

**DAĞLIK FIRAT HAVZASINDA
ENSEMBLE TAHMİN SİSTEMİNE DAYALI
HİDROLOJİK MODELLEME**

M. Cansaran ERTAŞ
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ağustos-2014

Bu tez çalışması 113Y075 No'lu TÜBİTAK ve 1307F284 No'lu BAP projeleri tarafından desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

M. Cansaran ERTAŞ'ın “**Dağlık Fırat Havzasında Ensemble Tahmin Sistemine Dayalı Hidrolojik Modelleme**” başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 07.08.2014 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. AYNUR ŞENSOY ŞORMAN
Üye : Doç.Dr. NERMİN ŞARLAK
Üye : Yard.Doç.Dr. ALİ ARDA ŞORMAN

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DAĞLIK FIRAT HAVZASINDA ENSEMBLE TAHMİN SİSTEMİNE DAYALI HİDROLOJİK MODELLEME

M. Cansaran ERTAŞ

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

2014, 118 sayfa

Artan Dünya nüfusu, küresel ısınma, taşkın ve kuraklık gibi konular, su kaynakları yönetimi ve hidroloji bilimine olan ilgiyi artırmaktadır. Bu nedenle, büyük barajları barındıran dağlık Fırat Havzası'nda bahar ve erken yaz döneminde gerçekleşen akımların modellenmesi ve tahmin edilmesi enerji ve su kaynakları yönetimi bakımından önemlidir.

Bu çalışmada Türkiye'nin önemli akarsularından, Fırat Nehri'nin membasında yer alan ve 10,275 km² alana sahip olan Yukarı Fırat (Karasu) Havzası uygulama alanı olarak seçilmiştir. Çalışmanın amacı olasılık odaklı tahmin sistemi kullanılarak ileriye dönük, orta vadeli akım tahmini yapmaktır. Akım tahminlerini yapmak üzere literatürde yaygın bir kullanıma sahip olan HBV kavramsal hidrolojik modeli seçilmiştir. Olasılık odaklı sayısal hava tahmin verisi olarak, ECMWF tarafından üretilen ve 51 farklı hava tahminini içeren Ensemble Tahmin Sistemi (EPS) kullanılmıştır. 2008-2012 yıllarının, erime dönemi olan Mart-Haziran ayları çalışma periyodu olarak seçilmiştir. Öncelikle arşivlenmiş EPS tahmin verisinin yer gözlemleri ile tutarlılığının belirlenmesi için performans değerlendirme analizleri ve bu tahminlerdeki sistematik hataları gidermek için hata düzeltme çalışmaları yapılmıştır. Yinelenen performans analizleri, tahmin verileri ve yer gözlemleri tutarlılıklarında artış olduğunu göstermiştir. Daha sonra, ham ve düzeltilmiş EPS verileri HBV modelinde kullanılarak, 1-9 gün ileriye dönük akım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, olasılıklı akım tahminlerinin ve benzeşimi yapılan akım verilerinin karşılaştırması sunulmuş ve tartışılmıştır.

Türkiye'de EPS'e dayalı olasılıklı akım tahmini çalışması için bir ilk olma niteliği taşıyan bu tez çalışmasının, operasyonel hidroloji uygulamalarında ve su kaynakları yönetiminde öncülük etmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ensemble Tahmin Sistemi; Fırat Havzası; HBV; Hata düzeltme

ABSTRACT
Master of Science Thesis
HYDROLOGICAL MODELING BASED ON
ENSEMBLE PREDICTION SYSTEM
IN THE MOUNTAINOUS EUPHRATES BASIN

M. Cansaran ERTAŞ
Anadolu University
Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN
2014, 118 pages

Subjects such as increasing world population, global warming, flood and drought, increase the interest in water resource management and hydrology science. Therefore, in the mountainous Euphrates Basin, hosting large reservoir dams, runoff modeling and forecasting during spring and early summer is important in terms of energy and water resources management.

In this study, the Upper Euphrates (Karasu) Basin (10,275 km²) located at the headwater of Euphrates River, one of Turkey's most important river, is selected as an application area. The aim of the study is to make forward-oriented, medium-range flow forecasts using probability based forecast system. Conceptual hydrological model HBV, which has a common usage in the literature, is chosen to predict streamflows. Ensemble Prediction System (EPS) including 51 different weather forecasts produced by ECMWF is used as probability based weather forecast data. Melting period during March-June of 2008-2012 is chosen as the study period. First of all, performance evaluation analysis is done to determine the consistency of archived EPS forecast data with ground observations and bias correction is performed to resolve the systematic errors in Ensemble Prediction System. Renewed performance analysis showed an increasing consistency between forecast data and ground observations. Then, using raw and corrected EPS data in HBV, runoff forecasts are done for 1-9 days lead time. As a result, ensemble and simulated runoff comparisons are presented and discussed.

This thesis sets a pioneer application for the probabilistic runoff forecasts based on EPS in Turkey and is supposed to lead operational hydrological applications and water resources management.

Keywords: Ensemble Prediction System; Euphrates Basin; HBV; Bias Correction

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında engin bilgi birikimleri ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, hoşgörü ve sabırlarıyla beni destekleyen, bilime olan tutkularıyla motivasyonumu her daim yüksek tutan değerli hocalarım, Doç. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN ve Yard. Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN'a

Çalışmalarım boyunca engin bilgisayar bilgisi ve tecrübeleriyle her türlü yardımı sağlayan çalışma arkadaşım Bulut AKKOL'a,

Destek ve görüşlerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Gökçen UYSAL ve Cihan ÇOŞKUN'a

Yetişmemde ve hayatımın her karesinde, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, varlığından güç aldığım canım AİLEME,

Hayatım boyunca beni yalnız bırakmayacak olan canım eşim Tuğçe ERTAŞ'a çok teşekkür ederim.

M.Cansaran ERTAŞ

Ağustos 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri.....	2
1.3. Tez Metninin Ana Hatları	3
2. ÇALIŞMA ALANI ve İSTASYONLAR.....	4
2.1. Çalışma Alanı	4
2.2. Çalışma Alanında Daha Önce Yürütülmüş Olan Çalışmalar	11
2.3. Hidro-meteorolojik Veriler.....	14
3. HAVA TAHMİN SİSTEMİ.....	20
3.1. Ensemble Tahmin Sistemi (Ensemble Prediction System).....	23
3.2. Ensemble Tahmin Sistemi Literatürü.....	28
3.3. Ensemble Doğrulama Sistemi (Ensemble Verification System).....	32
3.4. Tek Değer Odaklı ve Olasılık Odaklı Performans Parametreleri.....	35
3.4.1 Tek değer odaklı istatistiksel yöntemler.....	35
3.4.1.1 Korelasyon katsayısı (Correlation coefficient).....	35
3.4.1.2 Ortalama hata (Mean error).....	36
3.4.1.3 Mutlak ortalama hata (Mean absolute error).....	36
3.4.1.4 Ortalama bağıl hata (Relative mean error).....	37
3.4.1.5 Ortalama hataların karekökü (Root mean square error).....	37

3.4.2 Dağılım odaklı istatistiksel yöntemler.....	38
3.4.2.1 Brier değeri (BS).....	38
3.4.2.2 Brier performans değeri (BSS).....	39
3.4.2.3 Aralıksız sıralanmış olasılık değeri (CRPS).....	40
3.5. EPS Performans Analizi.....	41
3.6. Hata Düzeltme (Bias Correction) Çalışmaları.....	52
3.6.1 Lineer ölçekleme (Linear scaling).....	52
3.6.2 Değer odaklı ölçekleme (Local intensity scaling).....	54
3.6.3 Hata düzeltme çalışmaları sonrası performans analizi.....	55
4. HBV MODEL ÇALIŞMALARI.....	74
4.1. HBV Model Literatürü.....	75
4.2. HBV Model Yapısı.....	77
4.3. Model Uygulaması.....	81
4.4. Tahmin Çalışmalarının Performans Analizi.....	91
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR.....	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Yukarı Fırat (Karasu) Havzası'nın konumu.....	5
Şekil 2.2 (a)	E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu 2008 yılı akım hidrografi.....	6
Şekil 2.2 (b)	E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu 2009 yılı akım hidrografi.....	6
Şekil 2.2 (c)	E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu 2010 yılı akım hidrografi.....	7
Şekil 2.2 (d)	E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu 2011 yılı akım hidrografi.....	7
Şekil 2.2 (e)	E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu 2012 yılı akım hidrografi.....	8
Şekil 2.3	Karasu Havzası yükseklik haritası.....	9
Şekil 2.4	Karasu Havzası hipsometrik eğrisi.....	9
Şekil 2.5	Karasu Havzası eğim haritası.....	10
Şekil 2.6	Karasu Havzası arazi kullanımı haritası.....	11
Şekil 2.7	Karasu Havzası'nın içinde veya yakınında bulunan meteorolojik istasyonlar.....	16
Şekil 2.8	Erzincan istasyonu aylık toplam yağış grafiği.....	16
Şekil 2.9 (a)	Türkiye geneli uzun yıllar yağış ortalaması.....	17
Şekil 2.9 (b)	Erzincan istasyonu uzun yıllar yağış ortalaması.....	17
Şekil 2.10	Erzincan istasyonu aylık ortalama sıcaklık grafiği.....	18
Şekil 2.11	Detrended Kriging program arayüzü.....	19
Şekil 3.1	Ensemble tahmin sisteminin tahmin süresince davranışı.....	23
Şekil 3.2	05.06.2014 tarihinde Türkiye için 69x23 hücreden oluşan EPS yağış verisi.....	24
Şekil 3.3	05.06.2014 tarihli Ankara ili için 10 günlük yağış ve sıcaklık tahmini.....	25
Şekil 3.4	EPS senaryolarının bir araya getirildiği EPSgram örneği.....	26
Şekil 3.5	Ankara ili için 05.06.2014 tarihli EPSgramların grafiksel gösterimi.....	27

Şekil 3.6	Ankara ili için 05.06.2043 tarihli 50+1 adet EPS sıcaklık histogramı.....	28
Şekil 3.7	Ensemble doğrulama sistemi (EVS) program arayüzü.....	34
Şekil 3.8	EVS programı için kullanılan tahmin veri örneği.....	34
Şekil 3.9	Olasılık yoğunluğu ve toplam yoğunluk fonksiyonu grafiksel gösterimi.....	40
Şekil 3.10	Karasu Havzası için indirilen EPS tahmin verisi örneği.....	41
Şekil 3.11 (a)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mart ayı yağış sonuçları.....	42
Şekil 3.11 (b)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mart ayı sıcaklık sonuçları.....	43
Şekil 3.11 (c)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Nisan ayı yağış sonuçları.....	44
Şekil 3.11 (d)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Nisan ayı sıcaklık sonuçları.....	45
Şekil 3.11 (e)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mayıs ayı yağış sonuçları.....	46
Şekil 3.11 (f)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mayıs ayı sıcaklık sonuçları.....	47
Şekil 3.11 (g)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Haziran ayı yağış sonuçları.....	48
Şekil 3.11 (h)	Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Haziran ayı sıcaklık sonuçları.....	49
Şekil 3.11 (i)	2008-2012 yılları yağış sonuçları.....	50
Şekil 3.11 (j)	2008-2012 yılları sıcaklık sonuçları.....	51
Şekil 3.12 (a)	Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mart ayı yağış sonuçları.....	56
Şekil 3.12 (b)	Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mart ayı sıcaklık sonuçları.....	57
Şekil 3.12 (c)	Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Nisan ayı yağış sonuçları.....	58

Şekil 3.12 (d) Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Nisan ayı sıcaklık sonuçları.....	59
Şekil 3.12 (e) Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mayıs ayı yağış sonuçları.....	60
Şekil 3.12 (f) Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Mayıs ayı sıcaklık sonuçları.....	61
Şekil 3.12 (g) Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Haziran ayı yağış sonuçları.....	62
Şekil 3.12 (h) Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik verilerinin performans analizi Haziran ayı sıcaklık sonuçları.....	63
Şekil 3.12 (i) 2008-2012 yılları yağış sonuçları.....	64
Şekil 3.12 (j) 2008-2012 sıcaklık sonuçları.....	65
Şekil 3.13 (a) Ham EPS 2008 sıcaklık verisi örneği.....	72
Şekil 3.13 (b) Hata düzeltme uygulanmış 2008 EPS sıcaklık verisi.....	72
Şekil 3.13 (c) Ham EPS 2009 sıcaklık verisi örneği.....	73
Şekil 3.13 (d) Hata düzeltme uygulanmış 2009 EPS sıcaklık verisi.....	73
Şekil 4.1 Genel hidrolojik model bileşenleri.....	74
Şekil 4.2 HBV modelinin şematik gösterimi.....	78
Şekil 4.3 HBV modelinin çalışma akış diyagramı.....	79
Şekil 4.4 FEWS platformunun arayüzü.....	82
Şekil 4.5 2008-2012 HBV model simülasyonu.....	84
Şekil 4.6 2008-2012 yılları için verilen örnek akım tahminlerinin zaman aralıkları.....	85
Şekil 4.7 (a) Ham EPS verisi ile yapılan 16 Mart 2008 akım tahmini.....	86
Şekil 4.7 (b) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 16 Mart 2008 akım tahmini.....	86
Şekil 4.7 (c) Ham EPS verisi ile yapılan 28 Nisan 2009 akım tahmini.....	87
Şekil 4.7 (d) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 28 Nisan 2009 akım tahmini.....	87
Şekil 4.7 (e) Ham EPS verisi ile yapılan 10 Nisan 2010 akım tahmini.....	88
Şekil 4.7 (f) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 10 Nisan 2010 akım tahmini.....	88
Şekil 4.7 (g) Ham EPS verisi ile yapılan 5 Mayıs 2011 akım tahmini.....	89
Şekil 4.7 (h) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 5 Mayıs 2011 akım tahmini.....	89
Şekil 4.7 (i) Ham EPS verisi ile yapılan 3 Mayıs 2012 akım tahmini.....	90

Şekil 4.7 (j)	Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 3 Mayıs 2012 akım tahmini.....	90
Şekil 4.8 (a)	Mart ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları.....	95
Şekil 4.8 (b)	Mart ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları.....	96
Şekil 4.8 (c)	Nisan ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları.....	97
Şekil 4.8 (d)	Nisan ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları.....	98
Şekil 4.8 (e)	Mayıs ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları.....	99
Şekil 4.8 (f)	Mayıs ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları.....	100
Şekil 4.8 (g)	Haziran ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları.....	101
Şekil 4.8 (h)	Haziran ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları.....	102
Şekil 4.8 (i)	2008-2012 yılları hata düzeltme öncesi performans sonuçları.....	103
Şekil 4.8 (j)	2008-2012 yılları hata düzeltme sonrası performans sonuçları.....	104

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1	Hava tahminlerinin uzunluğuna ve sonuçlarına göre sınıflandırılması.....	20
Tablo 3.2	Performans değerlendirilmesinde kullanılan istatistikî yöntemler.....	33
Tablo 3.3	EPS verilerinin 1. gün performans analizi sonuçları.....	66
Tablo 3.4	EPS verilerinin 5. gün performans analizi sonuçları.....	67
Tablo 3.5	EPS verilerinin 9. gün performans analizi sonuçları.....	67
Tablo 3.6	Ham EPS yağış verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları.....	70
Tablo 3.7	Düzeltilmiş EPS yağış verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları.....	70
Tablo 3.8	Ham EPS sıcaklık verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları.....	71
Tablo 3.9	Düzeltilmiş EPS sıcaklık verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları.....	71
Tablo 4.1	HBV modelinin kullandığı parametreler ve değer aralıkları.....	81
Tablo 4.2	Ham ve düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 1. tahmin günü performansları.....	91
Tablo 4.3	Ham ve düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 5. tahmin günü performansları.....	92
Tablo 4.4	Ham ve düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 9. tahmin günü performansları.....	92
Tablo 4.5	Ham EPS verisi ile yapılan akım tahminlerinin 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları.....	94
Tablo 4.6	Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan akım tahminlerinin 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Q	: Akım
P	: Yağış
T	: Sıcaklık
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
HBV	: Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning
SRM	: Snowmelt Runoff Model
DSİ	: Devlet Su İşleri
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
EUMETSAT	: Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
DK	: Detrended Kriging
ECMWF	: European Center for Medium-Range Weather Forecasts
EPS	: Ensemble Prediction System
EVS	: Ensemble Verification System
NWP	: Numerical Weather Prediction
RMSE	: Root Mean Square Error
MAE	: Mean Absolute Error
BS	: Brier Score
BSS	: Brier Skill Score
CRPS	: Continuous Ranked Probability Score
EMOS	: Ensemble Model Output Statistics
IDW	: Inverse Distance Weighted

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Çağımız koşullarında insanoğlunun gelişen ihtiyaçları düşünüldüğü zaman, doğal kaynakların korunması ve uygun şekilde kullanılmasının gerekliliği açıktır. Küresel ısınma, çevre tahribatı, taşkın ve kuraklık etkileri de buna eklenince su döngüsü ile ilgilenen hidroloji biliminin önemi bir kez daha anlaşılmaktadır. Özellikle son dönemlerde yapılan bilimsel çalışmaların ve gelişen teknolojinin hidroloji bilimine önemli katkıları olmaktadır. Su kaynaklarının devamlılığı açısından kaynakların ve potansiyelin belirlenmesi, su kaynaklarının iyi yönetilmesine yönelik hidrolojik model çalışmalarının yapılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen, ortalama yüksekliği 1130 m civarında olan dağlık bir ülkedir. Dağlık Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgeleri toplam alan yüzdesinin yaklaşık %45'ini oluşturmaktadır. Karasal iklim etkisi görülen bu bölgelerin yüksek kesimlerinde kar yılın neredeyse yarısında yerde kalmaktadır. İlkbahar ve yaz aylarında sıcaklıkların artması ile birlikte kar eriyerek nehirlerde akıma dönüşmekte ve yüksek su potansiyeli oluşturmaktadır. Bu potansiyelin su kaynakları yönetiminde etkili olarak kullanılması son derece önemlidir. Kar hidrolojisi; karın oluşumu, birikimi ve erimesi süreçlerini konu edinmektedir. Bu nedenle kar hidrolojisi de su kaynakları yönetimi ve işletimi açısından artan bir değer kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasına konu olan dağlık Fırat Havzası'nda hidrolojik modelleme ve akım tahmin çalışması, su kaynakları yönetimi ve devamlılığı adına büyük bir öneme sahiptir. İlk olarak 1975 yılında Keban, 1987 yılında Karakaya ve 1992 yılında Atatürk Barajları'nın Fırat Nehri üzerinde inşa edilmesi bu havzanın sahip olduğu su potansiyelini ortaya koymaktadır. Özellikle, Yukarı ve Orta Fırat Havzalarında, bahar ve ilk yaz ayları süresince yoğun kar erimesi ve yağmurların meydana getirdiği akımlar, toplam yıllık akımın yaklaşık 2/3'ünü oluşturmaktadır.

Bu nedenlerle yüksek su potansiyeline sahip, sınır aşan sular kategorisinde yer alan ve üzerinde büyük barajların kurulu olduğu Fırat Nehri'nin ana kollarından biri ve ilk doğduğu yer olan Karasu Havzası'nda hidrolojik model çalışması son derece önemlidir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri

Bu tez çalışmasının amacı, karın etkili olduğu Yukarı Fırat (Karasu) Havzası'nda kurgulanan hidrolojik model ile akım tahmini yapmaktır. Su kaynakları yönetimi, araziden gerçek zamanlı veri aktarımının yanı sıra değişen hidrolojik koşullara cevap verebilen güvenilir bir hidrolojik tahmin sistemine ihtiyaç duyar. Özellikle kar erime döneminde operasyonel anlamda kısa vadeli (1-2 gün) tahminler su kaynaklarının verimli kullanılması adına olumlu etki yaratır. Hidrolojik tahmin sisteminde Sayısal Hava Tahmin (Numerical Weather Prediction-NWP) ürünleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, meteorolojik tahmin verisi olarak olasılık odaklı Ensemble Tahmin Sistemi (Ensemble Prediction System-EPS) verisi kullanılmıştır. Kullanılan bu tahminin en büyük özelliği tek bir hava tahmin senaryosu yerine, toplam 51 adet farklı hava durumunu içermesi ve 15 güne kadar ileriye dönük tahmin imkanı sağlamasıdır. Özet olarak, bu çalışmada Karasu Havzası'nda 2008-2012 yıllarında kar erime dönemi olan Mart-Haziran ayları için EPS tahmin verisi kullanılarak 9 gün ileriye dönük akım tahmin çalışması yapılmıştır.

Ülkemizde ileriye dönük sayısal hava tahminlerinin su kaynakları uygulamalarında yok denecek kadar az kullanılması dikkat çekicidir. Bundan dolayı gerek hidrolojik modellemede daha önce kullanılmamış olan EPS verisinin bu çalışmada kullanılması gerekse de 9 gün ileriye dönük akım tahmininin yapılması ve bu tahmin verisine hata düzeltme çalışmasının yapılması tezi özgün kılmaktadır.

1.3. Tez Metninin Ana Hatları

Tez çalışması için yapılan literatür çalışmaları üç grup halinde özetlenebilir. Birincisi, çalışma alanı olan dağlık Fırat Havzası üzerinde yapılmış olan çalışmalar, ikincisi, ensemble tahmin sistemi ile ilgili performans değerlendirme, doğrulama ve hata düzeltme çalışmaları ile bunlara dayanan hidrolojik modelleme ve akım tahmini çalışmaları ve üçüncü olarak ise çalışmada kullanılan hidrolojik model (HBV) ağırlıkta olmak üzere kavramsal hidrolojik model uygulamaları ile ilgili çalışmalardır.

Tez metni, genel bilgilerin sunulduğu giriş bölümü ile başlamaktadır. Tezin ikinci bölümünde çalışma alanı tanıtılmış, alanda daha önce yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Ayrıca çalışma alanının topoğrafik özelliklerinden ve kullanılan hidro-meteorolojik verilerden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, EPS verisi tanıtılmış, ilgili literatür çalışması özetlenmiştir. Ayrıca EPS'in özellikleri, temini ve formatı anlatılmıştır. Bu bölümde tahmin verisi için yapılan performans analizi de anlatılmış, sonuçları sunulmuştur. Yine bu bölümde EPS verisine uygulanan hata düzeltme çalışmaları sonuçları ile birlikte verilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmada kullanılan HBV hidrolojik modelinin tanıtımı yapılmış ve özellikleri anlatılmıştır. HBV modelinin kullanılan tahmin verisi ile entegrasyonu da yine bu bölümde anlatılıp, yapılan tahmin çalışmasının performans analiz sonuçları verilmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar yorumlanarak gelecek çalışmalar için öneriler beşinci başlık altında toplanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI ve İSTASYONLAR

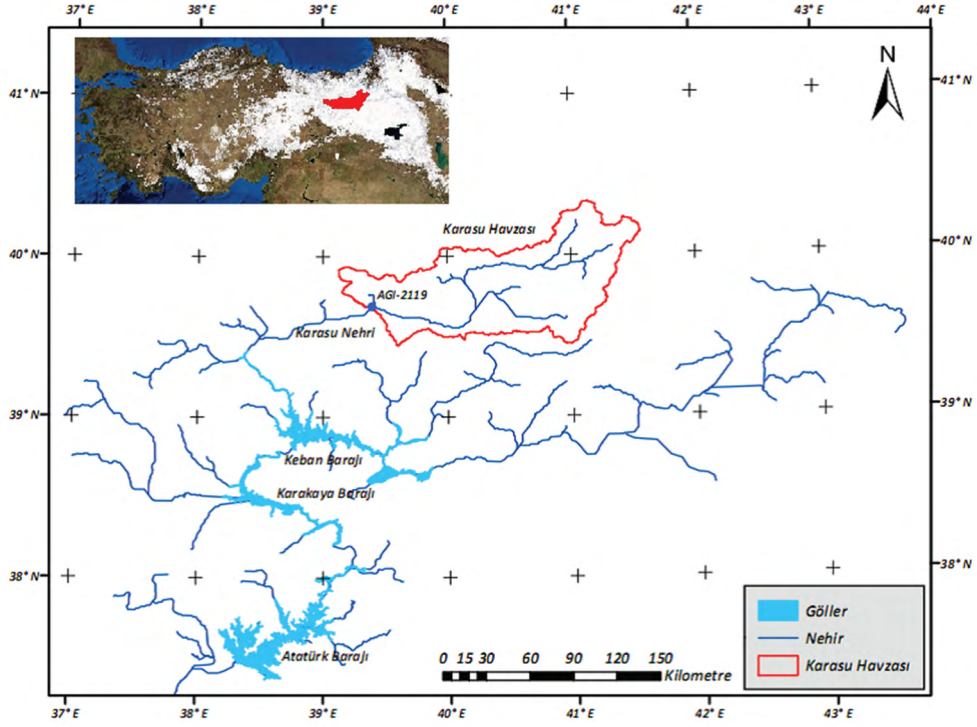
2.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinden biri olan Doğu Anadolu Bölgesi, 164,000 km² 'lik yüzey alanı ile Türkiye yüz ölçümünün %21'ini oluşturur. Çetin kış koşulları ve yükseltinin fazla olması nedeniyle Türkiye'nin nüfusu en az olan bölgesidir. Gerek iklim koşulları gerekse de fiziki özellikleri sonucunda, Aras, Kura, Fırat ve Dicle Nehirleri gibi akım rejimleri düzensiz büyük akarsulara sahiptir.

Birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış Mezopotamya Bölgesi için tarım, sanayi ve enerji açısından büyük bir öneme sahip olan Fırat ve Dicle Nehirleri, su potansiyeli bakımından Türkiye'nin en büyük su hacmine sahip iki akarsuyudur. Fırat nehrinin en önemli kolları; Murat, Karasu, Tohma, Peri, Çaltı ve Munzur, Dicle nehrinin en önemli kolları; Batman, Botan, Habur, Büyük Zap ve Küçük Zap'tır.

Güney Batı Asya'nın en uzun nehri olan Fırat Nehri yıllık 35.6 milyar metreküplük akım potansiyeline sahiptir ve 1236 km'si Türkiye sınırları içerisinde olmak üzere toplam uzunluğu 2700 km'dir (Aytemiz ve Kodaman, 2006). Fırat Nehri üzerinde kurulmuş olan büyük barajlar sırasıyla Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik ve Karkamış Barajlarıdır. Bu barajların büyük haznelere sahip olması bu bölgede su kaynakları yönetimi ve planlamasının önemini artırmaktadır.

Bu çalışmada Keban Baraj Gölünü besleyen ve Fırat Nehrinin önemli alt havzalarından biri olan Yukarı Fırat (Karasu) Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 2.1). Karasu Havzası, Erzurum ve Erzincan şehirlerini barındırması, bu şehirlerde devlet kurumlarının bölge veya şube müdürlüklerinin bulunması ve bölgenin güvenli olması nedeniyle çalışma alanı olarak seçilmiştir.

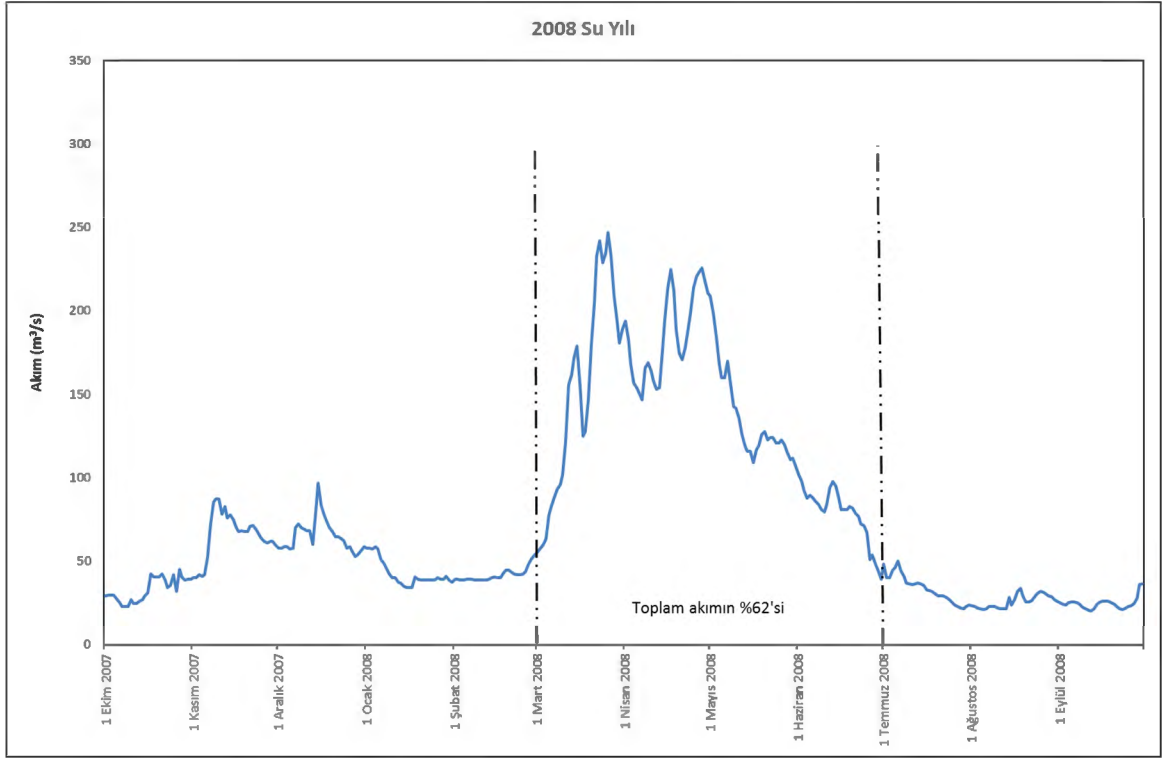


Şekil 2.1 Yukarı Fırat (Karasu) Havzasının konumu

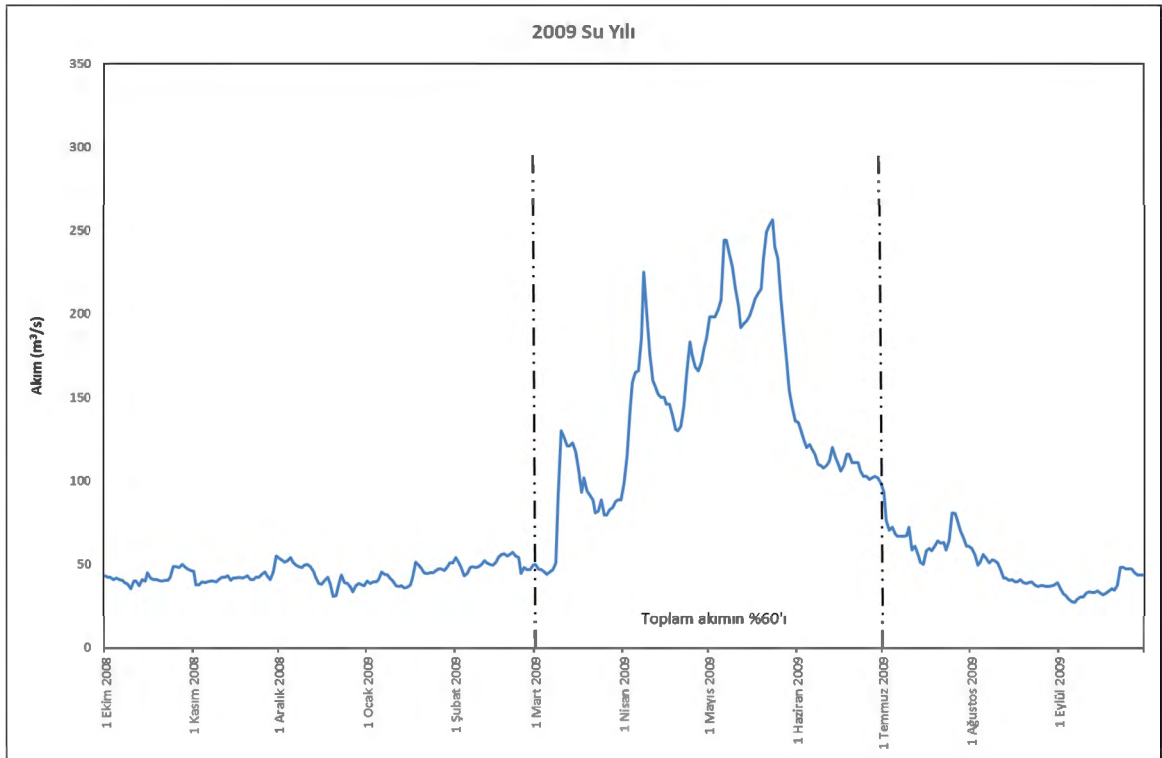
Havza, 39° 50' kuzey enlemleri, 40° 20' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık 10,275 km² drenaj alanına sahip olan havzanın yüksekliği 1125 m ile 3500 m arasında değişmektedir. Havzanın ortalama yüksekliği 1983 m olup, ortalama eğimi yaklaşık %20'dir. Mera (%35), tarım alanı (%31.5) ve çıplak arazi (%27.5) havzanın başlıca arazi kullanımını oluşturmaktadır.

Karasu Havzası çıkış noktası akım ölçümleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen akım gözlem istasyonu (E21A019 – Kemah Boğazı) ile kontrol edilmektedir. Karasu Havzasına düşen yağışların büyük çoğunluğu kar şeklinde düşmektedir. Uzun dönem akım ölçümleri, yıllık akımın % 69'unun kar erime dönemi (Mart–Haziran) içinde geldiğini göstermektedir (Kaya, 1999; Tekeli, 2005).

Şekil 2.2'de, bu çalışmada sonuçları sunulan 2008-2012 yıllarının akım hidrografları gösterilmektedir. Bu yıllarda 122 günlük Mart-Haziran erime dönemi içerisinde toplam akım hacminin yaklaşık %61'inin geldiği gözlenmiştir.

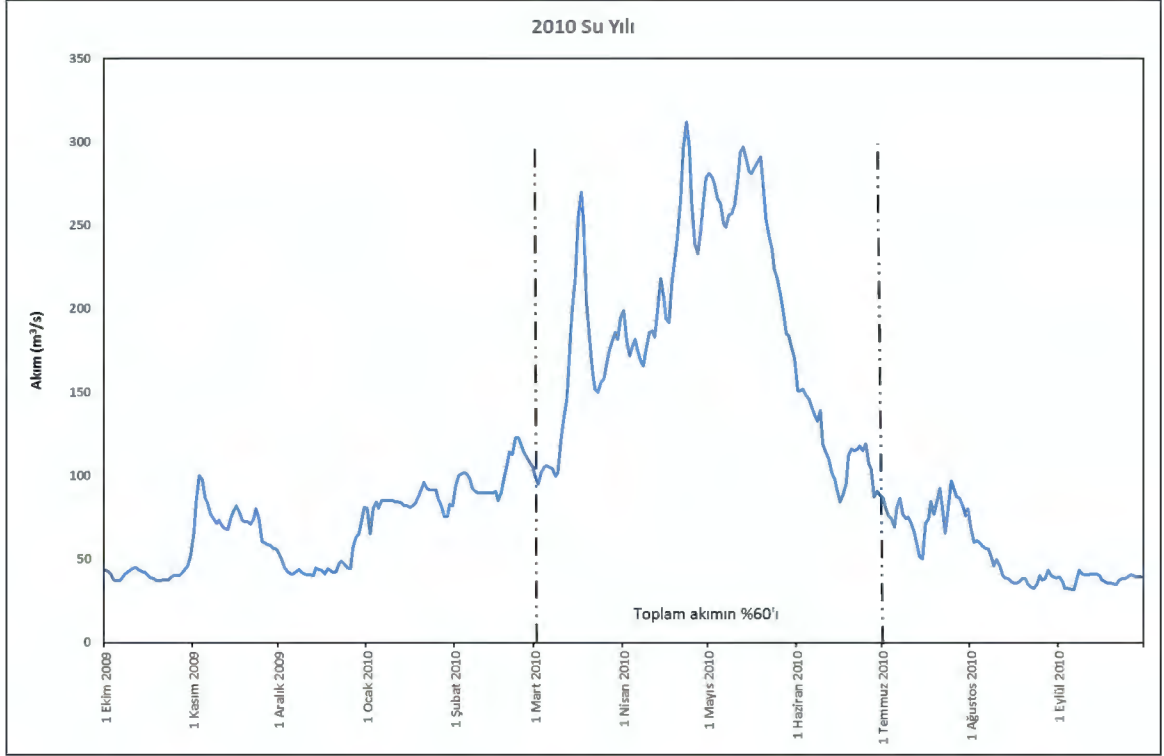


a) 2008 su yılı

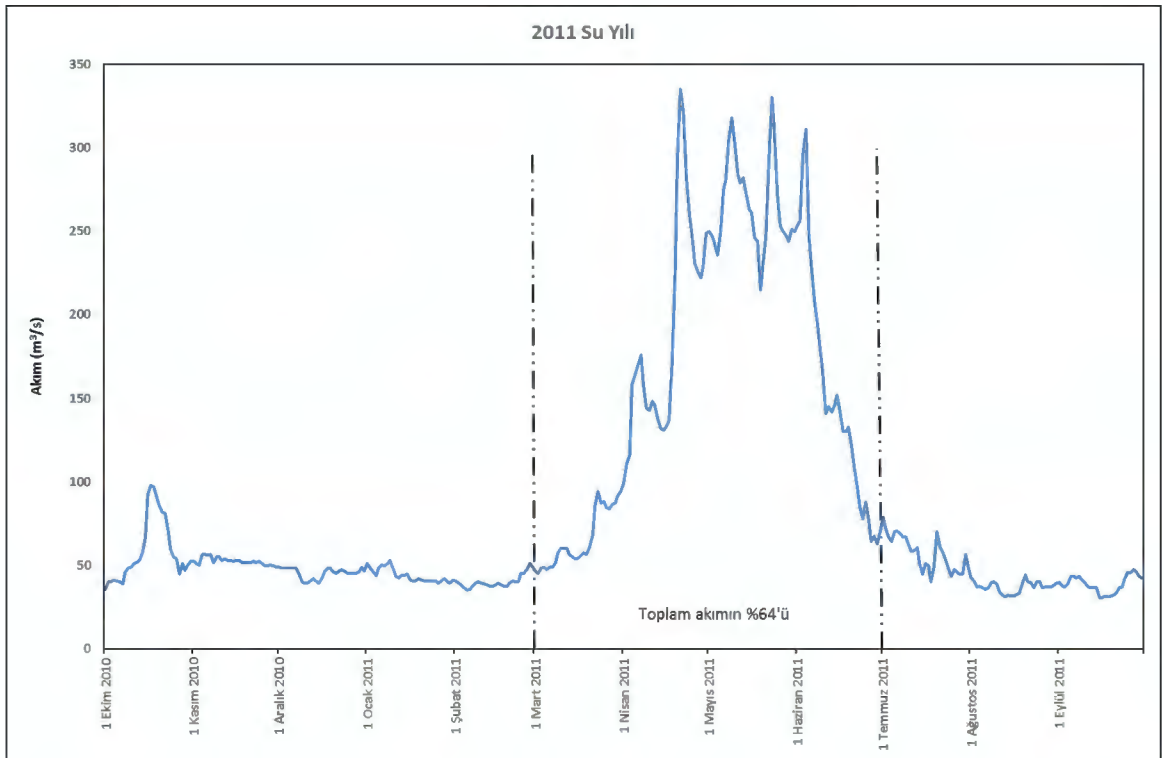


b) 2009 su yılı

Şekil 2.2 E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu hidrografları

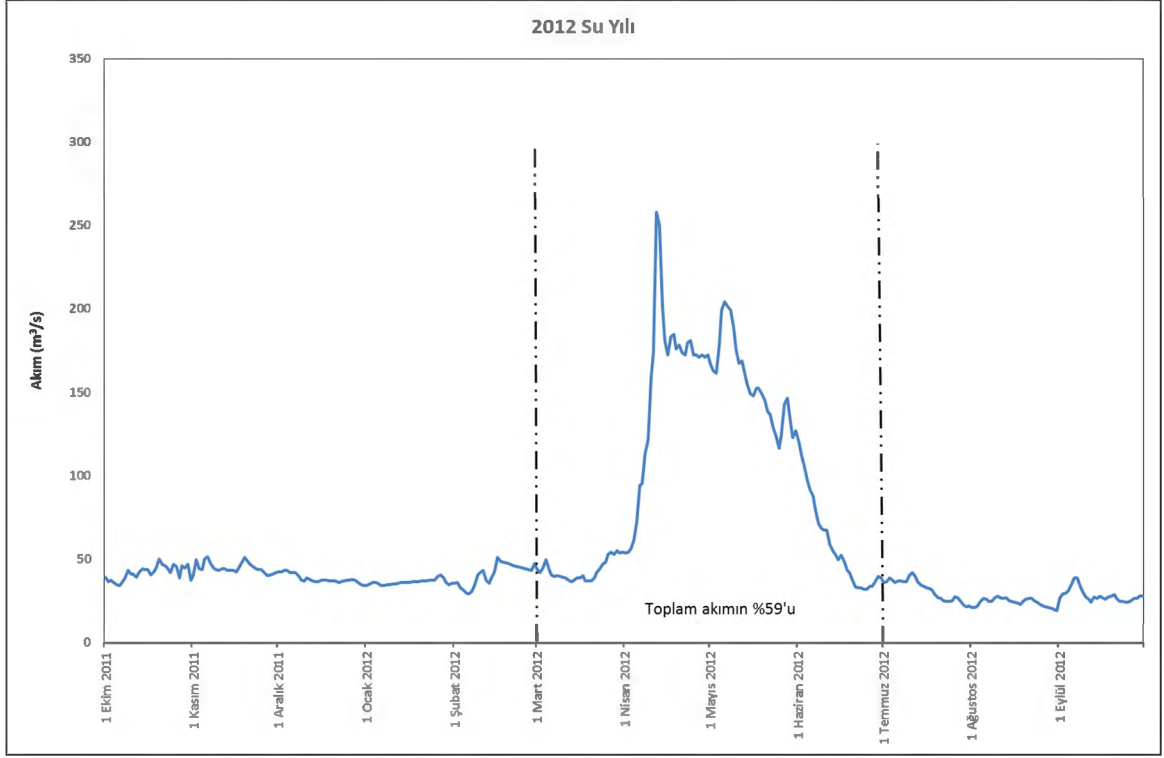


c) 2010 su yılı



d) 2011 su yılı

Şekil 2.2 E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu hidrografları (devam)

