X_{t-12},P_t	4	1092.1	0.55
11	X_{t-1},X_{t-12},P_t	5	999.1	0.60
12	X_{t-1},X_{t-12},P_t	6	971.3	0.60
13	X_{t-1},X_{t-2}	2	1687.6	0.31
14	X_{t-1},X_{t-2}	3	1767.6	0.28
15	X_{t-1},X_{t-2}	4	1482.5	0.39
16	X_{t-1},X_{t-2},P_t	3	973.4	0.60
17	X_{t-1},X_{t-2},P_t	4	966.5	0.60
18	X_{t-1},X_{t-2},P_t	5	927.0	0.62
19	X_{t-1},X_{t-2},P_t	6	927.2	0.62
20	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	3	1427.0	0.42
21	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	4	1493.6	0.39
22	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	5	1084.6	0.56
23	X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12}	6	1169.2	0.52
24	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	4	1105.0	0.55
25	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	5	954.4	0.61
26	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	6	945.0	0.61
27	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	7	714.5	0.71
28	$X_{t-1},X_{t-2},X_{t-12},P_t$	8	856.5	0.65



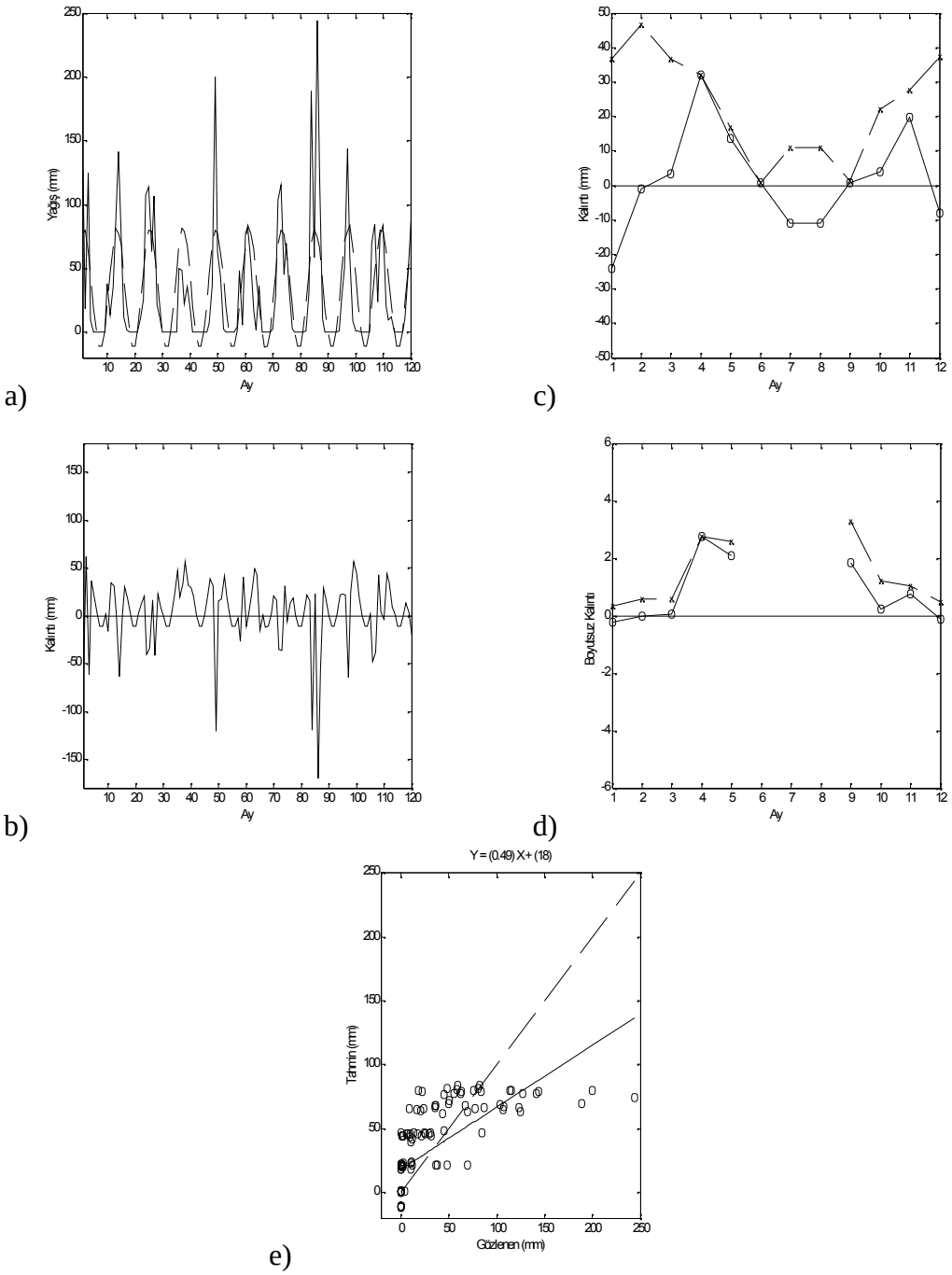
Şekil F.3: Baqura İstasyonuna Ait İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.4: Baqura İstasyonuna Ait RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.5: Baqura İstasyonuna Ait GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



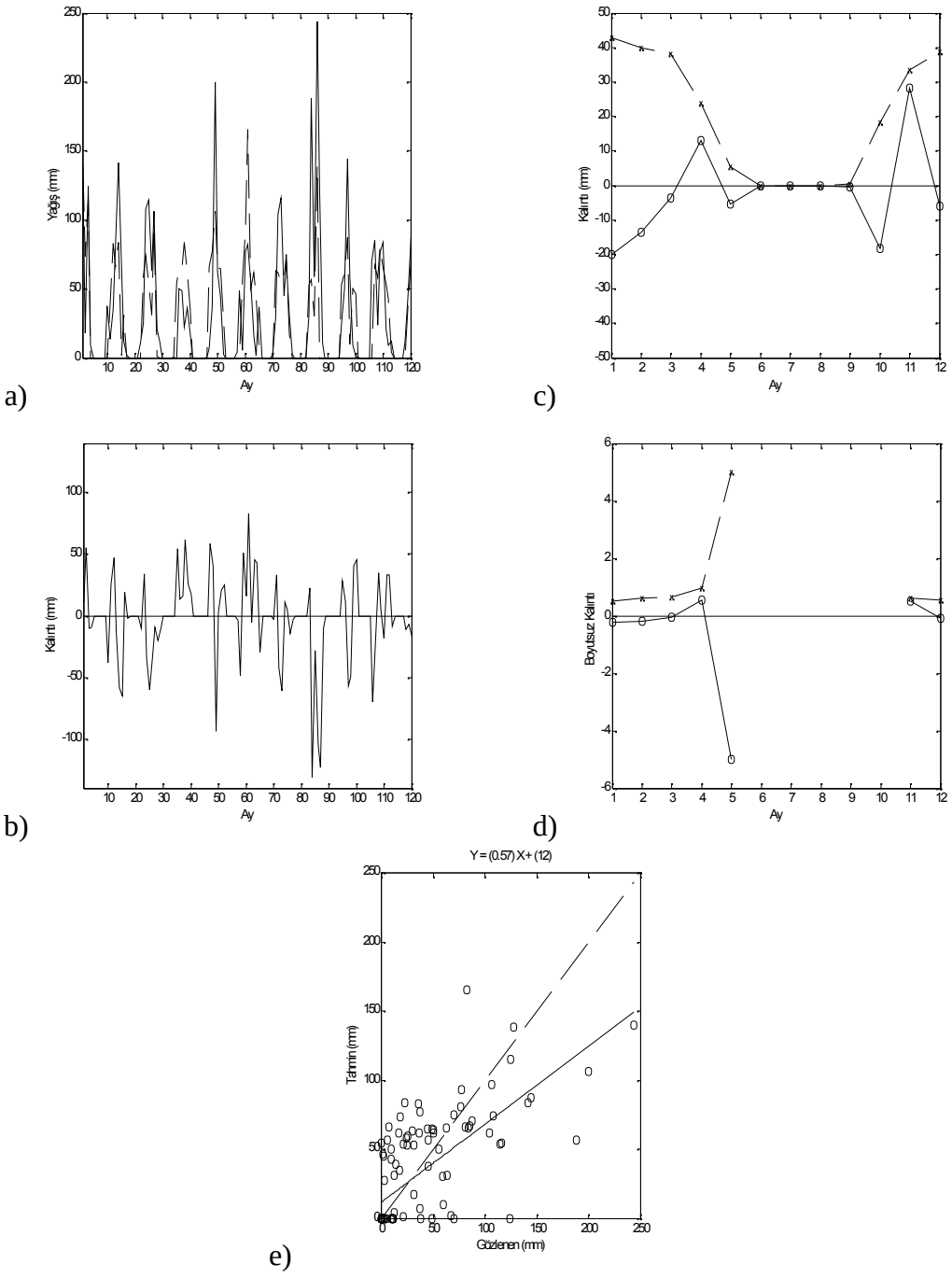
Şekil F.6: Baqura İstasyonuna Ait ÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.5: Modellerin Performans Kriterleri

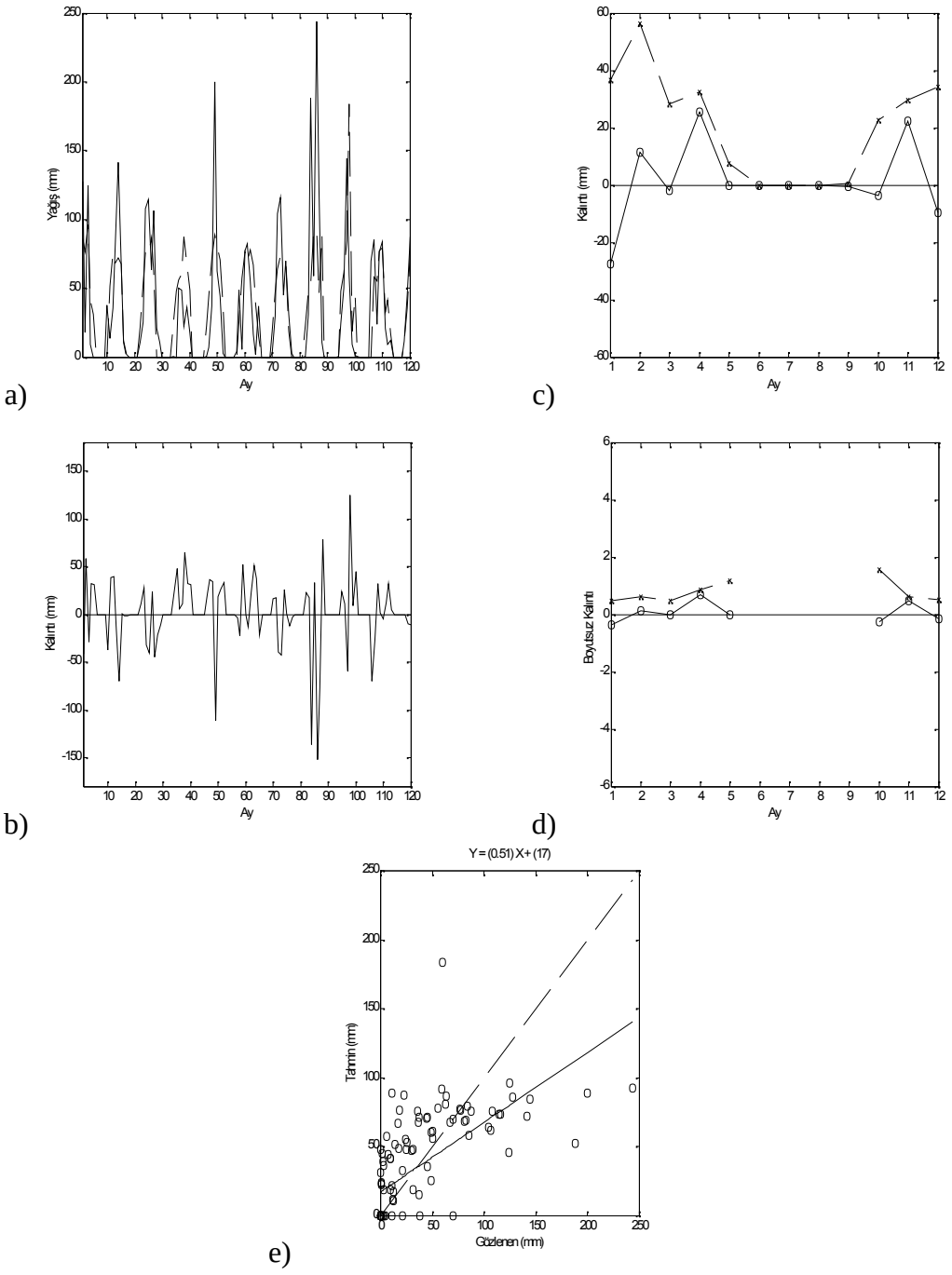
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
İBGY	1102.7	0.51	0.57	12.0	165.2	-1.4	0.0
RT	1246.6	0.45	0.50	18.0	184.0	-21.1	0.0
GR	1860.1	0.20	0.28	20.0	187.9	5.0	0.0
ÇDR	1160.2	0.48	0.49	18.0	84.1	-12.0	0.0