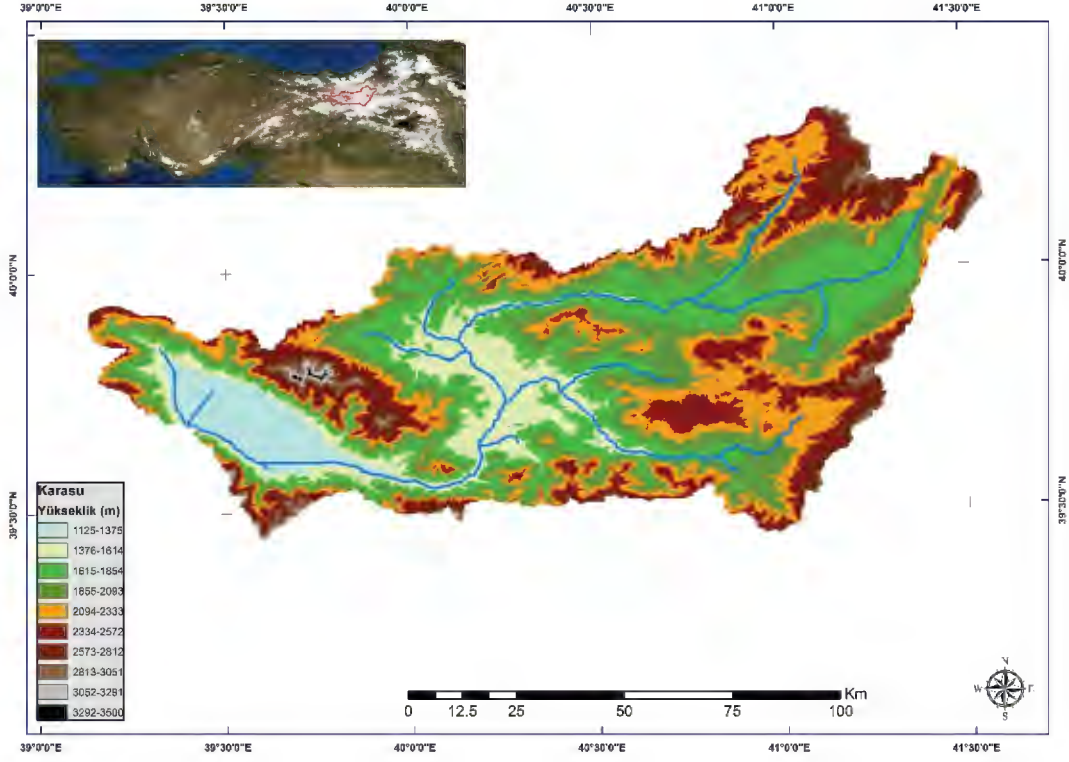


e) 2012 su yılı

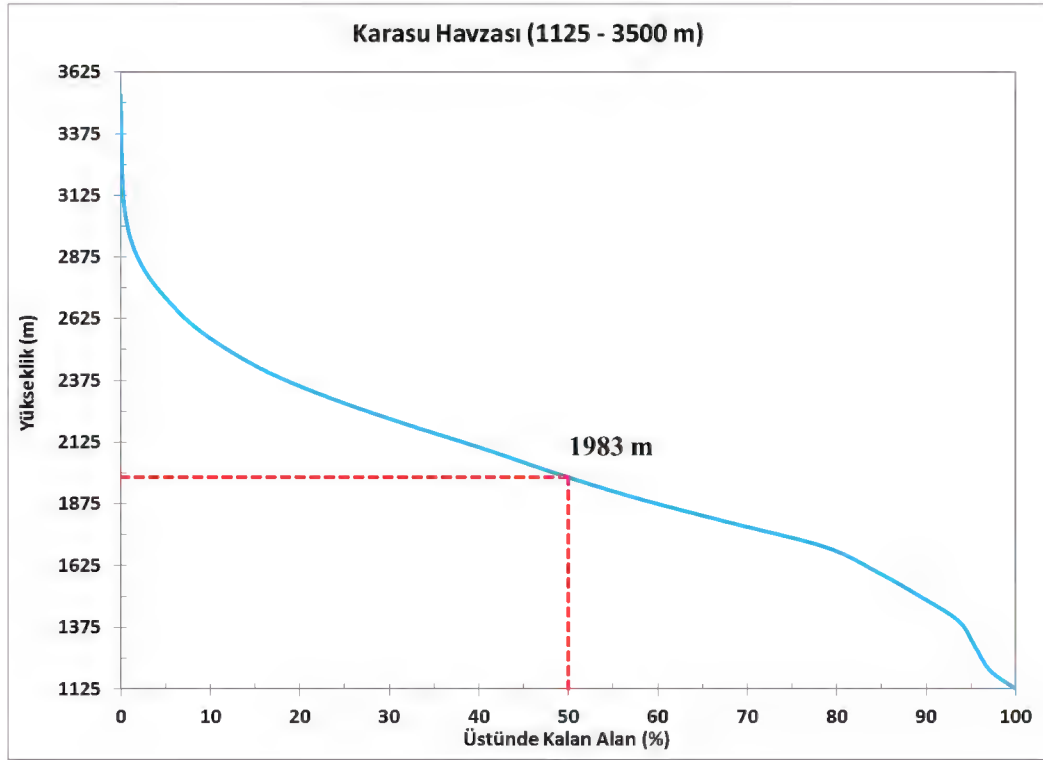
Şekil 2.2 E21A019 Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu hidrografları (devam)

Çalışma alanının yükseklik, eğim, bakı gibi havza özelliklerinin belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri yapılmıştır. Havza özelliklerinin belirlenmesi, hem gerekli bilgilerin hidrolojik modele sağlanması hem de sonuçların değerlendirilmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Yapılan bu analizler ile birlikte belirlenen havza alanı ve yükseklik aralıkları hidrolojik modele girdi olarak kullanılmıştır.

Kar erimesinin etkin olduğu bir bölge olması nedeniyle, modelleme çalışmalarında kullanılacak meteorolojik verilerin zamansal ve mekansal dağılımının, yüksekliğe bağlı olarak daha iyi temsil edilmesi için havza, on eşit yükseklik bölgesine bölünmüştür (Şekil 2.3). Havzanın yükseklik haritası kullanılarak tüm havza için yükseklik-alan (hipsometrik) eğrisi üretilmiştir (Şekil 2.4). Hipsometrik eğriye göre havza alanının %50'sinin 1983 m kotunda olduğu tespit edilmiştir.

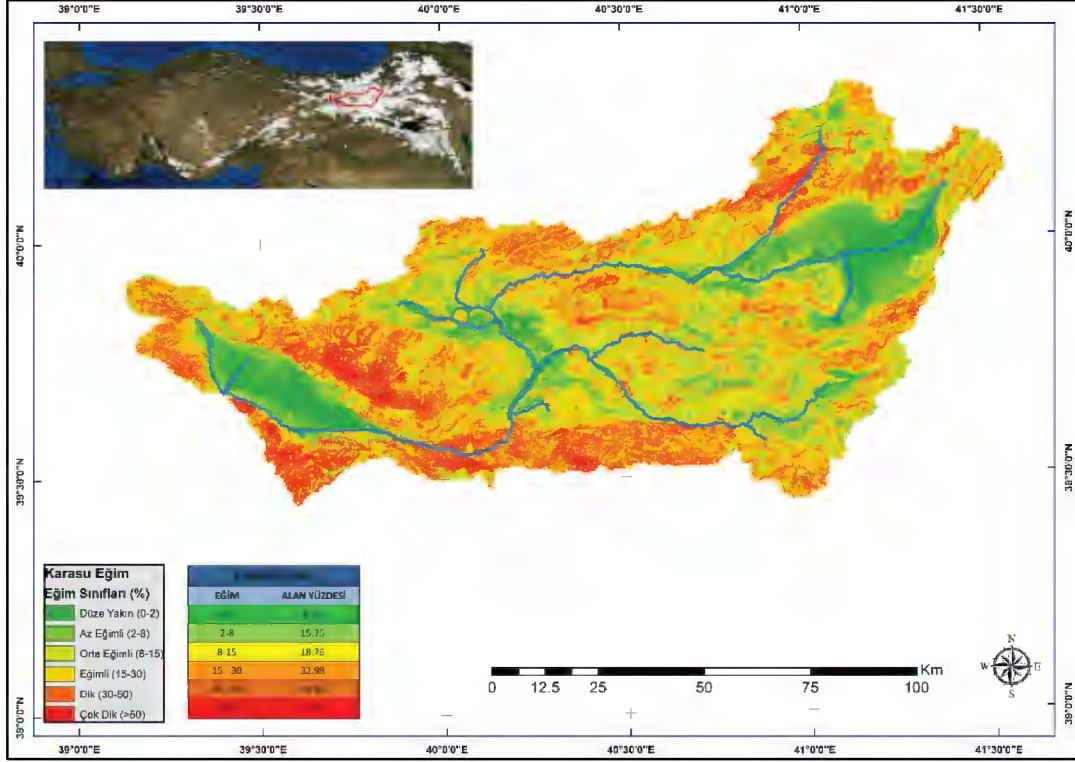


Şekil 2.3 Karasu Havzası yükseklik haritası



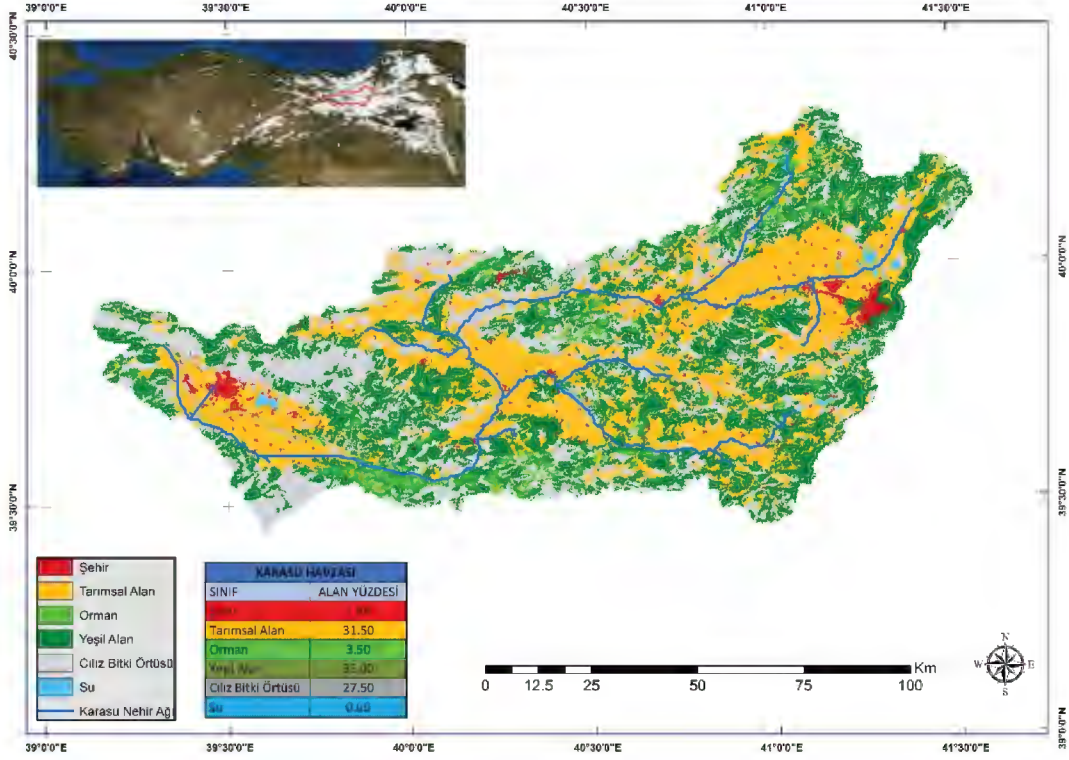
Şekil 2.4 Karasu Havzası hipsometrik eğrisi

Karasu havzası bulunduğu coğrafi bölgenin özelliklerini yansıtmaktadır; havza içerisinde bulunan Erzurum ve Erzincan yerleşkelerinin dışında kalan alan büyük ölçüde dağlık ve eğimli araziden oluşmaktadır. Ortalama eğimi yaklaşık %20 olarak belirlenen havzanın eğim haritası Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Karasu Havzası eğim haritası

Ağır iklim şartlarına havzanın engebeli ve eğimli bir araziye sahip olması da eklenince nüfus yoğunluğunun ve şehirleşmenin az olması beklenmektedir. Corine haritası kullanılarak, havza için hazırlanan arazi kullanım haritasına göre; alanın %90'dan fazlası tarımsal, yeşil ve açık alandan oluşmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Karasu Havzası arazi kullanımı haritası (<http://www.eea.europa.eu/>)

2.2. Çalışma Alanında Daha Önce Yürütülmüş Olan Çalışmalar

Hidroloji çalışmalarının temelini meteorolojik ve hidrometrik veri oluşturmaktadır. Kar hidrolojisi ve modelleme çalışmaları, erişilmesi güç, dağlık bölgelerde ve yüksek kotlarda yürütülmektedir. Yurt dışında yapılan çalışmalarda göze çarpan en önemli husus özellikle kar gözlem noktalarının sıklığıdır. Ancak, ülkemizde kurulmuş olan gözlem istasyonları çoğunlukla il ve ilçe merkezlerine odaklanmıştır. Bölgede daha önce yürütülen çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

1996 yılında başlayan NATO SfS projesiyle Yukarı Fırat Havzasında yeni bir kar ve meteoroloji ölçüm ağı geliştirilmesi yönünde çalışmalar başlatılmış ve bu süreçte devlet kurumlarıyla işbirliğinin temelleri atılmıştır. NATO SfS (96-01-055 TU-REMOSENS) ve ODTÜ Araştırma Fonu Projeleri (AFP-97-03-03-09 ve AFP-98-03-03-01) paralelinde yürütülen yüksek lisans tezlerinde (Kaya, 1999; Uzunoğlu, 1999; Şensoy, 2000; Tekeli, 2000; Beşer, 2002) havzaya ait veriler

toplanmaya başlamış ve modelleme çalışmalarında ilk bulgular elde edilmiştir. Yukarı Fırat Havzasındaki kar çalışmalarını, 2001 yılında (BAP-03-03 DPT 2001 K120990) ve 2003 yılında (BAP-03-03 DPT 2003K120920-01) Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen iki proje pekiştirmiştir. Bu projelerle birlikte, iki önemli devlet kurumu olan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) ile protokoller ve işbirliği yapılmıştır. Bu projeler kapsamında, yeni otomatik kar ve meteoroloji istasyonları kurulmuş, daha önce kurulmuş olanlar ise yeni sensörler ve ölçüm sistemleri ile geliştirilerek güncellenmiştir.

Bu projeler paralelinde çeşitli doktora çalışmaları tamamlanmıştır (Şensoy, 2005; Tekeli, 2005; Şorman, 2005). Yapılan tez çalışmaları, yalnızca model uygulamasını değil, ham verinin toplanması, gerçek zamanlı transferi ve analizini de içeren modellemeyi kapsamaktadır. Tez çalışmaları kapsamında kurumlar ve üniversitelerarası ve aynı zamanda disiplinlerarası bir çalışma sergilenmiş; gerçek zamanlı gözleme dayanan otomatik hidrometeorolojik bir bilgi ağı kurulmuş; bu bilgilerin girdi oluşturduğu modeller uygulanmış; atmosfer-kar-zemin ara yüzünde enerji ve kütle dengesi hesaplanmış; gözlemlerin yanı sıra sayısal hava tahmin model verilerinin de desteğiyle Türkiye’de ilk defa atmosfer-hidrolojik model entegrasyonu sağlanmış ve ileriye dönük tahmin çalışmalarına başlanmıştır. Ayrıca, 2009 yılında tamamlanan bir başka BAP projesi (BAP-070212) kapsamında Karasu Havzasının bir bölümünde kar ve nehir izotop örnekleri alınarak akımların hangi miktarda yüzey ve yüzey altı sulardan oluştuğu tespit edilmeye çalışılmıştır. 2012’de tamamlanan TÜBİTAK (108Y161) projesi ile Karasu Havzasında, deterministik hava tahmin verisi, Meso-scale Model Versiyon 5 (MM5) kullanılarak bir gün sonrası için akım tahmini yapılması hedeflenmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

Çalışma alanı, kar ile ilgili uydu ürünlerinin geliştirilmesi ve doğrulanması konularında da uluslararası bir öneme sahiptir. Özellikle, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) karla kapla alan ve albedo ürünlerinin doğrulanması için yapılan çalışmalar (Tekeli ve diğ., 2005, Tekeli ve diğ., 2006) çok

sayıda atıf almıştır. Havza, Avrupa Meteorolojik Uydu İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) tarafından desteklenen Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H-SAF) projesinde de pilot havza olarak yer almaktadır. Avrupa uyduları için dağlık alanlarda kar ürün algoritmaları (kar tanımlama, kısmi karla kaplı alan, kar su eşdeğeri) geliştirilmekte ve gerek ölçümlerle gerekse hidrolojik modellerle etki ve doğrulama çalışmaları yürütülmektedir. Proje 2005 yılında başlamıştır ve Türkiye ile ilgili kar hidrolojik modelleme kısmı Anadolu Üniversitesi'nde yürütülmekte olup, çeşitli gelişme fazlarıyla halen devam etmektedir.

Ayrıca, halen yürütülmekte olan çeşitli BAP projelerinde (BAP-1207F117; BAP-1404F149; BAP-1307F284) dağlık Doğu Anadolu Bölgesinde harmanlanan uydu görüntüleri kullanılarak bulut azaltma yöntemlerinin uygulanması ve elde edilen sonuçların doğrulanması amaçlanmıştır, dağlık Doğu Anadolu Bölgesi için kar erimesine bağlı akımların Yapay Sinir Ağları (ANN) ile modellenmesi yapılmaktadır. Yukarı ve Orta Fırat Havzaları için elde edilen Kar Olasılık Haritalarının hidrolojik model çalışmalarında kullanılması hedeflenmiştir. Diğer projede ise Türkiye'nin dağlık doğu bölgesinde bulunan iki havza için (Karasu ve Seyhan Havzası) ensemble tahmin sistemine dayalı hidrolojik modelleme amaçlanmıştır. Yürütülmekte olan TÜBİTAK (113Y075) projesiyle Dağlık Fırat ve Seyhan Havzalarında EPS ve uydu verileri ile operasyonel hidrolojik tahmin sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait ulusal çalışmalarda, havzaların su potansiyellerine dikkat çekerek nehir akımları rejimlerinin incelenmesi; bu akımlara ait yıllık, aylık ve günlük modeller kullanarak ileriye dönük akım tahminlerinin önemi üzerinde durulmuştur. Tekeli ve diğ. (2005) dağlık Doğu Anadolu Bölgesi için 500 m çözünürlüğe sahip MODIS uydusundan elde edilen Karla Kaplı Alan (KKA) verisini yer gözlemi ile kıyaslamışlardır. Uydu ürünü ile elde edilen KKA değerlerinin yer gözlemlerine göre %62 - %82 tutarlılığa sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Şorman ve diğ. (2009) dağlık Fırat Havzası için HBV modeline girdi olarak MM5 tahmin verisi kullanarak akım tahmini çalışması

yapmışlardır. Albostan ve Önöz (2010) Orta-Fırat Havzasında kurak sezonları tespit ederek burada bulunan barajların işletme politikalarına katkıda bulunmak için Murat nehrinde düşük akımlara ait mevsimsellik indekslerini incelemişlerdir. Şen ve diğ. (2011), çalışmalarında Fırat ve Dicle Havzalarındaki nehirlerde sıcaklık değişimlerinin ve erken kar erimelerinin akım zamanına etkisini merkez zaman metodu kullanarak incelemişlerdir. Şen (2011) Orta Fırat Havzası için günlük zaman adımlarında çalışan bir atmosfer-hidroloji modelleme sistemi geliştirmiştir ve özellikle 2004 yılında meydana gelen taşkını ve iklim değişikliklerini incelemeyi esas almıştır. Bir başka çalışmada ise Ohara ve diğ. (2011) dinamik bir su bütçesi modeli geliştirerek tüm Fırat ve Dicle havzasında, dört çeşit kullanım senaryosunu test etmişlerdir. Şensoy ve Uysal (2012) Karasu Havzasında, deterministik hava tahmin verisi, sayısal hava tahmin verisi (MM5) kullanarak bir gün sonrası için akım tahmini yapmışlardır. Kar Çekilme Eğrilerinin tahmini için MODIS uydu görüntüleri kullanılmış ve 4 farklı metot geliştirilmiştir. Daha sonra Snowmelt Runoff Model (SRM) hidrolojik modeli kullanarak 1 gün ileriye dönük akım tahmini yapılmıştır.

Bu çalışmalara ek olarak son dönemde gerçekleşen uluslararası konferanslarda sunulan ve çalışma alanı ile ilgili olan çok sayıda bildiri bulunmaktadır. European Geosciences Union General Assembly 2014 Konferansı'nda sunulan Şensoy ve diğ. (2014 a), Şensoy ve diğ. (2014 b) ve Uysal ve diğ. (2014) çalışmaları bölge ile ilgili yapılmış güncel çalışmalara örnek oluşturmaktadır.

2.3. Hidro-meteorolojik Veriler

Hidroloji bilimi ve uygulaması suyun miktar ve kalitesinin yönetimini, değerlendirilmesini ve tahminini içerir. Hem geçmiş zamanlı, hem de gerçek zamanlı hidrolojik veri toplanır, depolanır ve analiz edilir. Sonuç bilgisi, su kaynaklarının taşkın, kuraklık, kirlilik olayları ve benzeri suyla ilgili tehlikelere karşı yönetilmesinde kullanılır. Bu sebeple, doğru, güvenilir ve güncel verinin elde edilmesi önemli bir ön koşuldur (WMO, 1999). Gelişmiş ülkelerde, veri toplanması

sorumlu kurumlar tarafından yapılmakta ve toplanan verilere bilgisayar veritabanından ulaşılabilmektedir. Veritabanları veri depolanmasının yanı sıra, veriye erişim, raporlama, istatistiksel analiz, model kalibrasyonu ve model girdi verisinin hazırlanmasına olanak sağlamaktadır. Türkiye’de hidro-meteorolojik veriler DSİ ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından toplanır ve veri tabanlarında depolanır. Ancak yüksek kotlarda istasyon sayısının az olmasından dolayı özellikle kar ile ilgili veri akışı sağlıklı ve hızlı bir şekilde sağlanamamaktadır. Türkiye’de veri toplayan kurumlar arası düzenli bir ortak veri tabanı bulunmamaktadır (Yamankurt, 2010).

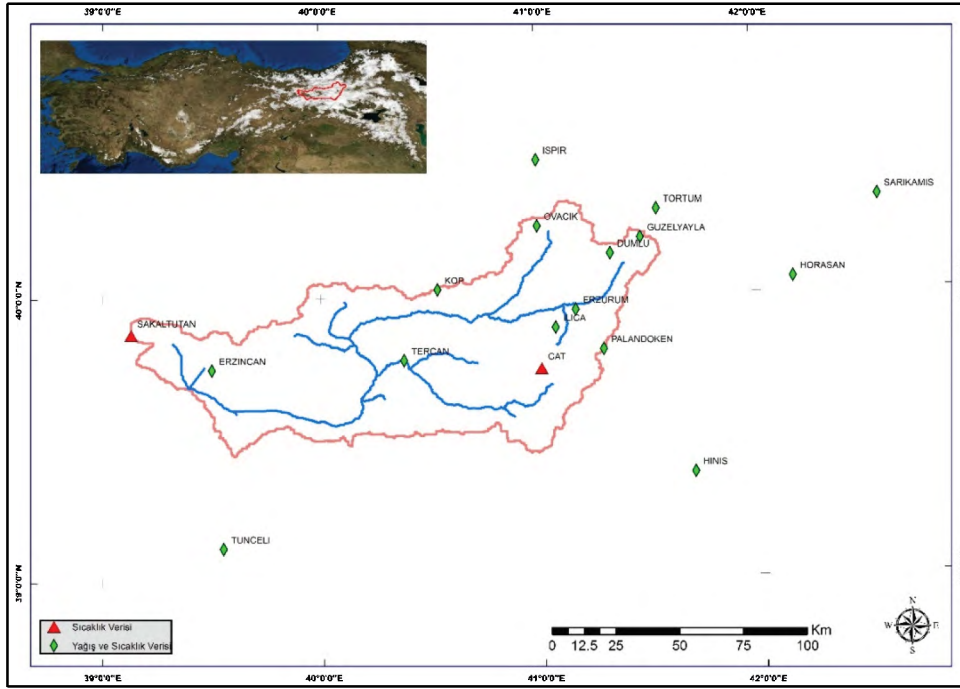
Yüksek kotlu bölgelerde hidro-meteorolojik verilerin toplanması özellikle kış mevsiminde zor, tehlikeli ve pahalıdır. Bu nedenle veri toplanacak engebeli bölgelerde iklim koşullarının bilinmesi oldukça önemlidir. Dağlık bölgelerde detaylı iklimsel gözlemler sınırlıdır ve bu gözlemlerin pek çoğu düşük kotlardan ve dağlık olmayan bölgelerden elde edilmektedir (Marks ve diğ., 1992).

Modelleme çalışmalarında sıcaklık, yağış ve buharlaşma temel girdi verileridir. Bu verilerin birçoğu noktasal olarak ölçülmektedir. Bu nedenle verilerin zamansal ve alansal olarak dağıtılması gerekmektedir. Yapılacak zamansal ve alansal dağıtımın doğruluğu ve hassasiyeti açısından noktasal ölçümlerin doğruluğu önem kazanmaktadır.

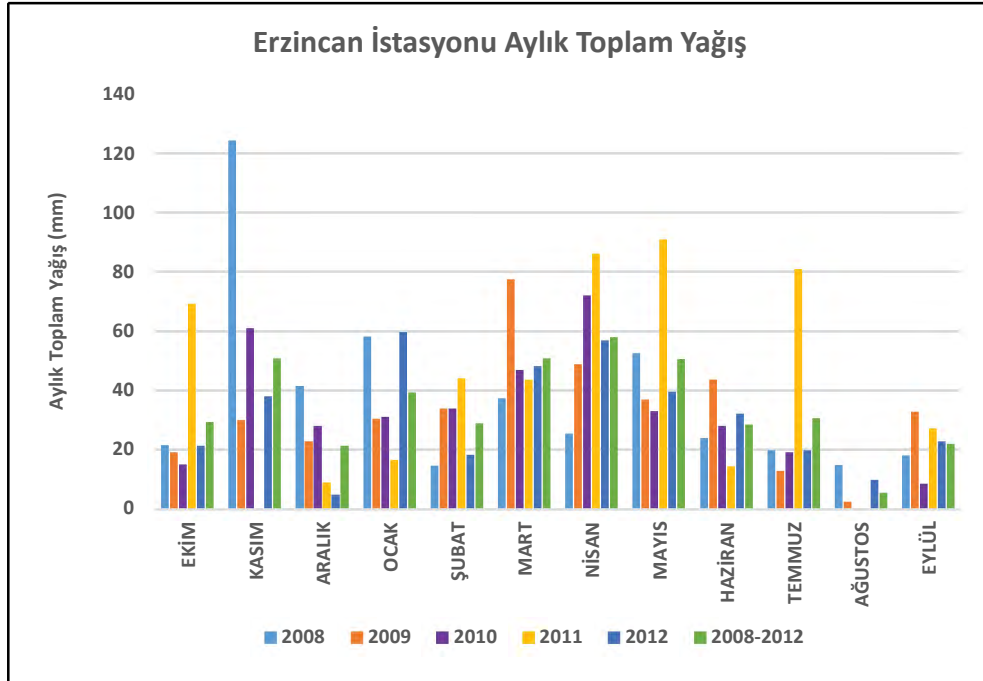
Karasu Havzası içinde veya yakınında bulunan meteorolojik istasyonlardan 17 tanesi bu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Bunlardan 15 tanesinden yağış ve sıcaklık verisi elde edilirken, 2 tanesinden ise sadece sıcaklık verisi elde edilmiştir (Şekil 2.7).

Karasu Havzasında yağışlar genel olarak Aralık ayından Mart ayı sonlarına kadar kar olarak diğer aylarda ise yağmur olarak düşmektedir. Ancak özellikle mevsimsel geçiş dönemlerinde havza üzerinde hava sıcaklığına bağlı olarak karla karışık yağmur yağışı gözlenmektedir. Şekil 2.8’de çalışma yılları olan 2008-2012

dönemi için Erzincan istasyonundan elde edilen aylık toplam yağış değerleri örnek olarak sunulmuştur.

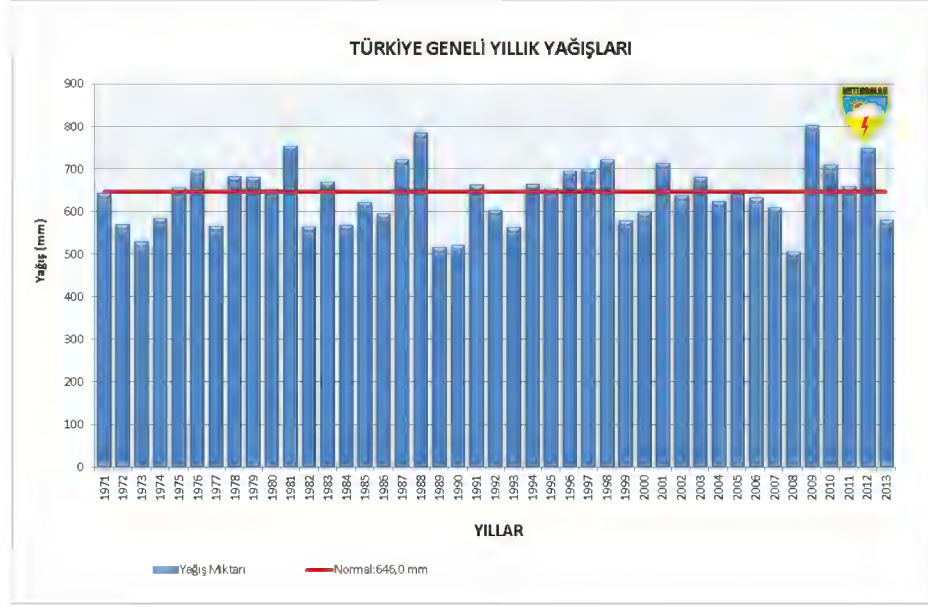


Şekil 2.7 Karasu Havzası'nın içinde veya yakınında bulunan meteorolojik istasyonlar

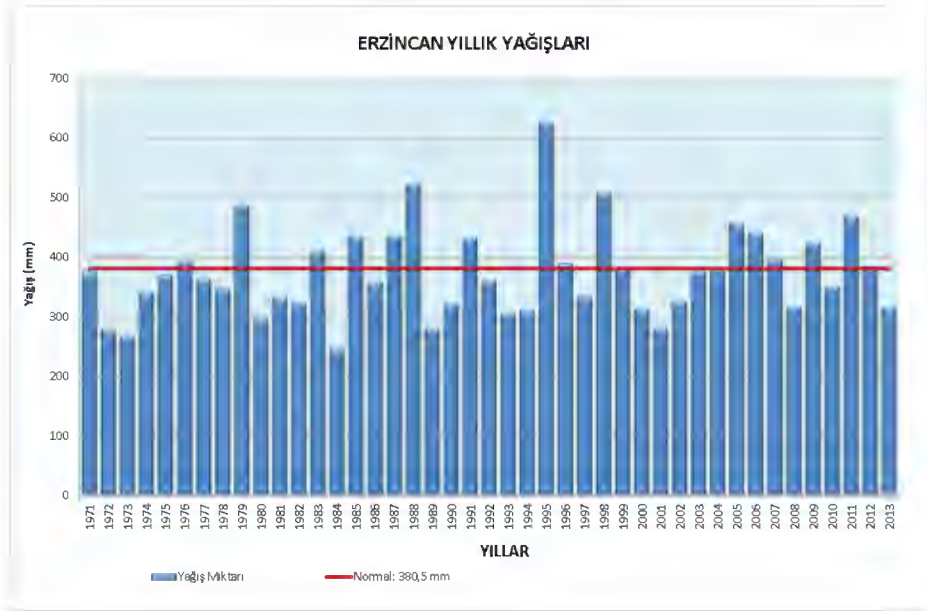


Şekil 2.8 Erzincan istasyonu aylık toplam yağış grafiği

Şekil 2.9 incelendiği zaman, Türkiye geneli uzun yıllar yağış ortalamasının 646 mm, Erzincan istasyonunda aynı dönem için ölçülmüş yağış ortalamasının ise 380.5 mm olduğu görülür.



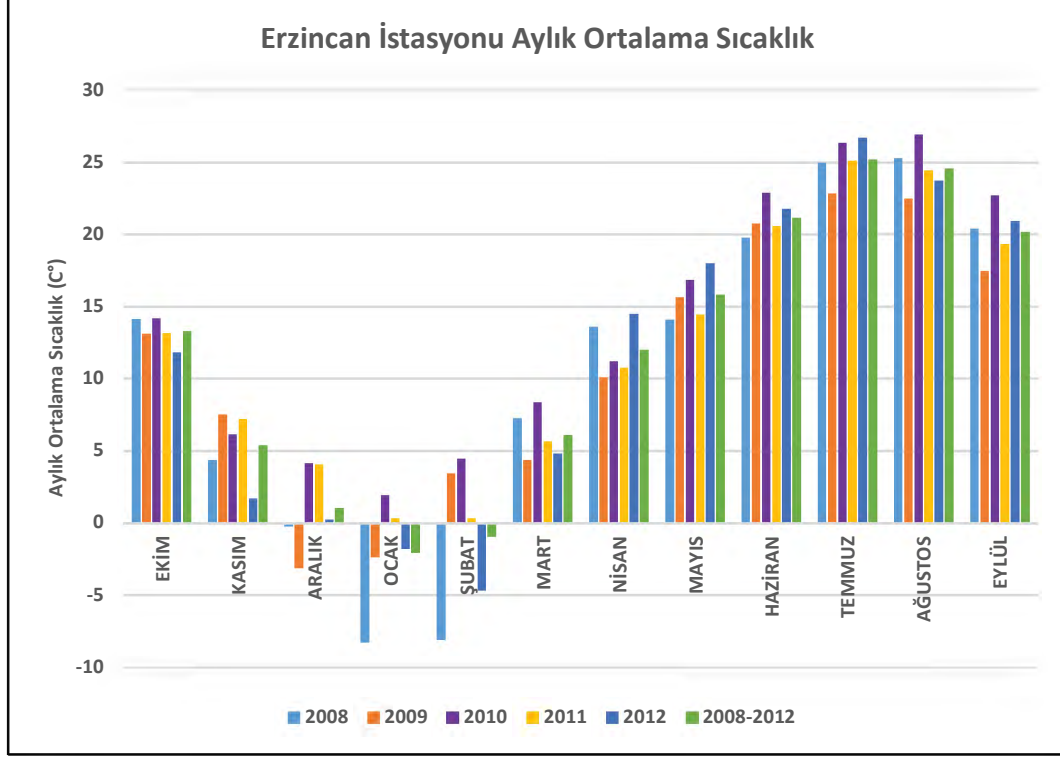
a) Türkiye geneli uzun yıllar yağış ortalaması



b) Erzincan istasyonu uzun yıllar yağış ortalaması

Şekil 2.9 Türkiye geneli ve Erzincan istasyonu için uzun yıllar yağış ortalamaları (<http://www.mgm.gov.tr/>)

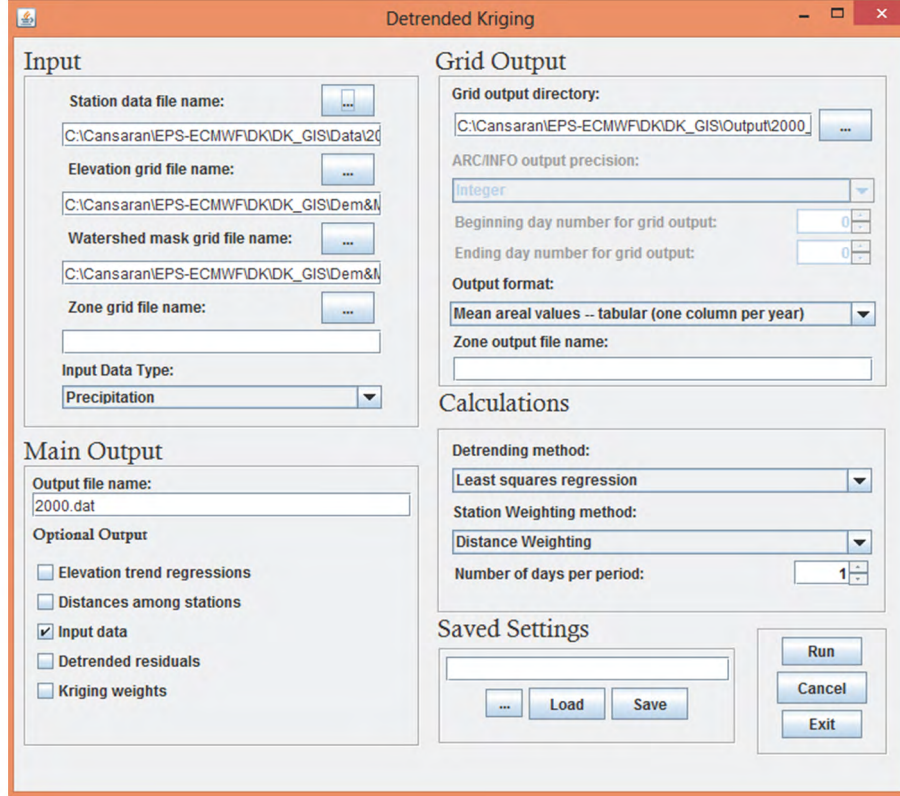
Karasu Havzasının bulunduğu bölge Türkiye'nin özellikle kış aylarında en düşük sıcaklıklarının gözleendiği bölgedir. Genel olarak çalışma havzasında Kasım-Mart ayları arasında negatif hava sıcaklıkları gözlenir. Şekil 2.10'da Erzincan istasyonu için 2008-2012 yılları arasında kaydedilen aylık ortalama sıcaklık değerleri sunulmuştur.



Şekil 2.10 Erzincan istasyonu aylık ortalama sıcaklık grafiği

Modelde kullanılmak üzere hazırlanan bütün bu meteorolojik veriler noktasal verilerdir. Noktasal ölçülen yağış, sıcaklık değerlerinin alansal olarak dağıtılması gerekmektedir. Literatürde alansal dağıtma işlemi için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aritmetik ortalama, Thiessen poligon, eş yükselti (izohips) eğrisi, Uzaklıkla Ters Ağırlıklı Dağıtım (Inverse Distance Weighted-IDW) ve Detrended Kriging (DK) yöntemleridir. Bu çalışma kapsamında noktasal yağış ve sıcaklık verileri Detrended Kriging (DK) yöntemi uygulanarak alansal olarak dağıtılmıştır. DK yöntemi ile veri dağıtmanın diğer yöntemlerden üstün yönü noktasal veriyi dağıtırken noktaların yüksekliklerinin

etkisinde alansal dağılıma katılmasıdır. Şekil 2.11’de kullanılan DK programının arayüzü gösterilmektedir (Garen ve diğ., 1994).