Tablo F.6: Baqura İstasyonuna Ait 2 Durumlu Markov Zinciri Geçiş Olasılıkları

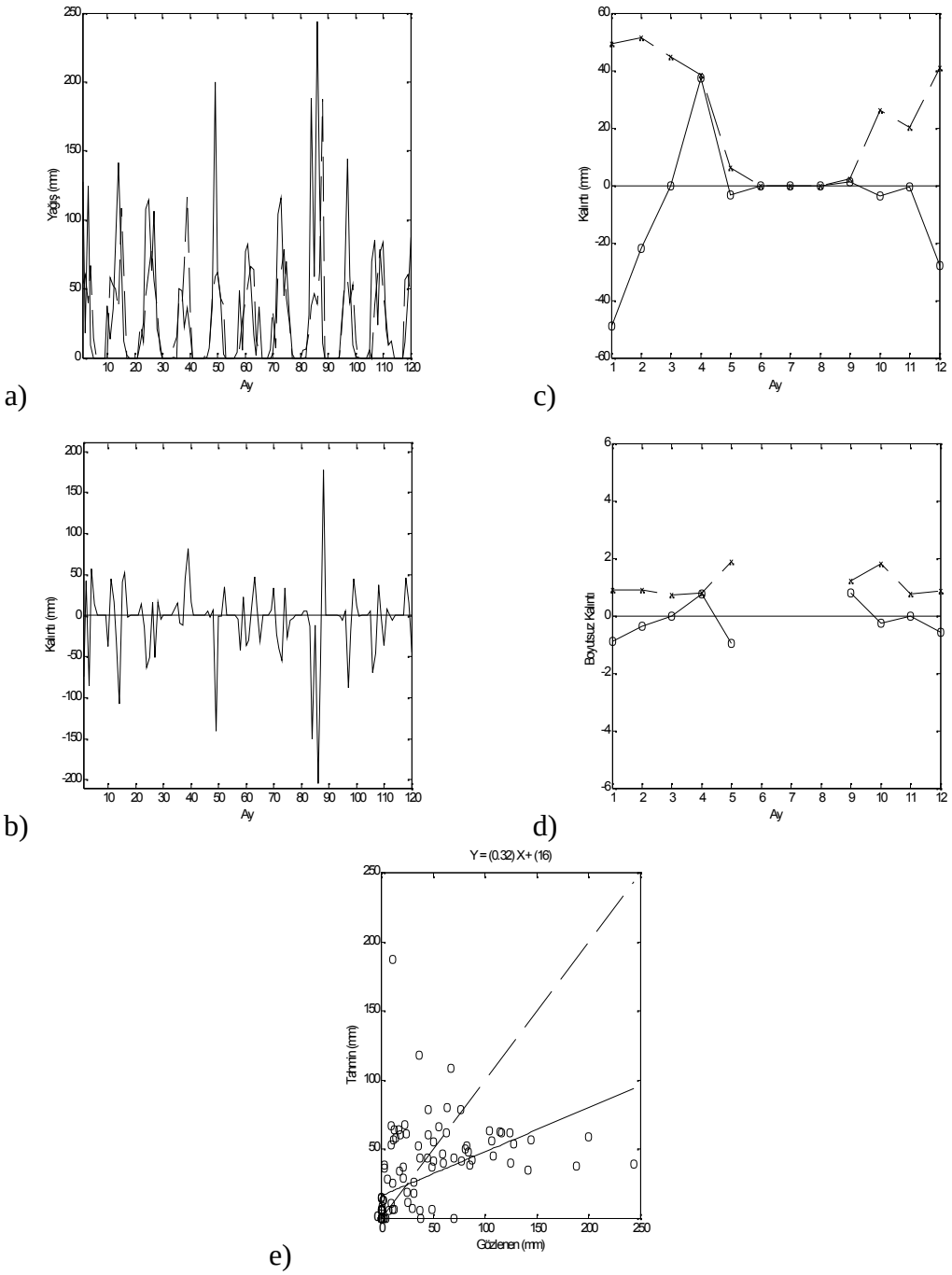
AY	P11	P10	P00	P01
Ocak	1.000	0.000	-	-
Şubat	1.000	0.000	-	-
Mart	1.000	0.000	-	-
Nisan	0.929	0.071	-	-
Mayıs	0.462	0.538	0.500	0.500
Haziran	0.154	0.846	1.000	0.000
Temmuz	0.000	1.000	1.000	0.000
Ağustos	-	-	1.000	0.000
Eylül	-	-	0.893	0.107
Ekim	1.000	0.000	0.160	0.840
Kasım	0.958	0.042	0.000	1.000
Aralık	1.000	0.000	0.000	1.000



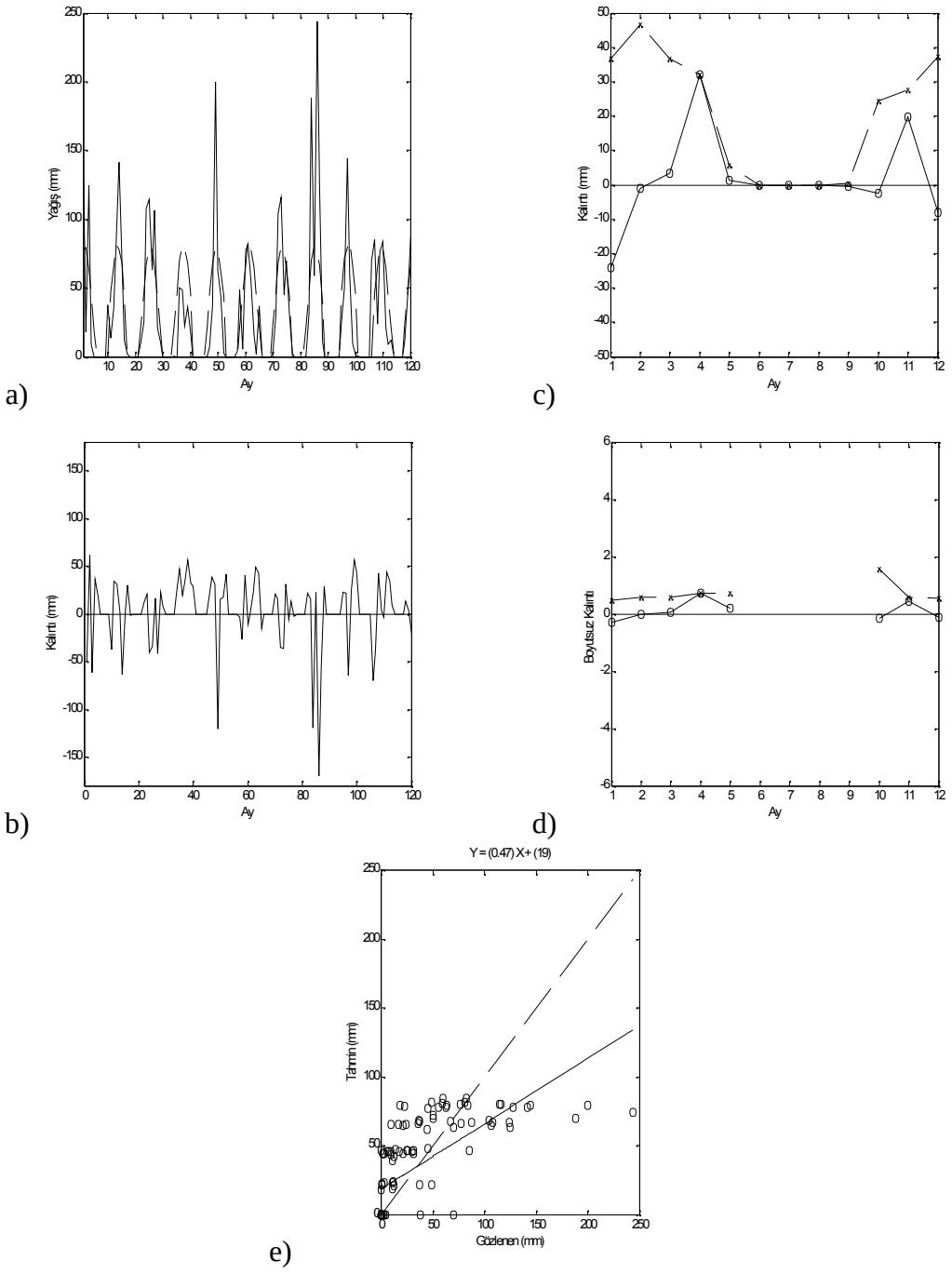
Şekil F.7: Baqura İstasyonuna Ait MC-İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.8: Baqura İstasyonuna Ait MC-RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



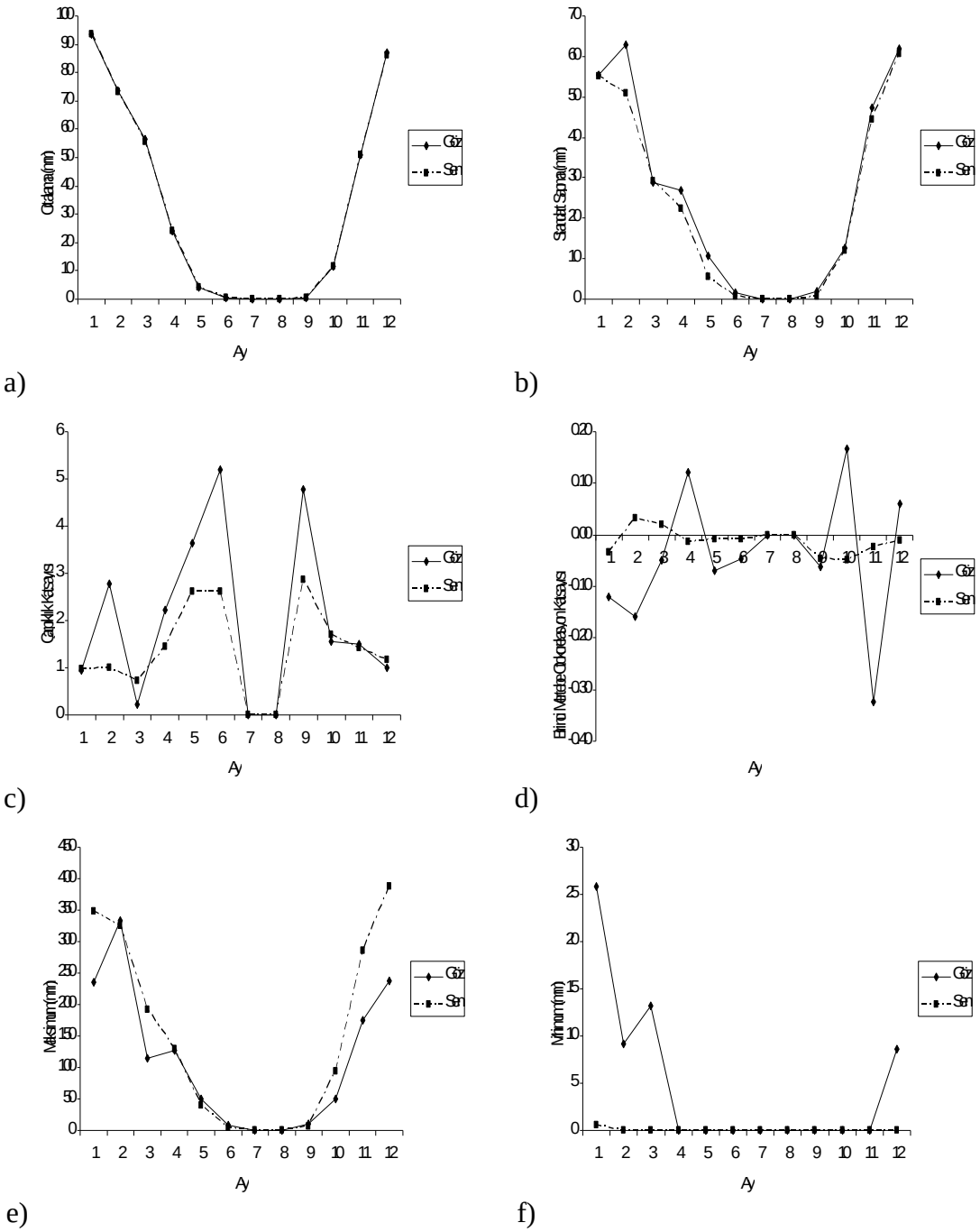
Şekil F.9: Baqura İstasyonuna Ait MC-GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



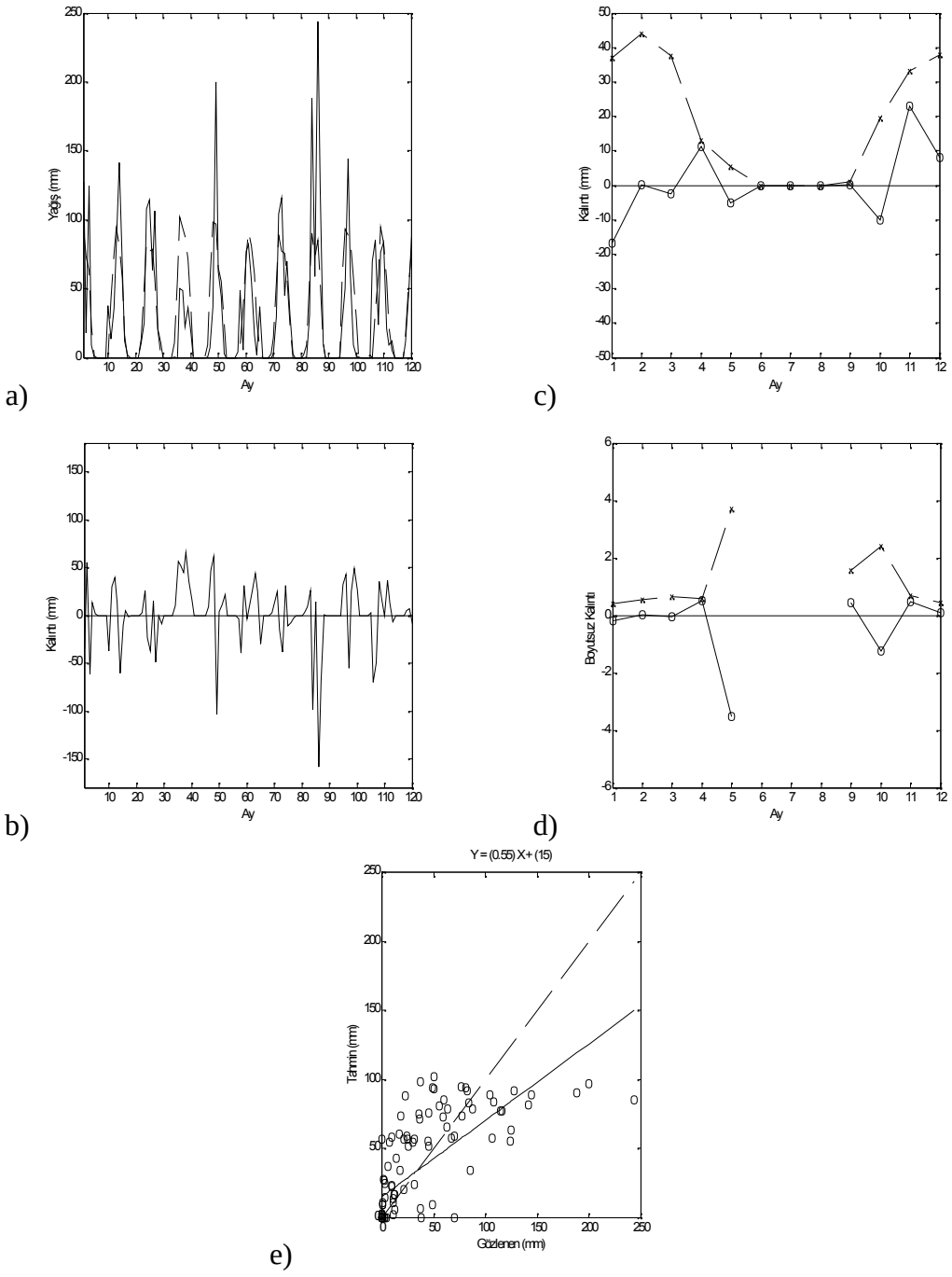
Şekil F.10: Baqura İstasyonuna Ait MC-ÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.7: Markov Zincirleri ile Birleştirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