Şekil 2.11 Detrended Kriging program arayüzü (Garen ve diğ., 1994)

3. HAVA TAHMİN SİSTEMİ

Hava tahmini, atmosferin durumunu gösteren değişkenlerin (sıcaklık, yağmur, nemlilik, basınç vb.) zamana ve mekana bağlı olarak önceden belirlenmesidir. Sanayi, askeri, turizm ve daha birçok alanda önemli bir yeri olduğu için insanoğlu tarih boyunca sürekli hava tahmini konusunda çalışmıştır ve bu çalışmalar sonucunda büyük tecrübeler kazanmıştır. Genel olarak hava tahminleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

Tablo 3.1 Hava tahminlerinin uzunluğuna ve sonuçlarına göre sınıflandırması

Tahmin Uzunluğu	Tahmin Sonuçları
Kısa Vadeli Tahmin (1-2 gün)	Deterministik Tahmin Sistemi
Orta Vadeli Tahmin (15 güne kadar)	Olasılıklı Tahmin Sistemi
Uzun Vadeli Tahmin (2 haftadan fazla)	

- **Kısa Vadeli Tahmin:** Günlük, saatlik, dakikalık ve güncel olarak kullanılan, bir ve iki gün sonrası için yapılan hava tahminleri kısa vadeli hava tahmin grubuna girmektedir.
- **Orta Vadeli Hava Tahmini:** İki haftaya kadar yapılan ve operasyonel uygulamalarda kullanmak için daha uygun olan hava tahminleridir.
- **Uzun Vadeli Tahmin:** Uzun vadeli tahmin aylık ve mevsimlik tahminleri içerir. İklim değişiklikleri konusunda ve aylık modelleme çalışmalarında bu tahmin türü kullanılır.
- **Deterministik Tahmin Sistemi:** Tek bir değere odaklı hava tahminini içeren sistemdir.
- **Olasılıklı Tahmin Sistemi:** Tek bir değer yerine birden fazla değere dayalı dağılım odaklı tahmin sistemidir.

Hava değişkenliklerinin önceden tahmin edilmesi için, o andaki havanın durumunu başlangıç olarak kabul eden ve bu başlangıç şartlarına göre ileriye dönük atmosfer durumunu belirleyen bilgisayar modelleri kullanılmaktadır. Genel olarak bu bilgisayar modelleri, atmosfer hareketliliğinin matematiksel denklemlere dayandırılarak belirlenmesi mantığına dayanır. Bu matematiksel denklemlerin çözümlenerek atmosferin durumunun belirlenmesine “Sayısal Hava Tahmini” adı verilir (Lorenz, 1969; Buizza ve diğ., 1999). Sayısal hava tahmini, çeşitli modellerle yapılmaktadır. Bu modeller genel olarak ikiye ayrılabilir.

I. Genel Çevrim Modelleri (General Circulation Models)

Yatay çözünürlüğün spektral (dalga sayısı ile oranı) veya grid (iki grid noktası arasındaki mesafe ile oranı) olarak çözümlendiği modellerin oluşturduğu gruptur. Bu modeller, basit hidrostatik eşitlik kullanılmaktadır; havanın ağırlığı ile düşey basınç gradyan kuvveti arasında bir denge olduğu kabul edilmektedir (Anonim, 2008).

Dünyada kullanılan belli başlı küresel modeller ve bu modelleri geliştiren ülkeler ve kurumlar şunlardır;

- IFS - Integrated Forecast System (İngiltere)
- UM - Unified Model (İngiltere)
- ARPEGE - Action De Recherche Petite Echelle Grande Echelle (Fransa)
- MRF - Markov Random Field (ABD)
- GEM - Global Environmental Multiscale (Kanada)
- JMA - Japan Meteorological Agency (Japonya)

II. Bölgesel İklim Modelleri (Regional Climate Models)

Bu tür modellerde yatay çözünürlük, spektral ile değil grid noktaları arasındaki mesafe ile orantılıdır. Bölgesel iklim modellerinin bazılarında hidrostatik denge kabul edilirken (Sinoptik/Mesoscale modeller); bazılarında ise

hidrostatik denge eşitliği kabul edilmez (Cloudscale/Cloud Resolving modeller). Bu atmosferik modeller başlangıç koşullarına ve bir matematiksel fonksiyona ihtiyaç duyarlar (www.mgm.gov.tr).

Dünyada kullanılan belli başlı bölgesel iklim modelleri ve bu modelleri geliştiren ülkeler;

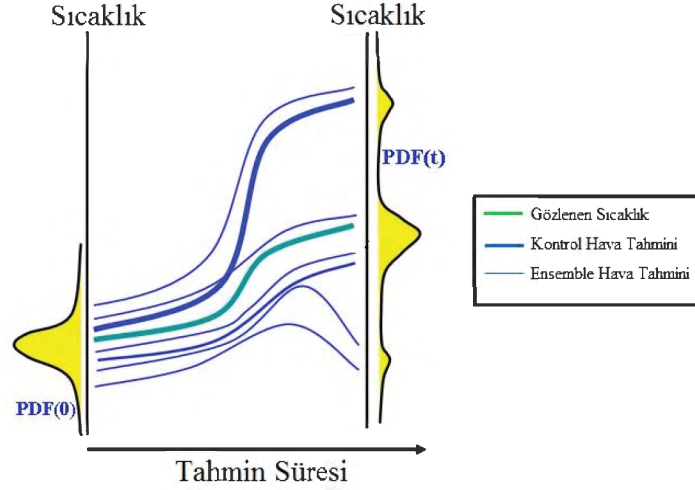
- ALADIN - Aire Limite Adaptation Dynamique Development International (Fransa ve ALADIN Konsorsiyumu)
- WRF - The Weather Research and Forecasting, MM5- 5th Generation Mesoscale Model (ABD)
- HIRLAM - High Resolution Limited Area Model (HIRLAM Konsorsiyumu)
- LM - Lokalmodele (Almanya ve Cosmo Konsorsiyumu)
- EPS - Ensemble Prediction System (ECMWF)

Bu çalışmada kullanılan Ensemble Tahmin Sistemi grid noktaları arasındaki mesafe ile orantılı çözünürlüğe sahip olduğu için Bölgesel İklim Modelleri (RCM) sınıflandırmasına girmektedir. Tüm RCM modellerinde olduğu gibi EPS tahmini de başlangıç durumuna ve matematiksel bir fonksiyona ihtiyaç duyar.

Türkiye’de MGM tarafından 4.5 km çözünürlüklü, 2012 yılına kadar adı MM5 olan ve daha sonra WRF olarak değişen kısa vadeli deterministik hava tahmini kullanılmaktadır. Bu tahmin 3 güne kadar hava sıcaklığı, toplam yağış, basınç, nem ve rüzgar gibi birçok parametre için 00, 06, 12, 18 saatlerinde günde 4 defa üretilmektedir. Ayrıca yine aynı kurum tarafından Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi’nin (ECMWF) aylık tahmin modeli veri ve ürünleri temel alınarak uzun vadeli hava tahmini aylık olarak üretilmektedir (www.mgm.gov.tr).

3.1. Ensemble Tahmin Sistemi (Ensemble Prediction System)

Ensemble Tahmin Sistemi (EPS), bilgisayar modelinin atmosfer hareketliliğinin simülasyonunu oluştururken kullandığı matematiksel fonksiyonlara küçük sapmalar eklenerek istenilen sayıda üye ve 1 adet kontrol fonksiyondan oluşan hava durumu senaryoları toplamıdır. Aslında 1 adet kontrol fonksiyonu tek değerli hava tahminidir ve EPS tahminlerinden ayrı olarak üretilmektedir. EPS tahminleri üretilirken fonksiyonlara küçük sapmalar eklenip, istenilen sayıda hava tahmini elde edilir (Şekil 3.1).



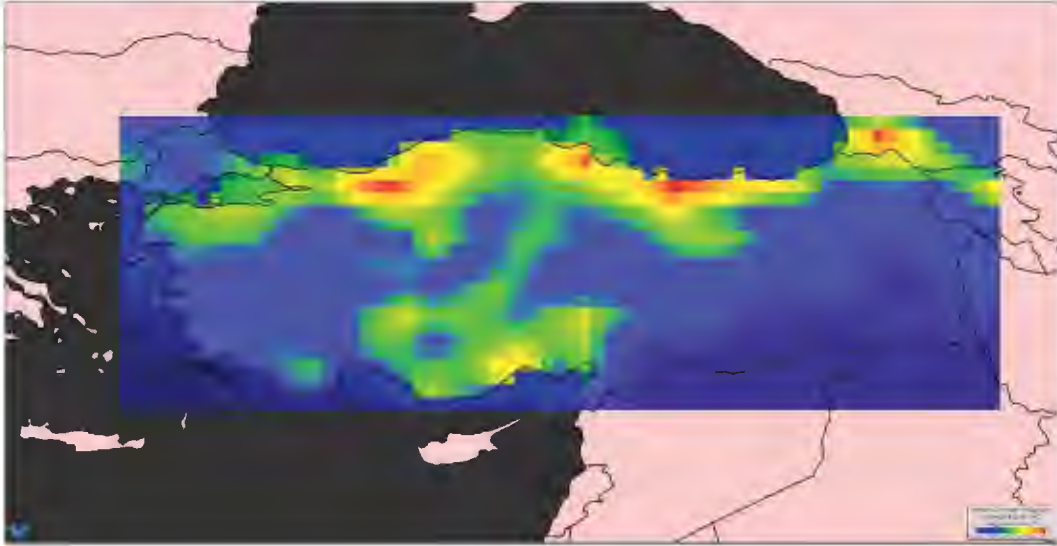
Şekil 3.1 Ensemble tahmin sisteminin tahmin süresince davranışı (<http://www.ecmwf.int/>)

Türkiye'nin de üyesi olduğu ECMWF, 1973 yılında kurulmuştur. Merkezi İngiltere'nin Reading kentinde bulunan kurum, genel olarak EPS'leri içeren orta vadeli hava tahmini üzerinde çalışmaktadır.

EPS, ECMWF tarafından 2 m'deki sıcaklık, toplam yağış, basınç, nem ve rüzgar gibi birçok parametre için 6 güne kadar 3'er saat ve 6 günden 15 güne kadar 6'şar saat aralıklarla üretilir. ECMWF, gün içerisinde Dünya üzerinde yaklaşık 3 milyon farklı noktadan yer gözlemi almaktadır. Alınan bu yer gözlem değerleri bilgisayar modellerinde başlangıç koşulları olarak kullanılmaktadır.

İlk olarak 1992 yılında üretilen EPS için 187.5 km/grid çözünürlüklü 32 farklı tahmin üretilmiştir. 1996 yılında üye sayısı 50'ye yükseltilmiş ve çözünürlük 125 km/grid'e düşürülmüştür. Çözünürlük 2006 yılı itibariyle 40 km/grid ve 2010 yılı itibariyle de 10 güne kadar 32 km/grid, 10 günden sonra 65 km/grid olarak belirlenmiştir. Bilgisayar destekli hava tahmin modellerinde çözünürlüğün hava tahmini tutarlılığında önemli etkileri vardır. Çözünürlük arttıkça, atmosfer hareketliliğinde değişikliklere neden olan küçük ölçekteki bazı fiziksel olayların hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

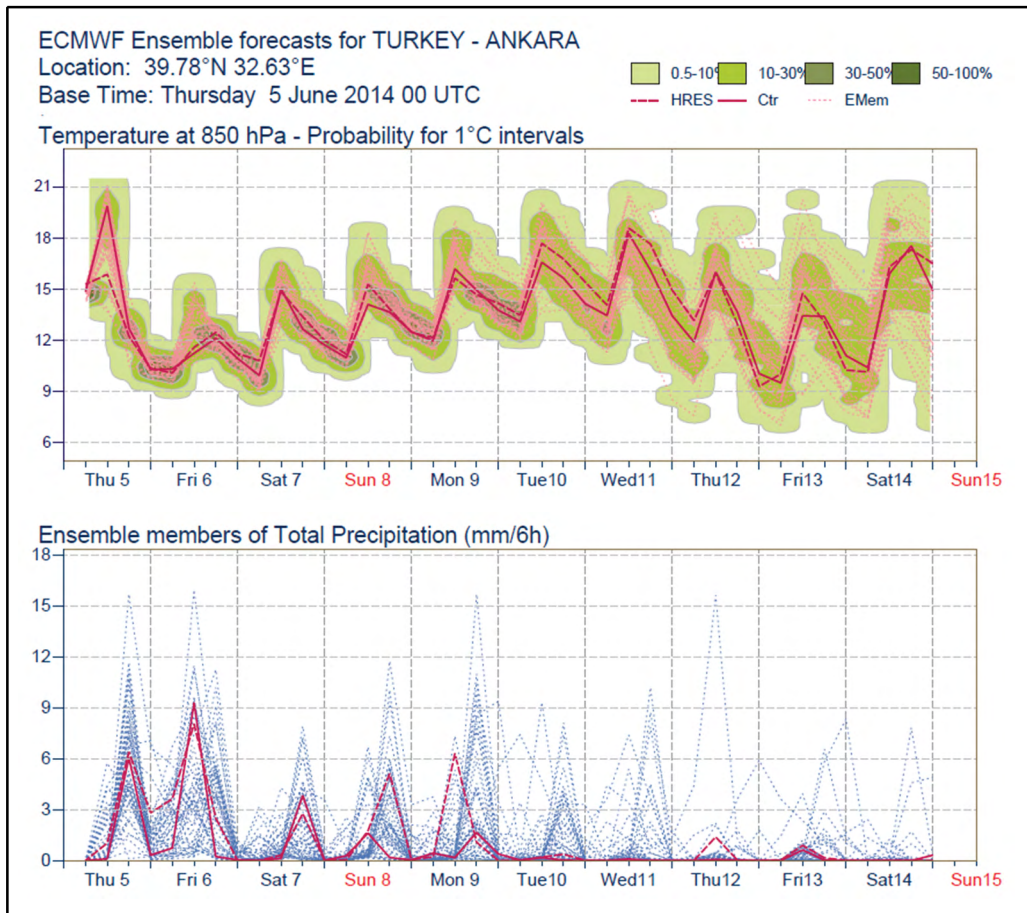
ECMWF kurumundan, istenilen tarih ve parametre için EPS 9 gün ileriye dönük meteorolojik tahmin verisi elde edilebilmektedir. Tahmin verisinin 9 gün ileriye dönük olarak seçilmesinin nedenlerinden biri EPS verisinin 10 günden sonra çözünürlüğünün değişmesi ve bir diğeri ise tahmin günü arttıkça verinin depolanması ve işlenmesi aşamasında yaşanan zorluklardır. EPS için "GRIB" veya "NetCDF" formatında veriler alınabilmektedir. Türkiye için çözünürlüğü T639/N320 (28 km x 28 km) olan ve 1587 (23x69) adet hücreden oluşan bir günlük EPS toplam yağış veri örneği 05.06.2014 tarihi için Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2 Türkiye için 69x23 hücreden oluşan EPS yağış verisi (05.06.2014)
(<http://www.ncdc.noaa.gov/wct/>)

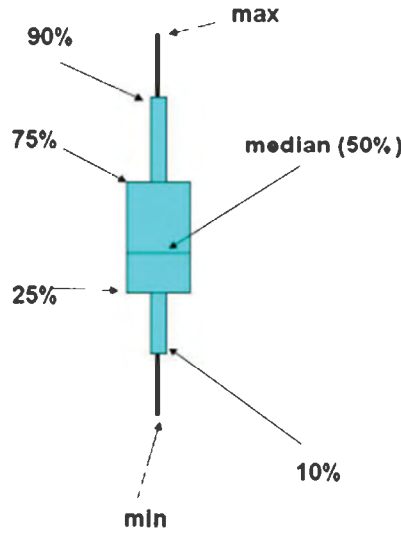
EPS model sonuçlarına bakarak atmosfer hareketliliği için; kontrol fonksiyon da dahil olmak üzere 51 farklı hava durumu senaryosu görülebilir. Bu durumun sağladığı en büyük avantaj tahmin süresince oluşması beklenen tüm hava senaryolarının bir arada görülebilmesidir. EPS içerisinde 51 farklı hava durumu senaryosunun birlikte olması, belirsizlik (uncertainty) ve olasılık (probability) sonuçlarının oluşmasına neden olmaktadır (Brown ve Heuvelink, 2005; Gupta ve diğ., 2005; Pappenberger ve diğ., 2005).

Ensemble tahmin sistemi ile elde edilen 50+1 adet hava durumu senaryosunun aynı grafik üzerinde gösterilmesi “Plume Diyagram” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.3’de Ankara için 05.06.2014 tarihindeki 10 günlük toplam yağış ve sıcaklık tahminleri plume diyagram olarak görülmektedir.



Şekil 3.3 Ankara ili için 05.06.2014 tarihli 10 günlük sıcaklık ve yağış tahmini (<http://www.ecmwf.int/>)

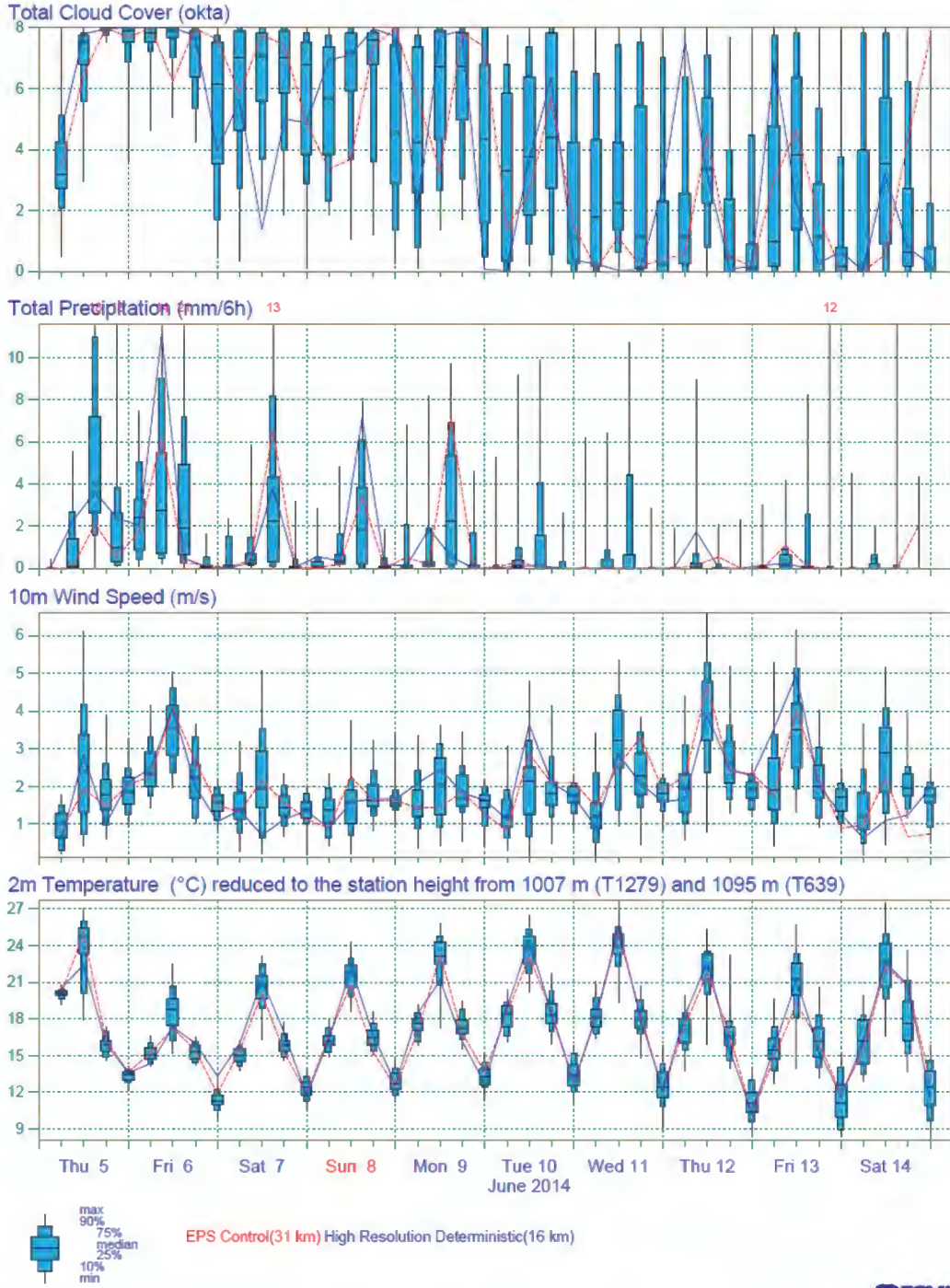
05.06.2014 tarihinde Ankara için sıcaklık değerlerinde düşüş aynı zamanda yağış beklenmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi de; tahmin süresi uzadıkça 51 farklı hava durumu senaryosunun daha fazla saçıldığıdır. İlk tahmin günlerinde bu saçılmalar çok azken ilerleyen günlerde bu saçılmalar giderek artmaktadır. Bu saçılmaların artması da ilerleyen günlerdeki hava tahminlerinin güvenilirliğinin ilk günlerdekine göre daha az olduğunu göstermektedir. Ayrıca, 50 EPS senaryosunun daha kolay değerlendirilmesini ve yorumlanmasını sağlayan EPSgram adı verilen özel grafikler oluşturulmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 EPS senaryolarının bir araya getirildiği EPSgram örneği (www.ecmwf.int)

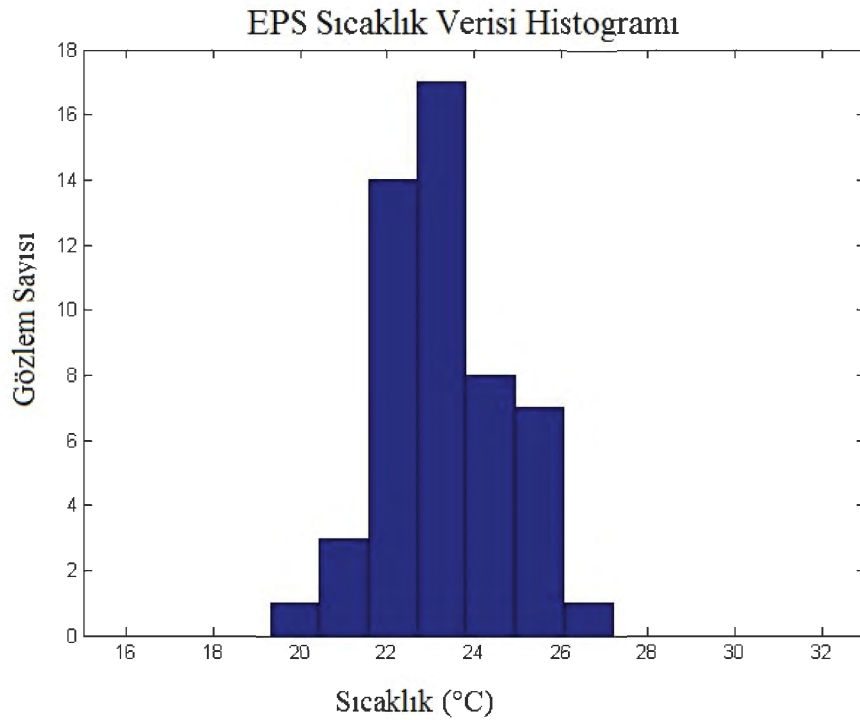
EPSgram'lar yorumlanarak EPS tahminlerinin en önemli özelliği olan olasılık sonuçlarına ulaşılabilir. Örneğin; beklenen en az ve en fazla yağış miktarı, 50 farklı senaryonun ortanca yağış miktarı değeri, belirli bir eşik değerden fazla veya az yağış olayının meydana gelme olasılığının ne olduğu gibi bilgilere buradan ulaşılabilir. EPS senaryoları için görülen saçılmalar aynı paralellikte EPSgram için de gözlemlenir. Tahmin süresi uzadığı zaman belirsizlik artacak ve EPSgram şekil olarak büyüyecektir. Çünkü tahmin edilen değerler birbirinden farklılaşacaktır ve belirsizlik artacaktır. Şekil 3.5'te yine Ankara için Şekil 3.3'te sunulan EPS tahminlerinin EPSgramları görülmektedir.

EPS Meteogram
 Ankara 40.05°N 32.76°E (EPS land point) 906 m
 Deterministic Forecast and EPS Distribution Thursday 5 June 2014 00 UTC



Şekil 3.5 Ankara ili için 05.06.2014 tarihli EPSgram'ların grafiksel gösterimi (<http://www.ecmwf.int/>)

EPS sıcaklık verisi için; 50+1 adet hava tahmin senaryosunun histogramı çizdirildiği zaman, istatistiksel dağılım türlerinden normal dağılıma uygunluk gösterdiği gözlenmektedir (Şekil 3.6). Normal dağılıma uygun olması 50+1 adet hava tahmin serisinin aritmetik ortalaması (μ) etrafında yoğunlaşma gösterdiği anlamına gelmektedir. Aritmetik ortalamadan uzaklaştıkça, var olan tahminlerin sayısı azalma göstermektedir. Plume diyagram gibi hava tahmin durumunda ilk günler için 50+1 adet serinin standart sapmasının düşük olması ve ilerleyen günler için ise bu standart sapmanın büyüyeceği ve seri içerisindeki değerlerin serinin aritmetik ortalamasından daha fazla sapacağı öngörülebilir.



Şekil 3.6 Ankara ili için 05.06.2014 tarihli 50+1 adet EPS sıcaklık histogramı

3.2. Ensemble Tahmin Sistemi Literatürü

Ülkemizde yapılan hidrolojik çalışmalar incelendiğinde, EPS verileri ilk kez bu çalışma ile hidrolojik modelde kullanıldığından ulusal bilimsel literatür içerisinde bu konuya rastlamak mümkün olmamaktadır. Dünya’da ve Avrupa’da

2000'li yıllarda meydana gelen taşkınlardan sonra EPS uluslararası literatürde sıkça gündeme gelmiş ve uygulamacı kurumlar tarafından operasyonel anlamda kullanılmaya başlanmıştır. EPS ile ilgili uluslararası çalışmalarda özellikle bu yeni tahmin sisteminin getirdiği yeniliklere ve deterministik yöntemlere göre sağladığı avantajların neler olduğu konuları üzerinde durulmuştur.

2002 yılında Avrupa'da meydana gelen önemli taşkınlar sonrası taşkın tahmininin değer kazanmasıyla birlikte, Roo ve diğ. (2003) yaptıkları bir çalışmada Avrupa Taşkın Tahmin Sistemi (EFFS-European Flood Forecasting System) geliştirerek Avrupa'daki herhangi bir havza için, meteorolojik olay ve/veya akım tahmini yapmak adına iyi bir performansa sahip bir tahmin sistemi geliştirmek istemişlerdir. Bradley ve diğ. (2003) yaptıkları bir çalışmada dağılım odaklı performans değerlendirme yöntemlerinin uygulamasını göstermişlerdir. Belirli sınır değerler belirleyerek, tüm ensemble üyelerini olasılık dağılım haline dönüştürüp, bu sınır değerlere göre performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Roo ve diğ. (2005) geçmişte yaşanmış olan (Meuse-1995 ve Odra-1997) taşkınları için EPS verisi kullanarak geriye dönük taşkın tahmini yapmışlardır. Tek değerli bir çözüm yerine bir aralık olarak taşkın tahmini yapabilmek adına EPS tahmin verileri kullanılmıştır. Geçmişe yönelik bir taşkın tahmini yaparken LISFLOOD adı verilen hidrolojik modeli kullanmışlardır.

Yapılan bu çalışmaların ışığında hidrometeorolojik veriler kullanılarak akım ve/veya taşkın tahmini yapmak kadar yapılan bu tahminlerin performanslarının değerlendirmesi de önemli bir konu olarak ön plana çıkmıştır. Roulin ve Stephane (2005), Roulin (2007) Belçika'daki iki havza üzerinde bir çalışmada 6 yıllık bir dönem için arşivlenmiş EPS tahmin verileri kullanarak akım tahmini yapmış ve yapılan bu tahminleri yer gözlemleri ile kıyaslayarak performans özelliklerini incelemişlerdir. EPS ile yapılan tahminlerin performansının, deterministik (tek değer odaklı tahmin) tahminler kullanılarak yapılan tahminlerinkinden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, EPS ile yapılan tahminlerin performansının kış aylarında yaz aylarına göre daha iyi olduğu

sonucuna varılmıştır. Bu istatistiksel yönteme ek olarak ‘‘Maliyet-Zarar’’ (Cost-Loss) yöntemi kullanılarak yine aynı akım tahminleri için performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Ülkemiz gibi ortalama yükseltisi fazla olan İsvie’te Anna ve diğ. (2007) 51 adet farklı havza üzerinde akım tahmin çalışması yapmışlardır. Tüm ensemble  yeleri maksimum, minimum, %25, %75 ve medyan olarak sınıflandırılmış ve sonuçlar da bu sınıflandırmaya göre elde edilmiştir. Bu sınıflandırmaya göre performans analizi yapılmıştır. EPS yağış tahmin verileri kullanılarak 18 aylık bir dönem için operasyonel akım tahmini yapılmıştır.

Komma ve diğ. (2007) kapsamlı bir ölçüm ağına sahip Avusturya’da bulunan Kamp (622 km²) havzası için olasılık odaklı ECMWF tahmin verisi ve tek değerli ALADIN tahmin verisinin kıyaslamasını yapmışlardır. Ensemble tahmin sistemine dayalı taşkın tahminleri için ECMWF tahmin ürünündeki saçılmanın tahmin hatalarını azalttığı sonucuna varılmıştır. Nagler ve diğ. (2008) yine Avusturya’da bulunan  tztal havzası üzerinde yaptıkları çalışmada, tek değerli tahmin, 51 üyeli ECMWF ensemble tahmin verisi, MODIS uydu ürünleri ve SRM hidrolojik modelini kullanarak 6 günlük akım tahmini yapmışlardır. Kullanılan meteorolojik veri ve uydu ürünlerine data asimilasyonu uygulamışlardır.

Pappenberger ve Cloke (2009) yaptıkları çalışmada EPS kullanılarak yapılan taşkın tahmini konusundaki çalışmaları incelemişlerdir. Bu çalışmanın en önemli tarafı, EPS verilerini dağılım ve belirsizlik özelliklerinin önemini gözler önüne sermesidir. Brown ve diğ. (2010) yapılan tahminlerin yer gözlem değerleri ile karşılaştırılarak performans değerlendirmesinin önemini vurgulayan bir çalışma yapmışlardır. Bu alışma, Java üzerinde alışan EVS (Ensemble Verification System) isimli performans değerlendirme programının genel olarak kullanım özelliklerini anlatan bir çalışmadır. EPS’i farklı kılan belirsizlik ve olasılık odaklı olması gibi iki önemli özelliğin önemi vurgulanarak; EVS’in bu alandaki açığı doldurduğu anlatılmaya çalışılmıştır. He ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada 30,672 km²’lik alana sahip bir havza için Temmuz-Ağustos 2008 döneminde meydana

gelen taşkın olaylarını Xinanjiang hidrolojik modelini kullanarak geriye dönük tahmin etmeye çalışmışlardır. 6 farklı meteorolojik tahmin kurumunun ürettiği 10 gün ileriye dönük hava tahminleri bir araya getirilerek ensemble tahmin sistemi oluşturulup olasılıklı taşkın tahmin sistemi geliştirilmiştir. Elde edilen 10 gün ileriye dönük taşkın tahminlerinin her günü için performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Liu ve diğ. (2013) ECMWF kurumu tarafından üretilen GFS 14 gün ileriye dönük toplam yağış ve sıcaklık meteorolojik tahmin verileri kullanılarak Huai Havzası (Çin) için akım tahmin çalışması yapmışlardır. Akım tahmini yapmadan önce meteorolojik tahmin verileri için gerek tek değer odaklı gerekse de dağılım odaklı performans değerlendirmesi yapmışlardır. Bu değerlendirme sonucunda tahmin verilerinin tutarlılığının dönemsel olarak değişkenlik gösterdiği ve sıcaklık verisinin yağış verisine kıyasla yer gözlem verileriyle daha tutarlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Atmosferik ensemble hava tahminleri sistematik hatalar (bias) içerebilmektedir. Var olan bu hataların tahmin verisinin modelde kullanılmadan önce düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir. Gneiting ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada beş farklı deterministik meteorolojik tahmini birleştirerek ensemble sistemi elde edip, Ensemble Model Output Statistics (EMOS) yöntemi ile hata düzeltme ve performans analizi değerlendirmesi yapmayı amaçlamışlardır. Bu performans değerlendirme çalışması ortalama hataların karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) ve Continuous Ranked Probability Score (CRPS) değerleri baz alınarak yapılmıştır. 2 gün ileriye dönük sıcaklık ve deniz seviyesi basınç tahmin verileri için uygulanan EMOS yöntemi sonucunda iki gün içinde yaklaşık %2 oranında düzeltme belirlenmiştir.

Renate ve diğ. (2007) 15 üyeli ECMWF kurumu tarafından üretilen ve 1982-2002 yılları için arşivlenmiş olan EPS ve GFS haftalık sıcaklık tahmin verisi için hata düzeltme çalışmaları yapmışlardır. Veri haftalık olduğu için haftalık pencereler içerisinde kaydedilmiş yer gözlemleri ve ensemble üye tahminleri ile

düzeltilmiş yeni sıcaklık verileri elde edilmiştir. Ham ensemble tahmin verileri ve düzeltilmiş olanların performans analizleri yer gözlem değerleri ile kıyaslanarak yapılmıştır.

Teutschbein ve Seibert (2012) yaptıkları çalışmada ensemble tahmin sisteminde bulunan sistematik hatalara dikkat çekerek, bu hataların giderilmesinde (bias correction) kullanılan yöntemlerin kıyaslamasını yapmışlardır. 11 farklı Bölgesel İklim Modeli (RCM) tahmin verilerini HBV hidrolojik modelinde kullanmışlardır. Yağış ve sıcaklık verileri için kullanılan farklı düzeltme yöntemlerinin performanslarını bağıl mutlak hata (Mean Absolute Error) ve ortalama hata (Mean Error) olarak kıyaslamışlardır.

3.3. Ensemble Doğrulama Sistemi (Ensemble Verification System)

Yapılan bir hava tahmini için atmosfer hareketliliğinin modellenmesi kadar, model sonucunda elde edilen tahmin değerlerinin yer gözlem değerleri ile tutarlılığının değerlendirilmesi de önemli bir konudur. Yapılan hava tahmininin meydana gelen hava durumu ile tutarlılık göstermesi beklenir, belirlenen bu tutarlılık ölçüsünde yapılan hava tahmini değer kazanır. İyi bir hava tahmini bir takım özellikler taşımalıdır, örneğin;

- Güvenilir ve tutarlı olmalıdır,
- Basit ve anlaşılabilir olmalıdır,
- Zamanlaması iyi olmalıdır.

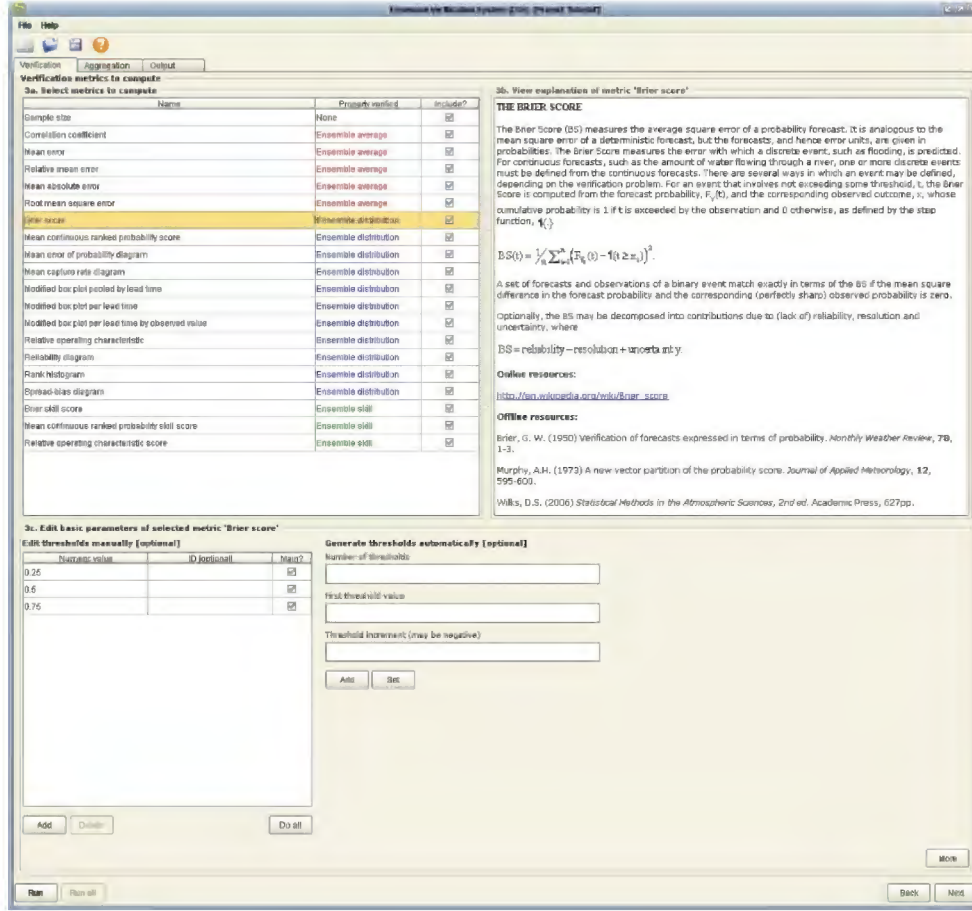
Tek değer odaklı veya olasılık odaklı bütün tahminler için tahmin performansının belirlenmesi, hava tahmini ile yer gözlem değerlerinin arasındaki istatistiki ilişkinin incelenmesi gerekmektedir. MM5 veya WRF gibi tek değerli bir hava tahmin sonucu için “tek değer odaklı (single valued-oriented) istatistiksel yöntemler” kullanılırken; EPS gibi olasılıklı bir hava tahmini içinse “dağılım odaklı (distribution-oriented) istatistiksel yöntemler” de kullanılabilir (Roulin and Stephane, 2005) (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Performans değerlendirmesinde kullanılan istatistiksel yöntemler

Tek Değer Odaklı İstatistiksel Yöntemler	Dağılım Odaklı İstatistiksel Yöntemler
Ortalama Bağlı Hata (RME)	Brier Değeri (BS)
Korelasyon Katsayısı (R)	Brier Performans Değeri (BSS)
Mutlak Ortalama Hata (MAE)	Aralıksız Sıralanmış Olasılık Değeri (CRPS)
Ortalama Hataların Karekökü (RMSE)	
Ortalama Hata (ME)	

Bu çalışmada kullanılmak üzere ECMWF kurumundan elde edilen 9 gün ileriye dönük EPS sıcaklık ve yağış hava tahmin verileri arşivlenmiştir. Performans analizlerini yapmak için NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) tarafından geliştirilen ve ücretsiz olarak kullanıma açık olan Ensemble Doğrulama Sistemi (Ensemble Verification System) programının son versiyonu olan EVS Versiyon 5.0 (<http://amazon.nws.noaa.gov/ohd/evs/evs.html>) kullanılmıştır.

EVS programı Java üzerinde yazılan kod ile oluşturulmuş, Şekil 3.7’de gösterilen arayüze sahip bir programdır. Program “ASCII”, “XML” ve “NetCDF” olmak üzere 3 ayrı dosya tipini kabul etmektedir. Program için tahmin ve yer gözlem girdi dosyaları hazırlanırken verilerin program algoritmasına uygun olacak bir sıralama ile hazırlanması gerekmektedir. Program içerisinde adı “trace order” olan bu sıralama, 9 günlük 50 üyeden oluşan tahmin verisini bir sonraki günden başlayan yine 9 günlük 50 üyeden oluşan tahmin verisinin takip etmesi şeklinde oluşur. Şekil 3.8’de örnek bir yağış tahmin verisinin EVS programına uygun sıralanmış hali gösterilmiştir. Bu formata göre ilk sırada tahminin tarihi, ikinci sırada bu tahminin o tarihte hangi anda yapıldığını gösteren tahmin zamanı ve bundan sonra da 50+1 adet farklı hava tahmin değerleri bulunmaktadır. EVS için girdi dosyaları hazırlanıp programa tanıtıldıktan sonra, istenilen aralık ve istenilen istatistiksel metodlar için program çalıştırılıp sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 3.7 Ensemble doğrulama sistemi (EVS) program arayüzü (<http://www.nws.noaa.gov/>)

Tarih	Tahmin Zn.	EPS 1	EPS 2	EPS 3	EPS 4	EPS 5	EPS 6	EPS 7	EPS 8	EPS 9	EPS 10	EPS 11	EPS 12	EPS 13	EPS 14.....
04/01/2012	0	11.7	7.6	8.1	10.2	8.3	6.9	5.7	6.3	11	8.3	15.5	8.6	12.4	10.2
04/02/2012	24	0.3	0	0.3	0.3	0	0.7	0.1	0	0	0.9	0	0.2	0	1
04/03/2012	48	0	0.9	0	0.6	0	0.1	1.3	0.6	0	0.7	0	0	1.6	0
04/04/2012	72	0	1	0.6	6.2	3.2	1.9	6.2	0.4	6.1	0.8	0.2	0.2	6.9	2
04/05/2012	96	1.2	0.8	1	2.4	2.1	0.7	3.1	0	2.8	0	0	2.5	3.5	3
04/06/2012	120	9.4	0	0.8	3.1	0.5	0.2	4.8	4.1	5.9	3.4	2.8	0.5	6.8	4.6
04/07/2012	144	13.3	1.1	1.1	11.8	17.1	4.8	1.3	1.5	4.1	0.1	8.3	0.2	0	0.4
04/08/2012	168	11.1	1.2	0	20.8	9.6	1.1	0.1	7.8	0.1	1.4	5.8	2.9	6.8	0
04/09/2012	192	3.5	2.2	4.4	0.6	4.7	0.2	0	6.9	0	0	29.7	1.5	3	1.6
04/02/2012	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0	0.2	0	0.1	0.1	0.3	0	0.1	0.1
04/03/2012	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04/04/2012	48	1.3	0.1	1.2	0	0.4	0	0.4	1.6	0	0.1	0.4	0.4	1.4	2.8
04/05/2012	72	9.5	0.1	4.1	1	1.8	3.4	1.1	1	1.3	4.3	2.7	12.2	5.1	6.3
04/06/2012	96	17.5	5.4	3.9	6.6	9.2	0.3	29.6	7.5	9.5	12.2	3	25.5	10.3	5.9
04/07/2012	120	3	3.8	4.9	6.1	5.8	0.1	27.2	14.4	4.5	0	2.2	1	8.3	1.2
04/08/2012	144	3.9	2	6.3	12.9	15	0	1.7	5.2	2.6	11.2	0.4	0.6	0.4	14.9
04/09/2012	168	1.4	8.1	2.4	3.9	13.4	3.3	10	6.7	13.1	12.4	0	5.8	7.9	8
04/10/2012	192	16	11.8	0	0	6.8	10.3	1.7	4.9	0	18	0.4	0.7	8	1.6
04/03/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0
04/04/2012	24	0	1	0.6	0.3	0.3	0.1	1.4	2	1.5	3.2	0.1	0	0.3	0.2
04/05/2012	48	0	1	3	2.6	1.4	1.1	2.4	0.1	0.6	2.8	1.1	0.7	5.2	1.7
04/06/2012	72	0.6	0.3	0	0.8	0	0	6.1	0	0.1	2.3	5.7	3	0.7	7.3
04/07/2012	96	0.1	1.8	0.2	1.8	1.3	0.2	1.3	0	1.1	0.2	1	0.4	1.5	8.4
04/08/2012	120	1	13.5	30.6	6.4	1.7	6.8	25.9	0	3	3.6	1	0.2	2.8	13.6
04/09/2012	144	1.8	4.5	0.8	1.5	8.7	22.8	0.8	7.4	5.7	8.9	11.5	8.6	15.6	1.2
04/10/2012	168	2.4	0	0	18.8	4.8	2.6	1.9	0.3	13.3	1	15	8.3	0.9	0
04/11/2012	192	0	0	0	2.4	0.2	10.1	0.5	0	1	0	0.6	0.9	1.6	0
.															
.															
.															