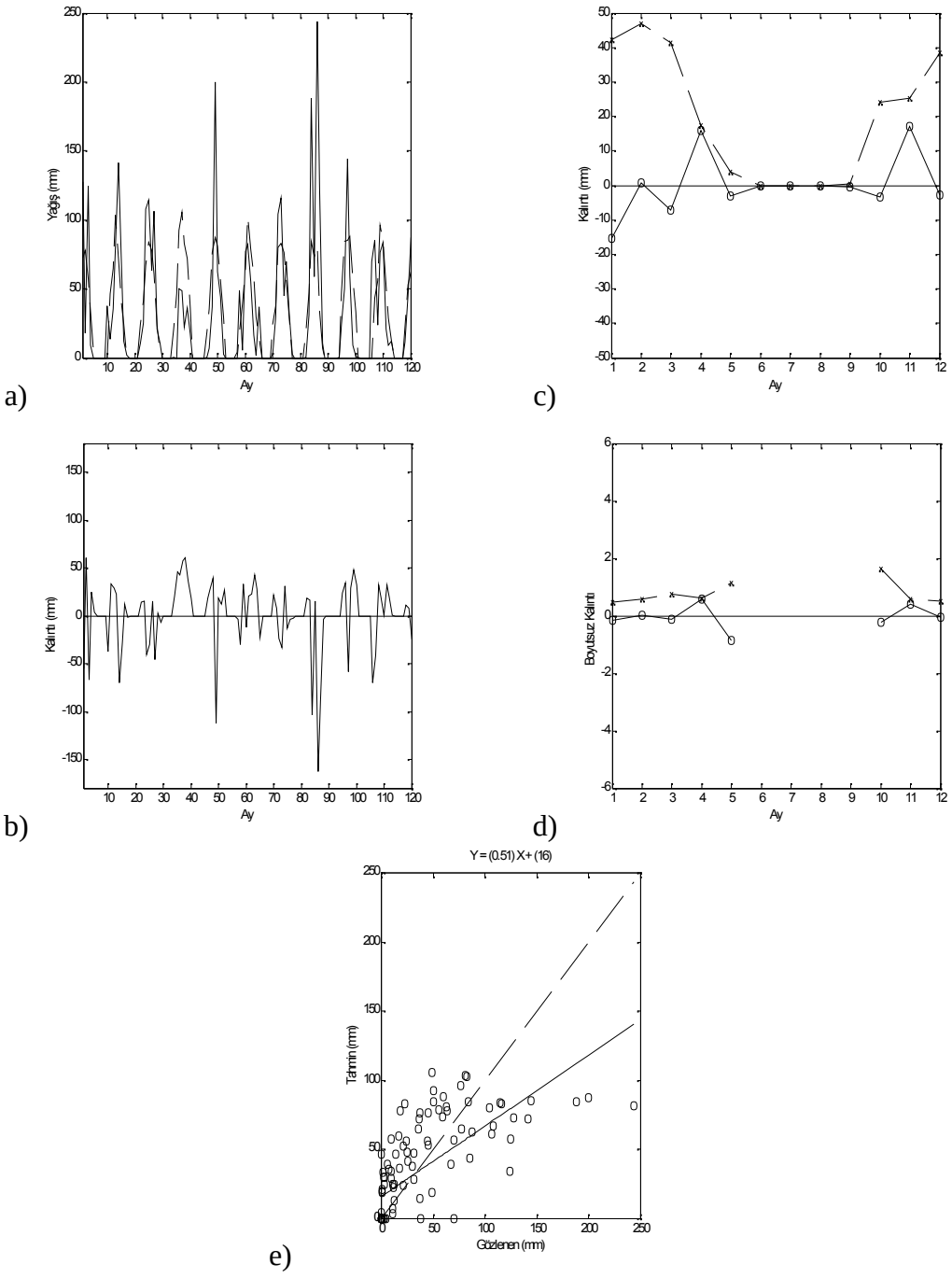
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
MC-İBGY	1128.5	0.51	0.57	12.0	165.2	0.0	41
MC-RT	1243.9	0.45	0.51	17.0	184.0	0.0	42
MC-GR	1831.9	0.23	0.32	16.0	187.9	0.0	38
MC-ÇDR	1148.8	0.49	0.47	19.0	84.1	0.0	41



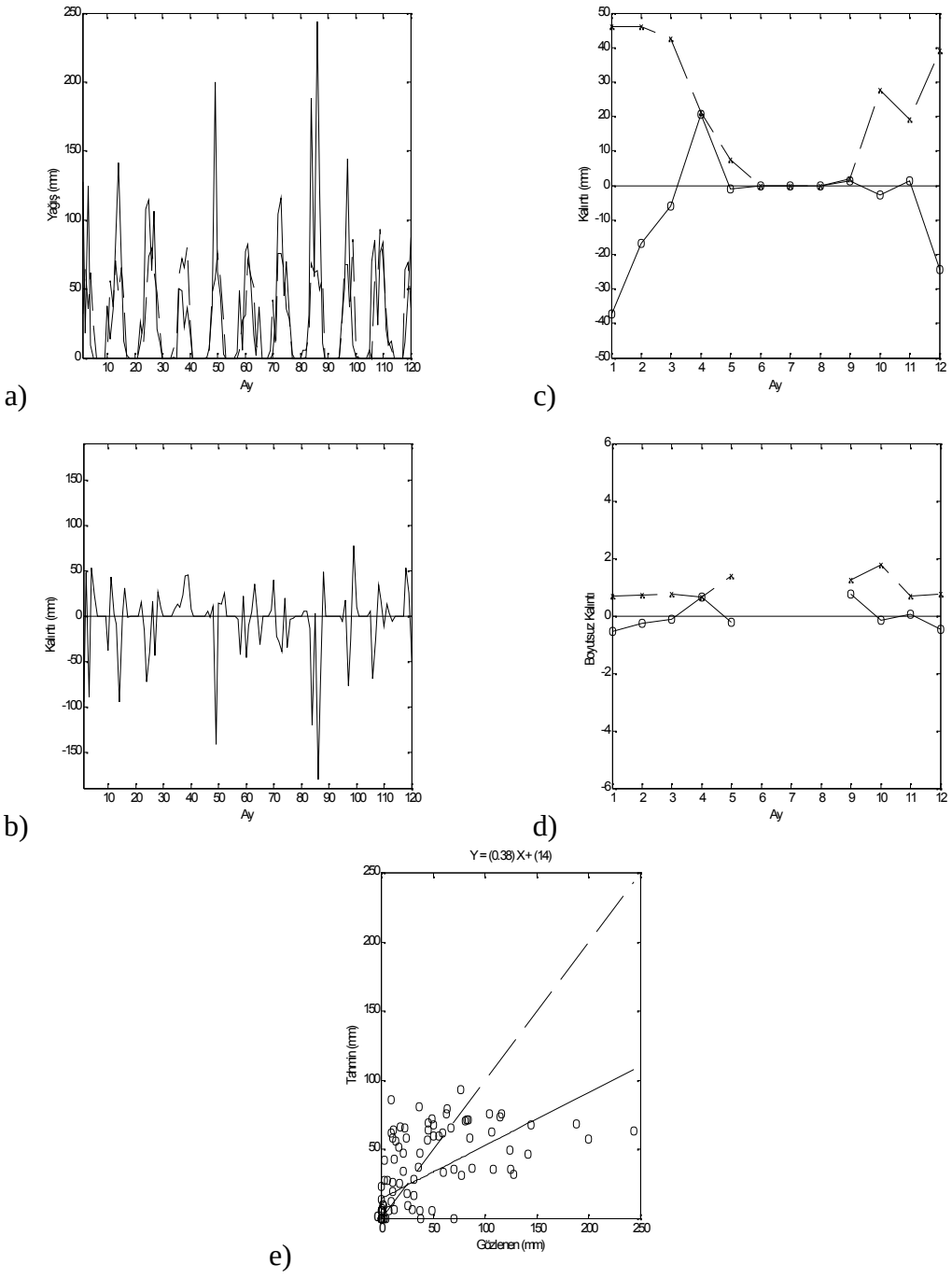
Şekil F.11: Baqura İstasyonuna Ait Gözlenmiş ve T-F ile Türetilmiş Aylık Toplam Yağış İstatistikleri a)Ortalama, b)Standart Sapma, c)Çarpıklık Katsayısı, d)Birinci Mertebe Otokorelasyon Katsayısı, e)Maksimum, f)Minimum



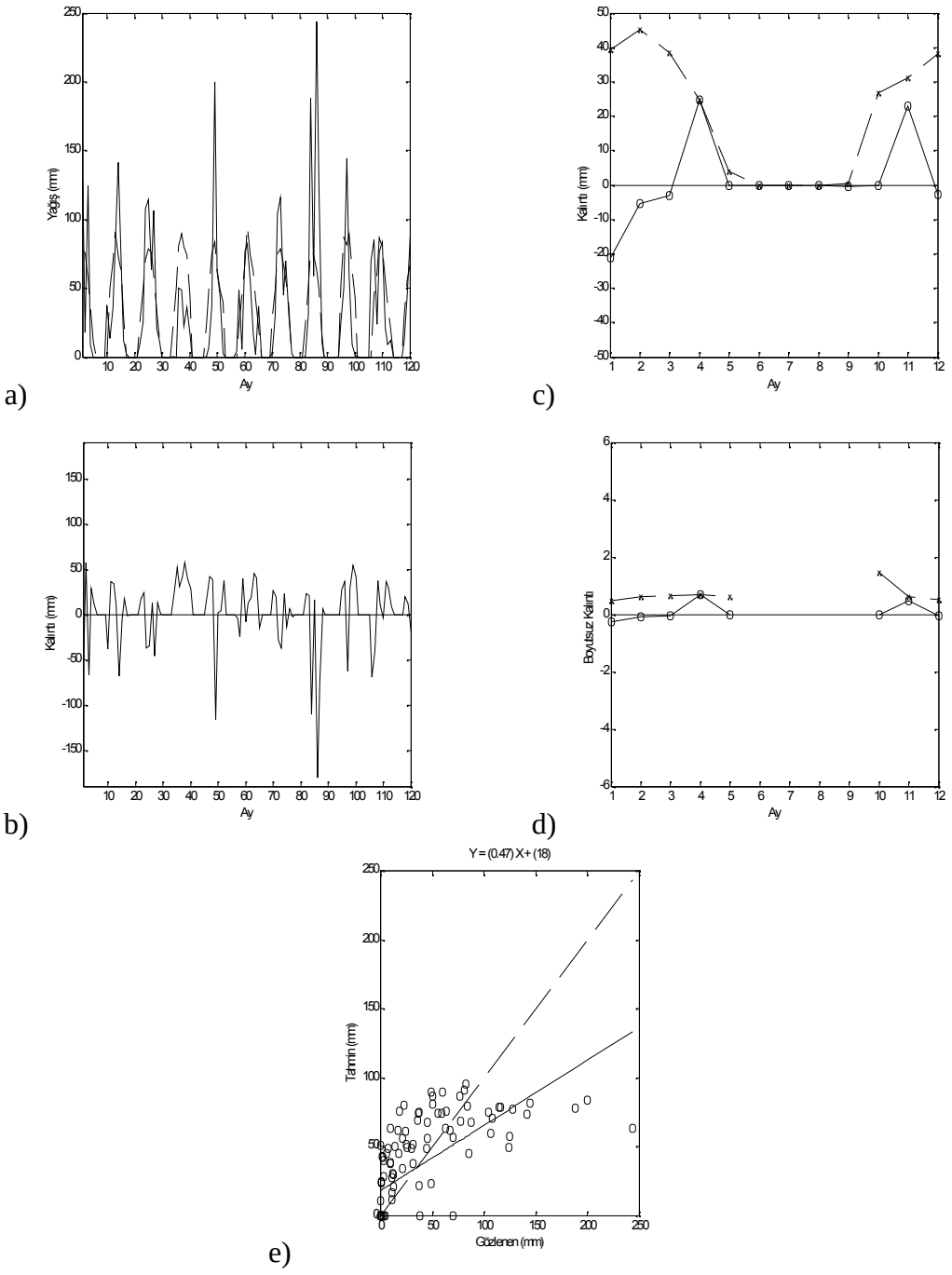
Şekil F.12: Baqura İstasyonuna Ait sMC-İBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.13: Baqura İstasyonuna Ait sMC-RT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



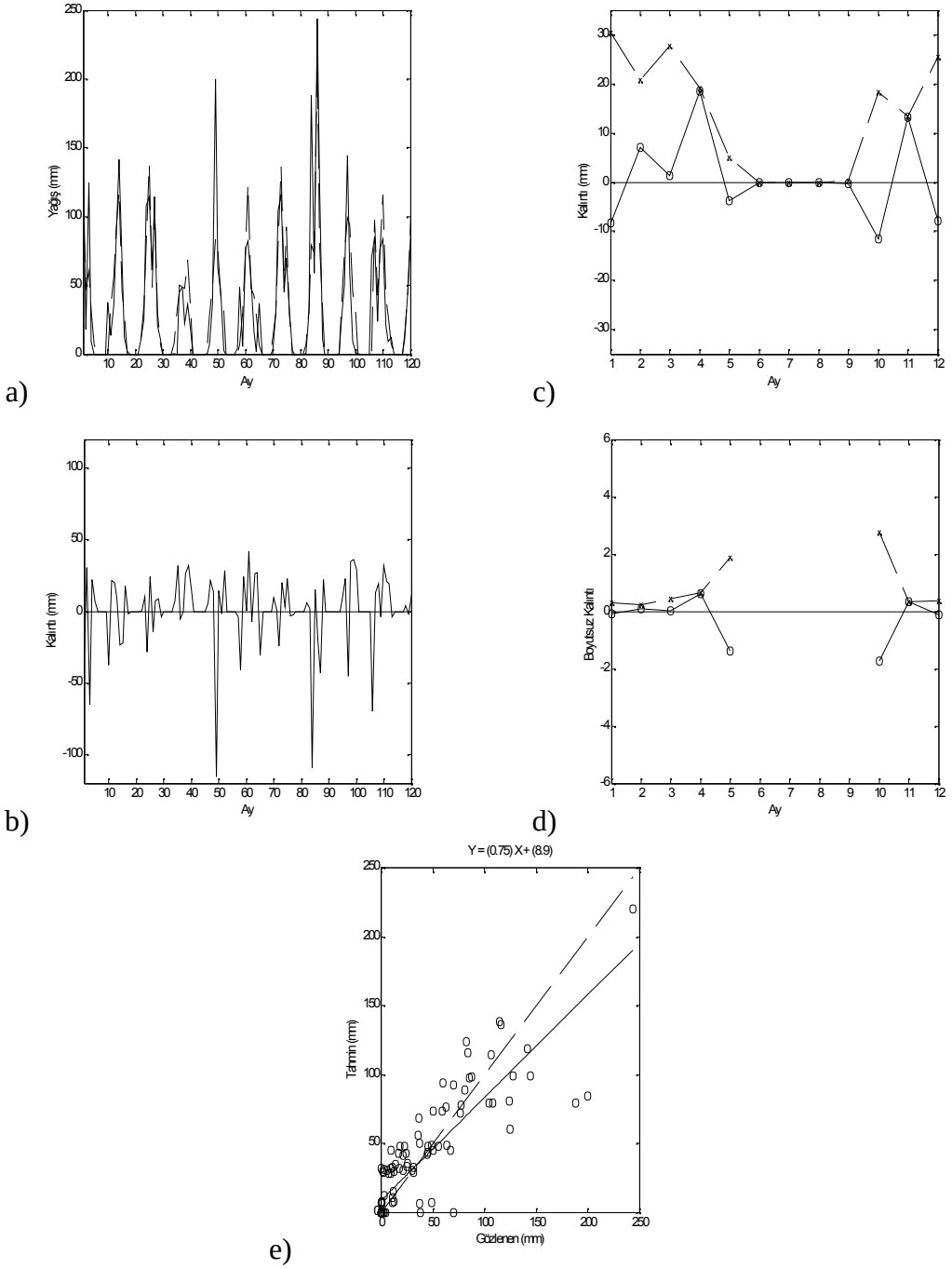
Şekil F.14: Baqura İstasyonuna Ait sMC-GR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



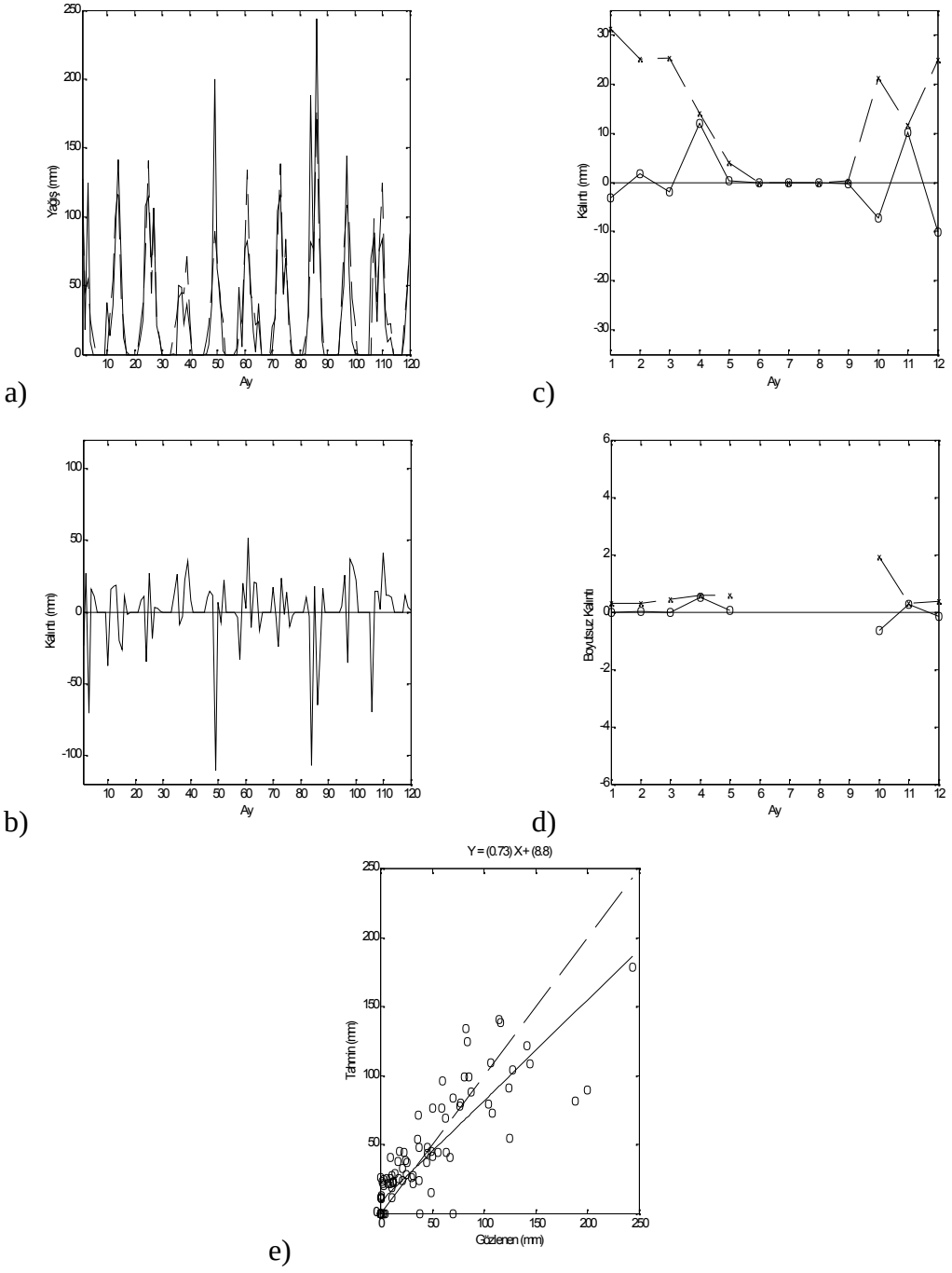
Şekil F.15: Baqura İstasyonuna Ait sMC-ÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.8: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

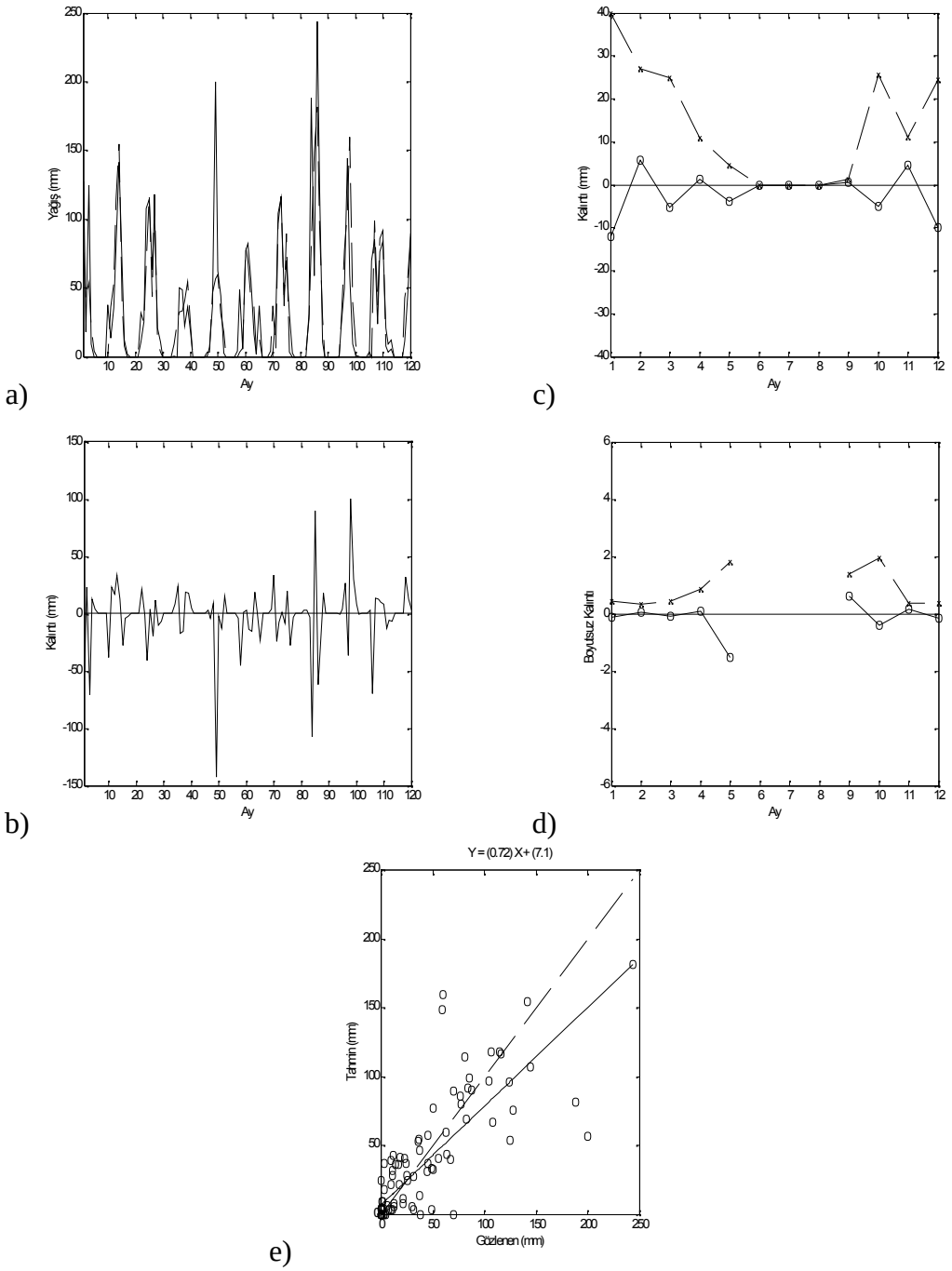
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sMC-İBGY	1031.2	0.54	0.55	15.0	101.7	0.0	38
sMC-RT	1096.5	0.51	0.51	16.0	105.8	0.0	41
sMC-GR	1390.2	0.39	0.38	14.0	93.4	0.0	38
sMC-ÇDR	1175.3	0.48	0.47	18.0	95.3	0.0	41



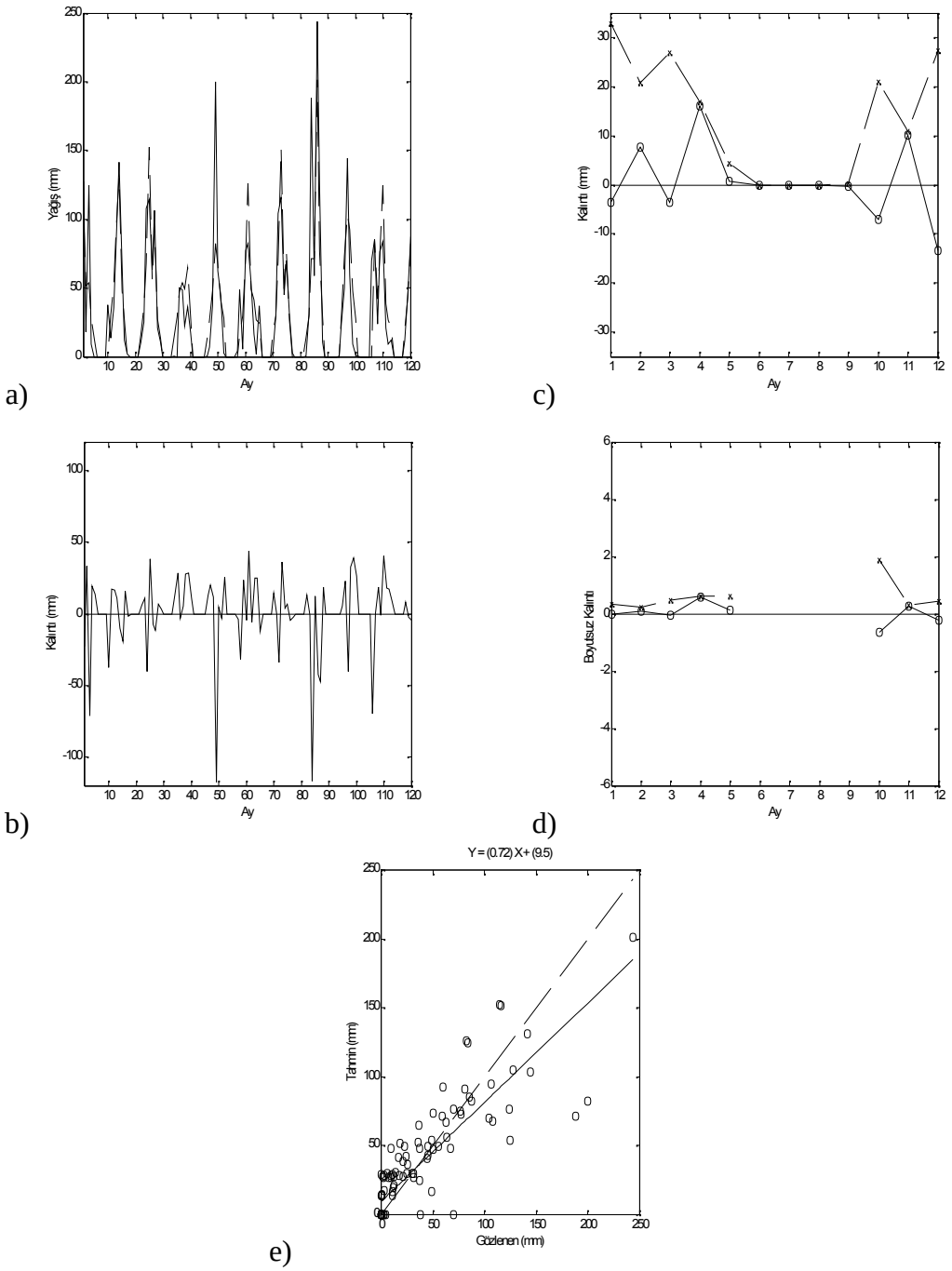
Şekil F.16: Baqura İstasyonuna Ait sMC-kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.17: Baqura İstasyonuna Ait sMC-kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



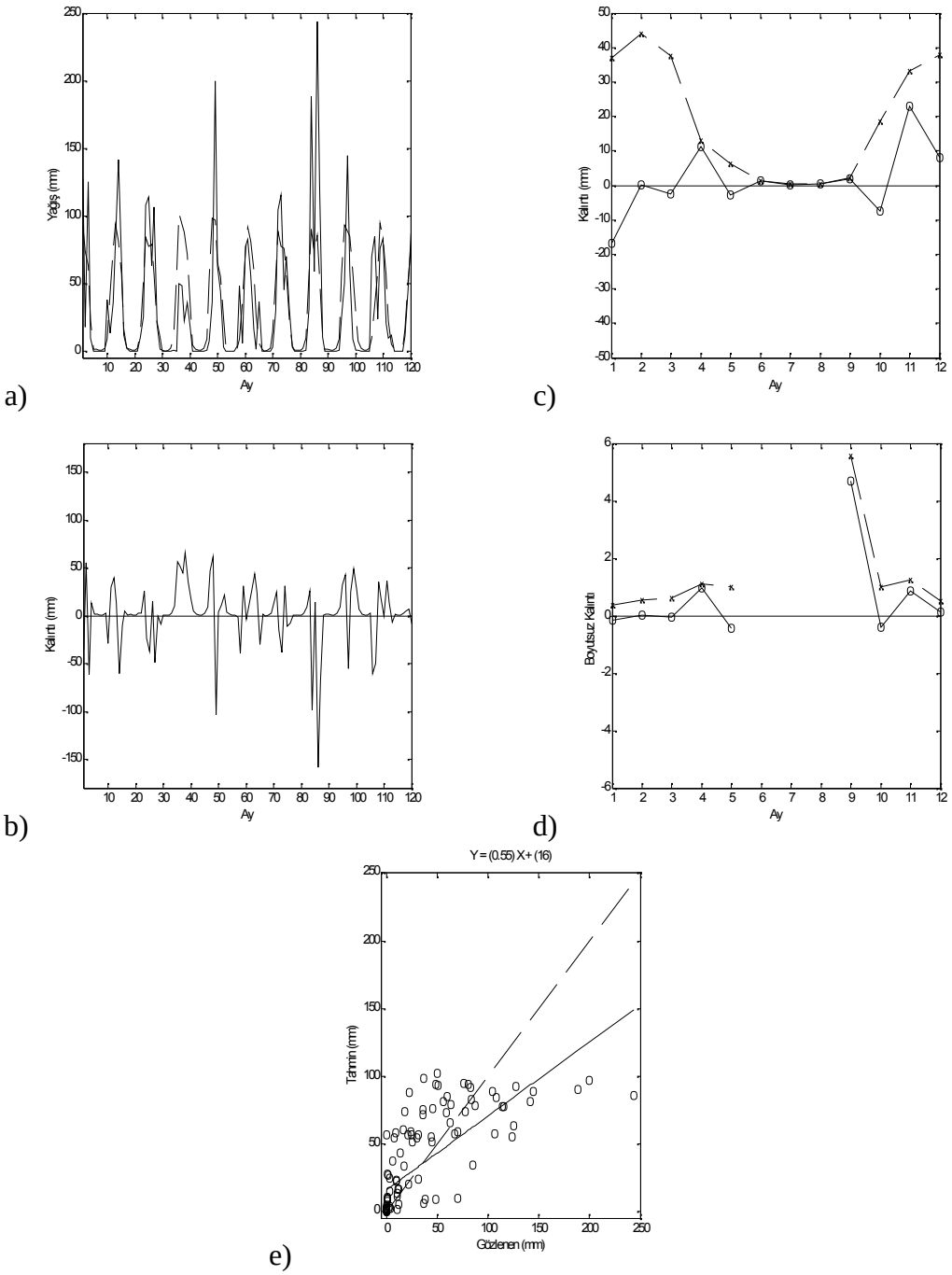
Şekil F.18: Baqura İstasyonuna Ait sMC-kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