Şekil 3.8 EVS programı için kullanılan tahmin veri örneği

3.4. Tek Değer Odaklı ve Olasılık Odaklı Performans Parametreleri

Bir önceki konuda bahsedildiği gibi yapılan tahminlerin tutarlılığı için literatürde bulunan birçok istatistiksel performans analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin tercihinde önemli etkenlerden biri tahminin türüdür. Eğer tahmin tek bir değer ise tek değer odaklı yöntemler, tek bir değer yerine EPS gibi birden çok tahminden oluşan bir sistem ise dağılım odaklı istatistiksel metotların kullanılması uygun olacaktır. Bu tez çalışmasında her iki performans değerlendirme yöntemi de kullanılmıştır.

3.4.1 Tek değer odaklı istatistiksel yöntemler

Performans analizlerinin bu aşamasında EPS meteorolojik verilerinin ortalaması alınarak tek bir değere indirilmiştir daha sonra tek değer odaklı istatistiksel yöntemler uygulanıp, performans analizleri değerlendirilmiştir.

3.4.1.1 Korelasyon katsayısı (Correlation coefficient)

Rassal değişken olan hava tahmini ile yer gözlemi arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü gösteren katsayıdır. Bu katsayı, (-1) ile (+1) arasında değer alır. Pozitif olması iki seri arasında doğrusal bir ilişki, negatif olması ise iki seri arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu ve “0” olması iki seri arasında hiçbir ilişkinin olmadığını gösterir.

Farklı durumlar ve değişkenler için farklı korelasyon katsayıları geliştirilmiştir. Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı ve Spearman sıralama korelasyon katsayısı en iyi bilinenlerdir. EVS programı Pearson korelasyon yöntemine göre hesap yapmaktadır. Pearson korelasyon katsayısı, iki değişkenin kovaryansının, yine bu değişkenlerin standart sapmalarının çarpımına bölünmesiyle elde edilir.

$$\rho(x,y) = \frac{\text{Cov}(x,y)}{(\sigma_x)*(\sigma_y)} = \frac{1/(n-1) \sum_{i=1}^n (x-\mu_x)*(y-\mu_y)}{(\sigma_x)*(\sigma_y)} \quad (3.1)$$

x,y : Sırasıyla tahmin ve yer gözlemi, n : Tahmin ve yer gözlemi çifti sayısı

σ_x ve σ_y : Verilerin standart sapması, μ_x ve μ_y : Verilerin ortalaması

$\rho(x,y)$: Korelasyon katsayısı, $\text{Cov}(x,y)$: Değişkenlerin kovaryansı

3.4.1.2 Ortalama hata (Mean error)

Her bir tahmin ve yer gözlem çiftinde var olan hataların ortalaması olarak tanımlanan hata türüdür.

$$\text{ME}(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (3.2)$$

$\text{ME}(x,y)$: Ortalama hata

x,y : Sırasıyla tahmin ve yer gözlemi

3.4.1.3 Mutlak ortalama hata (Mean absolute error)

Ortalama hata yönteminden tek farkı her bir çift için hata hesaplarken hesapladığı farkın mutlak değerini almasıdır.

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3.3)$$

$\text{MAE}(x,y)$: Mutlak ortalama hata

x,y : Sırasıyla tahmin ve yer gözlemi

3.4.1.4 Ortalama bağıl hata (Relative mean error)

Tahmin değerine bağlı bir göreceli hata bulma yöntemidir. Genel olarak, pozitif RME değeri yer gözlemine göre tahmin değerlerinin daha büyük olduğunu; negatif RME değerleri ise yer gözlemine göre tahminlerin daha düşük olduğunu gösterir. RME değerinin “0” olması durumu ise tahmin ile yer gözlem arasında bağıl bir hata bulunmadığını gösterir.

$$RME = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (3.4)$$

RME (x,y) : Ortalama bağıl hata

x,y : Sırasıyla tahmin ve yer gözlemi

3.4.1.5 Ortalama hataların karekökü (Root mean square error)

Ortalama hatalardaki oluşacak olan pozitif veya negatif hata sorununu ortadan kaldıracak bir yöntemdir. Bulunan hataların karelerini alarak bütün hataların pozitif tarafta kalmasını sağlar ve ortalama hata bulunduktan sonra karekökünü alarak hatanın normal değere indirilmesi sağlanır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - y_i)^2]} \quad (3.5)$$

RMSE (x,y) : Ortalama hataların karekökü

x,y : Sırasıyla tahmin ve yer gözlemi

3.4.2 Dağılım odaklı istatistiksel yöntemler

Olasılık odaklı tahminlerin performans analizinde yer gözlem ile tahmin arasında olasılıklı bir ilişki performansı incelenir. Bu olasılıklı ilişki beraberinde eşik değeri (threshold) kavramını doğurmaktadır. Her bir eşik değeri için ayrı ayrı hesapların yapılmasının yanı sıra karmaşık matematiksel işlemler içermesinden dolayı, olasılık odaklı istatistiksel yöntemler hesaplanırken bir programa veya yazılıma ihtiyaç vardır.

3.4.2.1 Brier değeri (Brier score-BS)

Bu istatistiksel hesap yöntemi 1950 yılında Glenn W. Brier (Brier, 1950) tarafından geliştirilmiştir. Bir olayın meydana gelme olasılığı ile o olayın tahmin edilme olasılığının farklarının ortalaması BS olarak tanımlanabilir. Olasılık odaklı tahminlerin değerlendirme kriteri olarak kullanılmaktadır. BS değeri “0” ile “1” arasında bir değer olarak hesaplanmaktadır. “0” değeri en iyi tutarlılık düzeyi anlamına gelirken, “1” ise en kötü tutarlılık düzeyi anlamına gelmektedir

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Ox_i - Oy_i)^2 \quad (3.6)$$

BS : Brier değeri

Ox,Oy : Sırasıyla tahmin ve yer gözlem olasılıkları

Örneğin; bir sonraki gün için 10 mm'den daha fazla yağış olması %60 ihtimal ile tahmin edilmiş ve o gün için 12 mm yağış gözlemlenmiş ise, yapılan bu hava tahmininin BS'si $(0.60-1)^2 = 0.16$ olarak hesaplanır. Bu şekilde bütün tahmin süresi boyunca 10 mm yağış eşik değeri için BS değerleri hesaplanıp örnek sayısına (n) bölünüp ortalaması alınırsa o tahmin süresini temsil eden BS değeri bulunmuş olur.

3.4.2.2 Brier performans değeri (Brier skill score-BSS)

Bu istatistiksel performans değerlendirme yöntemi, bağıl hata hesaplama yönteminde olduğu gibi, mevcut tahmin serisinin BS değeri ile referans tahminin BS değerinin kıyaslanması mantığına dayanır. BSS değeri “-∞” ile “1” arasında bir değer olarak hesaplanmaktadır. “1” değeri en iyi tutarlılık anlamına gelmektedir.

$$BSS = 1 - \frac{BS_{main}}{BS_{ref}} \quad (3.7)$$

BSS : Tahmin serisinin BSS değeri

BS_{main} : Tahmin serisinin BS değeri

BS_{ref} : Referans tahmin serisinin BS değeri

BSS'nin aldığı değere göre yapılan tahminin referans tahmine göre yer gözlemi ile olan tutarlılığı hakkında yorum yapılabilir.

- BSS = 0 ise referans tahmin ile aynı tutarlılığa sahiptir.
- BSS > 0 ve BSS < 1 ise referans tahmine kıyasla daha tutarlıdır.
- BSS < 0 ise yapılan tahmin referans tahmine göre daha az tutarlıdır.

Bu çalışmada referans tahmin olarak literatürde klimatolojik tahmin (sample climatology) olarak geçen tahmin kullanılmıştır. Klimatolojik tahmin, performans analizi yapılan an için uzun dönemler gerçekleşen yer gözlemlerinin ayrı ayrı tahmin değeri gibi kabul edilmesidir. Örneğin, 15 Mart 2008 tarihi için BSS hesaplanıyorsa, o güne karşılık gelen EPS verisinin BS_{main} değeri hesaplanır. Referans BS değeri içinse 2009, 2010, 2011 ve 2012 yıllarındaki 15 Mart tarihindeki gözlem değerleri tahminmiş gibi alınarak 15 Mart 2008 tarihi için BS_{ref} değeri hesaplanır.

3.4.2.3 Aralıksız sıralanmış olasılık değeri (Continuous ranked probability score - CRPS)

Toplam dağılım fonksiyonu şekline getirilen tahmin ve gözlem değerlerinin farklarının kareleri olarak hesaplanan performans kriterine göre değerlendirme yöntemidir. CRPS değeri “0” ile “+∞” arasında bir değer olarak hesaplanmaktadır. “0” değeri yapılan tahminin en iyi tutarlılığa sahip olduğu anlamına gelir.

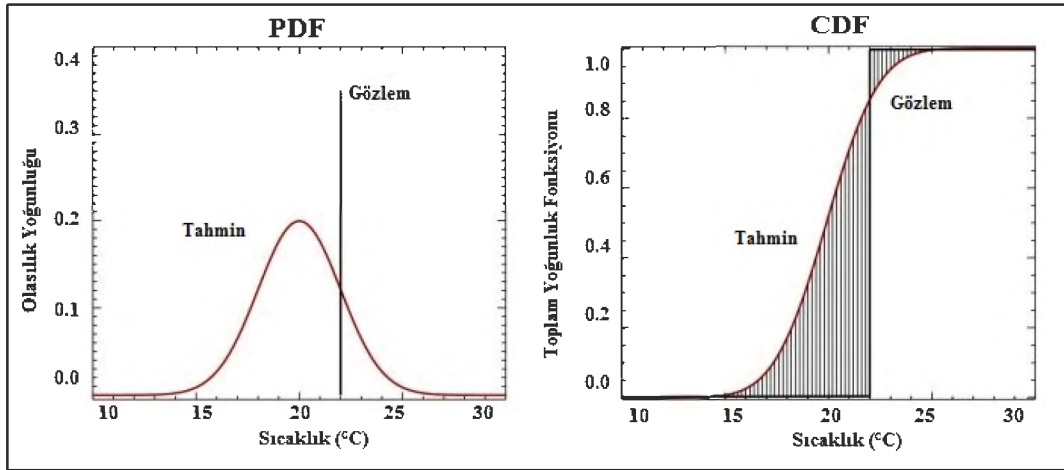
$$CRPS = \frac{1}{n} \int_{-\infty}^{+\infty} (P_{Tahmin}(x) - P_{Gözlem}(x))^2 dx \quad (3.8)$$

CRPS : Tahmin serisinin CRPS değeri

$P_{Tahmin}(x)$: x anındaki tahmin olasılığı

$P_{Gözlem}(x)$: x anındaki yer gözlem olasılığı

CRPS, tahminlerin ve yer gözlemlerinin toplam yoğunluk fonksiyonları arasında kalan alanların ortalaması olarak tanımlanabilir (Şekil 3.9). Tahmin ve gözlem eğrileri arasında kalan alan ne kadar azsa tahmin o kadar tutarlıdır yorumu yapılabilir.



Şekil 3.9 Olasılık yoğunluğu (PDF) ve Toplam yoğunluk fonksiyonu (CDF) grafiksel gösterimi
(<http://www.eumetcal.org/>)

3.5. EPS Performans Analizi

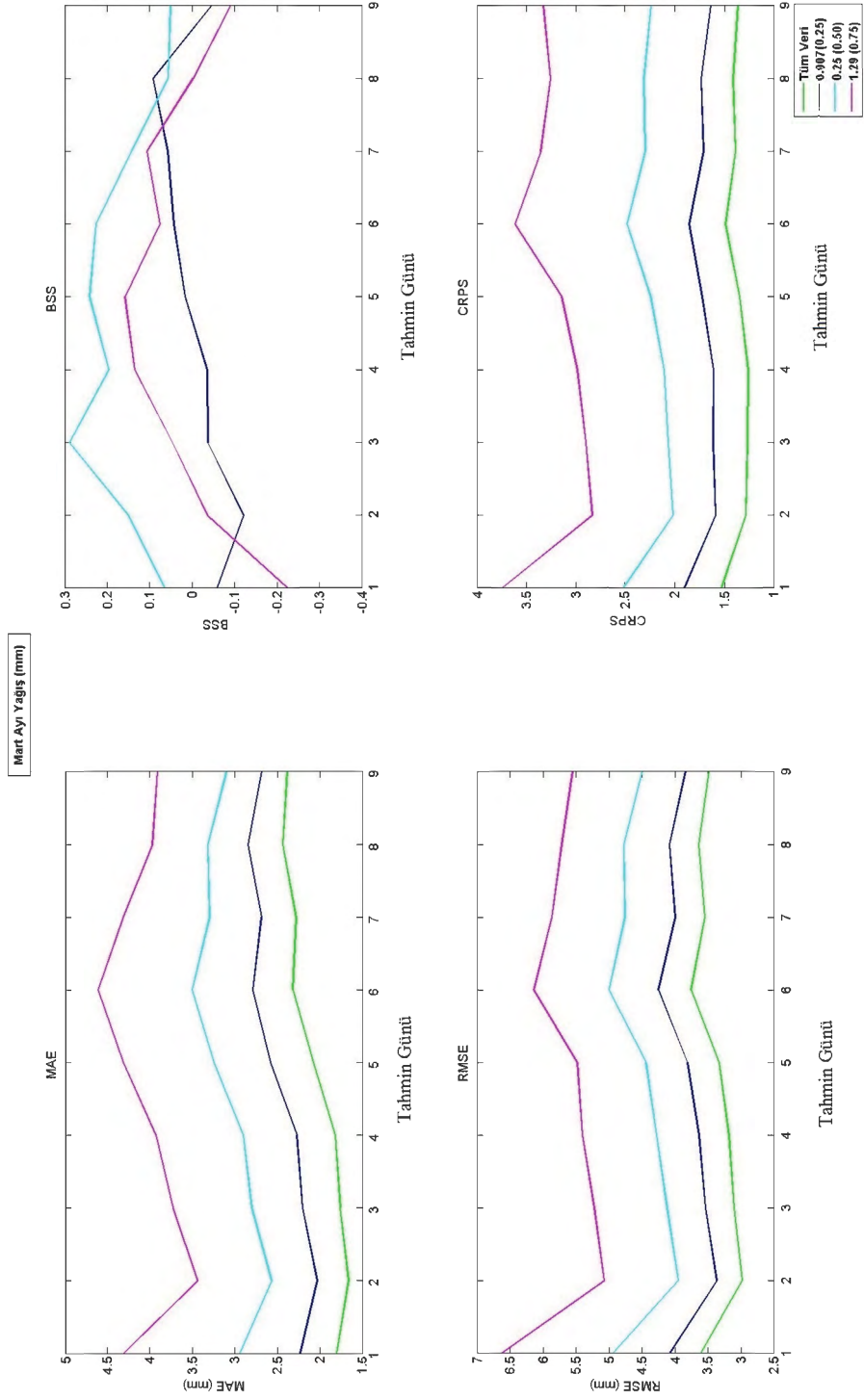
Bu çalışmada, ECMWF'in ürettiği 28 km/grid çözünürlüğe (T639/N320) sahip EPS verisi kullanılmıştır. Toplam yağış ve sıcaklık meteorolojik tahmin verisi Karasu Havzası için 6 x 10 piksel olarak indirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Karasu Havzası için indirilen EPS tahmin verisi örneği

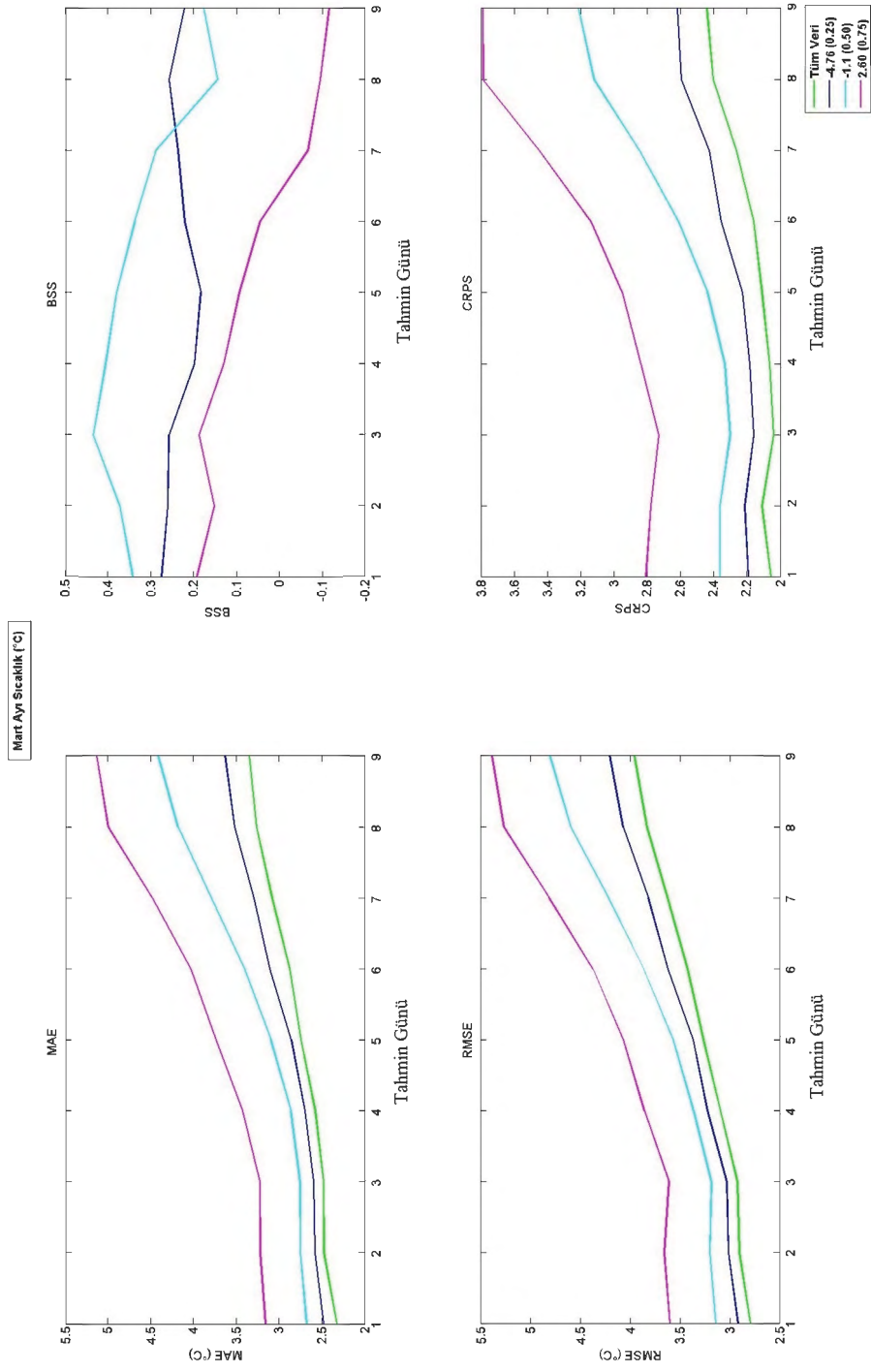
EPS verisi Karasu Havzasına kestirilerek havza üzerindeki piksellerin ortalaması alınıp, havzayı temsil edecek tahmin verisi elde edilmiştir. Buna karşılık noktasal yağış ve sıcaklık yer gözlem verileri ise dağıtılmış alansal ortalama değerleridir.

EPS toplam yağış ve sıcaklık tahmin verileri için EVS programı ile performans analizi önceki konularda anlatılan istatistiki yöntemler ile yapılmıştır. Analizler yer gözlem değerlerinin küçükten büyüğe sıralamasında %25, %50, %75'lik eşik değerlerinin üzerinde kalan tahminler ve tüm yer gözlemlerine kaşılık gelen tahmin değerleri için yapılmıştır. Şekil 3.11'de 2008-2012 yılları için elde edilen sonuçlar tüm dönem için aylar bazında ve toplam olarak sunulmuştur.



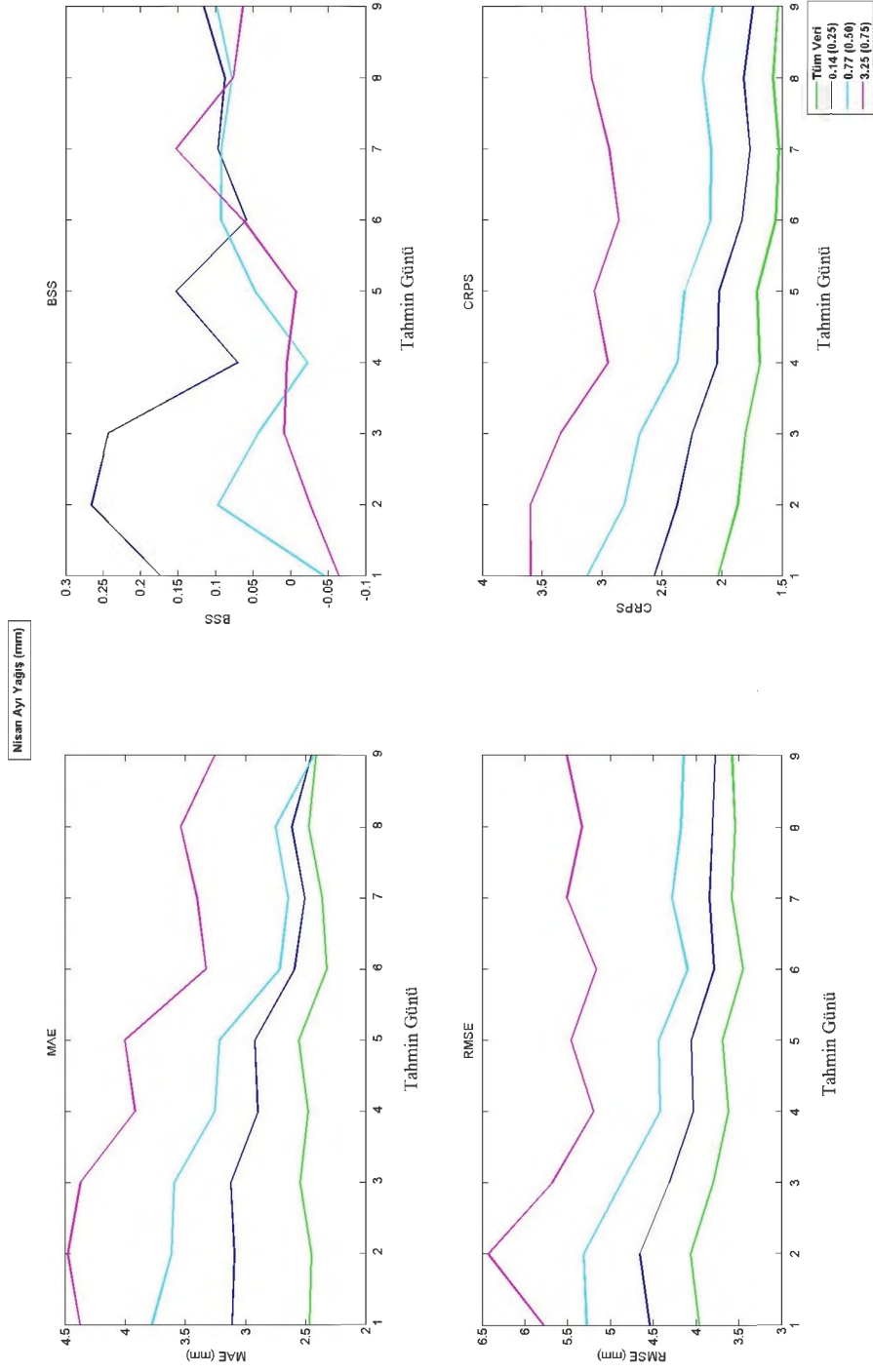
a) Mart ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları



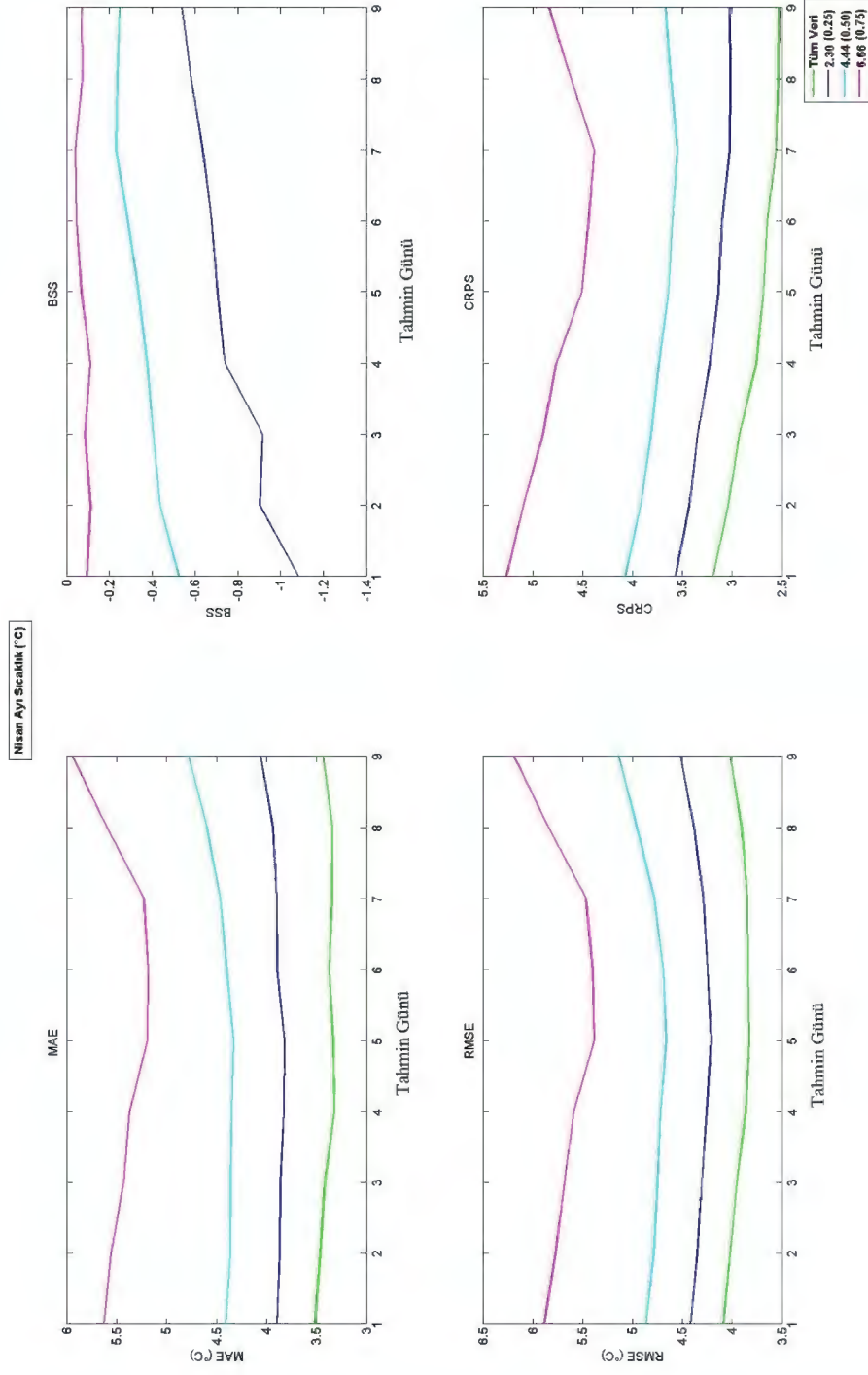
b) Mart ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



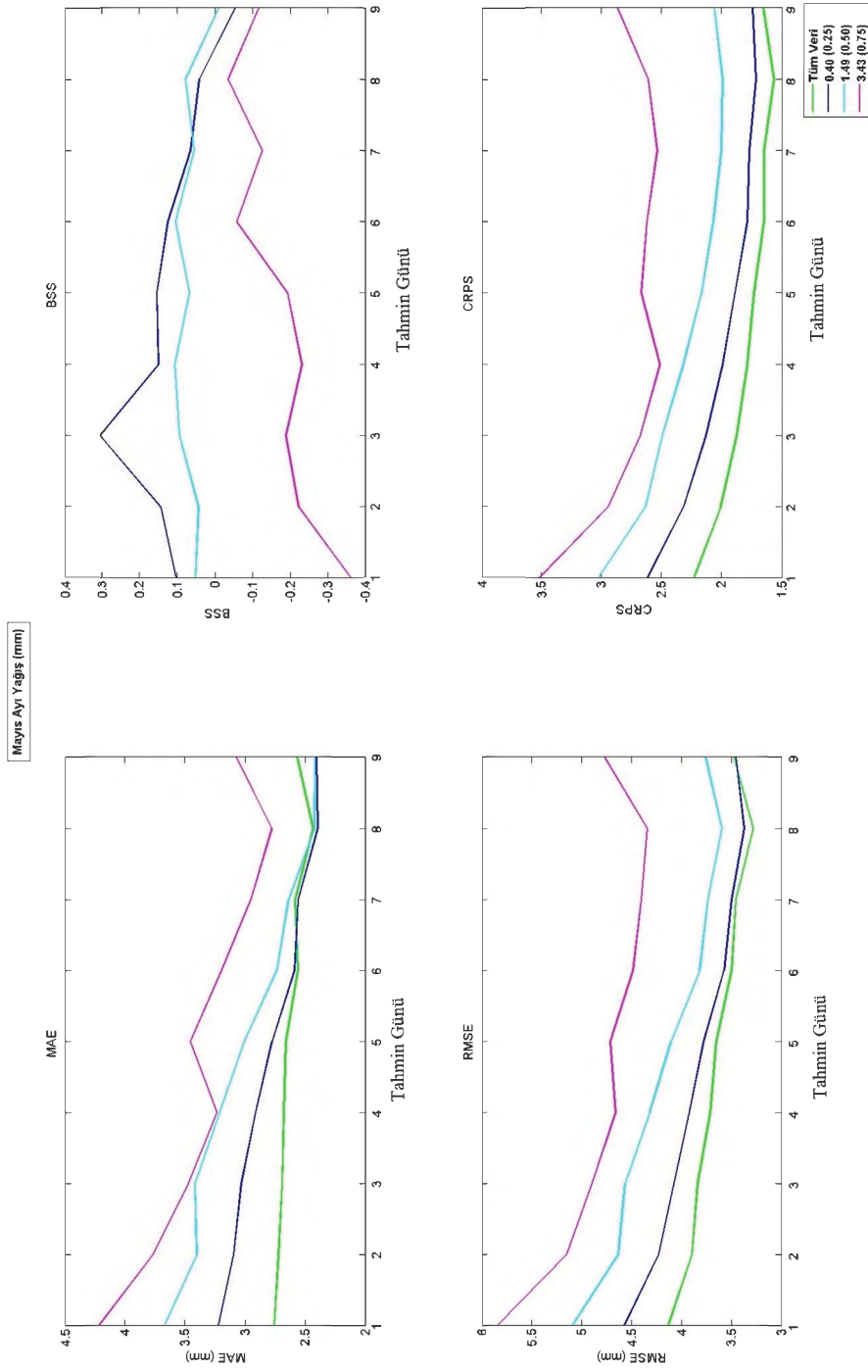
c) Nisan ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



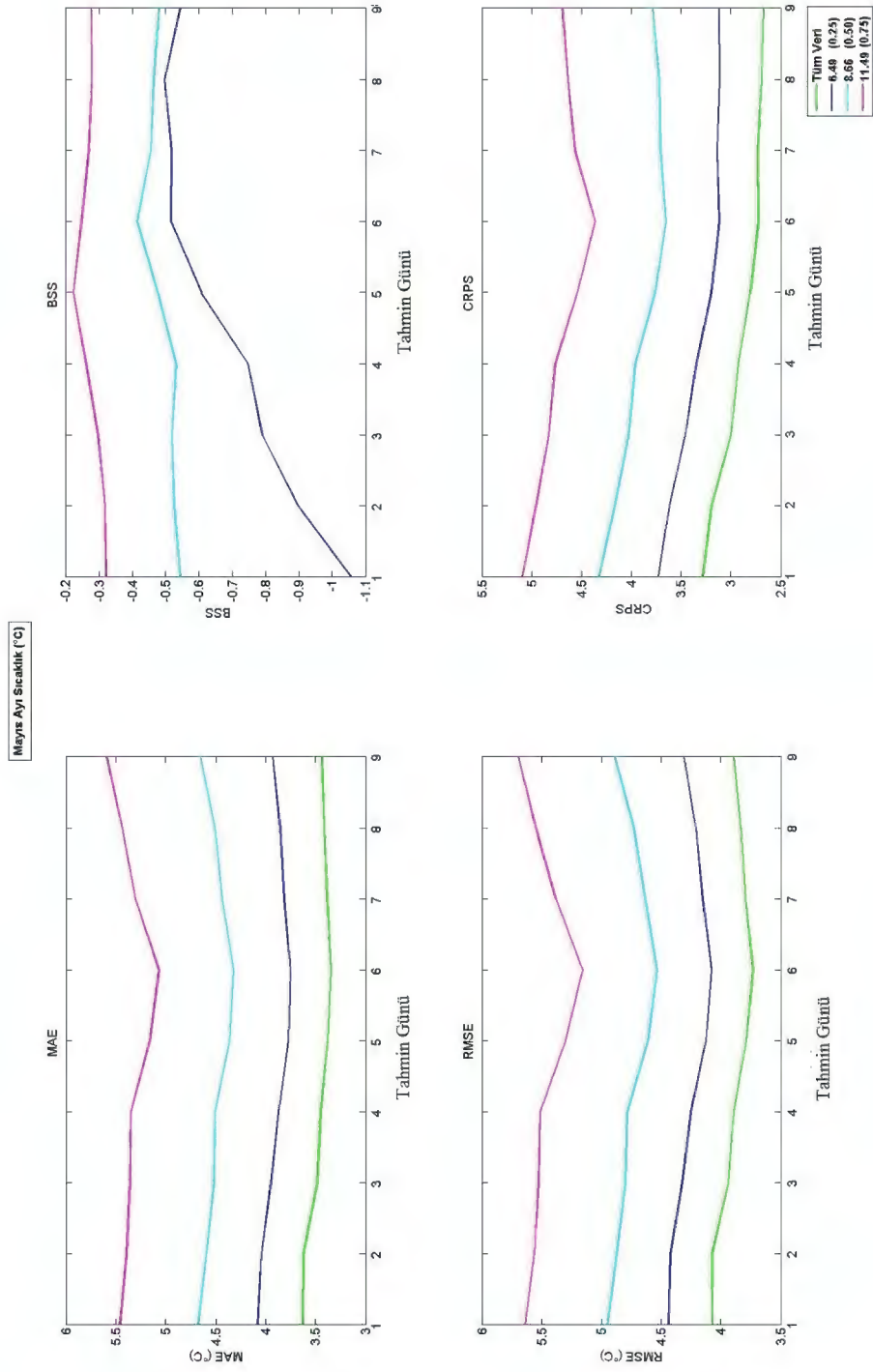
d) Nisan ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



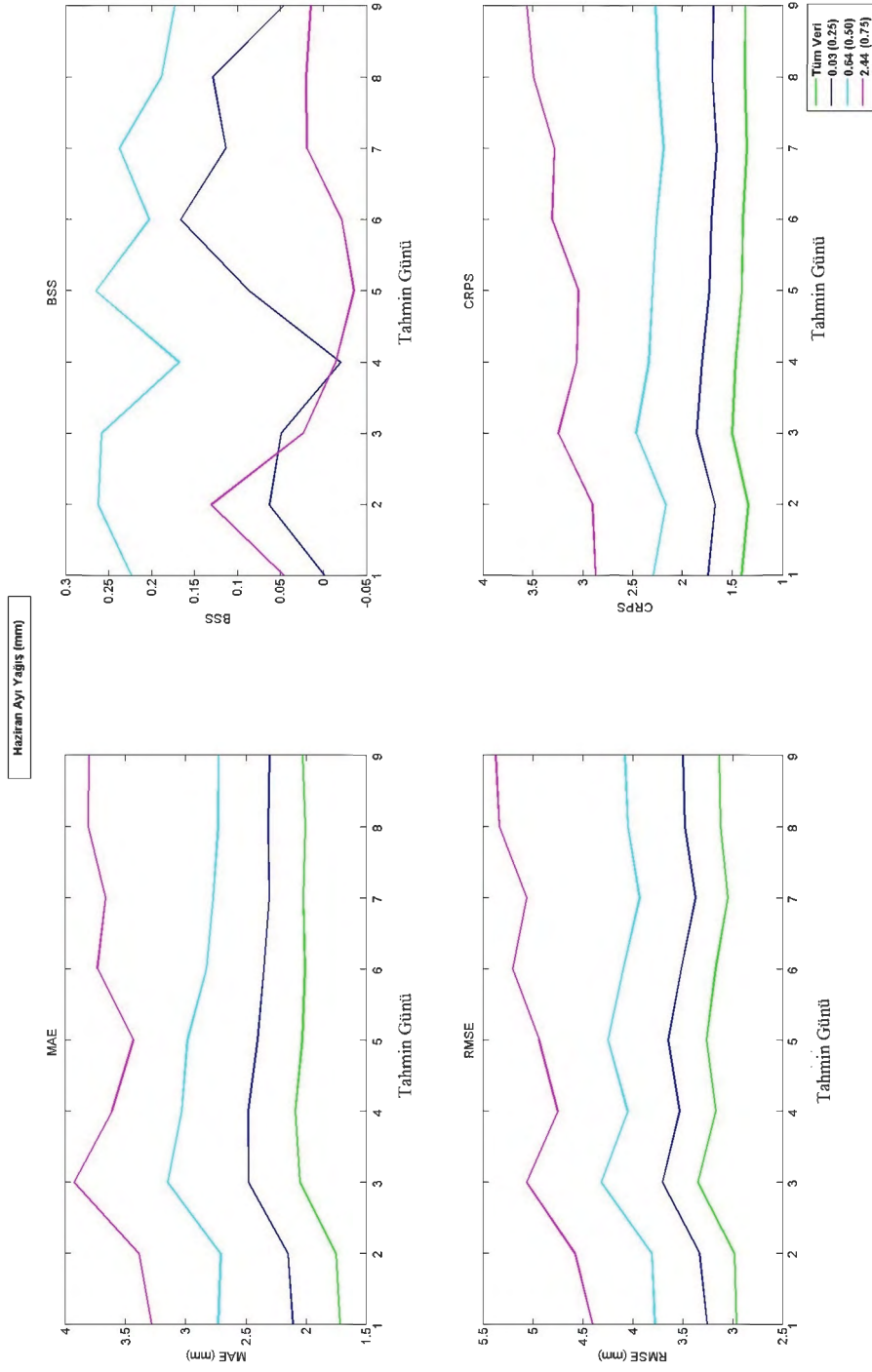
e) Mayıs ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



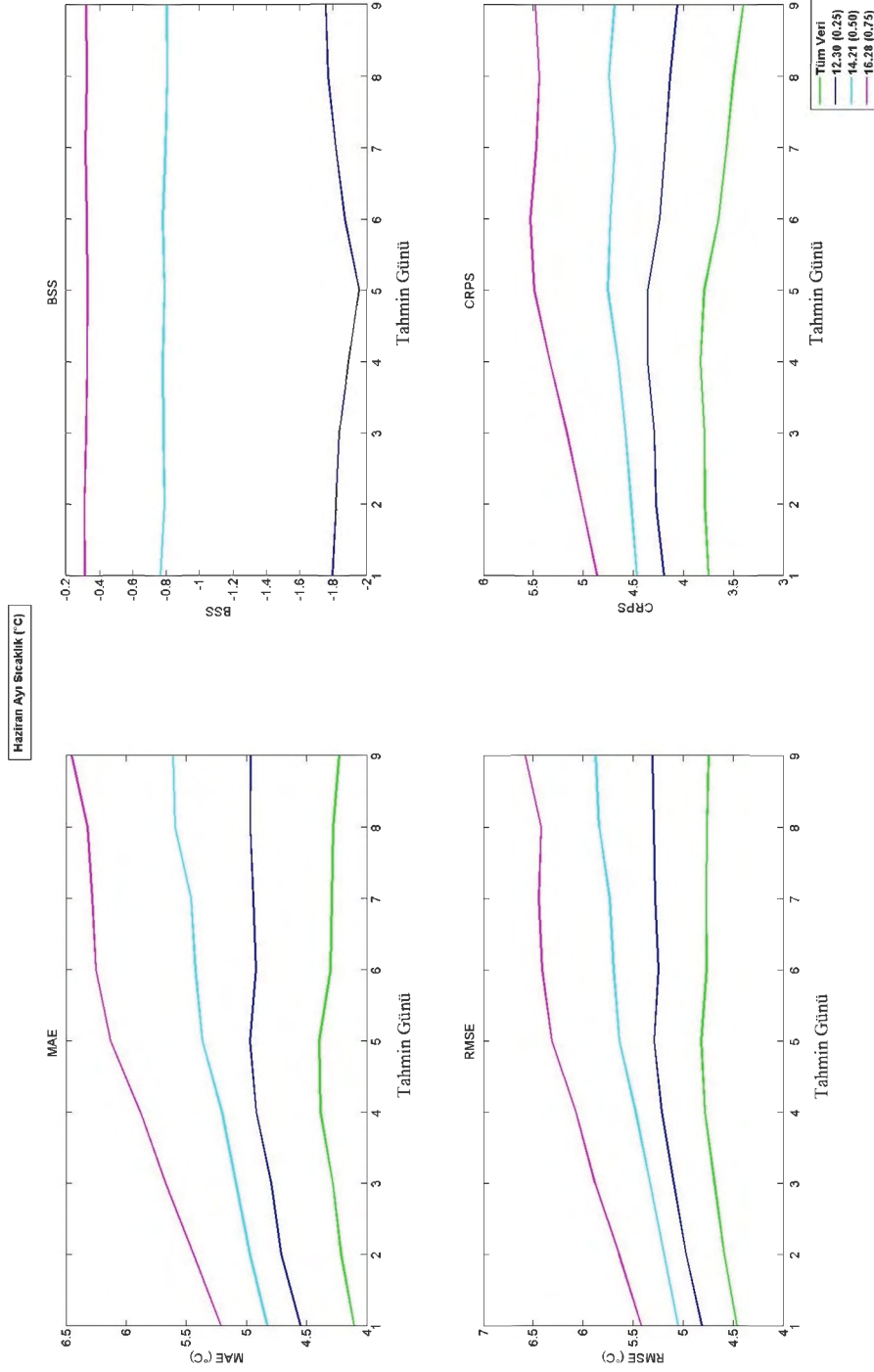
f) Mayıs ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



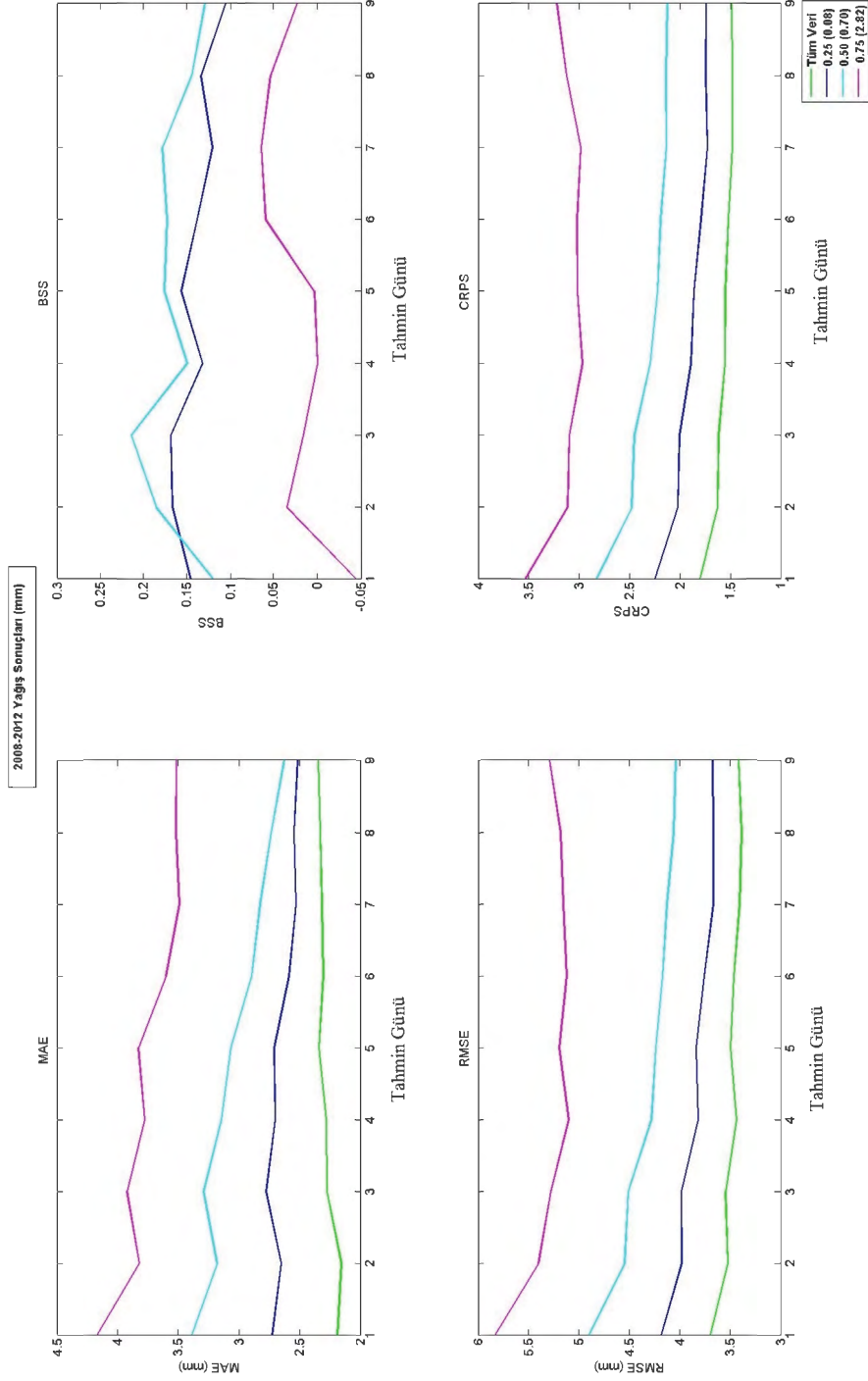
g) Haziran ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



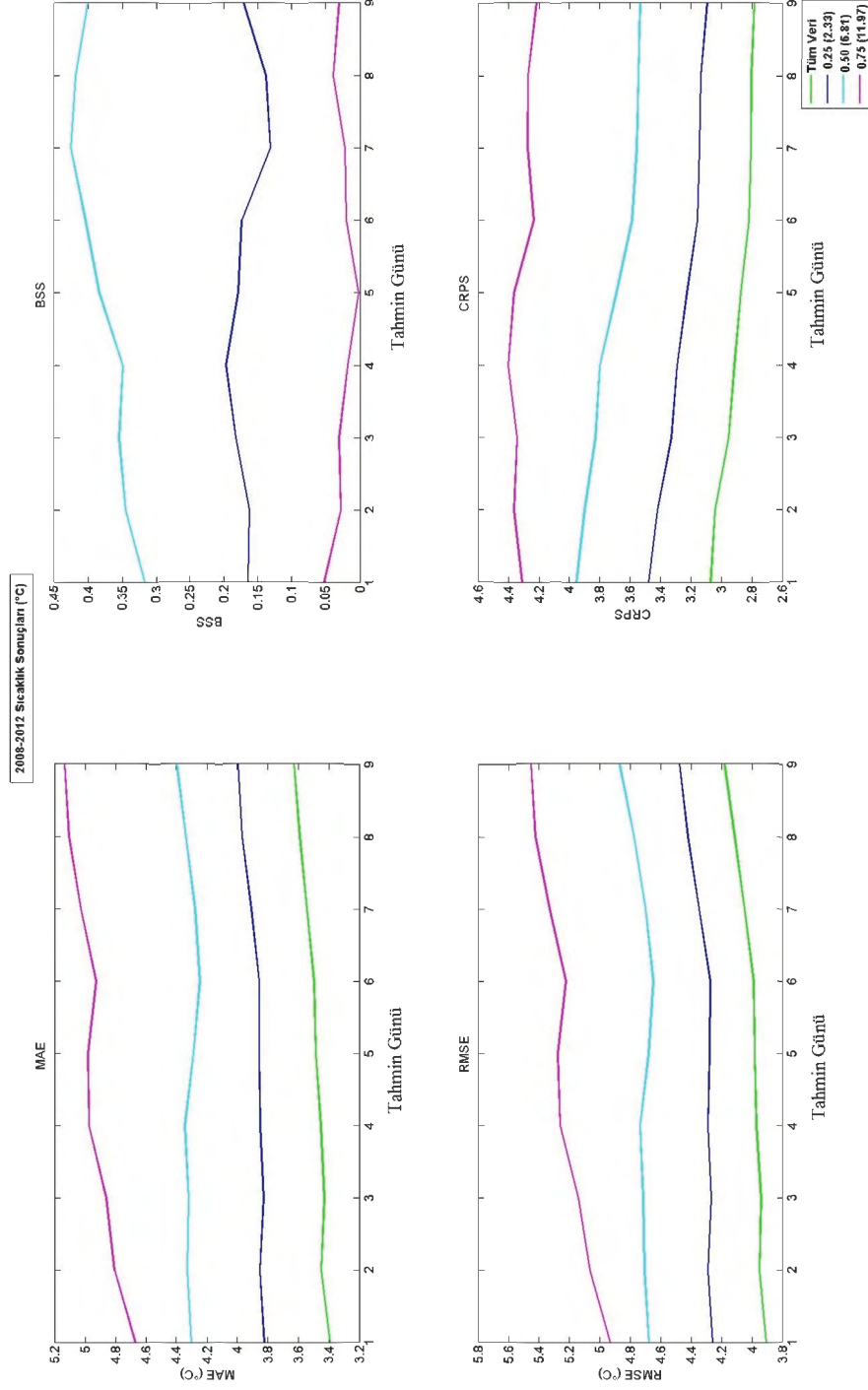
h) Haziran ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



i) 2008-2012 yılları yağış sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



j) 2008-2012 yılları sıcaklık sonuçları

Şekil 3.11 Ham EPS meteorolojik verilerinin performans analizi sonuçları (devam)

3.6. Hata Düzeltme (Bias Correction) Çalışmaları

Sayısal hava tahmin (SHT) modelleri, gerek modelin başlangıç koşullarındaki belirsizliklerinden, gerekse tahmin süresince atmosfer hareketliliğinin belirsizliğinden dolayı sistematik hatalar içerebilmektedirler. Bu sistematik hatalar, tahmin yapılan yerin topoğrafyası, hücresel hava tahmininin noktasal yer gözlem değerini temsil edememesi ve mevsimsel koşullar gibi nedenlerden oluşabilmektedir.

Deterministik hava tahmin sistemlerine göre EPS gibi olasılıklı tahmin sistemlerinin hata düzeltme çalışması daha zor ve önemlidir. Çünkü, EPS aynı tahmin zamanı için birden çok hava tahmin senaryosu içermektedir. Her bir hava tahmin senaryosunun yer gözlem değerine göre sistematik hatası belirlenip, hata doğrulamasının yapılması gerekmektedir. Literatürde var olan istatistiki hata düzeltme yöntemleri gerek karmaşık yapısı gerekse işlem hacmi fazlalığından dolayı, algoritmaya sahip bir kod ya da programın varlığına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada lineer ölçekleme ve değer odaklı ölçekleme olmak üzere iki farklı yöntemle hata düzeltme çalışması yapılmıştır.

3.6.1 Lineer ölçekleme (Linear scaling)

EPS sıcaklık ve toplam yağış verilerinin her ikisi için de uygulanabilecek, basit ve diğer istatistiki doğrulama yöntemlerine temel oluşturan bir yöntemdir. Bu metot, 50+1 adet üye fonksiyondan oluşan tahmin verisinin o gün için gözlenmiş değere lineer olarak yakınlaştırılması mantığına dayanır. Bu yakınlaştırma işlemi sıcaklık ve yağış için farklı olarak yapılmaktadır (Teutschbein ve Seibert, 2012).

Hata düzeltmesi yapılacak yılın dışında kalan tüm yılların gözlenmiş sıcaklık, yağış verisi ve bunlara karşılık gelen ensemble tahminleri kullanılarak yer gözlemi ve ensemble düzeltme faktörleri hesaplanmıştır. Hata düzeltme çalışmalarında yapılan bu işleme çapraz doğrulama (cross-validation) işlemi denilmektedir.

Bu düzeltme çalışması sırasında veri sayısının sınırlı olması nedeniyle (toplam 5 yıl), yer gözlemi düzeltme faktörleri ($P_{Göz}$, $T_{Göz}$) hesaplanırken; düzeltme yapılacak günün 15 gün öncesi ve 15 gün sonrasını içerecek şekilde bir aylık hareketli pencereler seçilmiştir. Belirlenen bu pencerenin ortalaması alınarak o güne karşılık gelen yer gözlemi düzeltme faktörü hesaplanmaktadır. Örneğin; 1 Nisan gününde yapılacak düzeltme için 15 Mart-15 Nisan tarihini içerecek bir pencere esas alınır. Pencere içerisindeki 30 günün gözlenmiş değerlerinin ortalaması alınıp düzeltme faktörü hesaplanır.

Benzer şekilde ensemble düzeltme faktörlerinin (P_{Ens} , T_{Ens}) hesaplaması da yapılır. Bu işlemde farklı olarak 50 farklı EPS tahmininin ortalaması alınarak tek bir değere indirgenir. Daha sonra aynı şekilde bir aylık pencereler ile her bir gün için ensemble düzeltme faktörleri hesaplanır.

Sıcaklık için ensemble hava tahmininin her bir üyesine o gün için hesaplanmış yer gözlem düzeltme faktör değerinin eklenip, ensemble düzeltme faktörünün çıkarılması işlemi ile yeni ensemble serisi elde edilir (Denklem 3.9).

Yağış için ise, yeni ensemble tahmin serisi, hesaplanan yer gözlemi düzeltme faktörünün ensemble düzeltme faktörüne bölünmesiyle bulunan katsayının her bir üye tahmin ile çarpılmasıyla elde edilir (Denklem 3.10).

$$T^* = T_{Ensmeble} + (T_{Göz} - T_{Ens}) \quad (3.9)$$

T^* : Düzeltilmiş sıcaklık ensemble değeri

$T_{Ensemble}$: Ham sıcaklık ensemble değeri

$T_{Göz}$: Yer gözlemi düzeltme faktörü

T_{Ens} : Ensemble düzeltme faktörü

$$P^* = P_{Ensemble} \times \frac{P_{Göz}}{P_{Ens}} \quad (3.10)$$

P^* : Düzeltilmiş yağış ensemble değeri

$P_{Ensemble}$: Ham yağış ensemble değeri

$P_{Göz}$: Yer gözlemi düzeltme faktörü

P_{Ens} : Ensemble düzeltme faktörü

Yapılan bütün işlemleri otomatik hale getirmek için algoritmalar oluşturulmuştur. Öncelikle Microsoft EXCEL ofis programında Visual Basic tabanlı çalışan makrolar hazırlanmıştır. Yazılan bu algoritma sayesinde çapraz doğrulama işleminde 2008-2012 yıllarının Mart-Haziran dönemleri için yer gözlem ve ensemble düzeltme faktörleri hesaplanmıştır. Daha sonra Flood Early Warning System (FEWS) platformunda hesaplanan bu faktörlerin EPS tahmin verilerinin her bir üyesine uygulanması için kod yazılmıştır. Bu işlem sonucunda düzeltilmiş yeni EPS tahmin verileri elde edilmiştir.

3.6.2 Değer odaklı ölçekleme (Local intensity scaling)

Bu doğrulama yöntemi sadece yağış verisi için uygulanan bir yöntemdir. Lineer ölçekleme yönteminin belirlenen eşik yağış değerinin üstünde kalan tahmin verisine uygulanması olarak tanımlanabilir (Denklem 3.11).

Eşik yağış değeri olarak 2008-2012 yılları arasındaki tüm gözlenmiş yağış verisinin sıralamasında %50 değeri olan 0.7 mm olarak belirlenmiştir. Doğrulanmış EPS serisi için; 0.7 mm değerinin altında yağış gözlenmiş günlerde ham EPS verisi alınırken, üstündeki günlerde lineer doğrulama yapılmış EPS verisi alınmıştır.

$$P^* = P_{Ensemble} \times \frac{P_{Göz>a}}{P_{Ens>a}} \quad (3.11)$$

P^* : Düzeltilmiş yağış ensemble değeri

$P_{Ensemble}$: Ham yağış ensemble değeri

$P_{Göz>a}$: Eşik değerden büyük olması durumunda yer gözlemi düzeltme faktörü

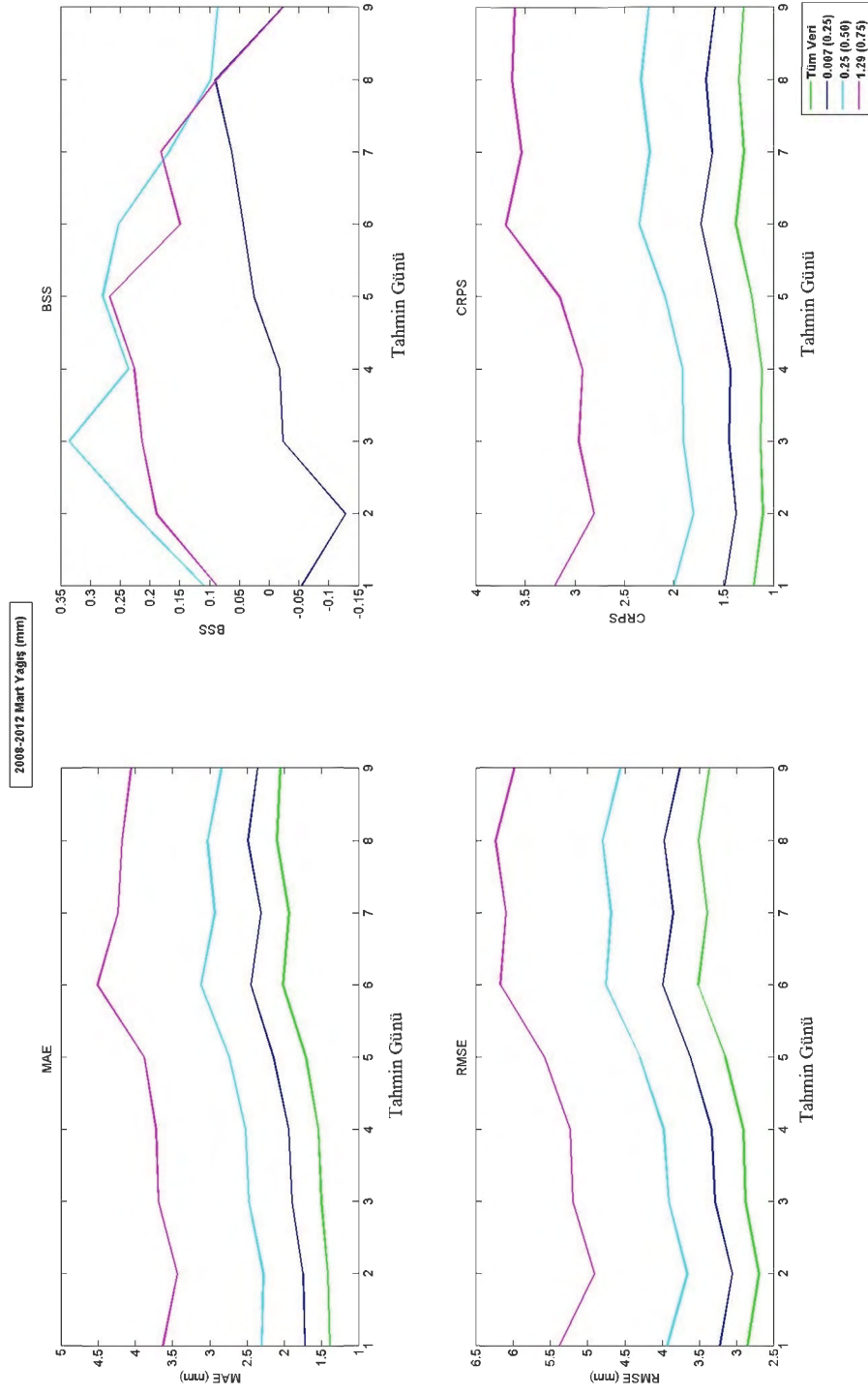
$P_{Ens>a}$: Eşik değerden büyük olması durumunda ensemble düzeltme faktörü

3.6.3 Hata düzeltme çalışmaları sonrası performans analizi

Lineer ölçekleme yöntemi sıcaklık ve yağış verisinin her ikisi için, değer odaklı ölçekleme yöntemi ise sadece yağış verisi için uygulanmıştır. Hata düzeltme uygulanmış tüm yeni EPS verilerini yer gözlem değerleri ile kıyaslayarak performans analizi değerlendirilmesi yapılmıştır.

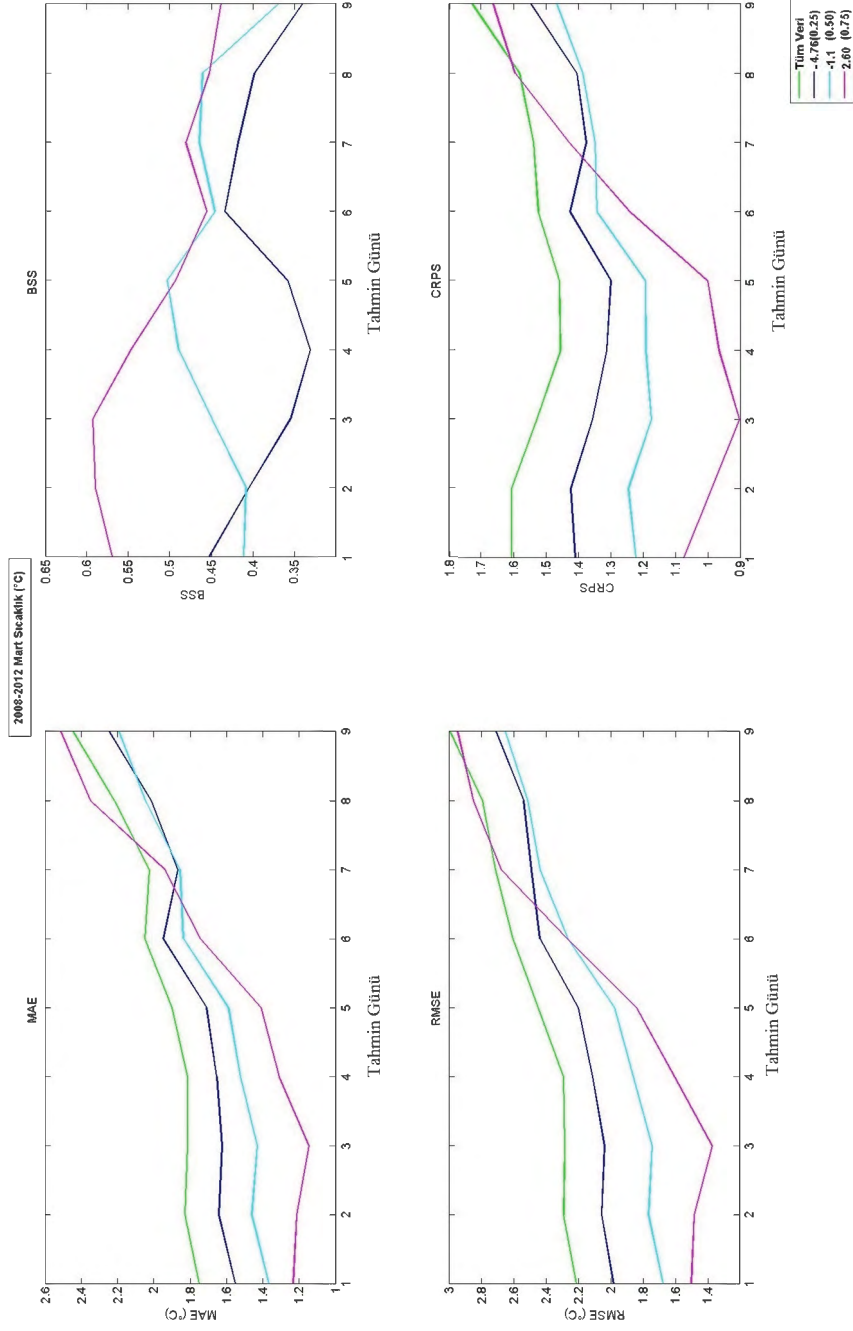
Yağış için iki farklı yöntem ile elde edilen yeni EPS verilerinin performans sonuçları incelendiği zaman, lineer ölçekleme yöntemi ile yapılan hata düzeltme çalışmasının değer odaklı ölçeklendirme yöntemi ile yapılandırılan daha tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle gerek performans değerlendirme sonuçlarında gerekse de hata düzeltmesi yapılmış akım tahmininde lineer ölçekleme yöntemi ile düzeltilmiş yağış verisi kullanılmıştır.

Hata düzeltme çalışmasından önceki EPS verilerinin performans sonuçlarına benzer şekilde, Şekil 3.12’de 2008-2012 yılları için elde edilen sonuçlar tüm dönem için aylar bazında ve toplam olarak sunulmuştur.



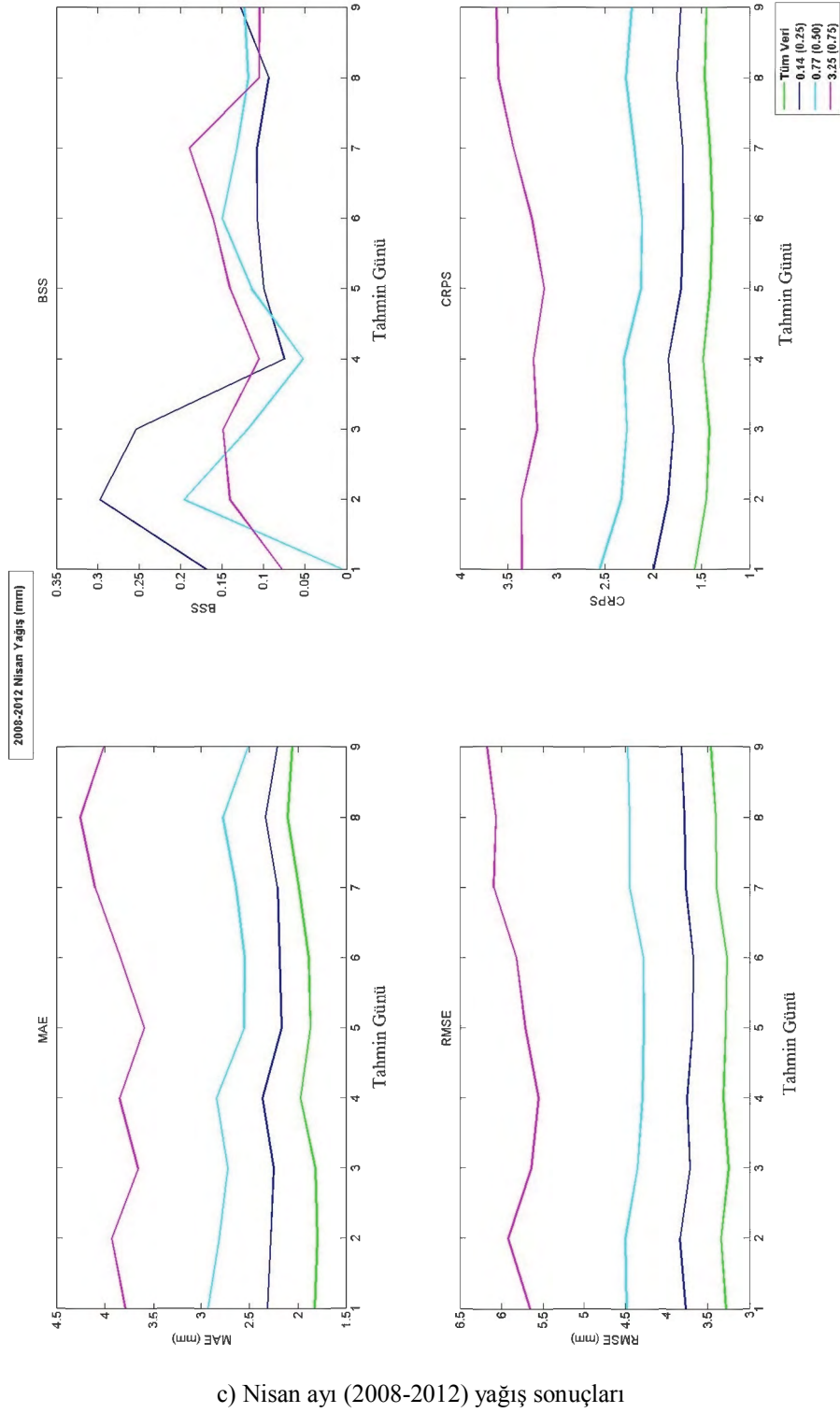
a) Mart ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltilmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları



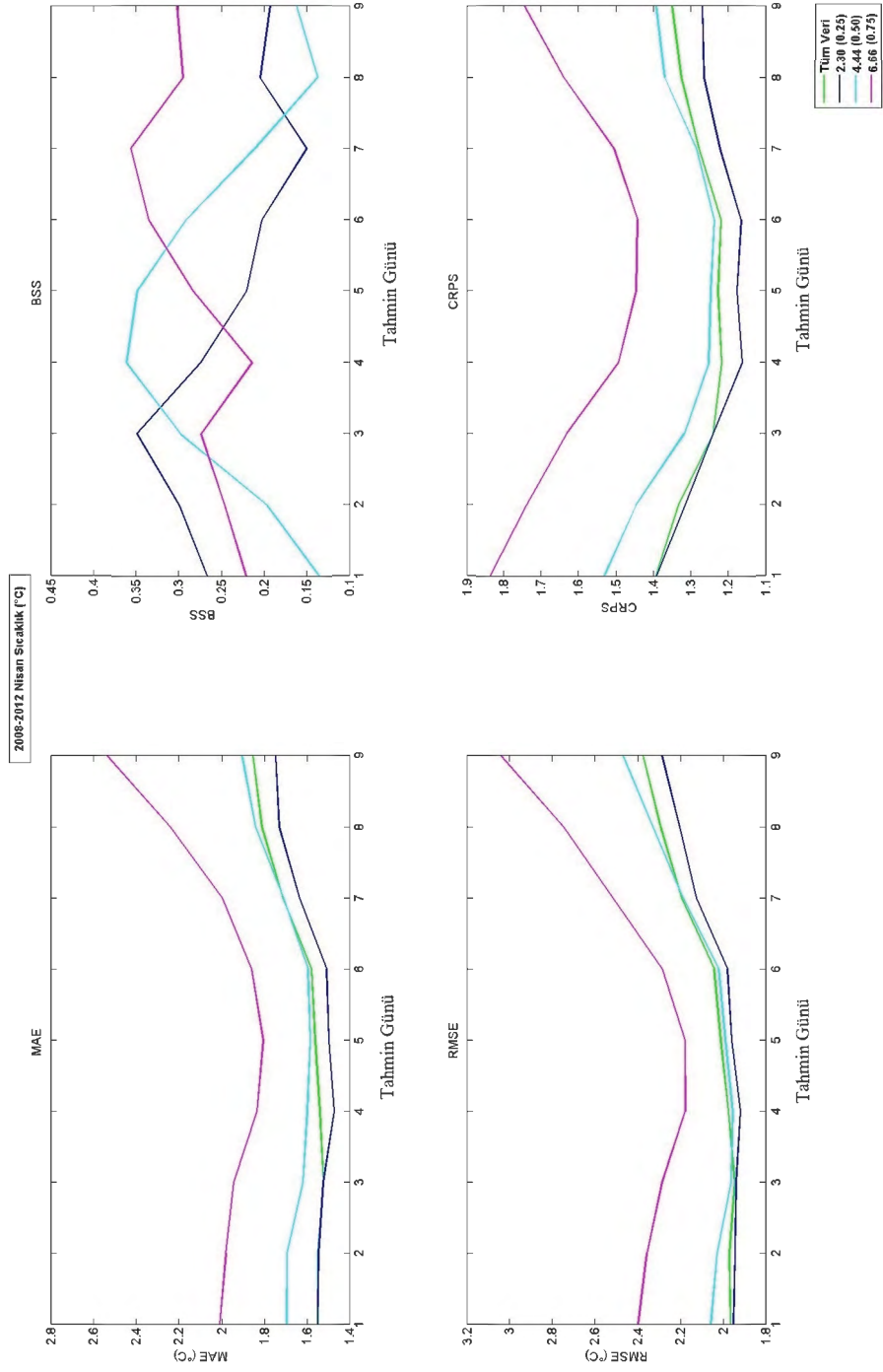
b) Mart ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



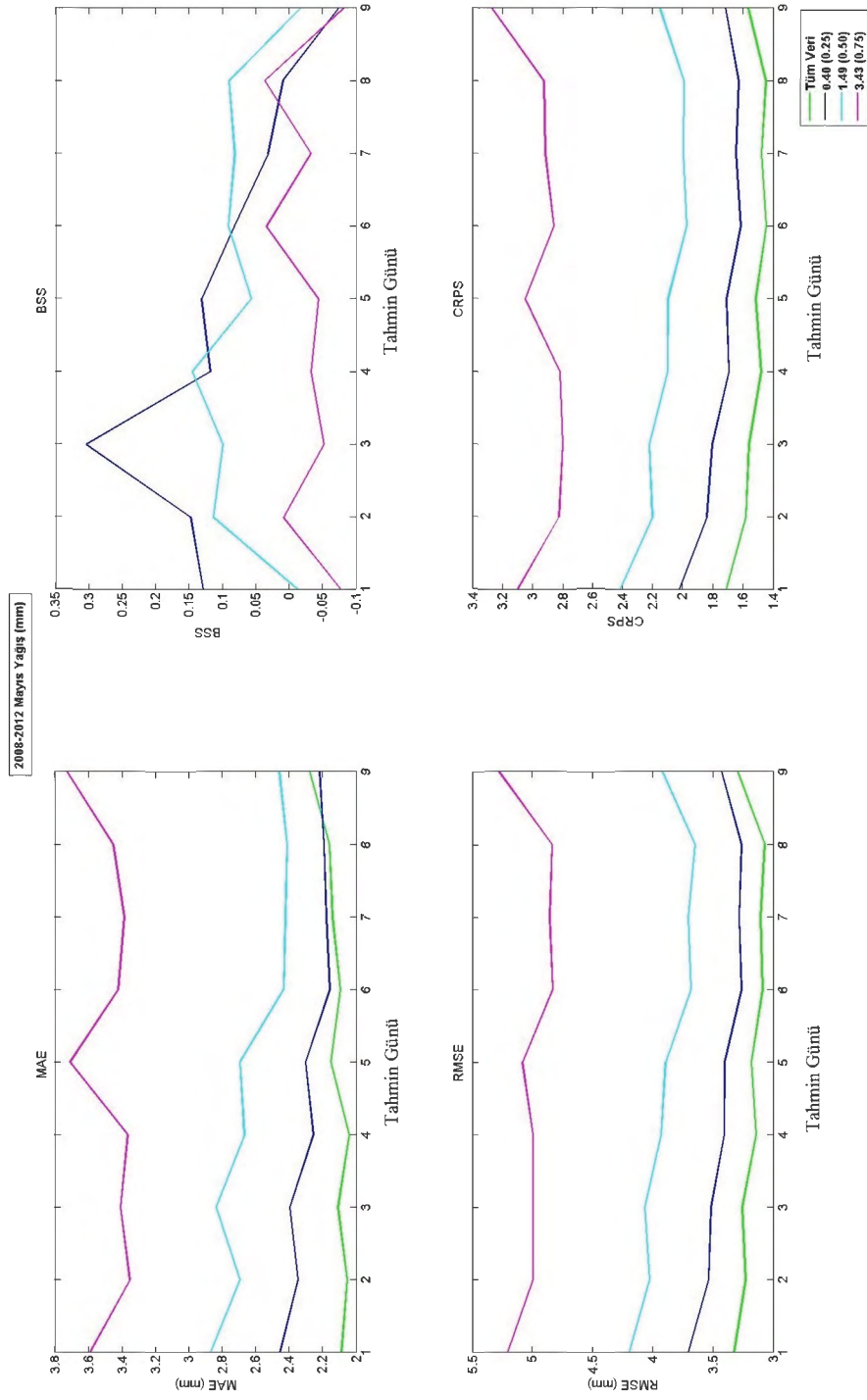
c) Nisan ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



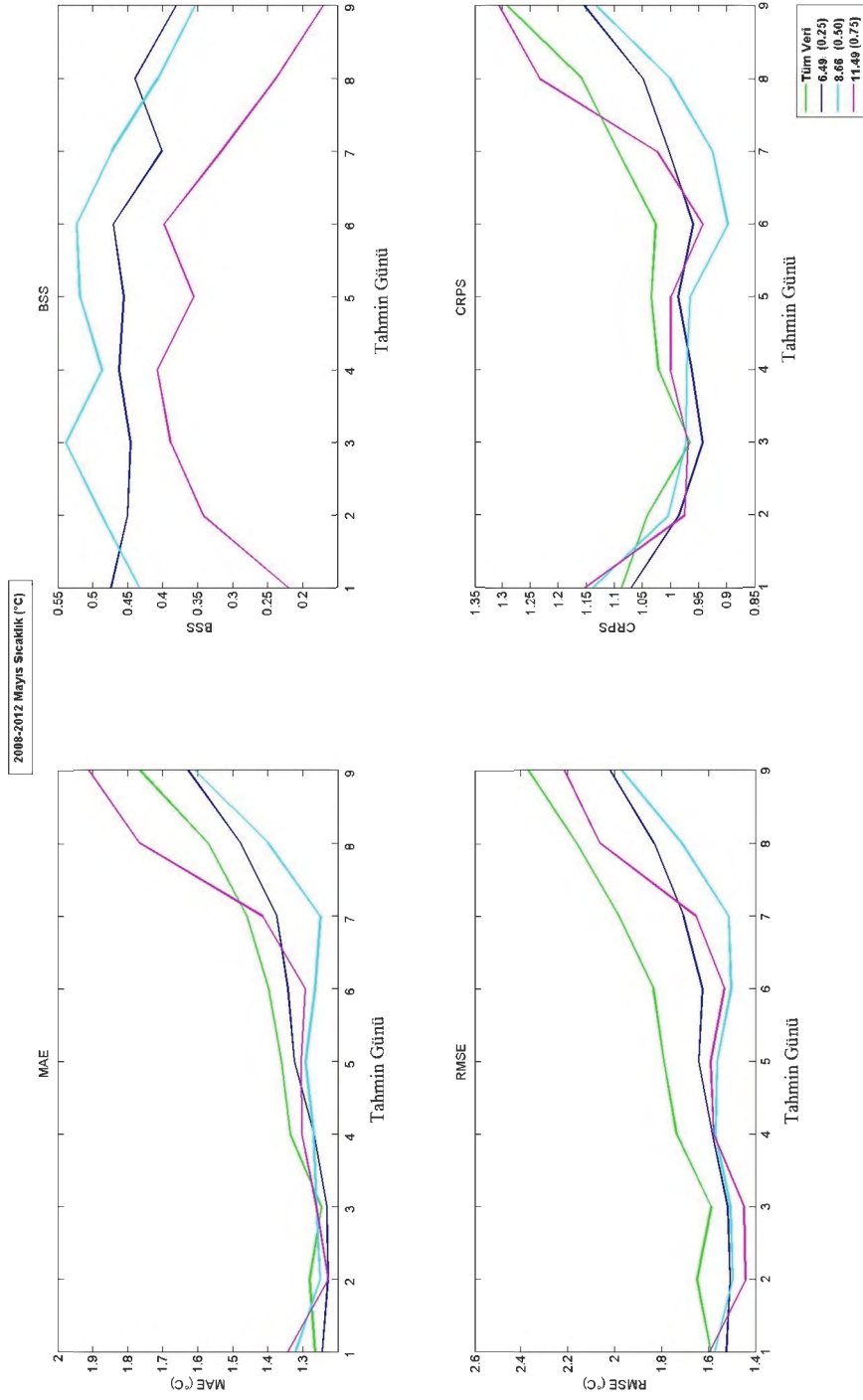
d) Nisan ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