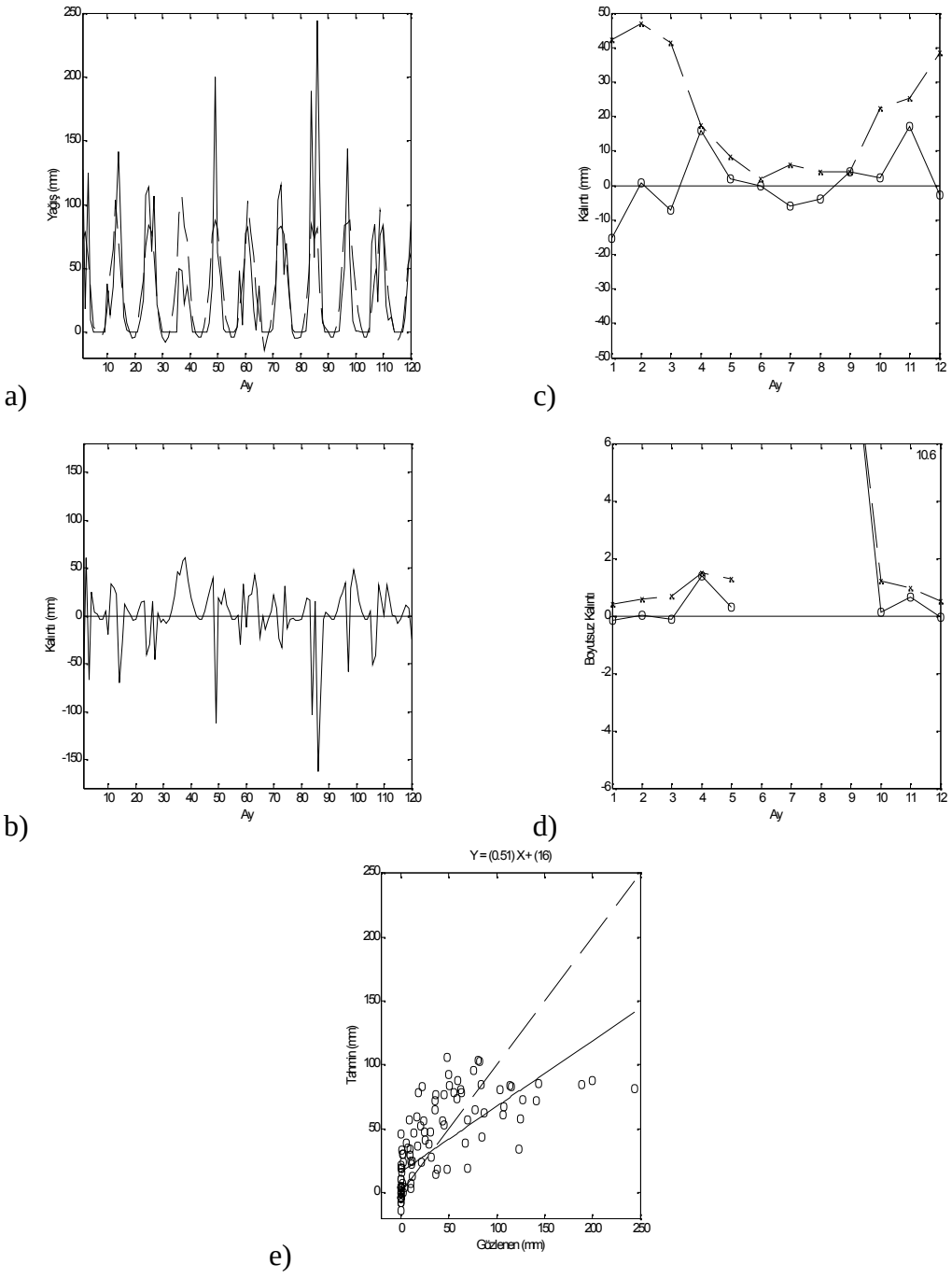
Şekil F.19: Baqura İstasyonuna Ait sMC-kÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.9: Seçilen Modellerin Performans Kriterleri

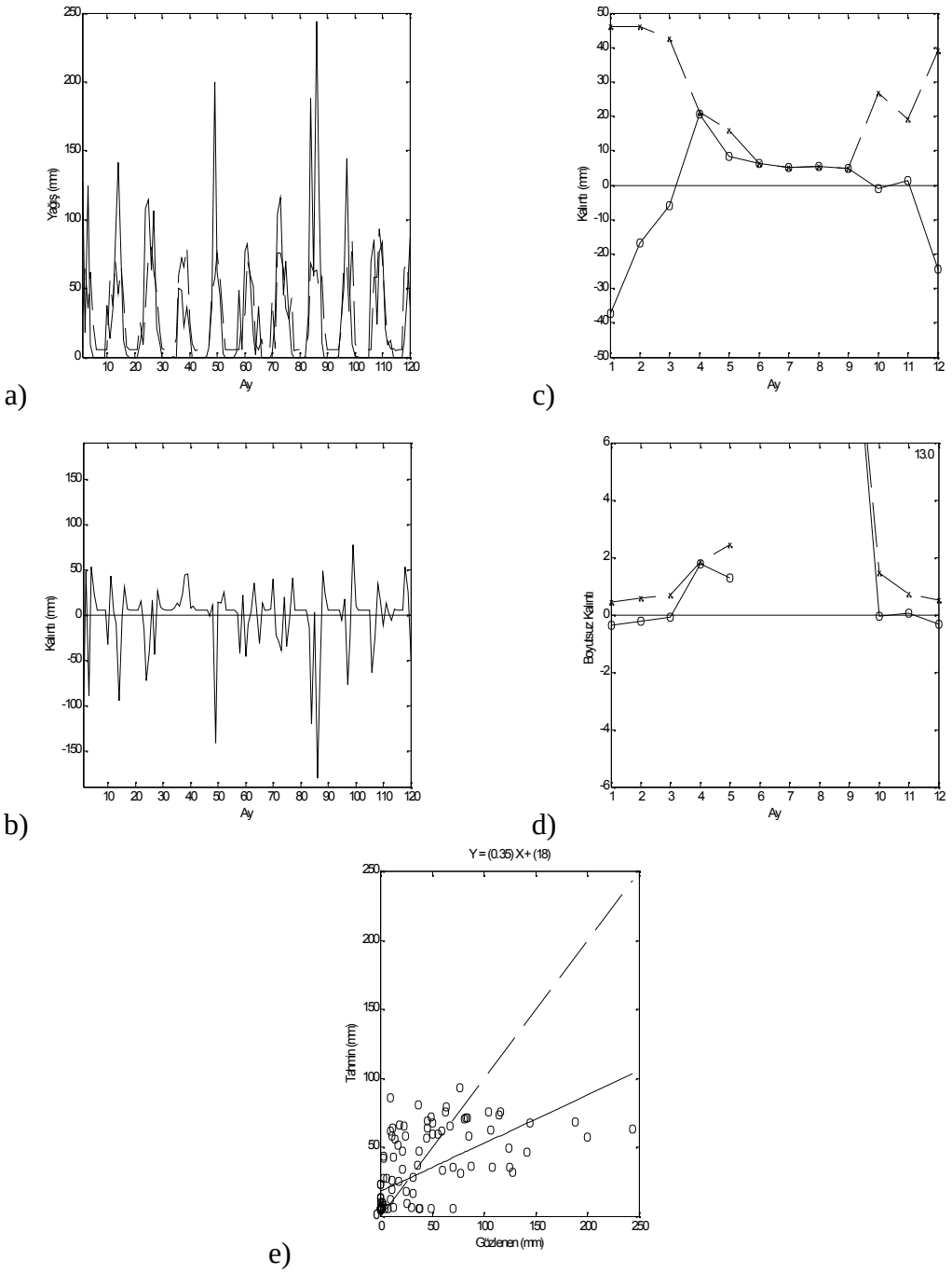
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sMC-kİBGY	554.7	0.75	0.75	8.9	220.3	0.0	41
sMC-kRT	544.7	0.76	0.73	8.8	179.0	0.0	41
sMC-kGR	743.9	0.67	0.72	7.1	181.8	0.0	38
sMC-kÇDR	590.1	0.74	0.72	9.5	201.6	0.0	41



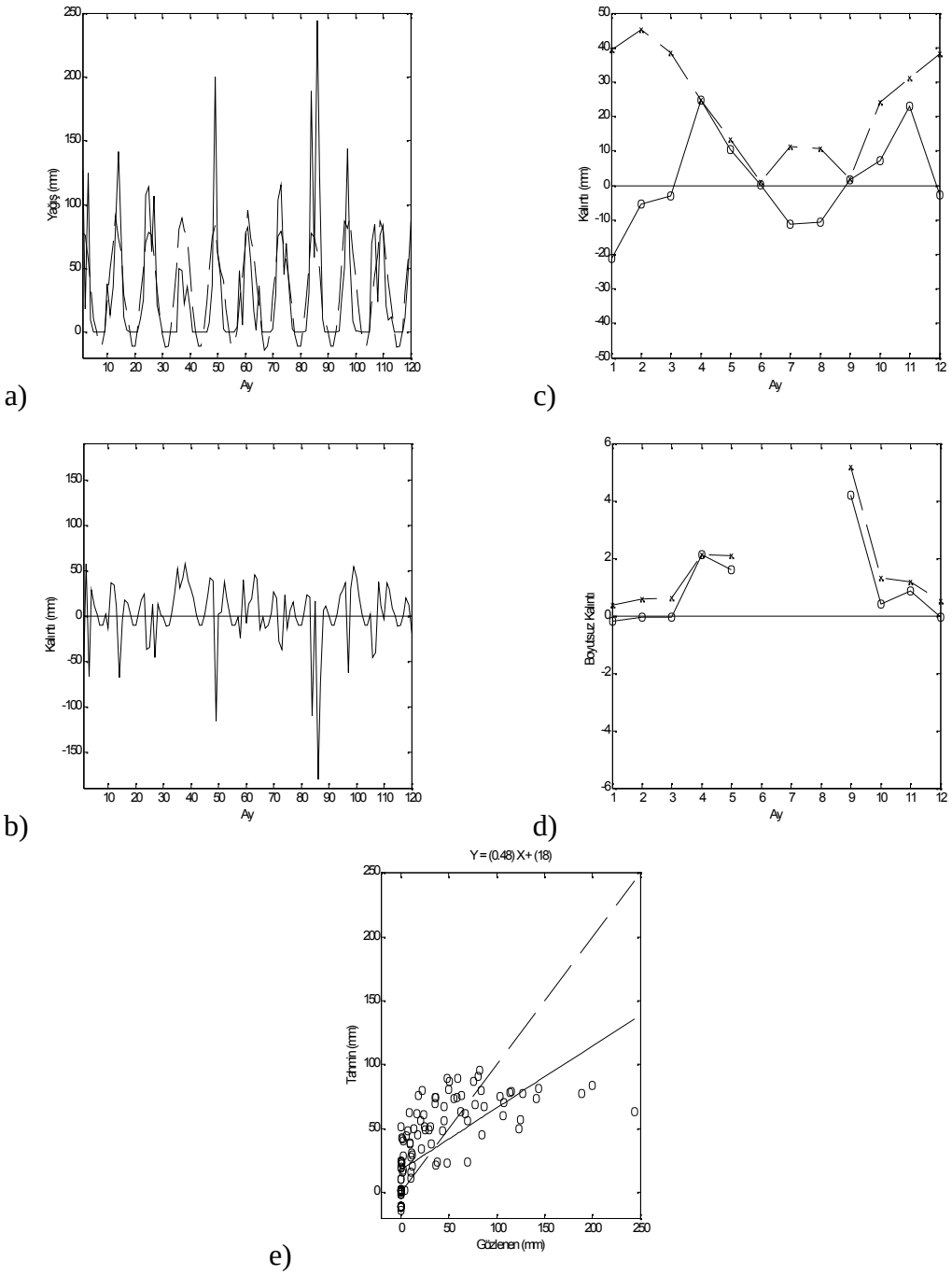
Şekil F.20: Baqura İstasyonuna Ait sİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.21: Baqura İstasyonuna Ait sRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



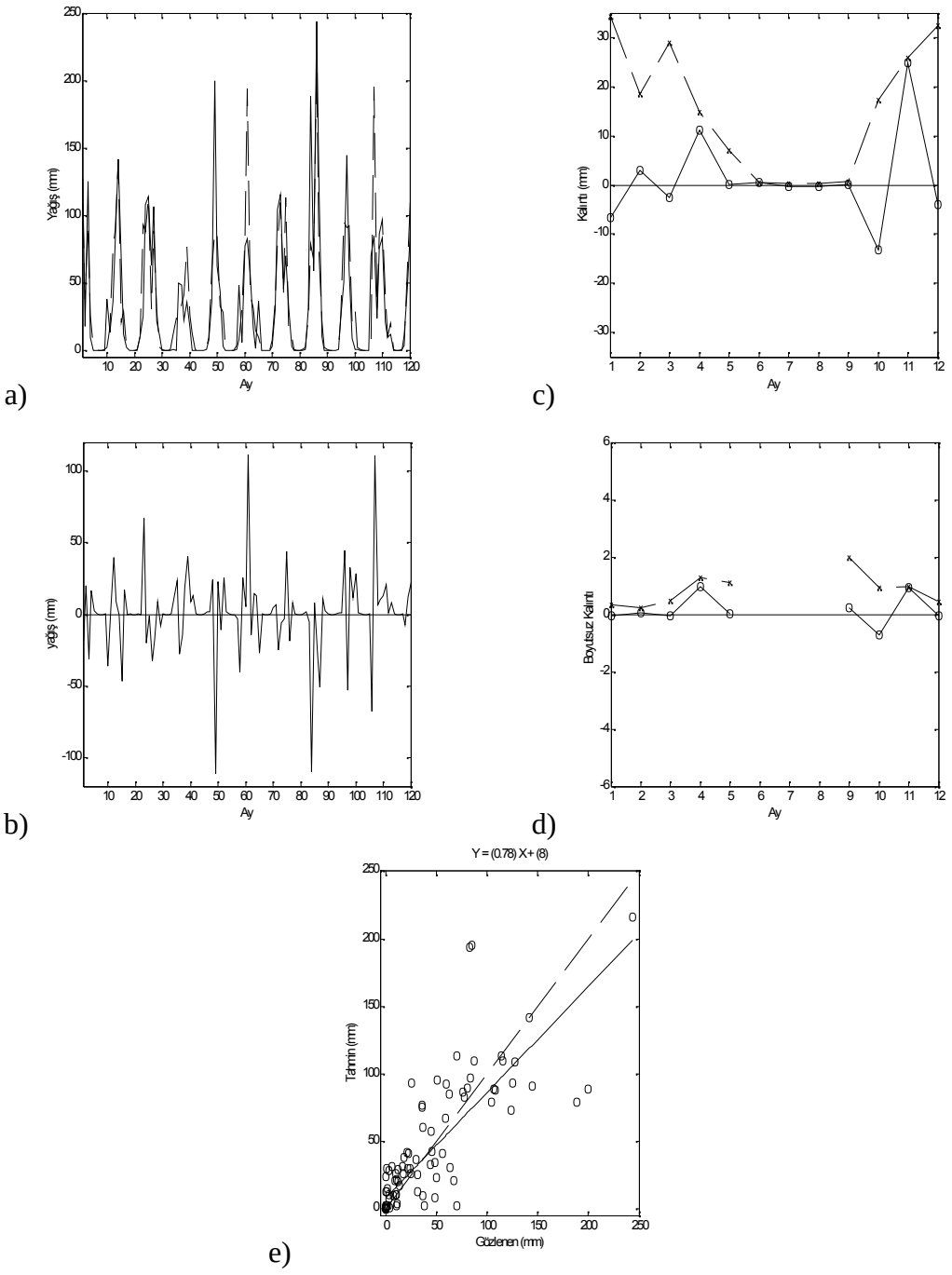
Şekil F.22: Baqura İstasyonuna Ait sGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