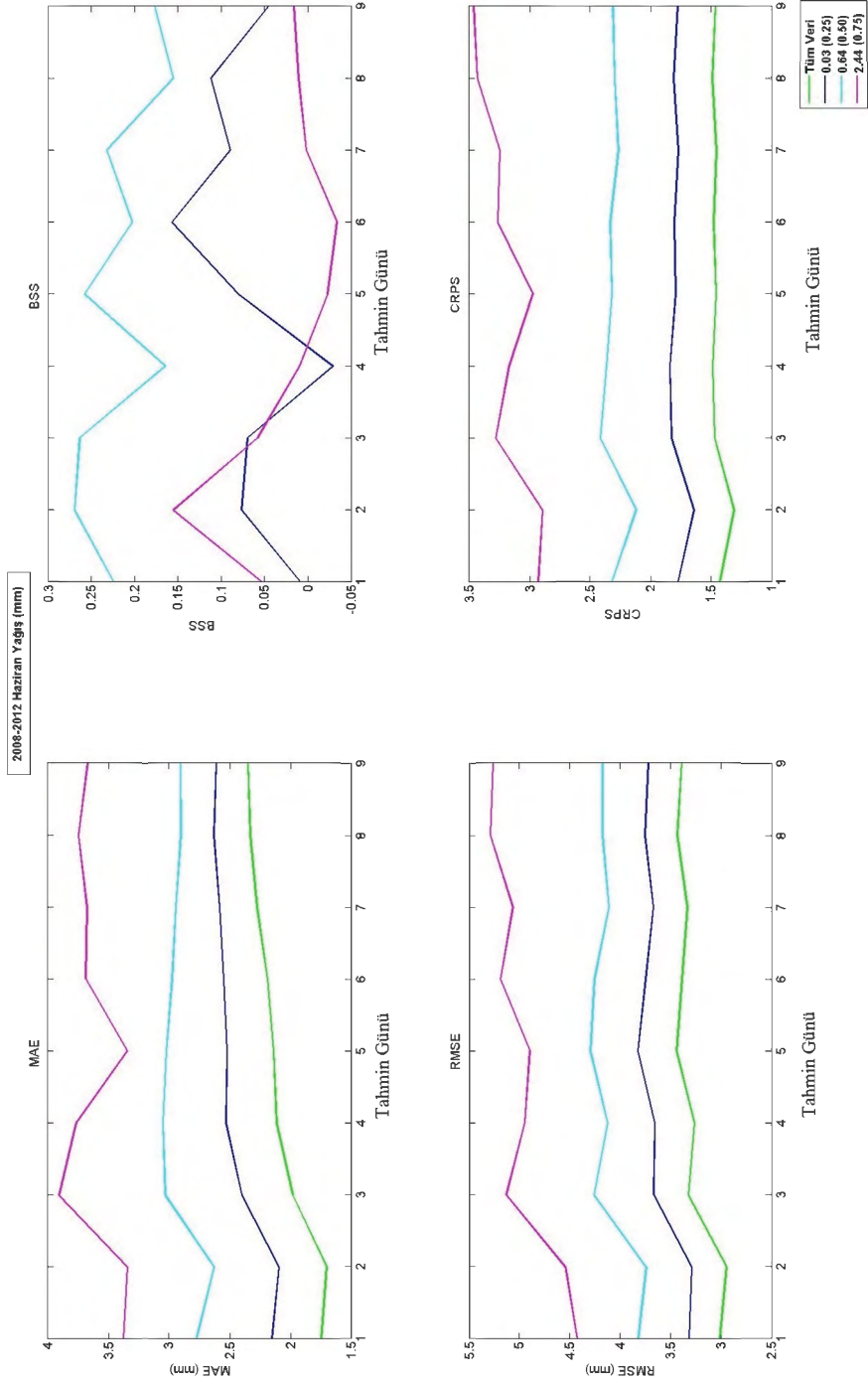
e) Mayıs ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



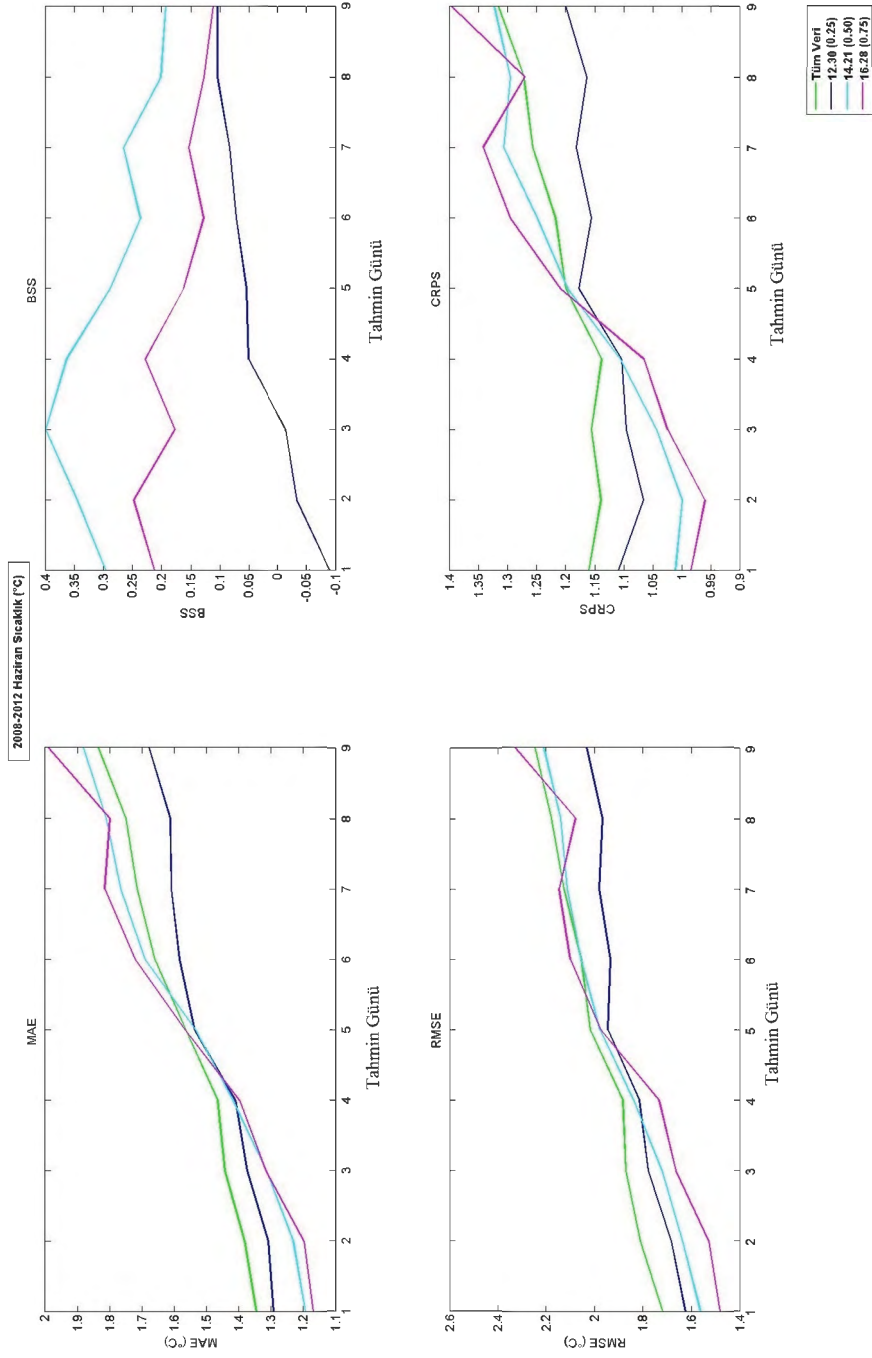
f) Mayıs ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



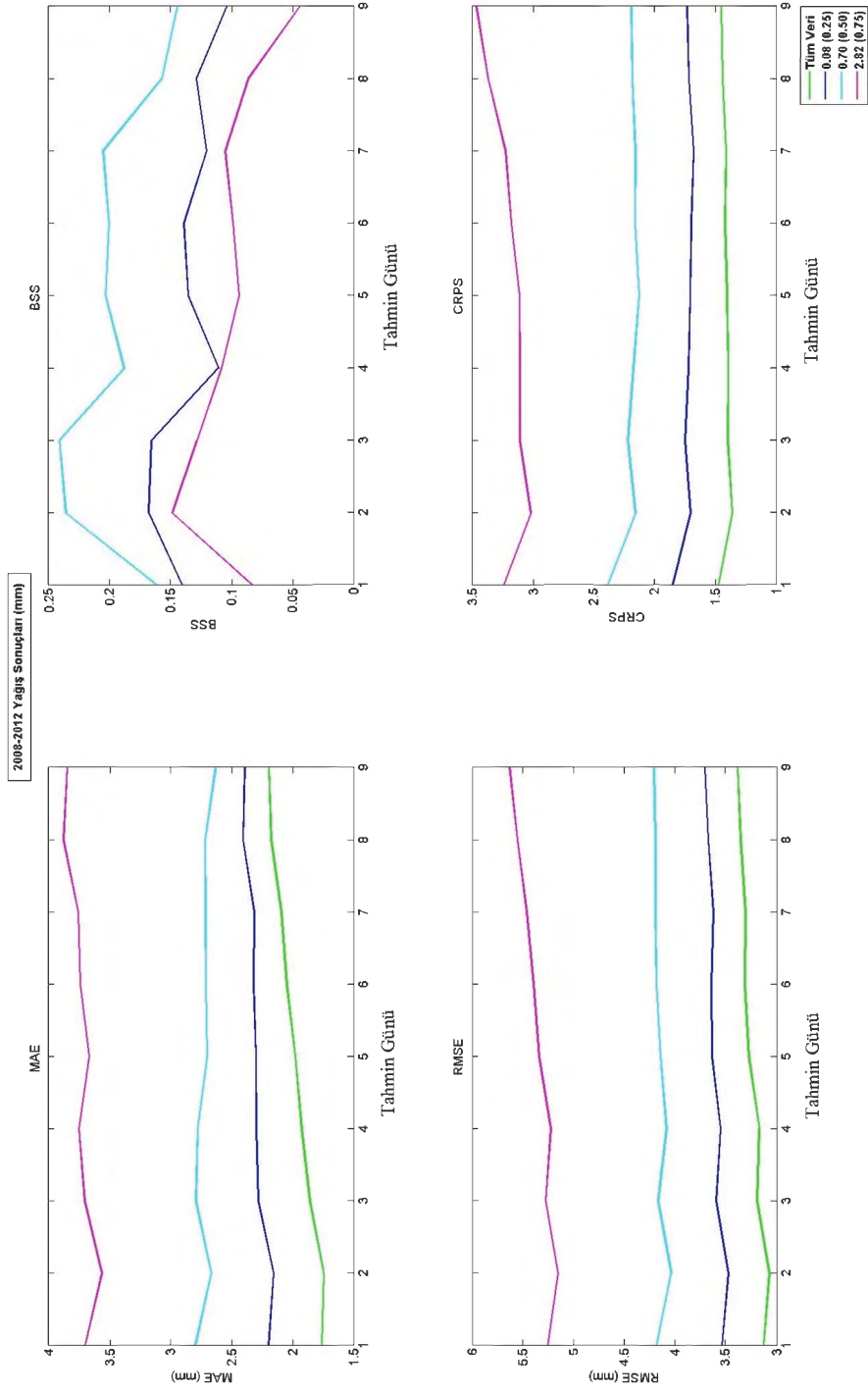
g) Haziran ayı (2008-2012) yağış sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



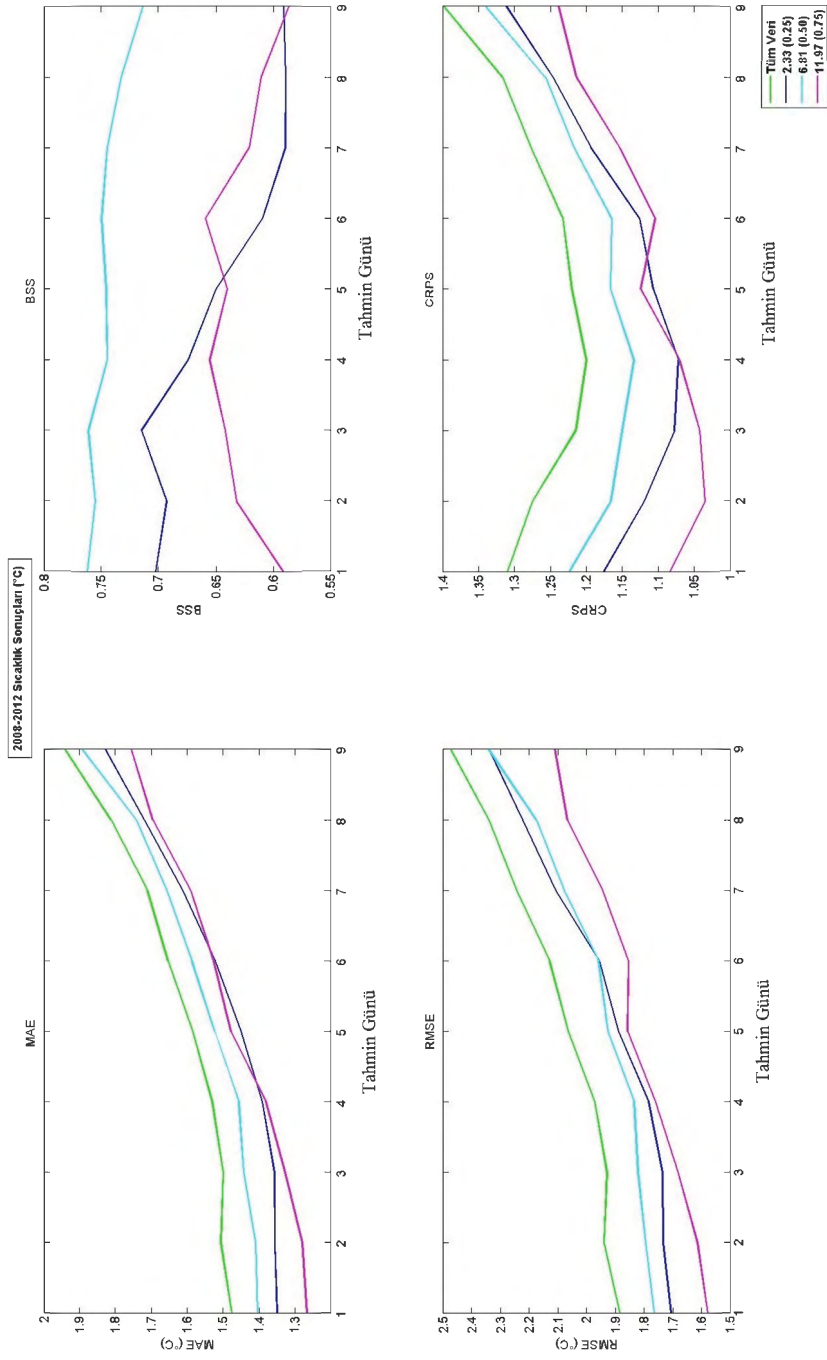
h) Haziran ayı (2008-2012) sıcaklık sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltilmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



i) 2008-2012 yılları yağış sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)



j) 2008-2012 yılları sıcaklık sonuçları

Şekil 3.12 Hata düzeltilmesi yapıldıktan sonra EPS meteorolojik tahmin verilerinin performans analizi sonuçları (devam)

EPS verilerinin hata düzeltme çalışması öncesi ve sonrası eşik değerlere bakılmaksızın tüm veri için elde edilen performans analizi sonuçları Şekil 3.12’de gösterilen grafiklerin yanı sıra Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de sunulmuştur. Sunulan bu tablolar 1., 5. ve 9. tahmin günleri için hazırlanan özet tablolardır.

Tablo 3.3 EPS verilerinin 1. gün (24 saat) performans analizi sonuçları

		Hata Düzeltme Öncesi					Hata Düzeltme Sonrası			
		Toplam (mm)	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS
EPS Yağış Verisi (P)	Mart	263.43	3.61	1.80	-0.06	1.53	2.85	1.38	-0.05	1.12
	Nisan	357.20	3.96	2.47	0.17	2.03	3.28	1.83	0.17	1.57
	Mayıs	387.07	4.13	2.75	0.10	2.23	3.32	2.08	0.13	1.71
	Haziran	292.06	2.96	1.72	-0.01	1.41	3.01	1.75	0.08	1.43
	2008-2012	1299.76	3.67	2.20	0.14	1.80	3.12	1.76	0.14	1.48

		Hata Düzeltme Öncesi					Hata Düzeltme Sonrası			
		Ortalama (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS
EPS Sıcaklık Verisi (T)	Mart	-1.30	2.80	2.32	0.28	2.05	2.21	1.74	0.45	1.60
	Nisan	4.75	4.08	3.51	-1.08	3.19	1.96	1.54	0.26	1.39
	Mayıs	8.86	4.07	3.62	-1.06	3.28	1.58	1.26	0.47	1.08
	Haziran	14.35	4.46	4.10	-1.80	3.75	1.71	1.34	-0.09	1.16
	2008-2012	6.67	3.91	3.39	0.16	3.07	1.88	1.47	0.70	1.30

Tablo 3.4 EPS verilerinin 5. gün (120 saat) performans analizi sonuçları

		Hata Düzeltme Öncesi					Hata Düzeltme Sonrası			
		Toplam (mm)	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS
EPS Yağış Verisi (P)	Mart	263.43	3.81	2.07	0.02	1.35	3.15	1.71	0.03	1.22
	Nisan	357.2	3.69	2.56	0.15	1.71	3.28	1.87	0.10	1.41
	Mayıs	387.07	3.65	2.66	0.15	1.73	3.18	2.15	0.13	1.51
	Haziran	292.06	3.26	2.03	0.09	1.40	3.44	2.14	0.08	1.46
	2008-2012	1299.76	3.50	2.34	0.16	1.55	3.27	1.98	0.14	1.41

		Hata Düzeltme Öncesi					Hata Düzeltme Sonrası			
		Ortalama (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS
EPS Sıcaklık Verisi (T)	Mart	-1.30	3.27	2.74	0.18	2.11	2.45	1.90	0.36	1.46
	Nisan	4.75	3.82	3.33	-0.71	2.68	2.01	1.56	0.22	1.23
	Mayıs	8.86	3.79	3.38	-0.61	2.80	1.79	1.36	0.46	1.03
	Haziran	14.35	4.82	4.39	-1.96	3.79	2.02	1.57	0.05	1.20
	2008-2012	6.67	3.99	3.49	0.18	2.87	2.06	1.58	0.65	1.22

Tablo 3.5 EPS verilerinin 9. gün (216 saat) performans analizi sonuçları

		Hata Düzeltme Öncesi					Hata Düzeltme Sonrası			
		Toplam (mm)	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS
EPS Yağış Verisi (P)	Mart	263.43	3.48	2.38	-0.04	1.36	3.36	2.05	-0.02	1.29
	Nisan	357.20	3.57	2.41	0.11	1.53	3.46	2.05	0.12	1.44
	Mayıs	387.07	3.47	2.56	-0.05	1.65	3.29	2.27	-0.07	1.56
	Haziran	292.06	3.13	2.03	0.04	1.37	3.39	2.35	0.04	1.46
	2008-2012	1299.76	3.41	2.34	0.10	1.49	3.37	2.19	0.10	1.45

		Hata Düzeltme Öncesi					Hata Düzeltme Sonrası			
		Ortalama (°C)	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS
EPS Sıcaklık Verisi (T)	Mart	-1.30	3.96	3.34	0.22	2.44	2.99	2.44	0.34	1.72
	Nisan	4.75	4.01	3.43	-0.54	2.53	2.37	1.85	0.19	1.34
	Mayıs	8.86	3.89	3.43	-0.54	2.67	2.36	1.76	0.38	1.29
	Haziran	14.35	4.74	4.22	-1.79	3.40	2.24	1.83	0.10	1.31
	2008-2012	6.67	4.18	3.62	0.17	2.78	2.47	1.93	0.59	1.39

Sıcaklık verisinde hata düzeltme sonrası tutarlılıktaki iyileşme yağış verisine göre daha belirgin bir şekilde gözükmektedir. 1.gün tahminleri için, hata düzeltme çalışmasından önce Mart-Haziran döneminde ortalama RMSE değeri

3.91°C iken hata düzeltme çalışmasından sonra bu hata 1.88°C'ye düşmüştür. Bu da yaklaşık olarak %50'lik bir iyileştirme olduğunu göstermektedir. Benzer durum 9. gün tahminleri için de geçerlidir. Hata düzeltmeden önce 4.18°C olan RMSE değeri, düzeltme yapıldıktan sonra 2.47°C'ye gerilemiştir. Bu da yaklaşık olarak %40'lık bir iyileşme olduğunu göstermektedir. 1. tahmin günü için, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında RMSE değerlerinin yaklaşık % 21, %52, %61, %62 oranında azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde 9. tahmin günü için de RMSE'de % 25, %41, %39, %53 oranında azalma elde edilmiştir. Bulunan MAE sonuçları RMSE sonuçlarına benzerlik göstermektedir. 1. tahmin günü için Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında MAE değerinin sırasıyla % 25, %56, %65, %67 oranında azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde 9. tahmin günü için de % 27, %46, %49, %57 değerleri elde edilmiştir.

Sıcaklıkla ilgili sonuçlar incelendiği zaman, özellikle Nisan-Haziran dönemlerinde bütün istatistikî yöntemler için sonuçların olumlu yönde değiştiği görülmektedir. Yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği Haziran ayında hata düzeltme çalışmasının daha iyi sonuçlar verdiği yorumu yapılabilmektedir. Mart ayında tutarlılık performansında artış görülmektedir ancak Nisan-Haziran dönemi kadar belirgin değildir, bunun nedeninin Mart ayı sıcaklık ortalamasından da görüldüğü gibi düşük ve sıfıra yakın sıcaklık değerlerinin gözlenmesi şeklinde öngörülmüştür. Ayrıca sıcaklık verisi için 1. tahmin gününden 9. tahmin gününe doğru gidildikçe hata düzeltme çalışmasının iyileştirme oranlarının düştüğü de gözlemlenmektedir.

Yağış verisinde ise tutarlılıklar hata düzeltme çalışmalarından önce de düşük olduğu için, düzeltme çalışmaları sonucunda performans değişimi de sıcaklık verisindeki kadar yüksek olmamıştır. Buna rağmen Haziran ayının dışındaki bütün aylarda 1. tahmin günü için RMSE değerinde ortalama % 20'lik bir iyileşme gerçekleşmiştir. 9. tahmin gününde ise RMSE değerindeki ortalama düzeltme % 4 seviyesinde kalmıştır. Haziran ayındaki toplam yağışların diğer aylara göre az olması nedeniyle diğer aylara göre nispeten düşük RMSE gözlenmektedir. Konvektif yağışların artması nedeniyle hata düzeltmenin iyi sonuçlar verme olasılığı azalmaktadır.

Gerek ham EPS verisi gerekse hata düzeltilmesi uygulanmış EPS verisi için, RMSE ve MAE gibi tek değer odaklı performans sonuçları 1. gün ve 9. gün tahminleri için benzer çıkmıştır. Tahmin günü arttıkça tutarlılık ya çok az azalmıştır ya da aynı kalmıştır. Bu durumun nedeni, tek değer odaklı performans kriterleri hesaplanırken, o an için 50 farklı hava tahmini değerinin ortalaması alınıp tek değer gibi düşünülerek, o gün gözlenmiş değer ile kıyaslanmasıdır. Şekil 3.13 (a) incelendiği zaman 2-10 Mart 2008 arasındaki 9 günlük tahminin son değerinin ortalaması 1.1 °C, aynı şekilde 10-18 Mart 2008 arasındaki ilk gün tahmininin ortalaması 5.8 °C'dir. Bir tahminde son, diğer tahminde ilk gün olan 10 Mart 2008 tarihinde gözlenmiş sıcaklık değeri ise 2.3 °C'dir. Mart ayı içerisindeki diğer üç gün de incelendiği zaman benzer durumun olduğu görülecektir. Bu durum nedeniyle 9.tahmin günündeki saçılma 1.tahmin gününe göre daha fazla olmasına rağmen ortalama değerleri alındığı zaman aynı gün için 9.tahmin günü 1.tahmin gününe göre gözlem değerine daha yakındır. Bu da ortalama olarak işlem yapan RMSE ve MAE sonuçlarının tahmin günü ile artmamasının nedenini göstermektedir.

Bu sonuçlara ek olarak EPS yağış ve sıcaklık verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için elde edilen 1., 5. ve 9. tahmin günlerine ait performans analizi sonuçları da Tablo 3.6 – 3.9'da sunulmuştur. Tüm verinin sonuçlarına benzer sonuçlar eşik değerler için de elde edilmiştir. Eşik değer 0.25'den 0.75'e doğru yükseldikçe tahmin verisinin yer gözlem verileri ile olan tutarlılığının azaldığı görülmektedir.

2008-2012 erime periyodundaki tüm yağış sonuçları incelendiğinde 1. tahmin günü yağış verisi için 0.25 eşik değerinde hata düzeltme çalışması sonrası RMSE'de %15, 0.50 eşik değeri için %14 ve 0.75 eşik değeri için %10 oranında iyileşme elde edilmiştir. Aynı durumdaki sıcaklık verisi için ise 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için sırasıyla % 60, %55 ve % 50 oranında iyileşmeler elde edilmiştir. Sıcaklık verisinin normal dağılıma uyması lineer hata düzeltme yaklaşımında daha iyi sonuçlar alınmasını da sağlamaktadır.

Tablo 3.6 Ham EPS yağış verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları

		Hata Düzeltme Öncesi EPS Yağış Verisi Performans Analizi Sonuçları													
		Eşik Değer	Gözlem Değeri (mm)	Yağış 1. Tahmin Günü				Yağış 5. Tahmin Günü				Yağış 9. Tahmin Günü			
				RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS
Mart	0.25	0.01	4.08	2.23	-0.06	1.90	3.81	2.58	0.02	1.72	3.84	2.68	-0.05	1.64	
	0.50	0.25	4.94	2.94	0.06	2.51	4.44	3.25	0.24	2.24	4.50	3.10	0.05	2.24	
	0.75	1.29	6.63	4.30	-0.23	3.75	5.48	4.31	0.16	3.14	5.55	3.91	-0.09	3.33	
Nisan	0.25	0.14	4.54	3.11	0.17	2.56	4.05	2.92	0.15	2.02	3.77	2.45	0.12	1.74	
	0.50	0.77	5.27	3.78	-0.05	3.12	4.43	3.22	0.05	2.31	4.14	2.43	0.10	2.07	
	0.75	3.25	5.78	4.37	-0.07	3.59	5.46	4.00	-0.01	3.06	5.51	3.26	0.06	3.14	
Mayıs	0.25	0.40	4.57	3.22	0.10	2.62	3.78	2.77	0.15	1.89	3.46	2.41	-0.06	1.74	
	0.50	1.49	5.09	3.67	0.05	3.02	4.11	3.01	0.07	2.16	3.76	2.42	-0.01	2.06	
	0.75	3.43	5.84	4.21	-0.36	3.51	4.71	3.45	-0.19	2.66	4.77	3.07	-0.12	2.86	
Haziran	0.25	0.03	3.26	2.11	0.00	1.74	3.64	2.40	0.09	1.73	3.50	2.30	0.05	1.69	
	0.50	0.64	3.78	2.73	0.22	2.29	4.25	2.98	0.26	2.30	4.08	2.73	0.17	2.27	
	0.75	2.44	4.40	3.28	0.04	2.87	4.94	3.43	-0.04	3.04	5.37	3.80	0.01	3.55	
2008-2012	0.25	0.08	4.18	2.73	0.15	2.25	3.84	2.71	0.16	1.86	3.67	2.52	0.11	1.74	
	0.50	0.70	4.90	3.39	0.12	2.83	4.24	3.07	0.18	2.22	4.04	2.63	0.13	2.13	
	0.75	2.82	5.83	4.17	-0.05	3.53	5.19	3.83	0.00	3.02	5.29	3.51	0.02	3.22	

Tablo 3.7 Düzeltilmiş EPS yağış verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları

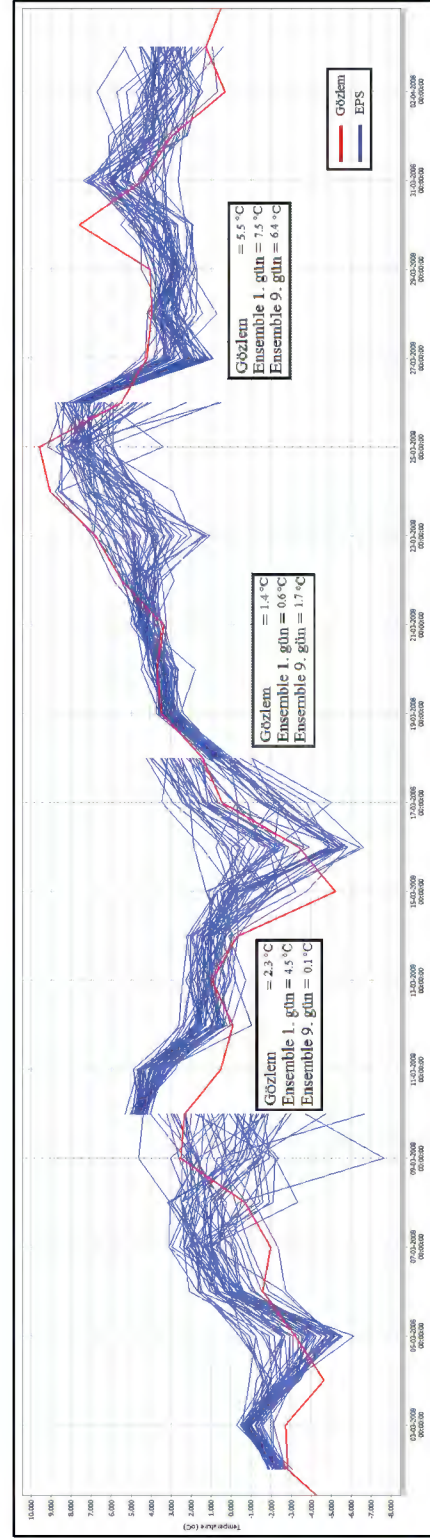
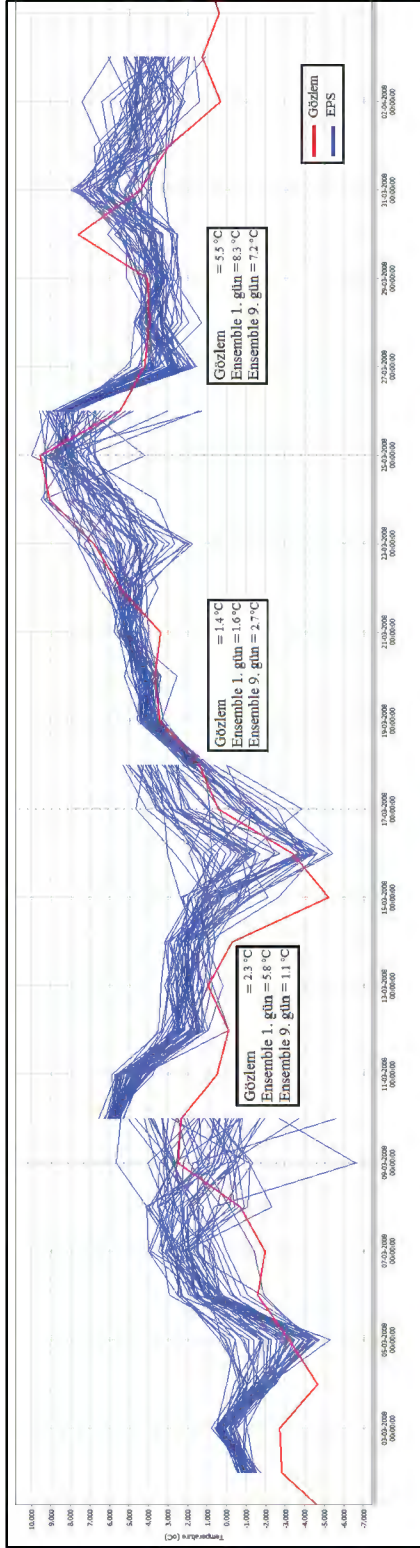
		Hata Düzeltme Sonrası EPS Yağış Verisi Performans Analizi Sonuçları													
		Eşik Değer	Gözlem Değeri (mm)	Yağış 1. Tahmin Günü				Yağış 5. Tahmin Günü				Yağış 9. Tahmin Günü			
				RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS	RMSE (mm)	MAE (mm)	BSS	CRPS
Mart	0.25	0.01	3.23	1.72	-0.05	1.49	3.62	2.14	0.03	1.57	3.76	2.35	-0.02	1.58	
	0.50	0.25	3.93	2.30	0.11	2.00	4.30	2.73	0.28	2.08	4.56	2.84	0.09	2.25	
	0.75	1.29	5.38	3.63	0.09	3.21	5.58	3.88	0.27	3.15	5.98	4.05	-0.02	3.60	
Nisan	0.25	0.14	3.76	2.31	0.17	1.99	3.68	2.17	0.10	1.71	3.81	2.21	0.13	1.71	
	0.50	0.77	4.48	2.92	0.00	2.55	4.28	2.55	0.11	2.12	4.47	2.51	0.12	2.22	
	0.75	3.25	5.65	3.79	0.08	3.36	5.71	3.60	0.14	3.13	6.17	4.01	0.10	3.62	
Mayıs	0.25	0.40	3.70	2.45	0.13	2.02	3.40	2.30	0.13	1.71	3.43	2.22	-0.07	1.71	
	0.50	1.49	4.19	2.87	-0.01	2.41	3.89	2.69	0.06	2.09	3.92	2.46	-0.02	2.15	
	0.75	3.43	5.20	3.59	-0.08	3.10	5.08	3.71	-0.04	3.05	5.27	3.73	-0.08	3.27	
Haziran	0.25	0.03	3.32	2.15	0.01	1.77	3.82	2.52	0.08	1.79	3.72	2.61	0.04	1.77	
	0.50	0.64	3.82	2.77	0.22	2.32	4.29	3.02	0.26	2.32	4.17	2.90	0.18	2.31	
	0.75	2.44	4.42	3.38	0.05	2.93	4.89	3.35	-0.02	2.98	5.25	3.67	0.02	3.46	
2008-2012	0.25	0.08	3.53	2.20	0.14	1.85	3.63	2.30	0.14	1.70	3.70	2.39	0.10	1.73	
	0.50	0.70	4.18	2.80	0.16	2.38	4.14	2.70	0.20	2.12	4.20	2.63	0.14	2.19	
	0.75	2.82	5.25	3.70	0.08	3.24	5.34	3.67	0.09	3.11	5.62	3.84	0.04	3.46	

Tablo 3.8 Ham EPS sıcaklık verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları

		Hata Düzeltme Öncesi EPS Sıcaklık Verisi Performans Analizi Sonuçları													
		Eşik Değer	Gözlem Değeri (°C)	Yağış 1. Tahmin Günü				Yağış 5. Tahmin Günü				Yağış 9. Tahmin Günü			
				RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS
Mart	0.25	-4.76	2.92	2.48	0.27	2.19	3.37	2.86	0.18	2.23	4.21	3.63	0.22	2.62	
	0.50	-1.10	3.14	2.68	0.34	2.36	3.57	3.09	0.38	2.44	4.80	4.41	0.18	3.21	
	0.75	2.60	3.60	3.15	0.19	2.81	4.07	3.73	0.09	2.95	5.38	5.13	-0.12	3.79	
Nisan	0.25	2.30	4.42	3.90	-1.09	3.57	4.21	3.81	-0.71	3.13	4.52	4.05	-0.54	3.02	
	0.50	4.44	4.86	4.41	-0.53	4.07	4.66	4.33	-0.34	3.63	5.14	4.78	-0.25	3.66	
	0.75	6.66	5.88	5.63	-0.10	5.26	5.38	5.19	-0.07	4.51	6.19	5.94	-0.07	4.84	
Mayıs	0.25	6.49	4.44	4.08	-1.06	3.73	4.13	3.77	-0.61	3.19	4.31	3.93	-0.54	3.12	
	0.50	8.66	4.95	4.68	-0.54	4.32	4.61	4.36	-0.48	3.76	4.89	4.65	-0.48	3.78	
	0.75	11.49	5.64	5.46	-0.32	5.09	5.30	5.16	-0.22	4.54	5.69	5.59	-0.28	4.69	
Haziran	0.25	12.30	4.81	4.55	-1.80	4.19	5.29	4.97	-1.96	4.36	5.31	4.96	-1.76	4.06	
	0.50	14.21	5.05	4.82	-0.77	4.46	5.63	5.36	-0.79	4.75	5.87	5.61	-0.80	4.68	
	0.75	16.28	5.41	5.21	-0.31	4.86	6.31	6.13	-0.33	5.48	6.57	6.45	-0.32	5.47	
2008-2012	0.25	2.33	4.26	3.82	0.16	3.48	4.28	3.85	0.18	3.23	4.48	3.99	0.17	3.09	
	0.50	6.81	4.68	4.30	0.32	3.95	4.68	4.29	0.38	3.69	4.87	4.39	0.40	3.53	
	0.75	11.97	4.93	4.67	0.05	4.31	5.27	4.98	0.00	4.36	5.45	5.13	0.03	4.21	

Tablo 3.9 Düzeltilmiş EPS sıcaklık verisi için 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları

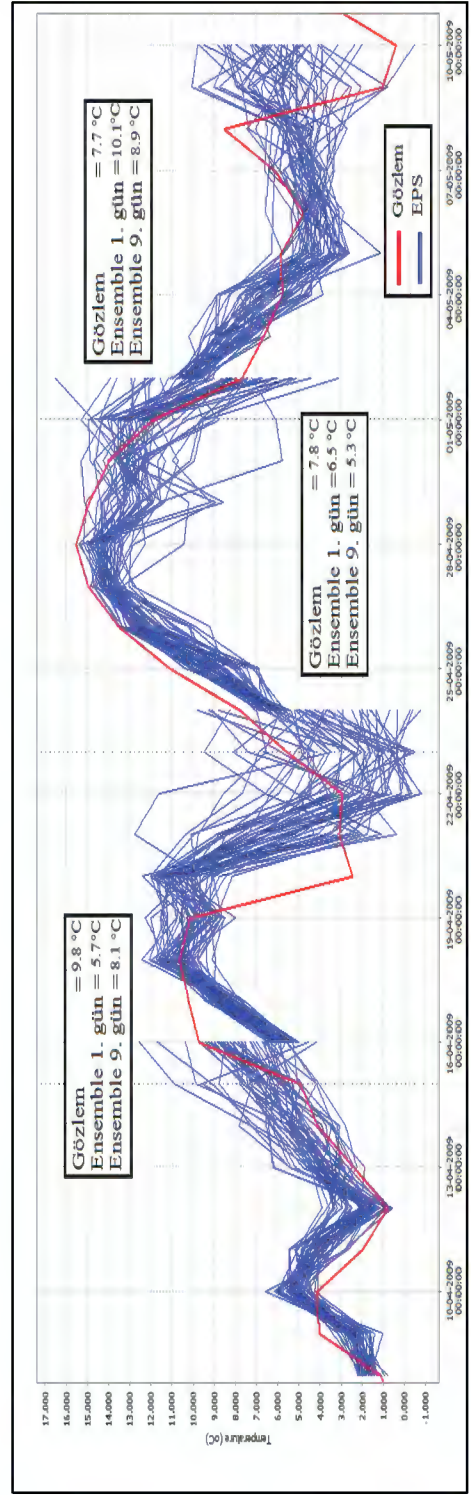
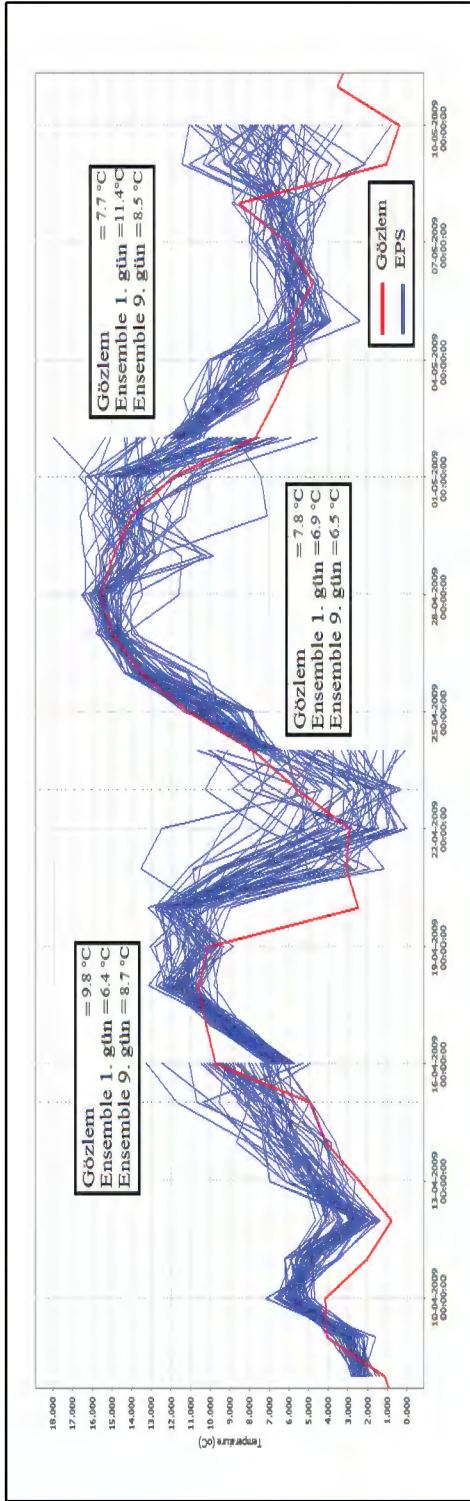
		Hata Düzeltme Sonrası EPS Sıcaklık Verisi Performans Analizi Sonuçları													
		Eşik Değer	Gözlem Değeri (°C)	Yağış 1. Tahmin Günü				Yağış 5. Tahmin Günü				Yağış 9. Tahmin Günü			
				RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS	RMSE (°C)	MAE (°C)	BSS	CRPS
Mart	0.25	-4.76	1.98	1.55	0.45	1.41	2.20	1.71	0.36	1.30	2.71	2.24	0.34	1.55	
	0.50	-1.10	1.67	1.37	0.41	1.22	1.98	1.59	0.50	1.19	2.65	2.19	0.37	1.47	
	0.75	2.60	1.50	1.23	0.57	1.07	1.84	1.41	0.49	1.00	2.94	2.51	0.44	1.66	
Nisan	0.25	2.30	1.95	1.55	0.27	1.39	1.96	1.50	0.22	1.18	2.29	1.75	0.19	1.27	
	0.50	4.44	2.06	1.70	0.13	1.53	1.99	1.59	0.35	1.25	2.47	1.90	0.16	1.39	
	0.75	6.66	2.40	2.01	0.22	1.84	2.18	1.81	0.28	1.45	3.04	2.54	0.30	1.74	
Mayıs	0.25	6.49	1.52	1.24	0.47	1.07	1.64	1.32	0.46	0.99	2.02	1.63	0.38	1.15	
	0.50	8.66	1.57	1.32	0.43	1.14	1.56	1.29	0.52	0.96	1.97	1.61	0.35	1.13	
	0.75	11.49	1.60	1.34	0.22	1.15	1.59	1.30	0.36	1.00	2.21	1.91	0.17	1.31	
Haziran	0.25	12.30	1.62	1.29	-0.09	1.11	1.94	1.54	0.05	1.18	2.03	1.68	0.10	1.20	
	0.50	14.21	1.56	1.19	0.30	1.01	1.98	1.53	0.29	1.20	2.21	1.88	0.19	1.32	
	0.75	16.28	1.48	1.17	0.21	0.98	1.97	1.57	0.16	1.21	2.33	1.99	0.11	1.40	
2008-2012	0.25	2.33	1.70	1.35	0.70	1.18	1.89	1.45	0.65	1.11	2.34	1.83	0.59	1.31	
	0.50	6.81	1.76	1.40	0.76	1.22	1.93	1.52	0.74	1.17	2.34	1.89	0.71	1.34	
	0.75	11.97	1.58	1.27	0.59	1.08	1.86	1.48	0.64	1.12	2.11	1.75	0.59	1.24	



a) Ham EPS 2008 sıcaklık verisi örneği

b) Hata düzeltme uygulanmış 2008 EPS sıcaklık verisi

Şekil 3.13 EPS sıcaklık tahminlerinin gözlem ile ilişkisi



c) Ham EPS 2009 sıcaklık verisi örneği

d) Hata düzeltme uygulanmış 2009 EPS sıcaklık verisi

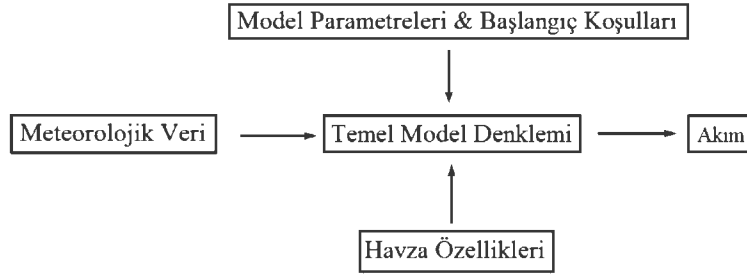
Şekil 3.13 EPS sıcaklık tahminlerinin gözlem ile ilişkisi (devam)

4. HBV MODEL ÇALIŞMALARI

Günümüz teknolojisi ve gereksinimleri insanoğlunun çevre ile olan etkileşimini giderek artırmaktadır. Teknolojideki olumlu gelişmelere rağmen, doğa problemlerinin karmaşıklığı, problemlerin zamansal ve mekansal olarak büyüklüğü, bu problemlerden korunulması ve yönetilmesi adına zorlukların yaşanmasına neden olmaktadır. Su kaynakları yönetimi bu problemlerin ve belirsizliklerin minimize edilmesi alanında önemli bir role sahiptir. Bu noktada, modelleme teknolojisinin su yönetimine ve karar mekanizmalarına olumlu etkileri göz ardı edilemez.

Hidrolojik modelleme, bir havzada yağış-akış arasındaki ilişkiyi havzanın özelliklerine göre belirlemek için yapılan hesaplardır. Hidrolojik süreçte modelleme çalışmalarının birçok sebebi bulunur. Bunlardan biri, modellenen zaman süresinin davranışını görebilmek, diğeri ise yönetim açısından operasyonel anlamda uygulanabilir tahmin sistemlerinin kurgulanması ve geliştirilmesidir.

HBV modeli, bir akarsu havzasında yağış, sıcaklık, aylık ortalama sıcaklık ve aylık potansiyel buharlaşma meteorolojik verilerini kullanarak akımı veren kavramsal bir yağış-akış modelidir. Genel olarak, yağış-akış modellemesi bilgisayar ortamında hidrolojik döngüyü temsil eden parametrelere sahip ve kullanıcı tarafından temin edilecek olan meteorolojik veri ve havza bilgilerine göre akım sonucu veren sistem olarak özetlenebilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Genel hidrolojik model bileşenleri

Hidrolojik modellerin sahip olması gereken özellikler;

- Kullanıcı tarafından kolay anlaşılabilir nitelikte olması,
- Temin edilebilecek meteorolojik veriye uygun çalışması,
- Bilimsel nitelik taşıması,
- Hidrolojik döngüyü temsil edebilecek parametrelere sahip olması,
- Modellenen hidrolojik havzanın özelliklerin etkili kullanımı,

şeklinde sıralanabilir.

Sunulan bu çalışmada, literatürde bilinen ve yaygın olarak kullanılan Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning (HBV) modeli kullanılmıştır (Bergström, 1976).

4.1. HBV Model Literatürü

Karmaşık olan hidrolojik modelleme işlemini bilgisayar ortamında basitleştirilmiş matematiksel denklemlerle temsil etmeye 1960'lı yılların başında Crawford ve Linsley (1966) tarafından The Stanford Watershed Model kullanılarak başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda farklı amaçlar için birçok hidrolojik model geliştirilmiştir (Singh 1995; Singh ve Frevert 2002a, 2002b). Dünya Meteoroloji Teşkilatı (World Meteorological Organization) değişik hidrolojik model kıyaslamalarını 1975 yılında (WMO, 1975), kar modelleri karşılaştırmasını 1986 yılında (WMO, 1986) ve gerçek zamanlı model uygulama karşılaştırmasını da 1992 yılında (WMO, 1992) gerçekleştirmiştir. Birçok model arasında en iyisini belirlemek mümkün değildir, çünkü değişik karmaşıklıkta modeller, farklı amaçlar, değişik bölgelerdeki havzalar ve model girdi parametreleri, kullanılacak modelin seçilmesinde rol oynayan önemli faktörlerdir.

Kar erimesinden meydana gelen akımın hesaplanmasında değişik yollarla uygulanan derece gün yöntemi en sık kullanılan metottur. Dağlık alanlarda derece gün yöntemi ile akımın tahminini yapmak için SRM (Martinec, 1975; Martinec ve

diğ., 1998) ve HBV (Bergström, 1976; SMHI, 1996) modellerini de içeren çeşitli işlevsel model kullanılmıştır. Derece-gün yöntemi, Dünya Meteoroloji Teşkilatının dağlık havzalardaki akımın hesaplanmasında kullanımını en çok önerdiği metotlardan biridir (WMO, 1986).

Johansson ve diğ. (2001) HydAlp projesi çerçevesinde İsveç'teki dağlık bir havza için 5 günlük yağış ve sıcaklık verilerini HBV modeline girdi sağlayarak akım tahmin çalışmalarında bulunmuşlar ve yakın tahmin günlerinde daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Atmosferik model verilerinin alansal çözünürlüğü iyileştikçe, daha iyi akım tahminlerinin bulunacağı sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışma, Jonsdottir ve Sorarinsson (2004) tarafından tahmin modelinden üretilen verilerin HBV hidrolojik modeliyle akım tahminlerinin kıyaslanmasıdır. Sonuçta, MM5 sayısal hava tahmin modelinin özellikle su bütçe planlamasında ve istasyonsuz havzalarda kullanılabilmesinde faydalı olabileceği değerlendirilmiştir. Benzer başka bir çalışma, Kunstmann ve Stadler (2005) tarafından Almanya'da bir havza için uygulanmış, MM5 sayısal hava tahmin model verilerini hidrolojik modele girdi olarak kullanarak akım tahminleri üretmişlerdir.

Brown ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada, yüksek kotlarda hidro-iklim verisinin yetersizliği nedeniyle birçok hidrolojik modelin sadece gözlenmiş akımlar kullanılarak doğrulandığını, ancak model performansının belirlenmesinde kar örtüsünün dönemsel değişiminin de temsil edilmesi gerektiğinin üzerinde durmuştur. Ayrıca, karla kaplı alanların iyi temsil edilmesi durumunda, hidrolojik benzeşimlerde daha iyi sonuçlar alınabildiğine dikkat çekmiştir. Şorman ve diğ. (2009) dağlık Fırat Havzası için HBV modelinde çok amaçlı kalibrasyon yaparak (MODIS uydu ürünü olan karla kaplı alan ve akım değerleri esas alınarak) ve MM5 tahmin verisi kullanarak akım tahmini çalışması yapmışlardır.

Yamankurt (2010) yaptığı tez çalışmasında HBV modeli kullanarak Yukarı Fırat Havzası için dönemsel kar potansiyelinin modellemesini yapmıştır. 2008-2010 yılları için yaptığı kalibrasyon çalışmalarında 0.85-0.91 arasında R^2 değeri elde etmiştir. Gözel (2011) ise yaptığı tez çalışmasında kar suyu potansiyelinin

dönemsel modellemesini yapmış ve SRM uygulayarak HBV hidrolojik model sonuçları ile karşılaştırma yapmıştır.

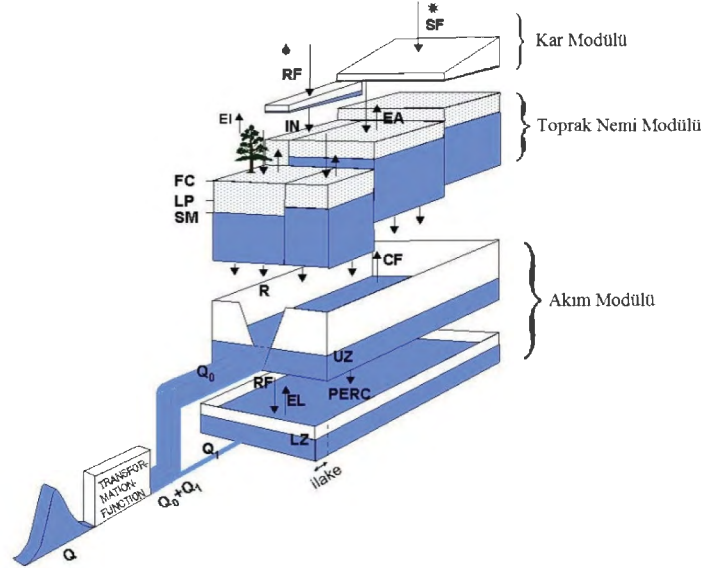
Özellikle 2000’li yıllardan sonra Avrupa’da meydana gelen taşkınlar ile birlikte taşkın modellemesi ve tahmini ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda Nester ve diğ. (2012), yaptıkları çalışmada Avusturya ve Güney Almanya’da bulunan ve yükseklikleri 200-3800 m arasında değişen 57 havza için HBV hidrolojik modelini kullanarak kar erimesi sonucunda oluşan taşkın modelleme çalışması yapmışlardır. Zelelew ve Alfredsen (2013) kavramsal hidrolojik modellerin kalibrasyon sürecinin önemine dikkat çekerek, 15 model parametresi için “Sobol’s variance-based sensitivity analysis (VBSA)” ve “Generalized sensitivity analysis (GSA)” yöntemleri kullanılarak duyarlılık analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Meiyen ve diğ. (2013) kar erimesi sonucunda oluşan akımın modellenmesi konusunun son yıllardaki popülerliğinden bahsedildiği çalışmada, kullanılan SRM hidrolojik modeline kar erime algoritması eklenerek model sonuçlarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. 2005 ve 2006 yılları sırasıyla kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları için kullanılmıştır. Kalibrasyon çalışmaları sonucunda, orijinal modelde elde edilen 0.77 olan R^2 değeri, algoritma eklenen modelde 0.88 olarak belirlenmiştir.

4.2. HBV Model Yapısı

HBV modeli, İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü’nde (Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI) Sten Bergström tarafından geliştirilmiştir (Bergström, 1975). Literatürde geniş bir kullanıma sahip olan HBV modeli, farklı iklim koşullarında ve küçük araştırma havzalarından kıtasal ölçek boyutlarına kadar 45 ülkede uygulanmıştır (Bergström ve diğ., 2002).

HBV modeli, bir hidrolojik havzanın alt havzalara bölünerek veya yükseklik aralıklarına göre bölümlere (zone) ayrılarak hidrolojik modelleme yapabilmesinden dolayı yarı dağılımlı bir kavramsal model olarak tanımlanabilir. Bu kısımda, modelleme yapılacak olan havzanın yükseklik-alan dağılımı ve arazi kullanımı gibi özellikleri önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan hidrolojik model, dağlık alanlarda derece-gün yöntemini kullanarak yağış-akış ilişkisini kuran HBV kavramsal modelidir. Bu modelin en kuvvetli yönü yağış-akış ilişkisini basit matematiksel formüllerle açıklamaya çalışması ve az sayıda veri gerektirmesidir.

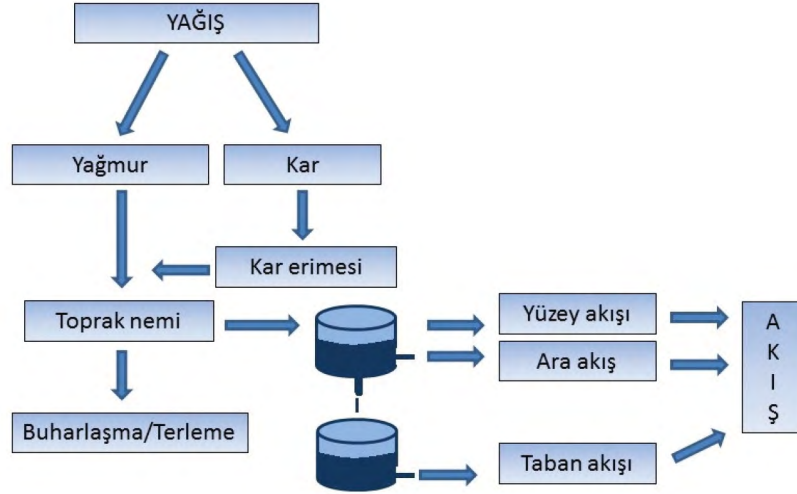


Şekil 4.2 HBV modelinin şematik gösterimi (IHMS, 2012)

Model genel olarak, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi kar modülü, toprak nemi modülü ve akım modülü olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Her bir modül model sistemi içerisinde etkileşimli olarak çalışır, bir modülün çıktısı diğer bir modülün girdisi olabilir. Kar modülünde girdi olarak kullanılan yağış ve sıcaklık sonucunda akım modülünden toplam akım elde edilir.

Sırasıyla kar modülü, toprak nemi modülü ve akım modülünün HBV modeli içindeki çalışma akış diyagramı Şekil 4.3’te görülmektedir. İlk olarak kar modülü hava sıcaklığını kritik hava sıcaklığına (TT) göre kıyaslayarak yağışın yağmur ya da kar olması durumunu belirler. Eğer kar ise kar biriktirme yapar ve yine TT’ye göre kar erimesinin başlayıp başlamayacağına karar verir. Daha sonra toprak nemi modülü, yağışı veya kar erimesini kar modülünden girdi olarak alır ve toprak neminde suyun depolanmasını, gerçek buharlaşma-terlemeyi ve akım modülüne

çıkıtı olarak verilen yağışla gelen net akım miktarını hesaplar. Akım modülü, toprak nemi modülünde üretilen net yağışı akıma dönüştürür. Bu akım, üst bölge (upper zone) ve alt bölge (lower zone) olmak üzere iki kısımda son akışı belirler. Üst bölge direk akışa geçen yüzey ve ara akışı (hızlı akış) temsil ederken, alt bölge taban akışını (yavaş akış) temsil eder.



Şekil 4.3 HBV modelinin çalışma akış diyagramı

HBV modeli, her bir modülün sonucuna göre en basit anlamda Denklem 4.1'e göre hesap yaparak akış değerini hesaplar.

$$P - E - Q = \frac{d}{dt} [SP + SM + UZ + LZ + göl] \quad (4.1)$$

P : Yağış

E : Buharlaşma-terleme

Q : Akım

SP : Kar modülü

SM : Toprak nemi modülü

UZ : Yeraltı suyu üst kısım modülü

LZ : Yeraltı suyu alt kısım modülü

göl : Göl hacmi

Model içerisindeki bu modüller de kendi içerisinde Tablo 4.1’de verilmiş olan parametrelere göre hesap yapmaktadır. Bir hidrolojik havza için parametre kalibrasyon çalışması yapılarak o havza için gözlenmiş akım değerlerine göre en uygun parametre seti elde edilmektedir.

HBV modeli, İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü’nde (Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI) Sten Bergström tarafından geliştirilmiştir (Bergström, 1975). Literatürde geniş bir kullanıma sahip olan HBV modeli, farklı iklim koşullarında ve küçük araştırma havzalarından kıtasal ölçek boyutlarına kadar 45 ülkede uygulanmıştır (Bergström ve diğ., 2002).

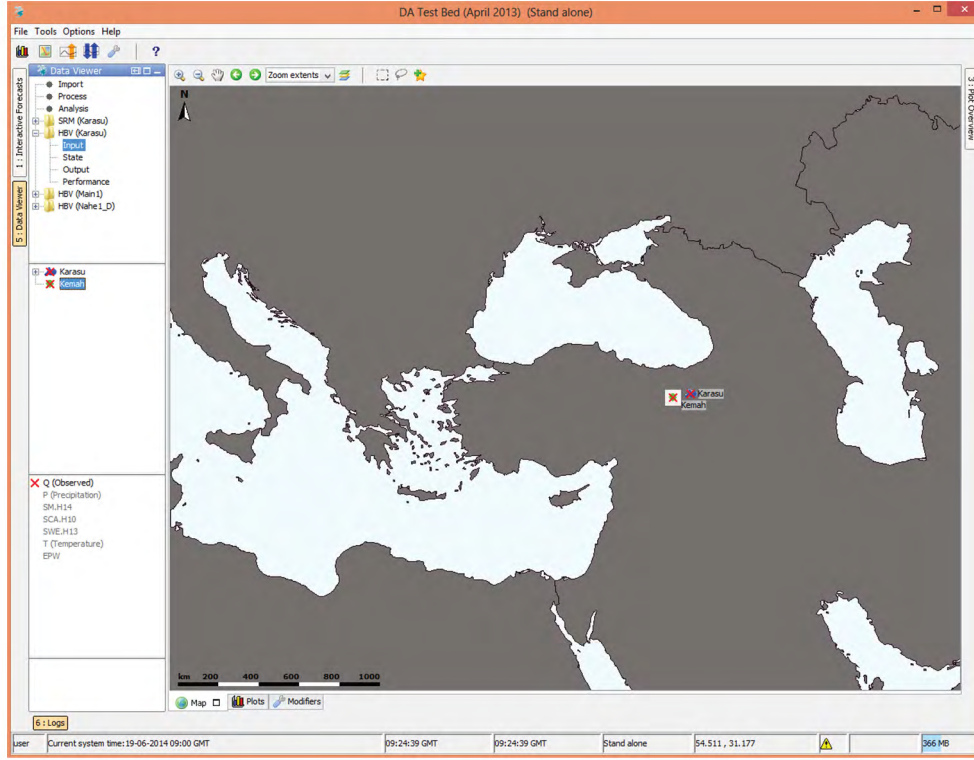
Günümüzde gerek farklı platformlarda, gerekse farklı işletim sistemlerinde HBV model kavramını kullanarak çalışan hidrolojik modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmada, FEWS platformunda çalışan HBV modeli kullanılmıştır (<http://www.deltares.nl/>).

FEWS, özellikle gerçek zamanlı akım tahmini ve erken taşkın uyarı sistemi geliştirme amacıyla birçok modeli ve/veya programı üzerinde çalıştırabilen bir platform olarak tanımlanabilir. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi, FEWS Windows işletim sisteminde kullanılmaya uygun arayüze sahip bir platformdur.

Açık kaynaklı ve ücretsiz kullanılabilen FEWS platformunun Windows işletim sistemine uyumlu versiyonu internetten indirilip kullanılabilir (Berglöv ve diğ., 2009).

Tablo 4.1 HBV modelinin kullandığı parametreler ve değer aralıkları (Schwanenberg, 2012)

Parametre	Birim	Değer Aralığı	Parametrenin İngilizce Anlamı	Parametrenin Türkçe Anlamı
ECORR	----	0.8-2.0	Evaporation Correction	Buharlaştırma katsayısı
ALPHA	----	0.0-0.3	Recession coefficient in $Q=k \cdot UZ^{(\alpha+1)}$ formula	$Q=k \cdot UZ^{(\alpha+1)}$ formülünde geciktirme katsayısı
BETA	----	1.0-3.0	Exponent in Formula for drainage from soil	Akım modülüne katılım katsayısı
CFLUX	mm/gün °C	0.2-0.8	Maximum capillary flow from upper box to soil moisture routine	Üst zondan toprak modülüne maksimum kapilar akım
CFMAX	mm/gün °C	0.3-4.0	Degree-day factor	Derece-gün faktörü
CFR	----	0.02-0.1	Refreezing factor in the snow routine	Kar modülünde donma faktörü
FC	mm	50-250	Field capacity	Arazi kapasitesi
LP	----	0.2-0.9	Limit for potential evaporation	Potansiyel buharlaştırma limiti
PERC	mm/gün	0.4-6.0	Percolation capacity from upper to lower box	Üst zondan alt zona derin süzülme kapasitesi
RFCF	----	0.8-1.3	Rainfall correction factor	Yağmur düzeltme faktörü
SFCF	----	0.7-1.3	Snowfall correction factor	Kar düzeltme faktörü
TT	°C	-1.5 - +2.0	Threshold temprature (rain or snow)	Yağış tipi için kritik sıcaklık (yağmur veya kar)
TTI	°C	0.0-3.0	Total lenght of a temprature interval	Yağış tipi için sıcaklık aralığı
CWH	-----	0.01-0.1	Water holding capacity of snow	Karın su tutma kapasitesi
TM	°C	-1.5 - +0.5	Temperature for melting	Erime sıcaklığı
ETF	-----	0.0-0.012	Temperature correction factor	Sıcaklık düzeltme katsayısı
K	1/gün	0.02-0.4	Recession coefficient	Geciktirme katsayısı
K1	1/gün	0.001-0.1	Recession coefficient for lower box	Alt zon için geciktirme katsayısı
LIC	-----	0.0-2.0	Maximum interception storage	Maksimum tutma kapasitesi



Şekil 4.4 FEWS platformunun arayüzü

4.3. Model Uygulaması

Karasu havzası yükseklik aralığı olan 1125 m ile 3500 m arasında on yükseklik bölgesine (zone) bölünerek; havzanın yükseklik-alan eğrisi (hipsometrik eğri) ve ortalama yüksekliği 1983 m olarak belirlenmiştir. Noktasal meteorolojik istasyon verileri DK yöntemi ile alansal olarak havzaya dağıtılmıştır. Alansal dağıtılan meteorolojik veri belirlenen on yükseklik bölgesine kestirilerek her biri için yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiş ve modelde kullanılmıştır.

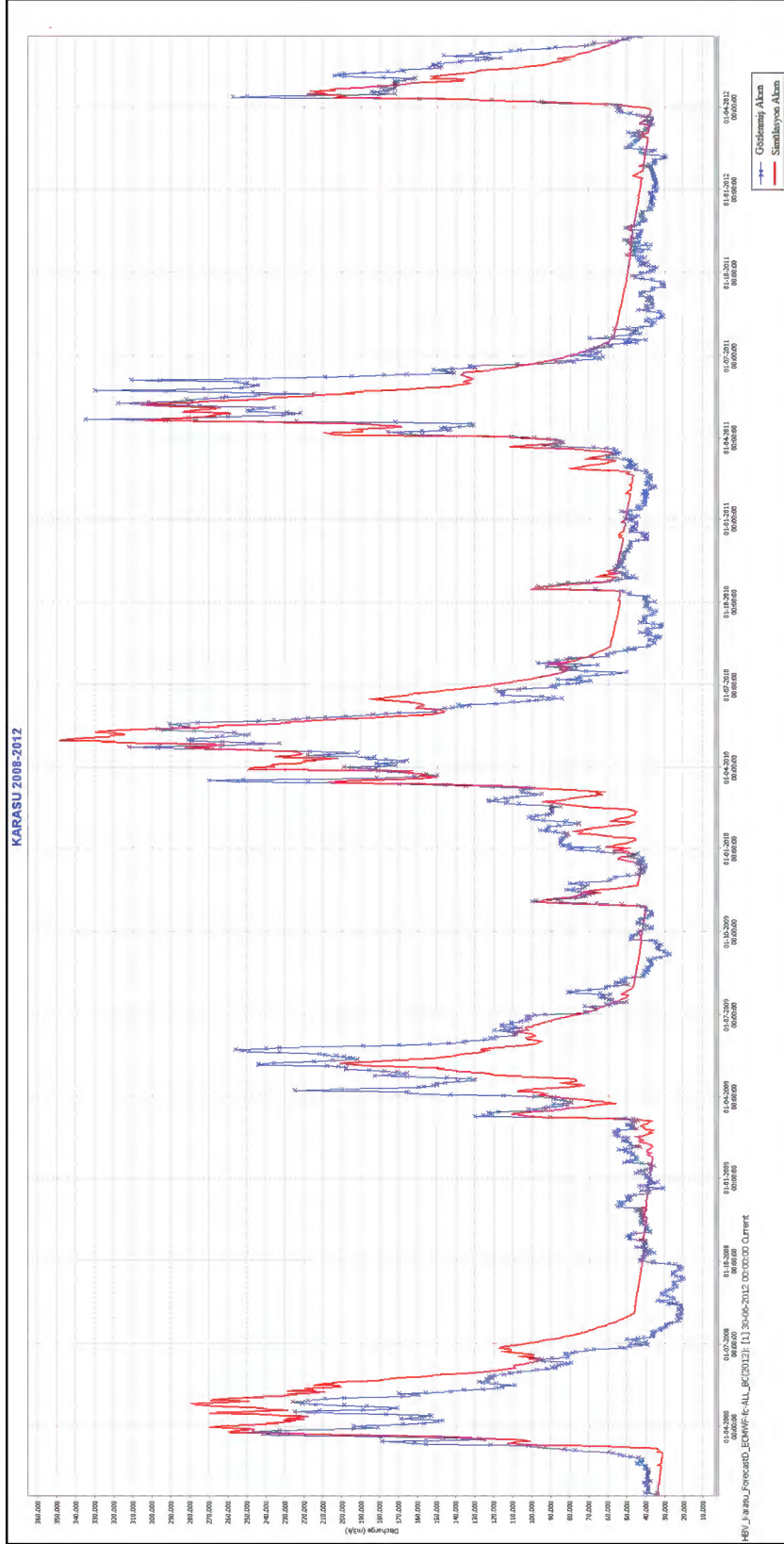
HBV modeli kavramsal bir model olduğundan, sağlanan girdilerin çeşitli matematiksel denklemlerden geçerek ürettikleri çıktıların arazide ölçülen değerlerle tutarlı olması için modelin bazı parametrelerinin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu işleme kalibrasyon adı verilir. Kalibre edilen model parametrelerinin de farklı yılların modellenmesi sürecinde tutarlılıklarının incelenmesi gerekmektedir. Bu işleme de doğrulama adı verilir. Dolayısıyla, kavramsal modeller kullanılmadan önce kalibrasyon ve doğrulama işlemlerinden

geçmelidir. Belirli periyotlar arasında ölçülen verilerin bir kısmı kalibrasyon için, bir kısmı ise doğrulama için kullanılmalıdır, bu verilerin çakışmaması gerekmektedir. Bu işlemlerden sonra kullanılacak modelin seçilen havza üzerindeki model parametreleri belirlenmiş olmaktadır.

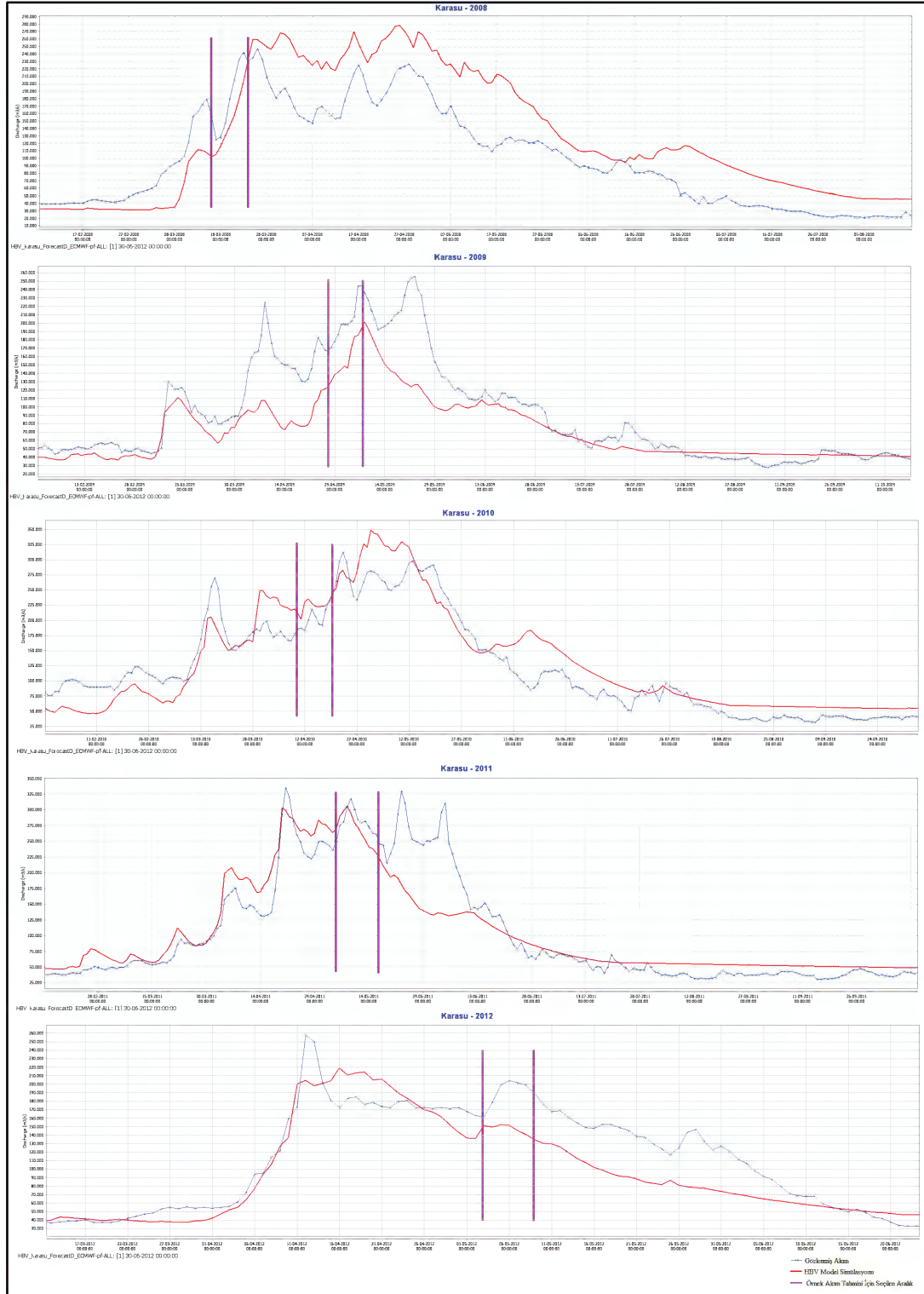
Bu tez çalışmasında, öncelikle 2001-2007 yılları arasında HBV model kalibrasyonu yapılmıştır. Bu kalibrasyon çalışması sonucunda Nash-Sutcliffe $R^2 = 0.83$ sonucunu veren parametre seti elde edilmiştir. Bu parametre seti için 2008-2012 yılları arasında uygulanan doğrulama çalışmasında ise Nash-Sutcliffe $R^2 = 0.75$ değeri elde edilmiştir. Şekil 4.5’de EPS uygulamasının yapılacağı 2008-2012 aralığı için gözlenen ve HBV ile simüle edilen akımlar gösterilmiştir.

Elde edilen parametre seti ile 1 Mart – 30 Haziran erime döneminde her gün için 50 üye tahmini ve 1 kontrol tahminine sahip EPS’e dayalı 9 gün ileriye dönük akım tahmin çalışması yapılmıştır. Yapılan tahmin sonucunda, toplam 51 farklı akım tahmin senaryosu elde edilmektedir.

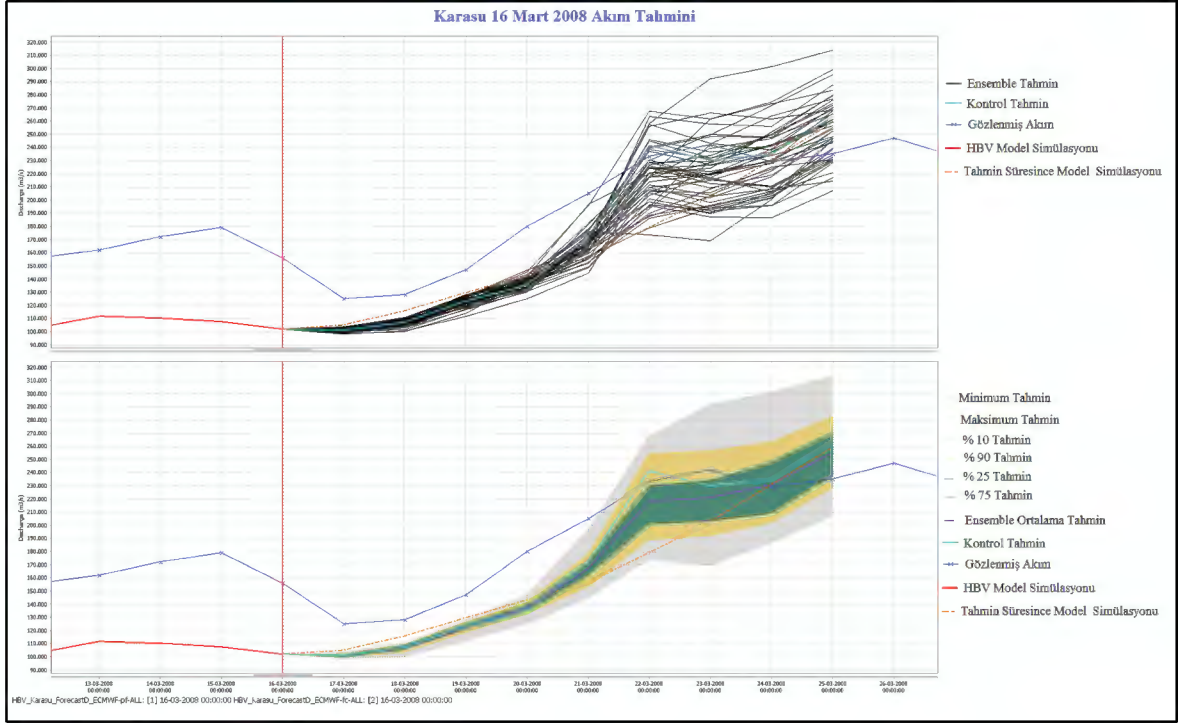
Daha önceki konularda bahsedildiği üzere, EPS meteorolojik tahmin verisine hata düzeltme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, hem ham hemde düzeltilmiş EPS tahminleri kullanılarak 2008-2012 yıllarının erime döneminde hergün için 1-9 gün ileriye dönük akım tahminleri yapılmıştır. Şekil 4.6’da 2008-2012 çalışma aralığında her bir yıl için örneklenen farklı tarihlerdeki akım tahminlerinin hidrograf üzerinde gösterimi, Şekil 4.7’de ise Şekil 4.6’da belirtilen aralıklarda ham ve düzeltilmiş EPS ile yapılan akım tahminleri detaylı olarak sunulmuştur.