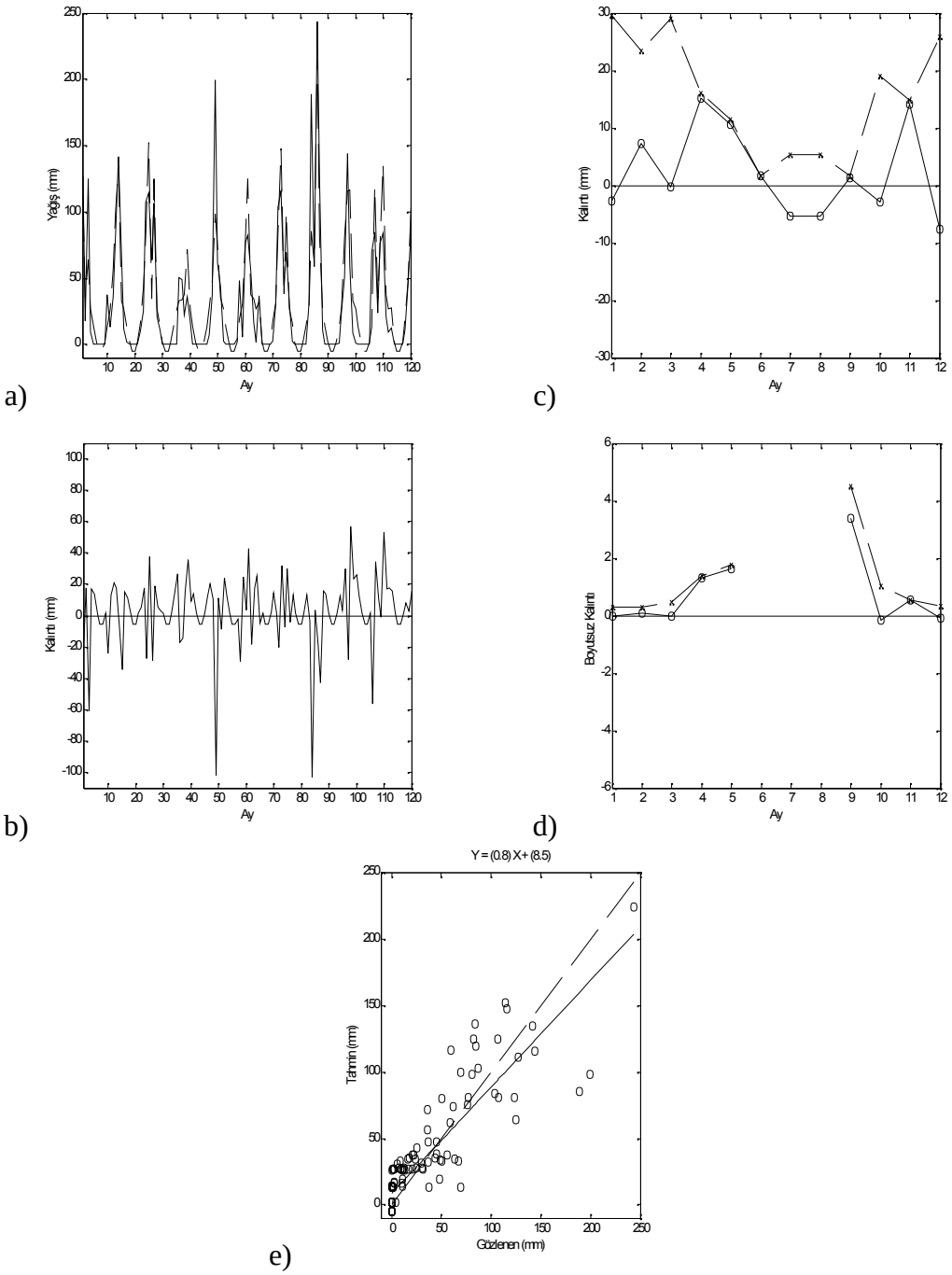
Şekil F.23: Baqura İstasyonuna Ait sÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.10: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Modellerin Performans Kriterleri

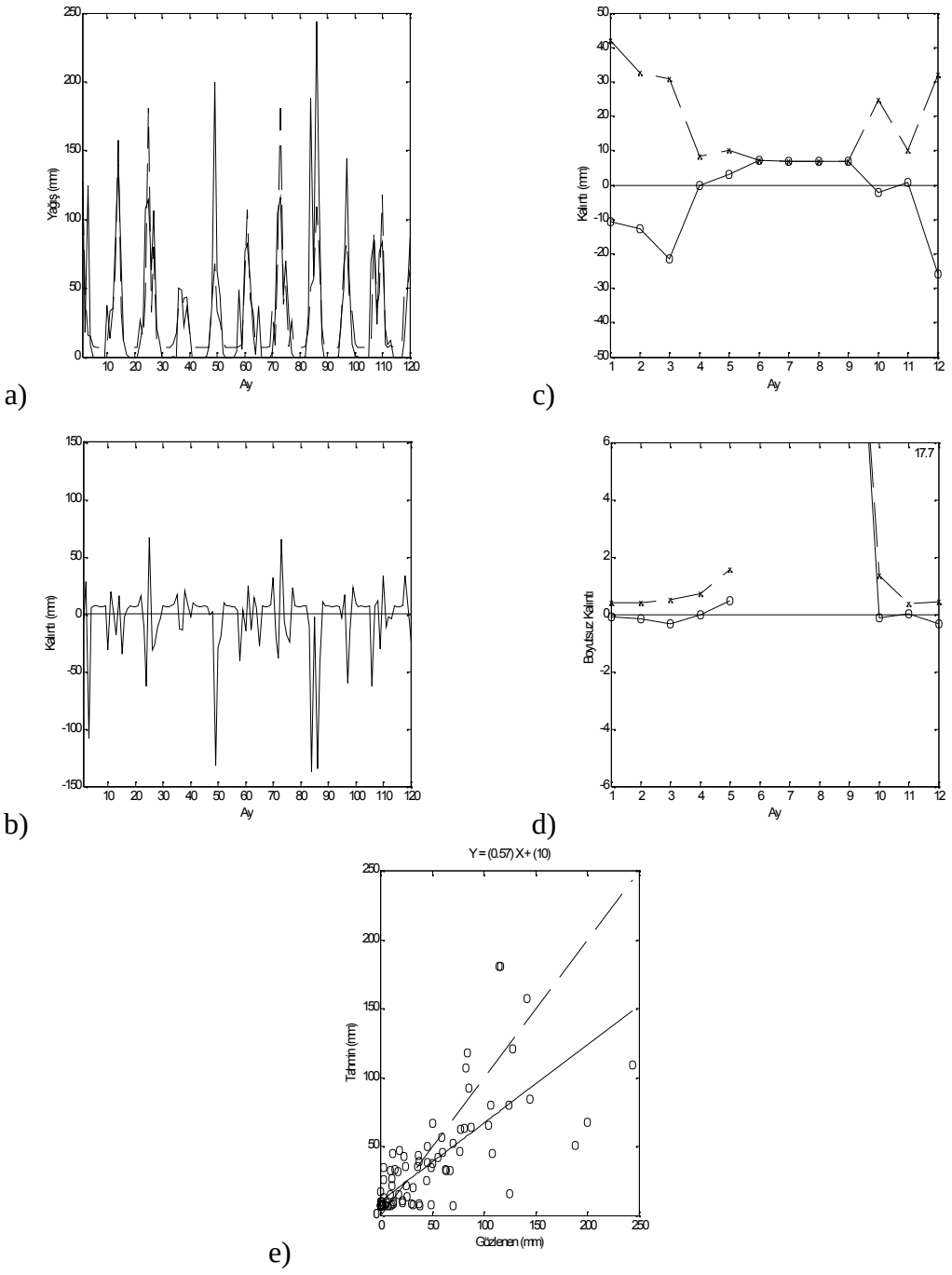
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
sİBGY	1017.6	0.55	0.55	16.0	101.7	-0.5	0.0
sRT	1082.3	0.52	0.51	16.0	105.8	-14.0	0.0
sGR	1410.4	0.38	0.35	18.0	93.4	4.9	0.0
sÇDR	1181.3	0.47	0.48	18.0	95.3	-14.2	0.0



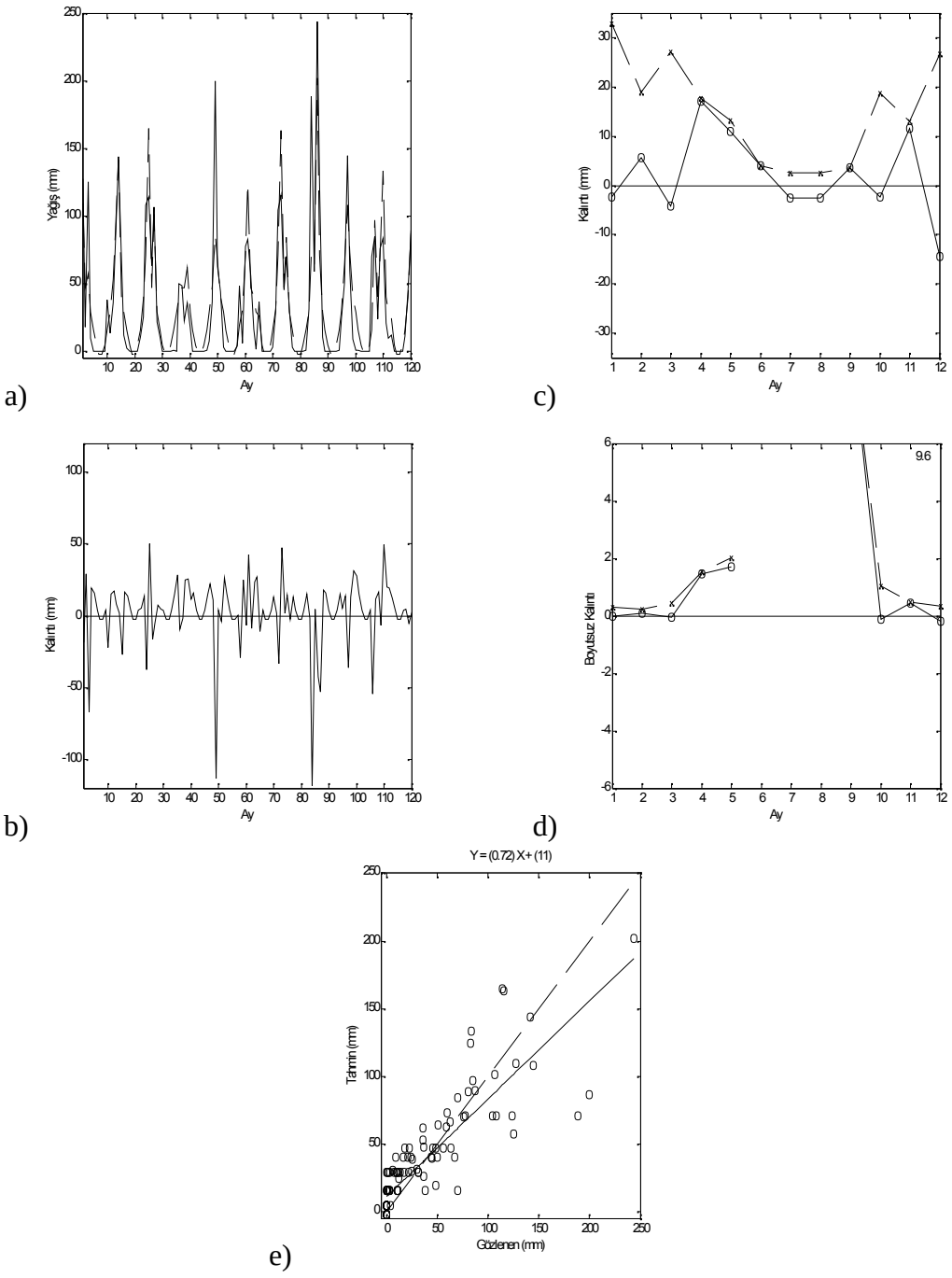
Şekil F.24: Baqura İstasyonuna Ait kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.25: Baqura İstasyonuna Ait kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



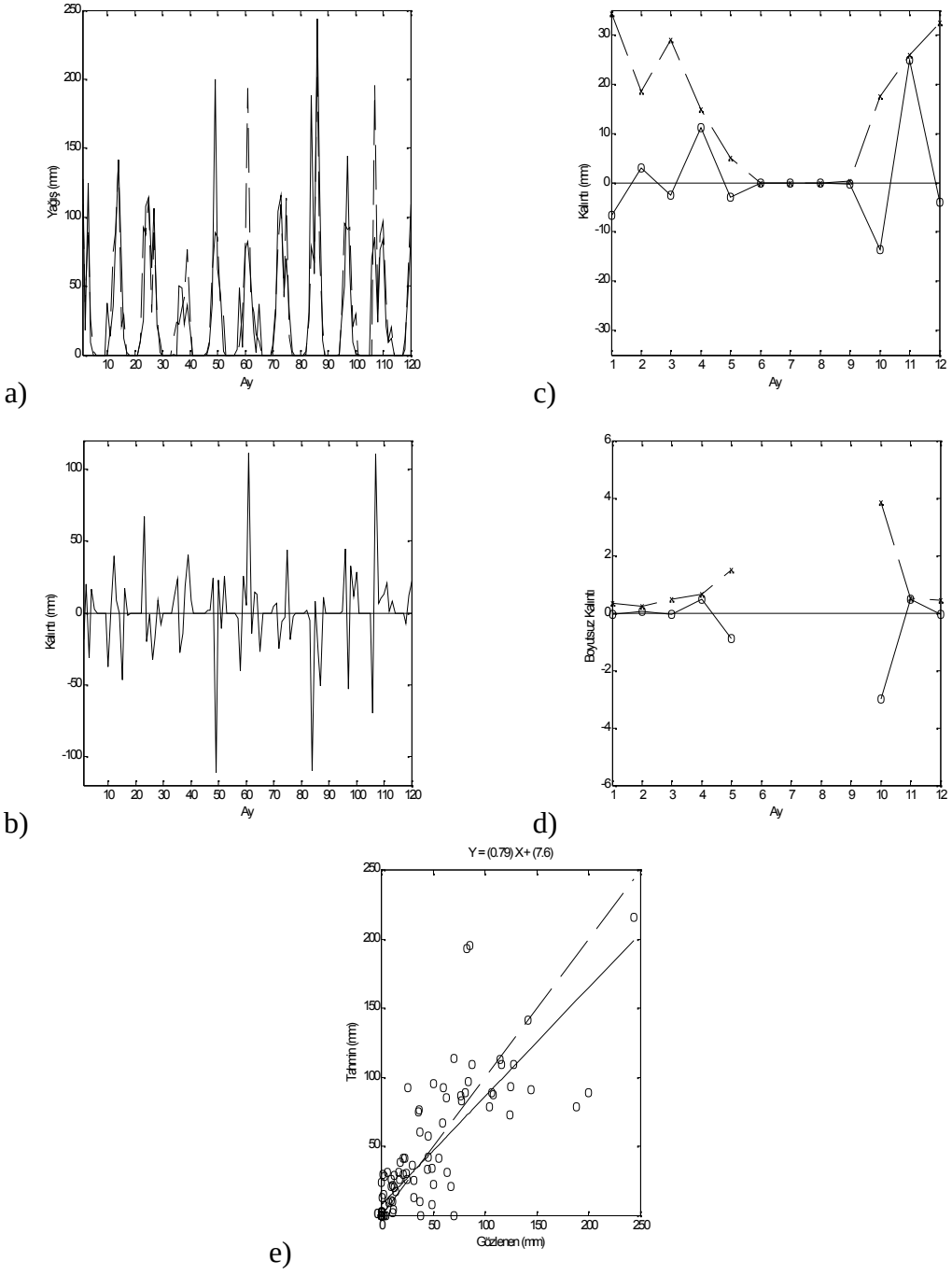
Şekil F.26: Baqura İstasyonuna Ait kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



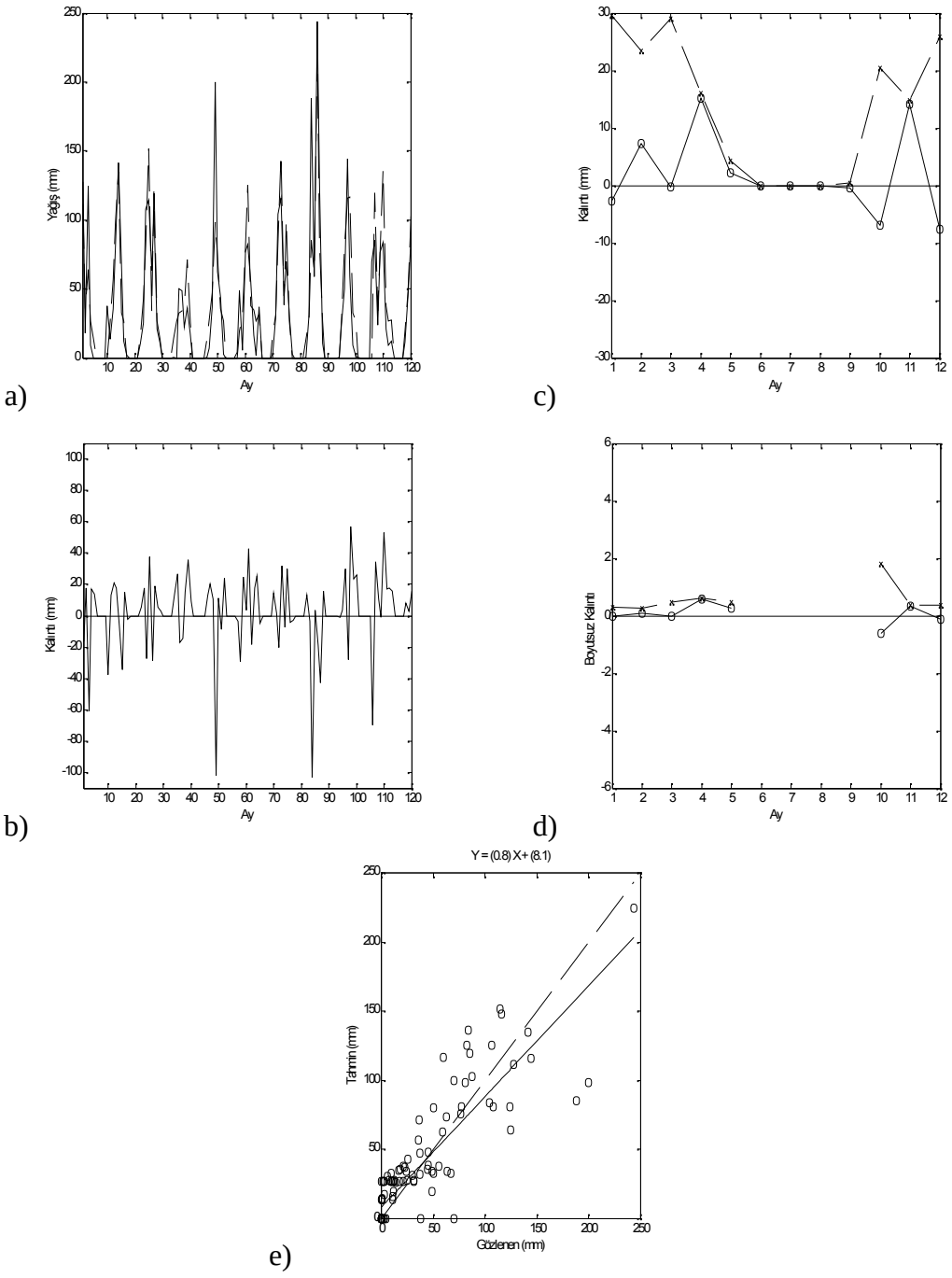
Şekil F.27: Baqura İstasyonuna Ait kÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.11: Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

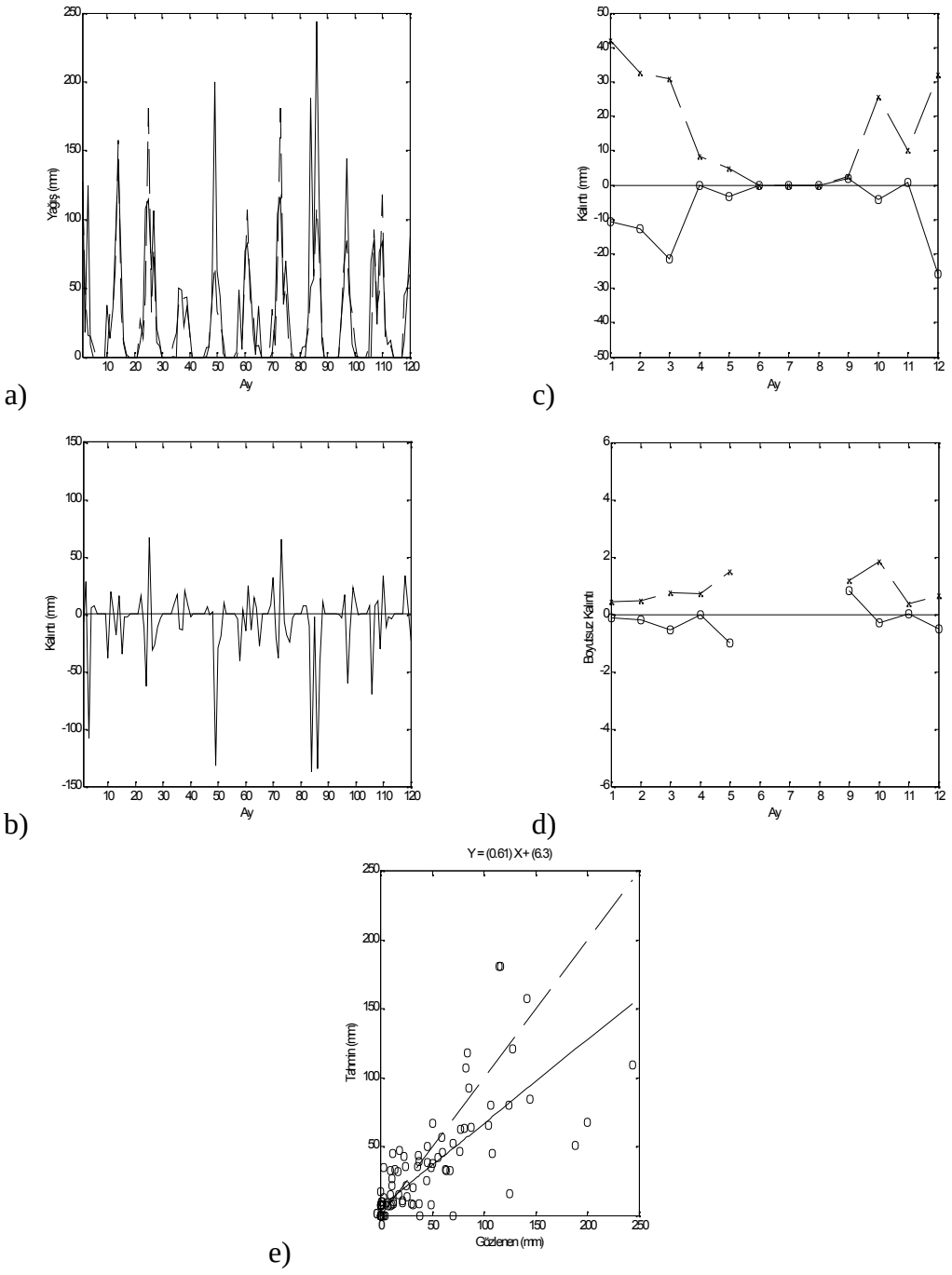
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
kİBGY	766.1	0.68	0.78	8.0	216.1	-0.3	0.0
kRT	527.0	0.77	0.80	8.5	224.6	-5.3	0.0
kGR	942.6	0.58	0.57	10.0	180.9	7.0	0.0
kÇDR	581.3	0.74	0.72	11.0	201.5	-2.6	0.0



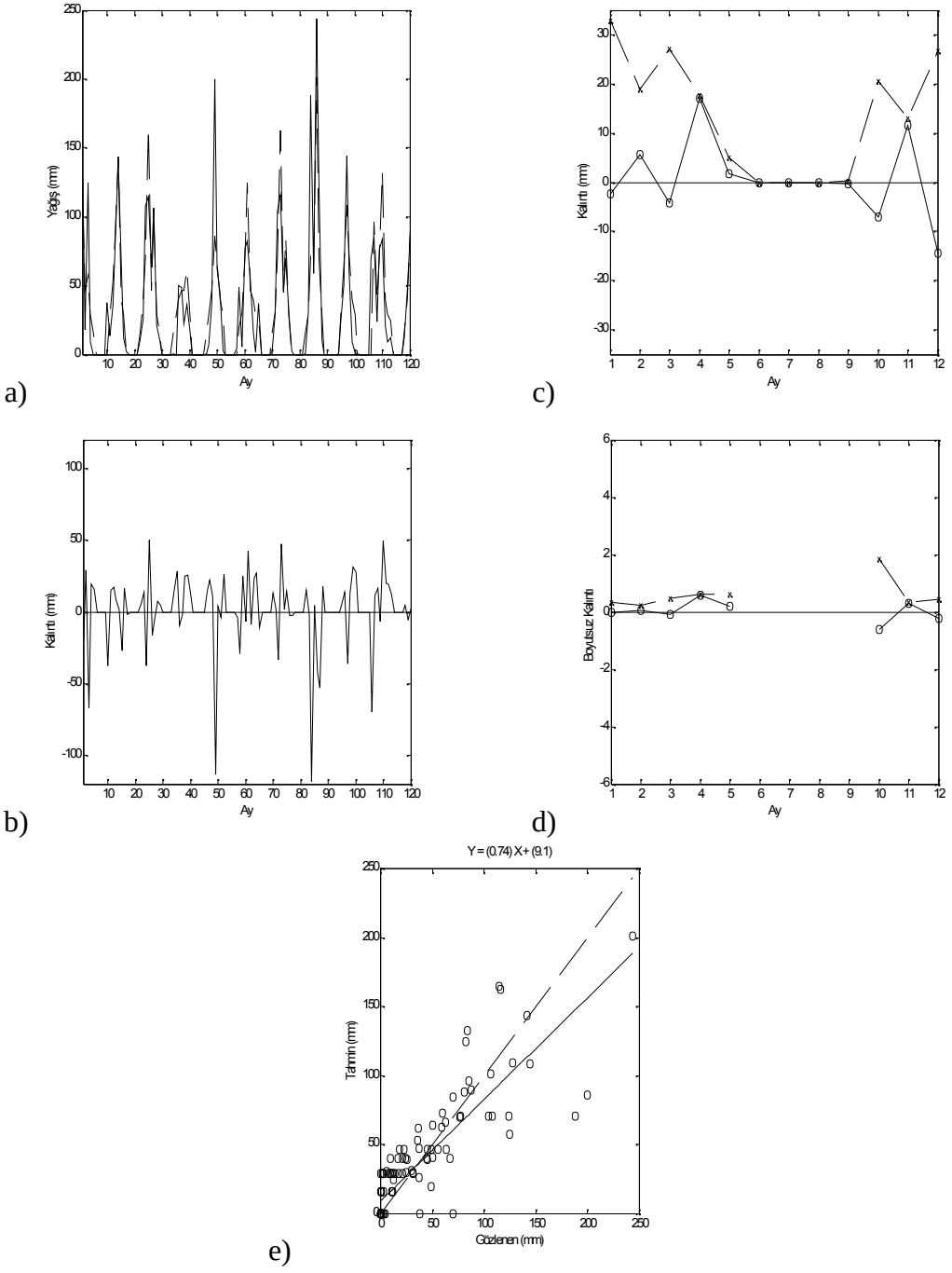
Şekil F.28: Baqura İstasyonuna Ait MC-kİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.29: Baqura İstasyonuna Ait MC-kRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



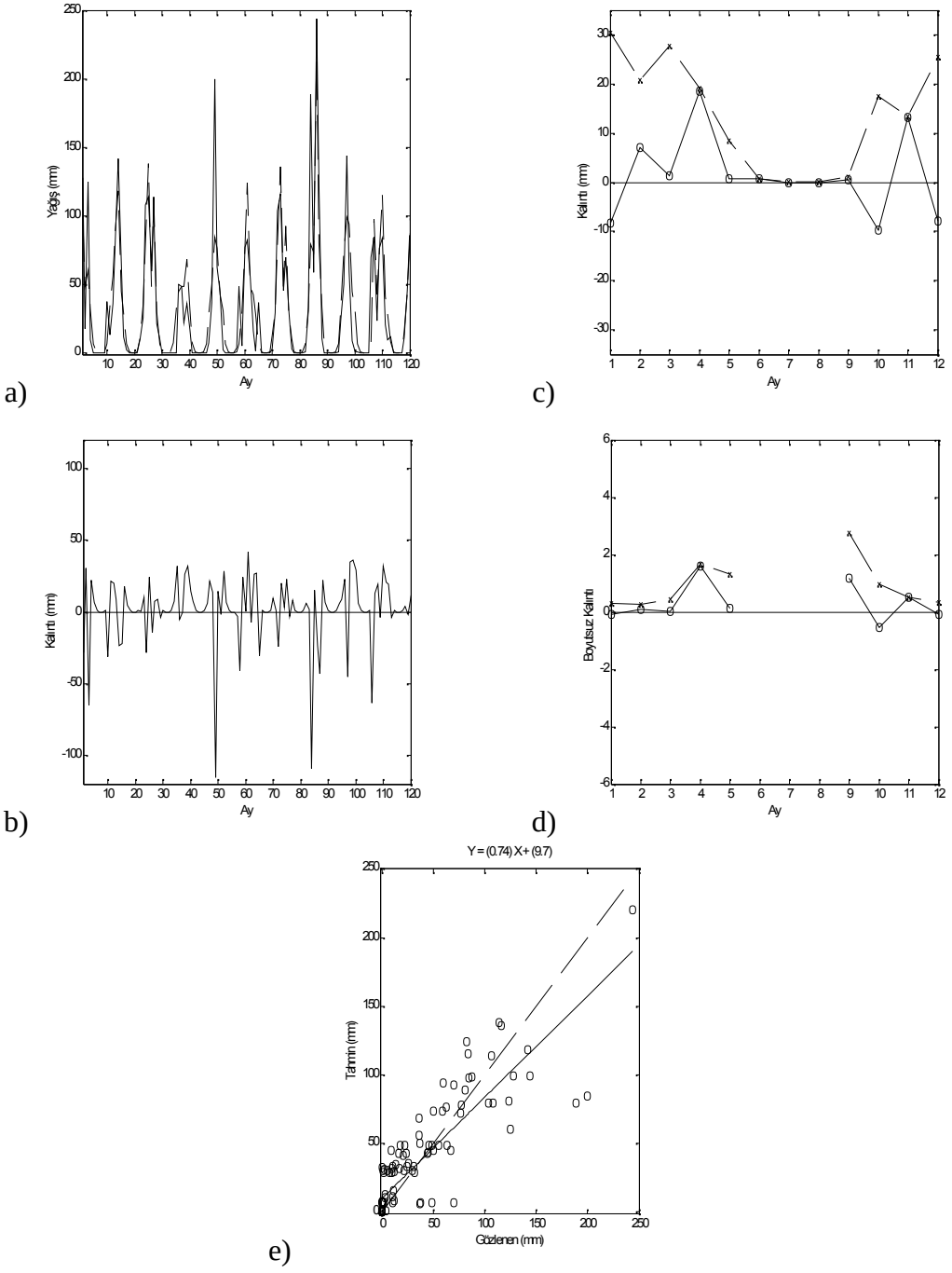
Şekil F.30: Baqura İstasyonuna Ait MC-kGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



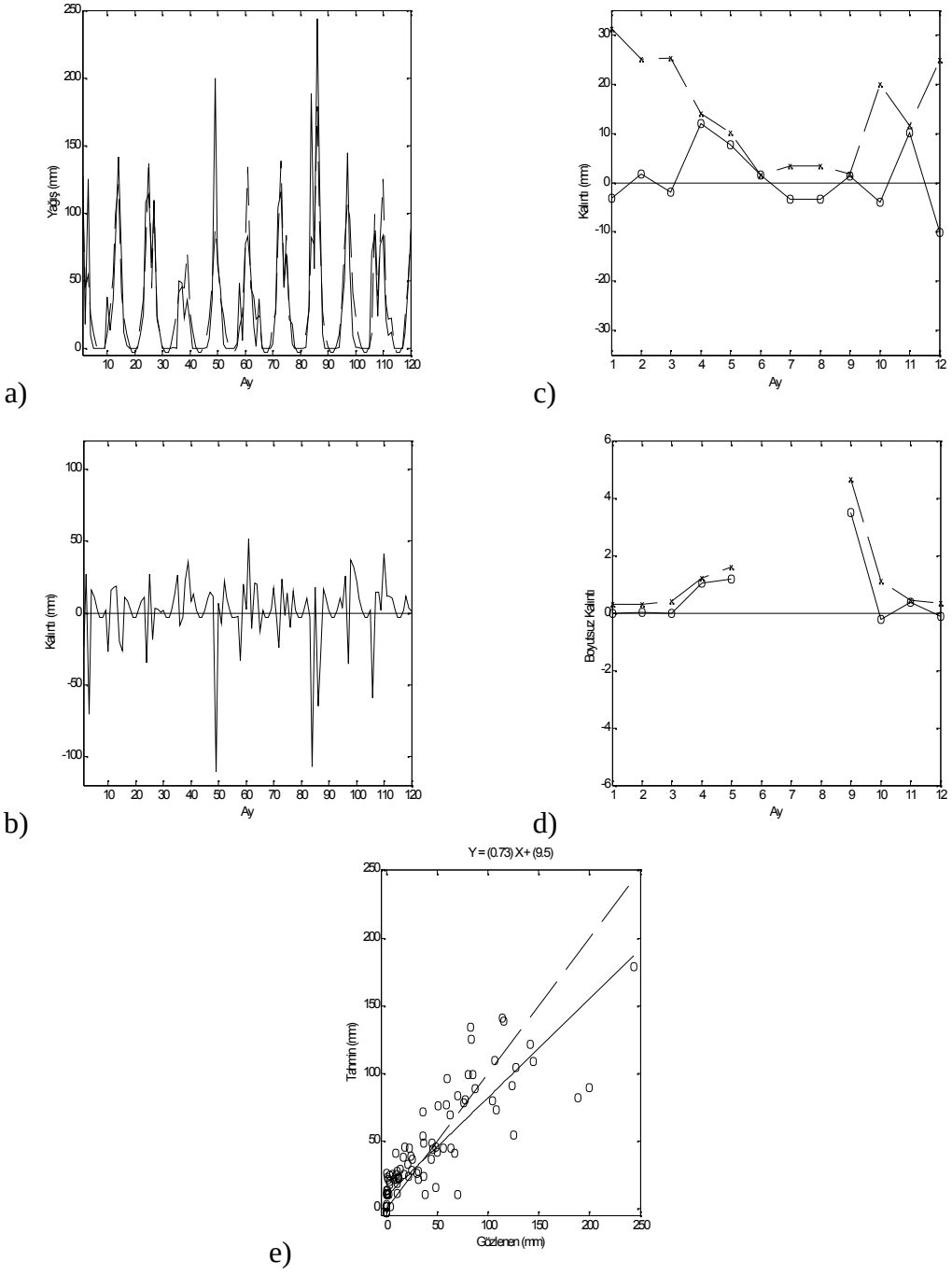
Şekil F.31: Baqura İstasyonuna Ait MC-kÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.12: MC ile Birleştirilmiş Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

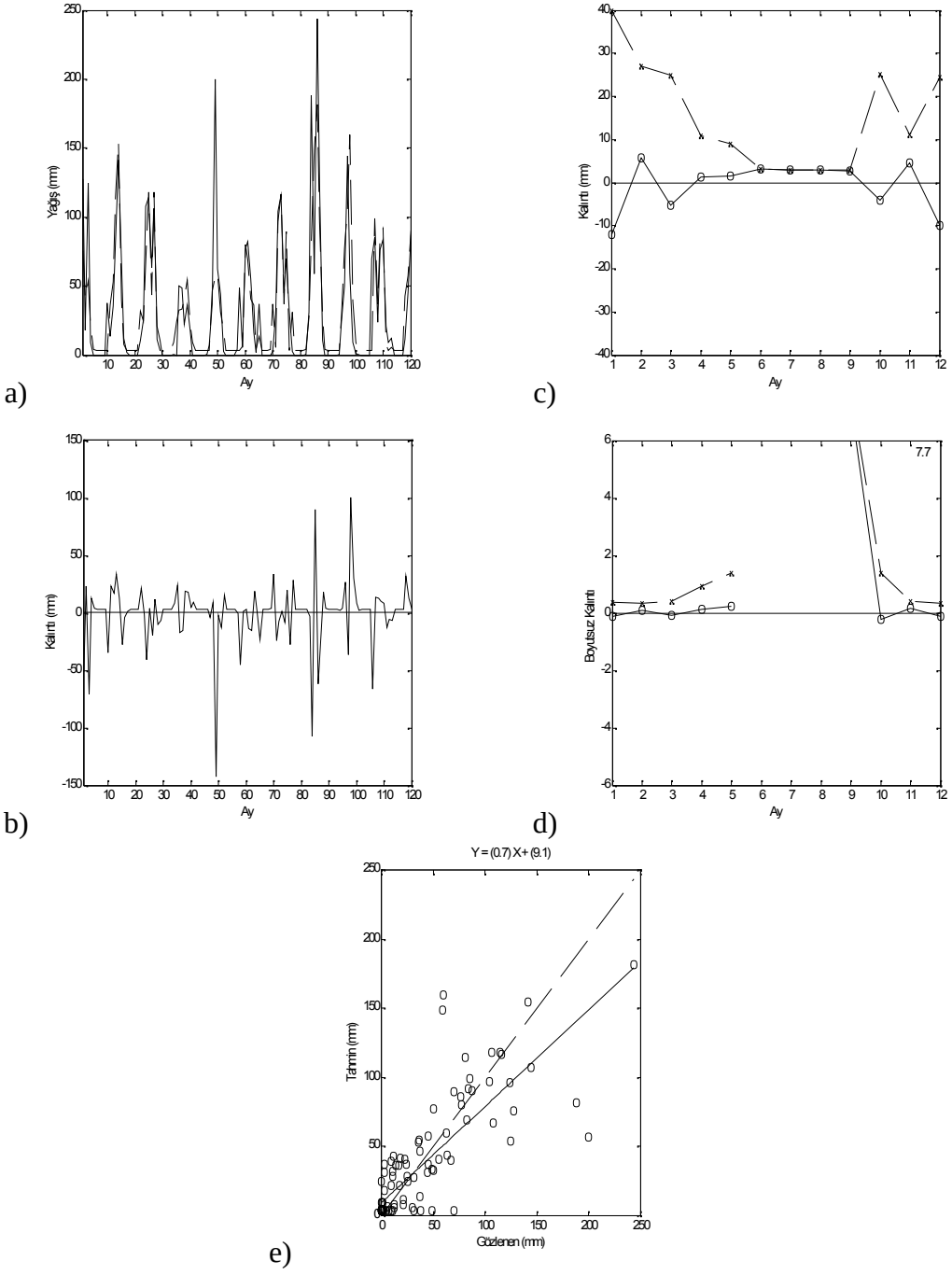
Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
MC-kİBGY	767.4	0.68	0.79	7.6	216.1	0.0	41
MC-kRT	533.3	0.77	0.80	8.1	224.6	0.0	41
MC-kGR	932.9	0.60	0.61	6.3	180.9	0.0	38
MC-kÇDR	589.2	0.74	0.74	9.1	201.5	0.0	41



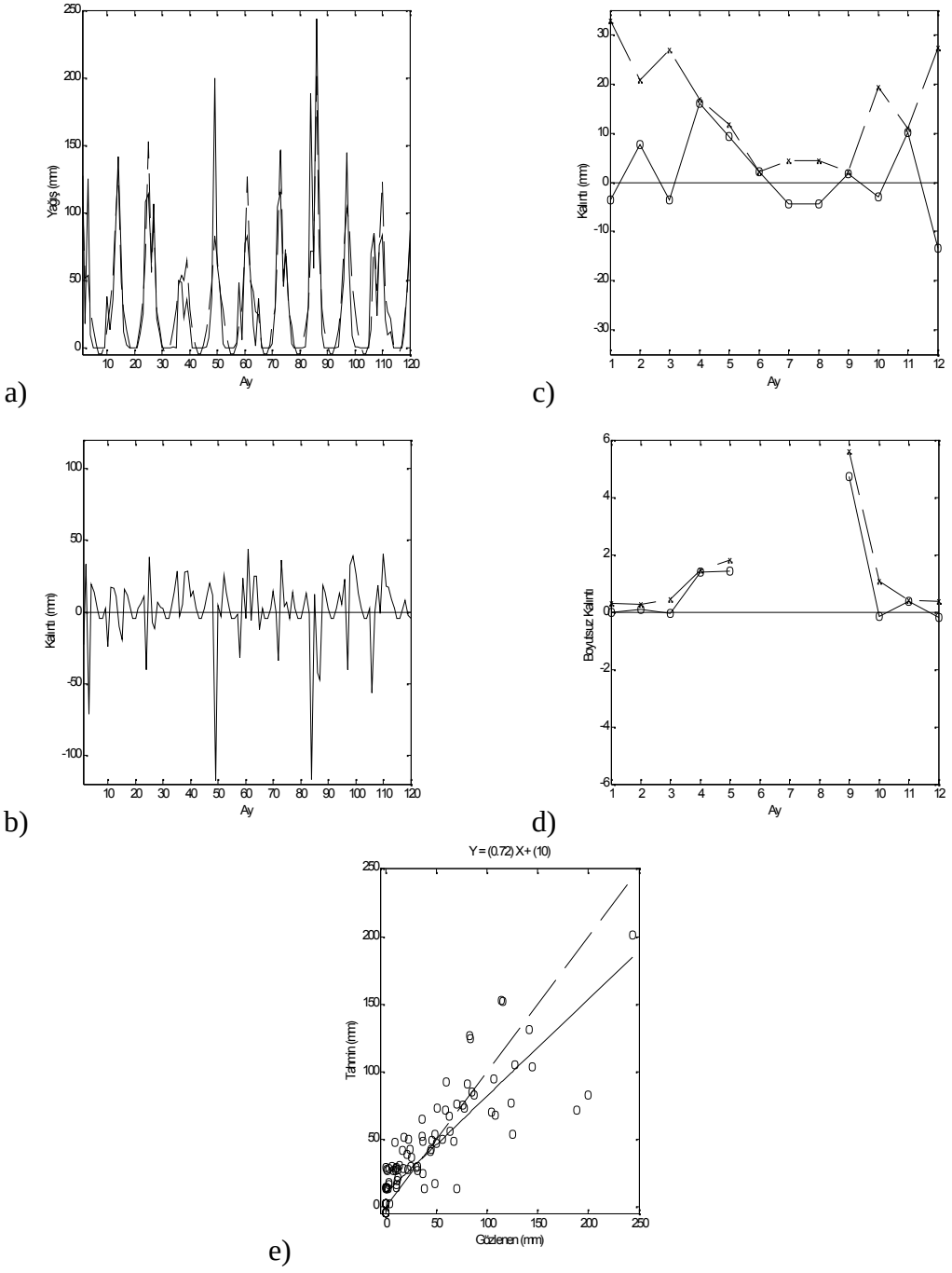
Şekil F.32: Baqura İstasyonuna Ait skİBGY YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.33: Baqura İstasyonuna Ait skRT YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.34: Baqura İstasyonuna Ait skGR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı



Şekil F.35: Baqura İstasyonuna Ait skÇDR YSA Sonuçları a) Gözlenen (Düz) ve Tahmin Edilen (Kesikli) Yağış, b) Tahmin Edilen ve Gözlenen Yağış Arasındaki Fark, c) Aylık Ortalama Hata (Düz), Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), d) Boyutsuz Aylık Ortalama Hata (Düz), Boyutsuz Aylık Ortalama Mutlak Hata (Kesikli), e) Saçılma Diyagramı

Tablo F.13: Sentetik Serilerle Güçlendirilmiş Koşullu Modellerin Performans Kriterleri

Model	*OKH* (mm^2)	R^2	*a*	*b*	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Kuru ay %
skİBGY	546.2	0.76	0.74	9.7	220.3	≈0.0	0
skRT	537.2	0.76	0.73	9.5	179.0	-3.4	0
skGR	748.7	0.67	0.70	9.1	181.8	3.0	0
skÇDR	582.8	0.74	0.72	10.0	201.6	-4.4	0

ÖZGEÇMİŞ

Ahmad Dahamsheh, 1960 Zarka/Ürdün doğumludur. İlk öğrenimini Zarka ilkokullarında, orta ve lise öğrenimini İrbid okullarında tamamladı. Lisans eğitimini İ.T.Ü Uçak ve Uzay Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde tamamlayarak 1988 yılında mezun oldu. 1989'da Ürdün Devlet Meteoroloji İşlerinde rasatçı, hava tahmincisi ve son olarak hava tahmini denetçisi görevlerinde bulundu. 2001 yılında Ürdün hükümeti tarafından yüksek lisans ve doktora eğitimi için İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne gönderildi. 2003 yılında yüksek lisansını Meteoroloji Mühendisliği'nde bitirdi. Aynı yıl İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programında doktoraya başladı.

Evli ve iki çocuk babası olan Ahmad Dahamsheh halen Ürdün Devlet Meteoroloji İşlerinde çalışmaktadır.