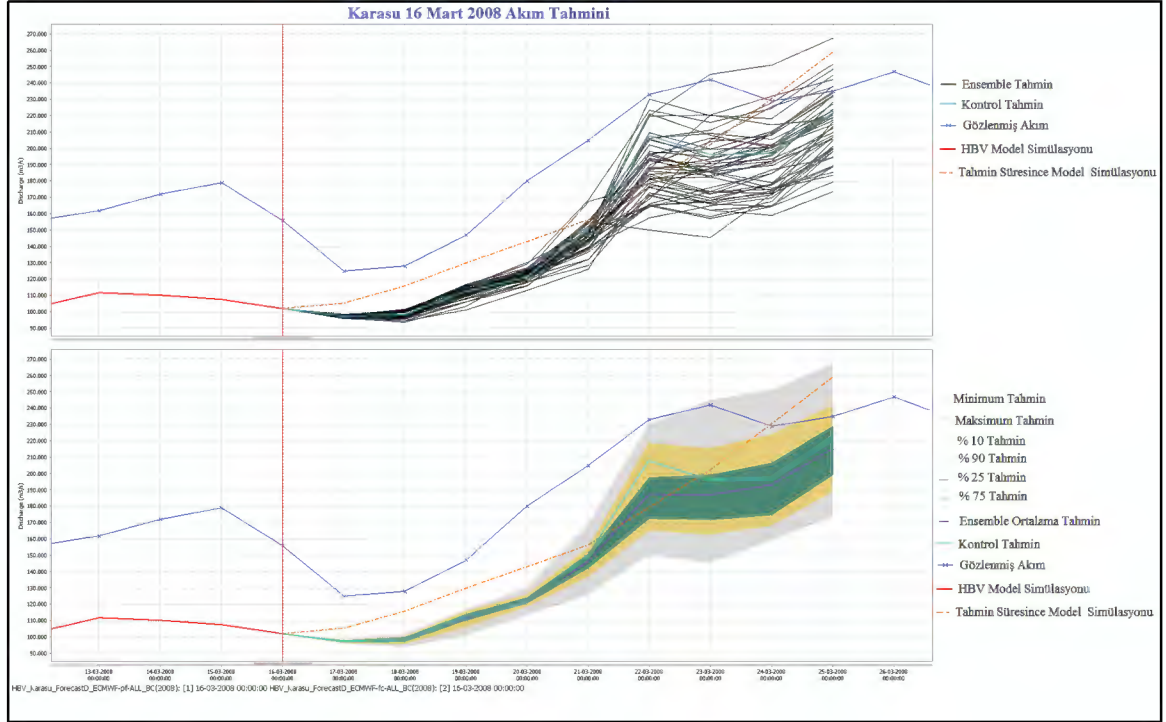
Şekil 4.5 2008-2012 HBV model simülasyonu



Şekil 4.6 2008-2012 yılları için verilen örnek akım tahminlerinin zaman aralıkları

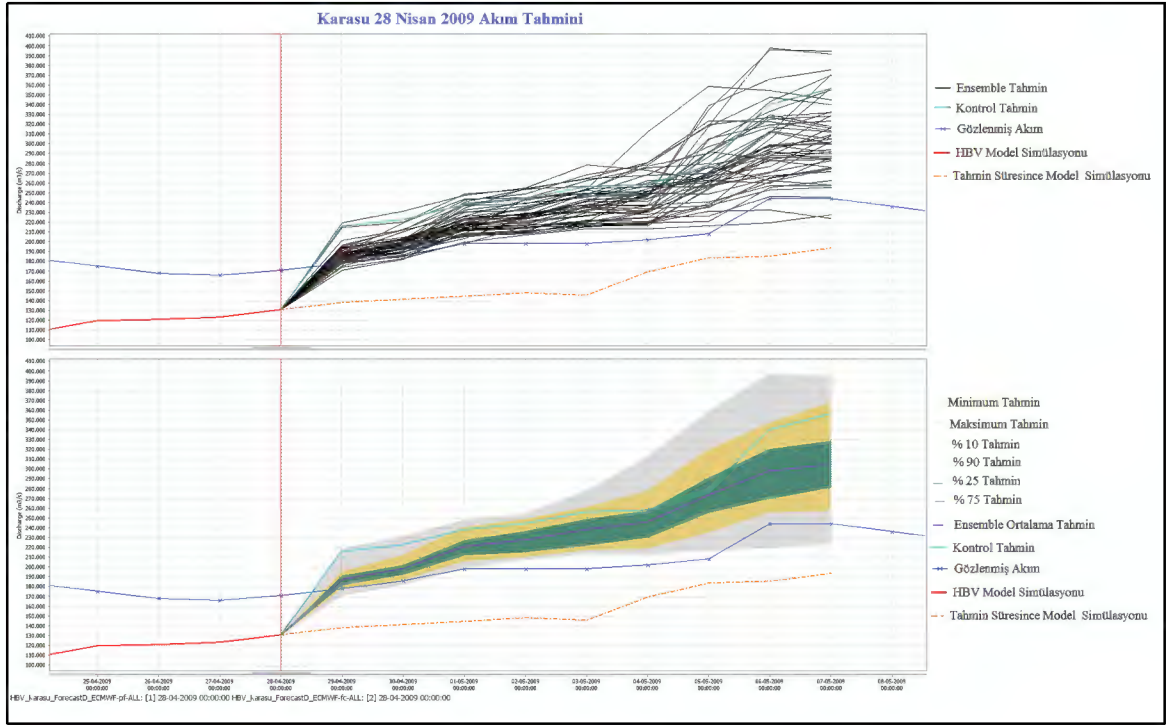


a) Ham EPS verisi ile yapılan 16 Mart 2008 akım tahmini

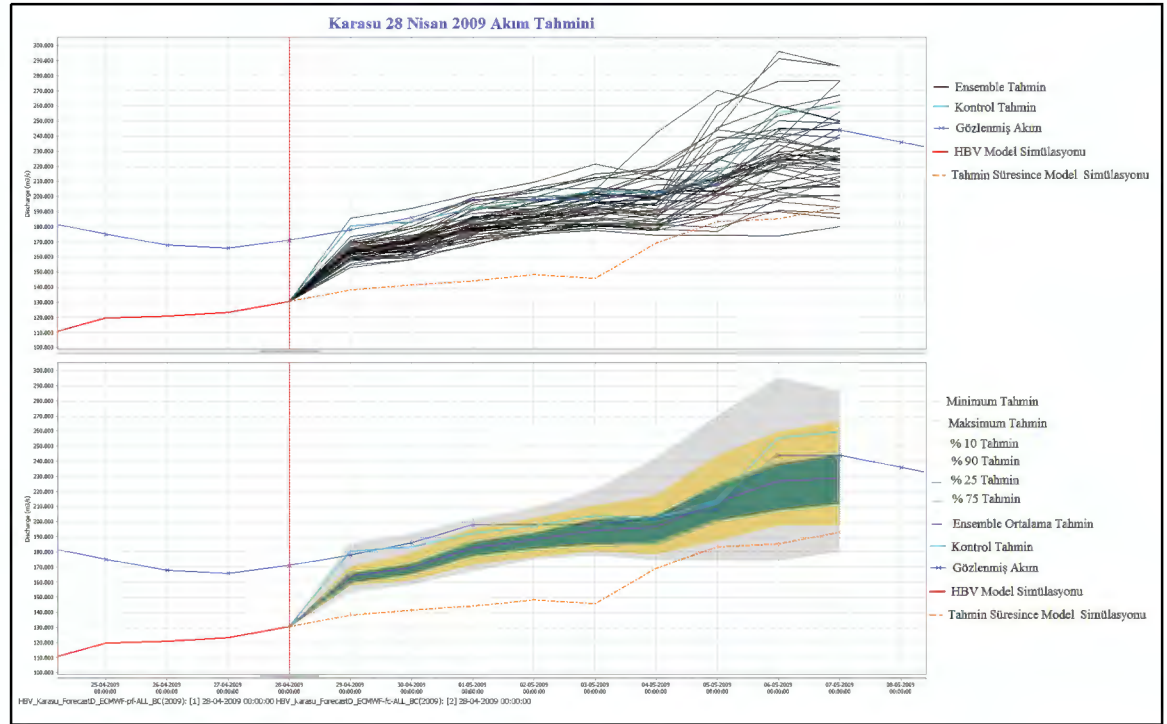


b) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 16 Mart 2008 akım tahmini

Şekil 4.7 9 gün ileriye dönük akım tahmin örnekleri

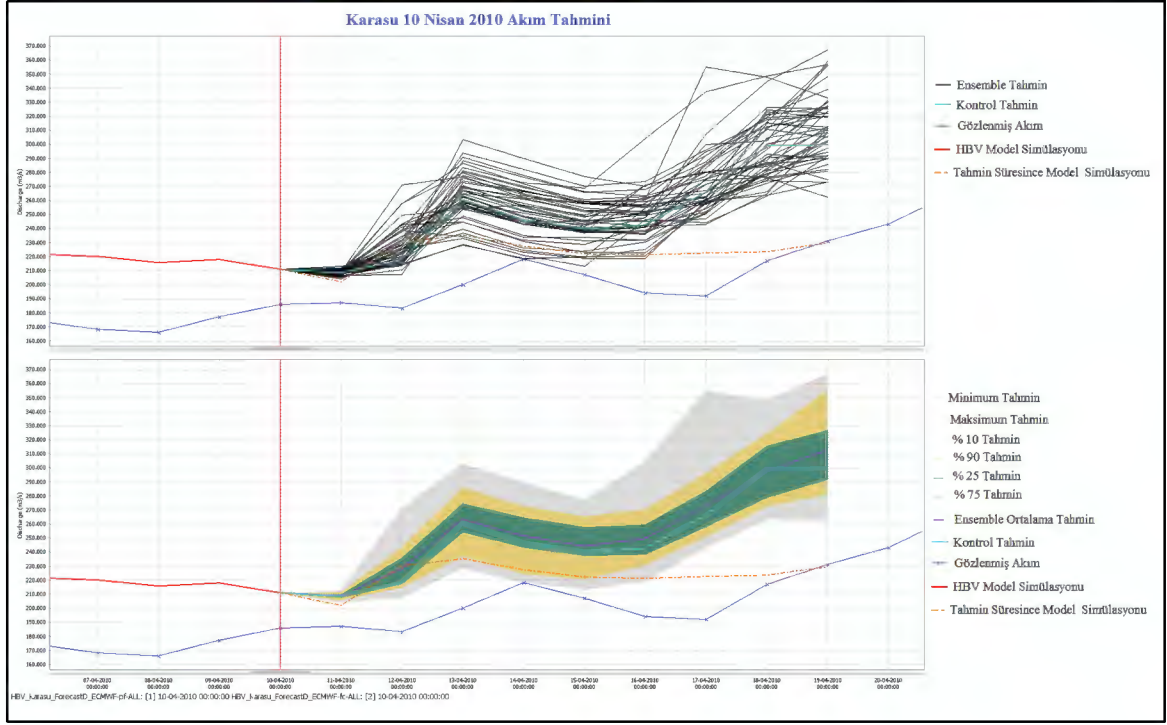


c) Ham EPS verisi ile yapılan 28 Nisan 2009 akım tahmini

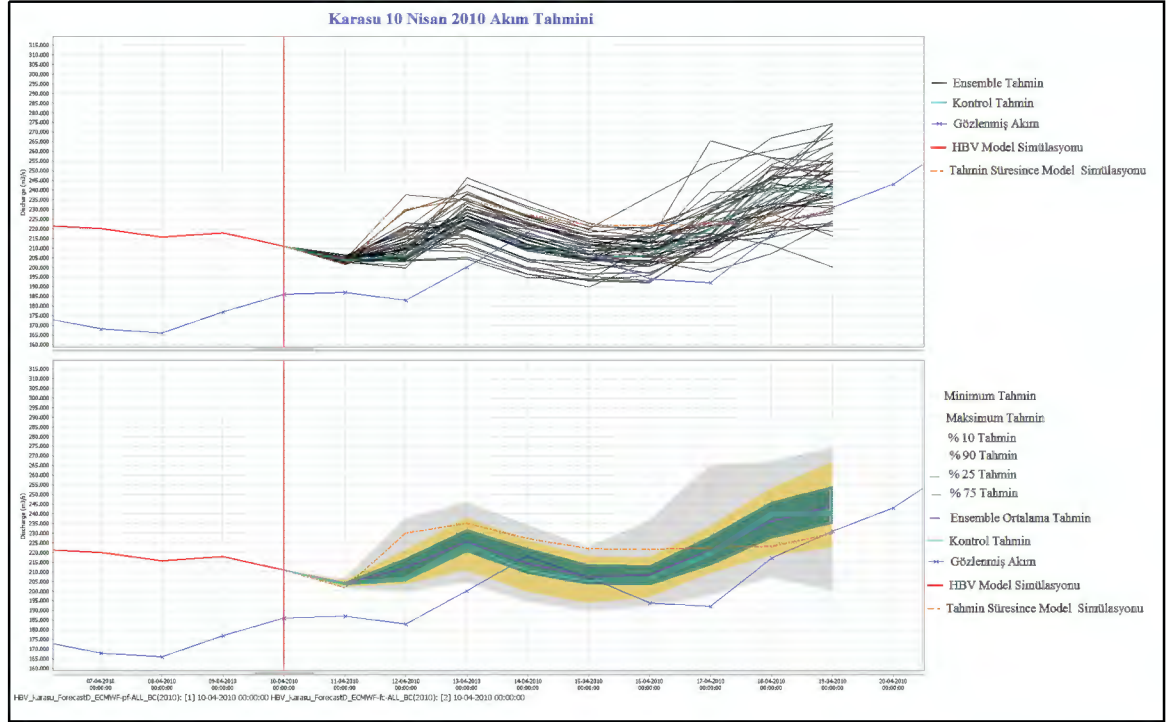


d) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 28 Nisan 2009 akım tahmini

Şekil 4.7 9 gün ileriye dönük akım tahmin örnekleri (devam)

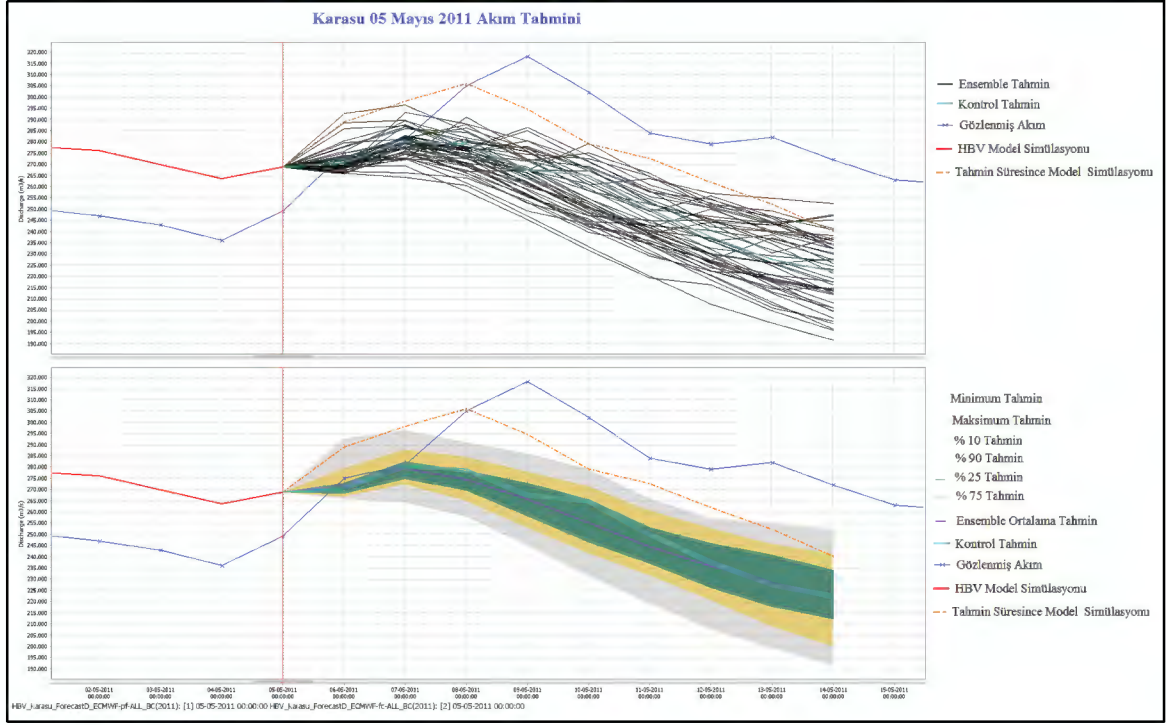


e) Ham EPS verisi ile yapılan 10 Nisan 2010 akım tahmini

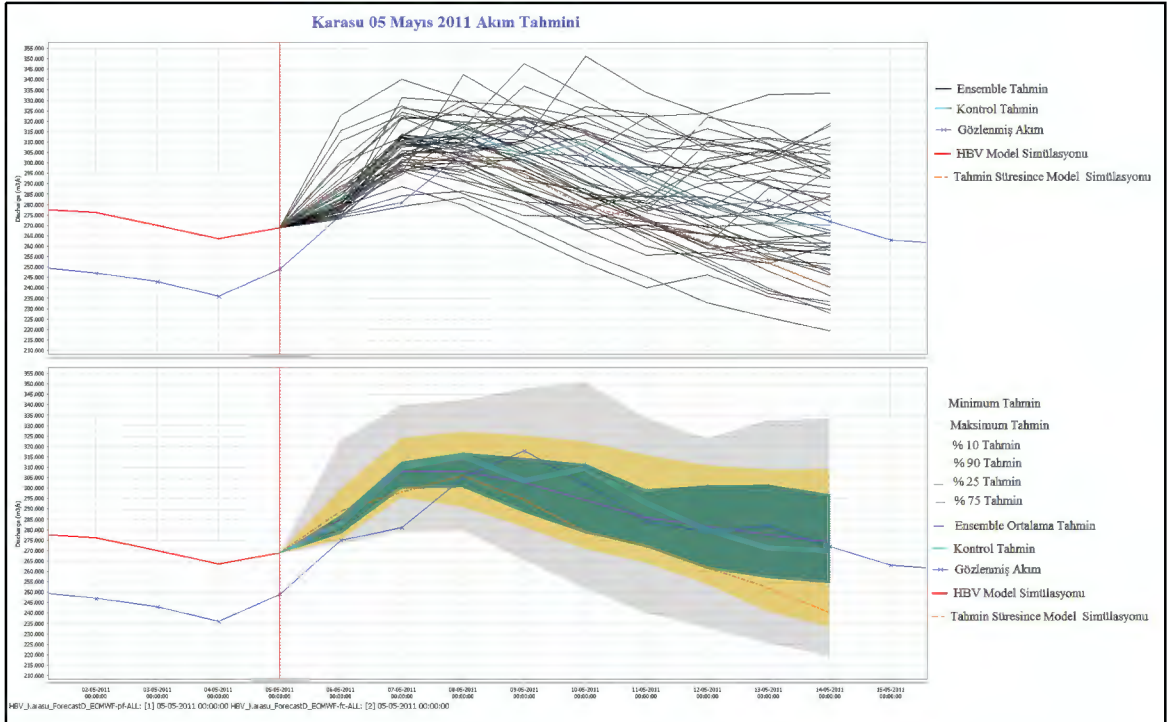


f) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 10 Nisan 2010 akım tahmini

Şekil 4.7 9 gün ileriye dönük akım tahmin örnekleri (devam)

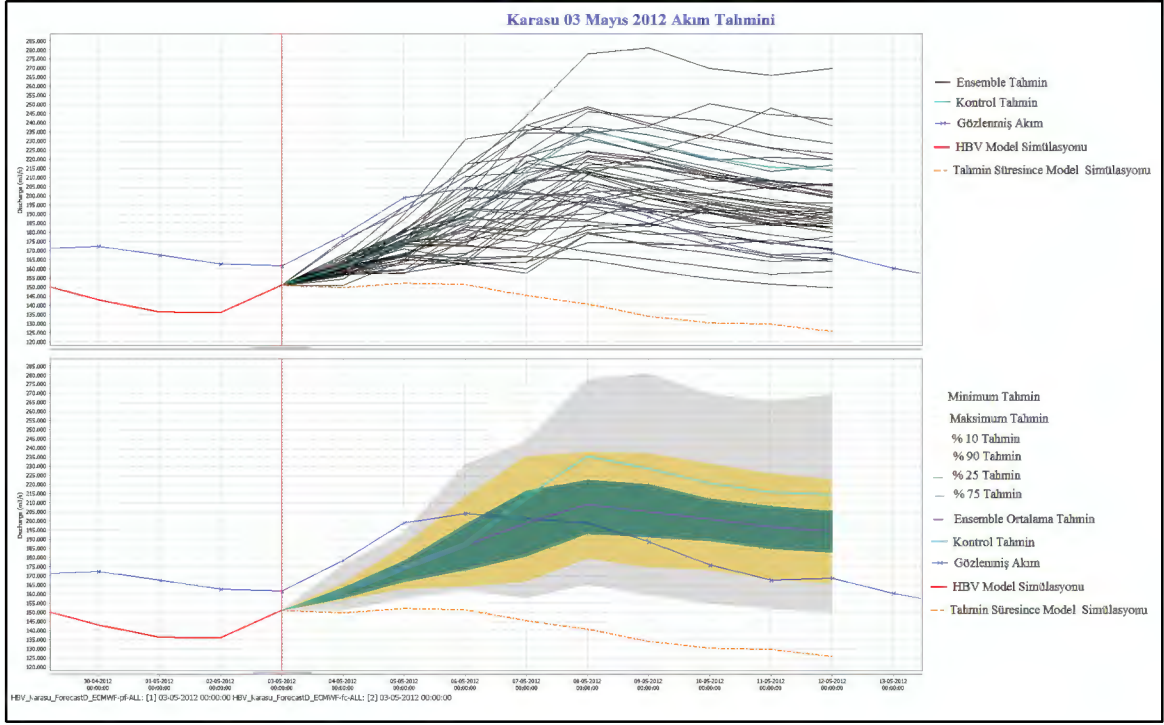


g) Ham EPS verisi ile yapılan 05 Mayıs 2011 akım tahmini

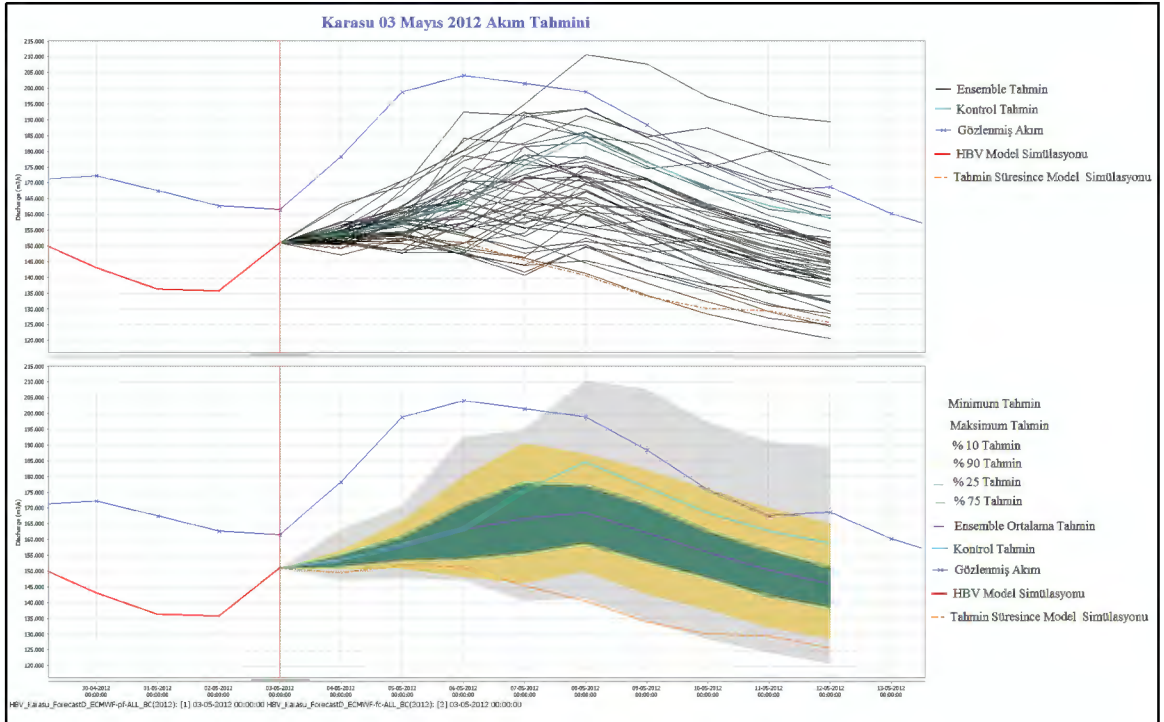


h) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 05 Mayıs 2011 akım tahmini

Şekil 4.7 9 gün ileriye dönük akım tahmin örnekleri (devam)



i) Ham EPS verisi ile yapılan 03 Mayıs 2012 akım tahmini



j) Düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 03 Mayıs 2012 akım tahmini

Şekil 4.7 9 gün ileriye dönük akım tahmin örnekleri (devam)

4.4. Tahmin Çalışmalarının Performans Analizi

Akım tahminlerinin hata düzeltme çalışması öncesi ve sonrası performans analizi sonuçları Şekil 4.7’de gösterilen grafiklerin yanı sıra Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’te tüm veri için yapılmış olan performans analizi sonuçları sunulmuştur. Sunulan bu tablolar sadece 1., 5. ve 9. tahmin günleri için hazırlanan tablolardır.

Performans değerlendirmesi, 9 gün ileriye dönük akım tahmini ile HBV model simülasyon sonuçları karşılaştırılarak yapılmıştır. Tahmin değerlerinin yer gözlem akım değerleri ile kıyaslanmamasının en önemli nedeni model hatalarının EPS çalışmasındaki performans değerlendirme sonuçlarını etkilemesinin istenmemesidir. Model simülasyonunun bıraktığı yerden akım tahmini yapıldığı için, bu noktanın gözlenmiş akıma uzak olması EPS ile yapılan akım tahmininin performansının değerlendirmesini zorlaştırmaktadır ve çalışmanın esas amacı olan EPS ile tahmin kısmının değerlendirmelerini etkilemektedir.

Tablo 4.2 Ham ve düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 1. tahmin günü performansları

		Hata Düzeltme Öncesi 1. Tahmin Günü					Hata Düzeltme Sonrası 1. Tahmin Günü			
		Ortalama (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS
Akım Tahmin (Q)	Mart	59.80	13.01	5.68	0.89	4.91	9.39	4.60	0.94	4.09
	Nisan	50.55	15.68	10.26	0.86	8.58	11.76	7.32	0.90	6.40
	Mayıs	58.98	10.52	6.72	0.84	5.52	6.69	4.38	0.87	3.62
	Haziran	47.77	2.40	1.39	1.00	1.24	2.13	1.16	1.00	1.02
	2008-2012	54.25	11.52	6.02	0.90	5.07	8.29	4.37	0.93	3.78

Tablo 4.3 Ham ve düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 5. tahmin günü performansları

		Hata Düzeltme Öncesi 5. Tahmin Günü					Hata Düzeltme Sonrası 5. Tahmin Günü			
		Ortalama (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS
Akım Tahmin (Q)	Mart	59.80	26.40	17.02	0.66	13.50	17.16	11.89	0.68	9.78
	Nisan	50.55	39.14	32.22	0.43	25.32	29.18	21.69	0.61	17.51
	Mayıs	58.98	34.04	25.81	0.67	19.89	16.18	11.89	0.74	9.02
	Haziran	47.77	7.65	4.89	0.94	4.18	5.66	3.79	0.94	3.12
	2008-2012	54.25	29.49	20.13	0.74	15.83	19.01	12.33	0.78	9.85

Tablo 4.4 Ham ve düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan 9. tahmin günü performansları

		Hata Düzeltme Öncesi 9. Tahmin Günü					Hata Düzeltme Sonrası 9. Tahmin Günü			
		Ortalama (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS
Akım Tahmini (Q)	Mart	59.80	31.31	22.78	0.5	16.75	24.75	17.76	0.71	13.92
	Nisan	50.55	57.67	47.77	0.19	36.15	40.68	33.58	0.3	26.4
	Mayıs	58.98	53.10	43.28	0.41	32.74	24.1	18.22	0.63	13.42
	Haziran	47.77	12.90	8.91	0.92	7.46	8.57	6.26	0.95	4.98
	2008-2012	54.25	43.49	31.35	0.66	23.82	28.3	19.03	0.63	14.72

Simülasyon esas alınarak hesaplanan performans değerleri, EPS verisi ile 9 güne kadar akım tahmini yapılabileceğini göstermek açısından anlamlı sonuçlar vermektedir (Tablo 4.2 - 4.4). Tüm dönemde (2008-2012) 1. tahmin günü için RMSE ve MAE sırasıyla, 8.29 ve 4.37 m³/s olarak gözlenmektedir (Tablo 4.2). Gözlenen akım verilerinde standart sapmanın en yüksek olduğu Nisan ayında nispeten yüksek hatalar gözlenmektedir. BSS ve CRPS değerleri özellikle ilk gün için yüksek bir performansa işaret etmektedir. Beklenildiği gibi hata oranları, 1. günden 9. güne doğru artmaktadır.

EPS'lere hata düzeltilmesi yapılmadan kullanılması halinde elde edilen sonuçlar ise yine Tablo 4.2 – 4.5'de sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre; hata düzeltme çalışmasının EPS tahmin verisinin performansı üzerinde ve dolayısıyla akım tahmininin performansı üzerinde olumlu etkileri olmuştur. 1. gün tahmininde hata düzeltilmeden önce 2008-2012 tüm dönemi için RMSE 11.52 m³/s iken hata

düzeltilmesi yapıldıktan sonra bu değer $8.29 \text{ m}^3/\text{s}$ seviyesine, 5. gün tahmininde $29.49 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den $19.01 \text{ m}^3/\text{s}$ seviyesine ve 9. gün tahmininde aynı hatalar $43.49 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den $28.30 \text{ m}^3/\text{s}$ seviyesine düşmüştür. Bu 1. gün için yaklaşık olarak %28'lik, 5 ve 9. günler için ise yaklaşık olarak %35'lik bir iyileşmeye işaret etmektedir.

Aynı şekilde tüm 2008-2012 dönemi için hata düzeltmeden önce 1. gün tahminlerinin BSS değeri 0.90 iken hata düzeltmeden sonra 0.93'e, 5. gün tahminlerinin BSS değeri ise 0.74'den 0.78'e yükselmiştir ve 9. gün tahminlerinin BSS değeri ise 0.66'dan 0.63'e düşmüştür.

1. tahmin günü için, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran ayları için RMSE değerlerinin sırasıyla %28, %25, %36, %11 iyileştiği görülmektedir. Benzer şekilde bu değerler 5. tahmin günü için %35, %25, %52, %26 iken 9. tahmin günü için ise %21, %30, %55, %34 olmaktadır. Bu da akım tahmin günü ilerledikçe hata düzeltme çalışmalarının akıma tutarlılık anlamında daha pozitif etkisi olduğunu göstermektedir.

Tüm veri için yapılan performans analizi sonuçlarına ek olarak 1., 5. ve 9. tahmin günlerinde 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için yapılan performans değerlendirme sonuçları da Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da sunulmuştur. Tüm verinin sonuçlarına benzer sonuçlar eşik değerler için de elde edilmiştir. Bunların dışında, eşik değer 0.25'den 0.75'e doğru yükseldikçe akım tahminlerinin model simülasyonu ile olan tutarlılığı azalmaktadır. Bu da yüksek akım değerlerinin tutarlılığın düşük değerlere göre daha az olduğunu göstermektedir.

2008-2012 tüm dönem için RMSE sonuçları incelendiği zaman; 1. akım tahmin günü için 0.25 eşik değerinde hata düzeltme çalışması sonrası %28, 0.50 eşik değeri için %27 ve 0.75 eşik değeri için %30 oranında iyileşme elde edilmiştir.

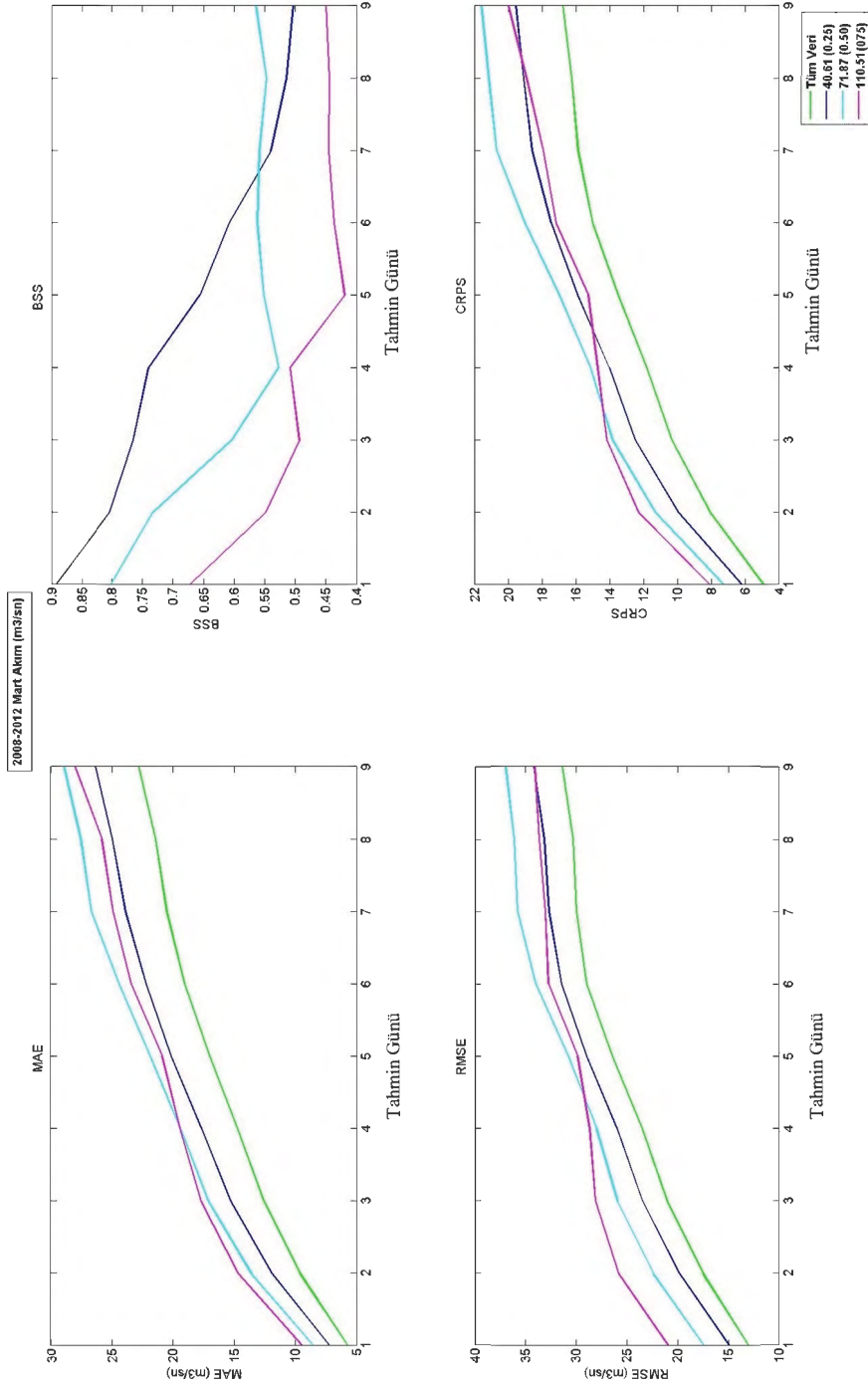
Tablo 4.5 Ham EPS verisi ile yapılan akım tahminlerinin 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları

		Hata Düzeltme Öncesi Akım Tahmini Performans Analizi Sonuçları												
		Akım 1. Tahmin Günü				Yağış 5. Tahmin Günü				Yağış 9. Tahmin Günü				
Eşik Değer	Gözlem Değeri (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	
Mart	0.25	40.61	14.93	7.17	0.89	6.18	28.96	20.14	0.66	15.91	34.13	26.33	0.50	19.53
	0.50	71.87	17.40	8.50	0.80	7.25	30.76	21.86	0.55	16.96	36.89	28.91	0.56	21.57
	0.75	110.51	20.88	9.40	0.67	8.07	29.83	20.89	0.42	15.27	34.04	28.00	0.45	19.98
Nisan	0.25	124.80	16.85	11.31	0.86	9.45	37.78	31.62	0.43	24.85	53.22	44.48	0.20	33.28
	0.50	210.25	16.56	10.95	0.79	9.08	38.53	33.55	0.67	26.34	54.38	47.19	0.65	35.42
	0.75	241.61	17.65	11.69	0.65	9.46	38.27	31.93	0.08	24.64	55.91	48.63	-0.08	35.36
Mayıs	0.25	134.55	11.84	7.87	0.85	6.48	36.44	29.04	0.67	22.07	57.19	47.93	0.42	35.93
	0.50	175.57	12.78	8.59	0.93	6.91	36.78	30.45	0.57	22.22	53.84	46.50	0.31	33.31
	0.75	231.20	10.58	7.62	0.87	5.97	32.18	27.09	0.38	18.61	46.48	40.64	-0.01	28.11
Haziran	0.25	86.31	2.77	1.83	1.00	1.63	8.79	6.26	0.94	5.38	14.82	11.43	0.92	9.63
	0.50	102.87	2.50	1.72	0.68	1.52	8.04	5.93	0.55	5.02	14.82	11.32	0.29	9.47
	0.75	132.61	2.73	1.91	0.92	1.70	9.45	7.19	0.92	6.23	14.99	12.03	0.77	10.03
2008-2012	0.25	86.47	12.93	7.20	0.91	6.04	32.03	23.24	0.74	18.25	46.28	35.30	0.67	26.88
	0.50	130.40	14.65	8.58	0.95	7.17	34.07	26.26	0.74	20.32	49.52	39.52	0.62	29.55
	0.75	204.07	17.26	10.61	0.89	8.82	34.57	29.10	0.64	21.77	50.86	43.71	0.55	31.72

Tablo 4.6 Düzeltmiş EPS verisi ile yapılan akım tahminlerinin 0.25, 0.50 ve 0.75 eşik değerleri için performans analizi sonuçları

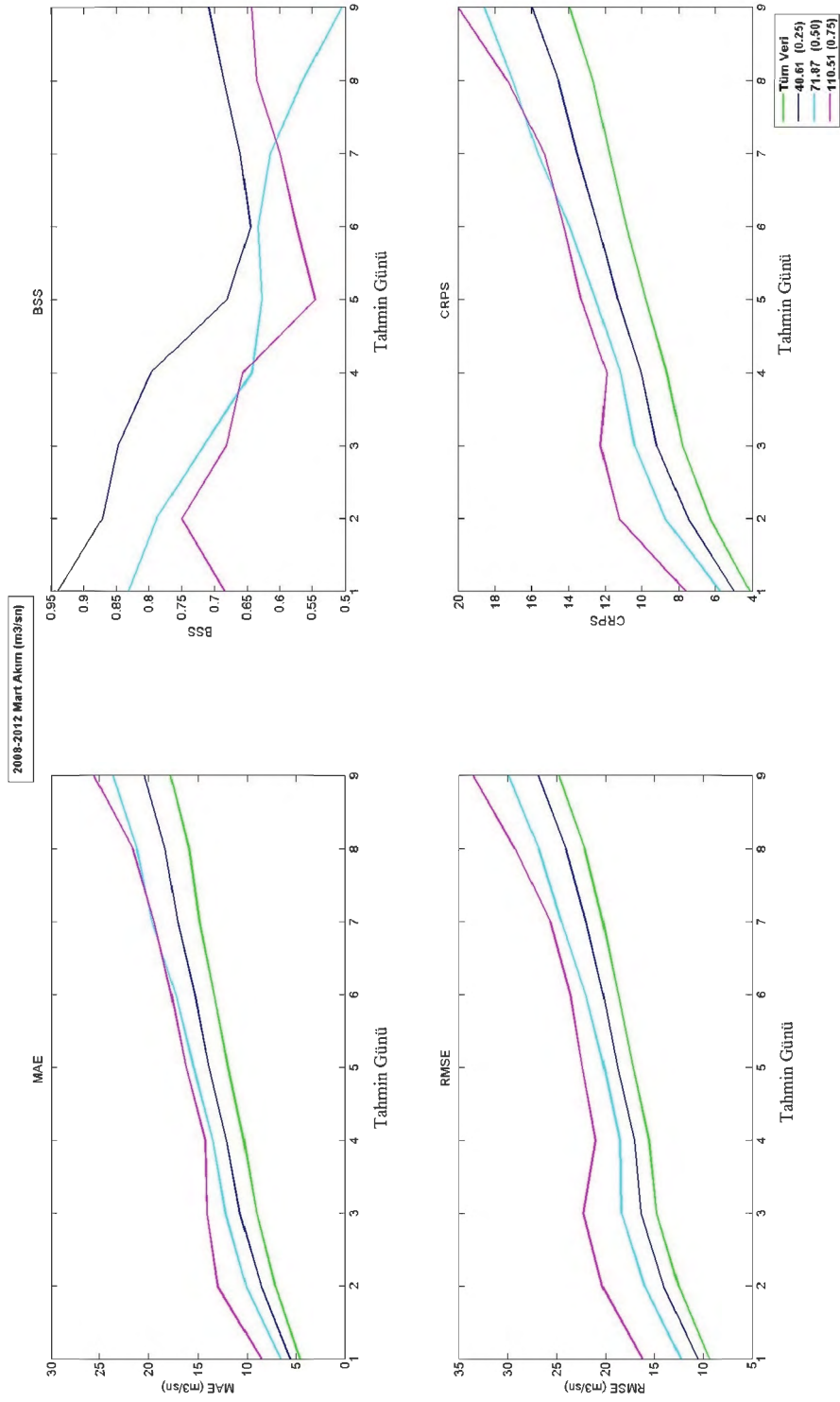
		Hata Düzeltme Sonrası Akım Tahmini Performans Analizi Sonuçları												
		Yağış 1. Tahmin Günü				Yağış 5. Tahmin Günü				Yağış 9. Tahmin Günü				
Eşik Değer	Gözlem Değeri (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	BSS	CRPS	
Mart	0.25	40.61	10.58	5.59	0.94	4.94	18.76	13.86	0.68	11.31	26.91	20.42	0.71	15.98
	0.50	71.87	12.26	6.53	0.83	5.68	20.11	15.42	0.63	12.52	29.85	23.64	0.50	18.60
	0.75	110.51	16.18	8.49	0.68	7.57	22.35	16.19	0.55	13.30	33.52	25.52	0.64	20.00
Nisan	0.25	124.80	12.97	8.14	0.90	7.15	30.54	22.35	0.61	18.22	43.59	32.80	0.30	26.29
	0.50	210.25	11.84	7.53	0.82	6.48	27.88	20.50	0.74	16.21	39.55	29.01	0.58	22.55
	0.75	241.61	13.21	8.12	0.78	6.92	30.82	20.55	0.59	16.43	44.66	31.18	0.38	24.90
Mayıs	0.25	134.55	7.46	5.06	0.87	4.18	17.38	13.38	0.74	10.09	26.43	20.44	0.63	15.05
	0.50	175.57	7.73	5.46	0.97	4.39	16.74	12.95	0.78	9.41	25.36	18.95	0.62	13.72
	0.75	231.20	6.83	5.08	0.96	4.10	18.38	13.68	0.86	10.35	31.06	24.82	0.75	18.28
Haziran	0.25	86.31	2.45	1.52	1.00	1.34	6.48	4.78	0.94	3.98	9.78	7.79	0.95	6.33
	0.50	102.87	2.26	1.44	0.74	1.26	5.97	4.53	0.56	3.70	9.79	7.94	0.37	6.35
	0.75	132.61	2.38	1.52	0.94	1.34	7.08	5.30	0.88	4.45	9.79	8.17	0.73	6.51
2008-2012	0.25	86.47	9.27	5.12	0.93	4.42	20.83	14.10	0.78	11.26	30.43	21.37	0.63	16.65
	0.50	130.40	10.77	6.08	0.98	5.25	22.90	15.75	0.85	12.56	33.16	23.60	0.69	18.32
	0.75	204.07	12.15	7.43	0.92	6.37	24.59	17.84	0.77	13.90	36.64	26.94	0.71	20.69

Şekil 4.7’de ise 2008-2012 yıllarında hata düzeltme öncesi ve sonrasında yapılan akım tahminlerinin performans analizleri aylık ve tüm dönemlik olarak sunulmuştur.



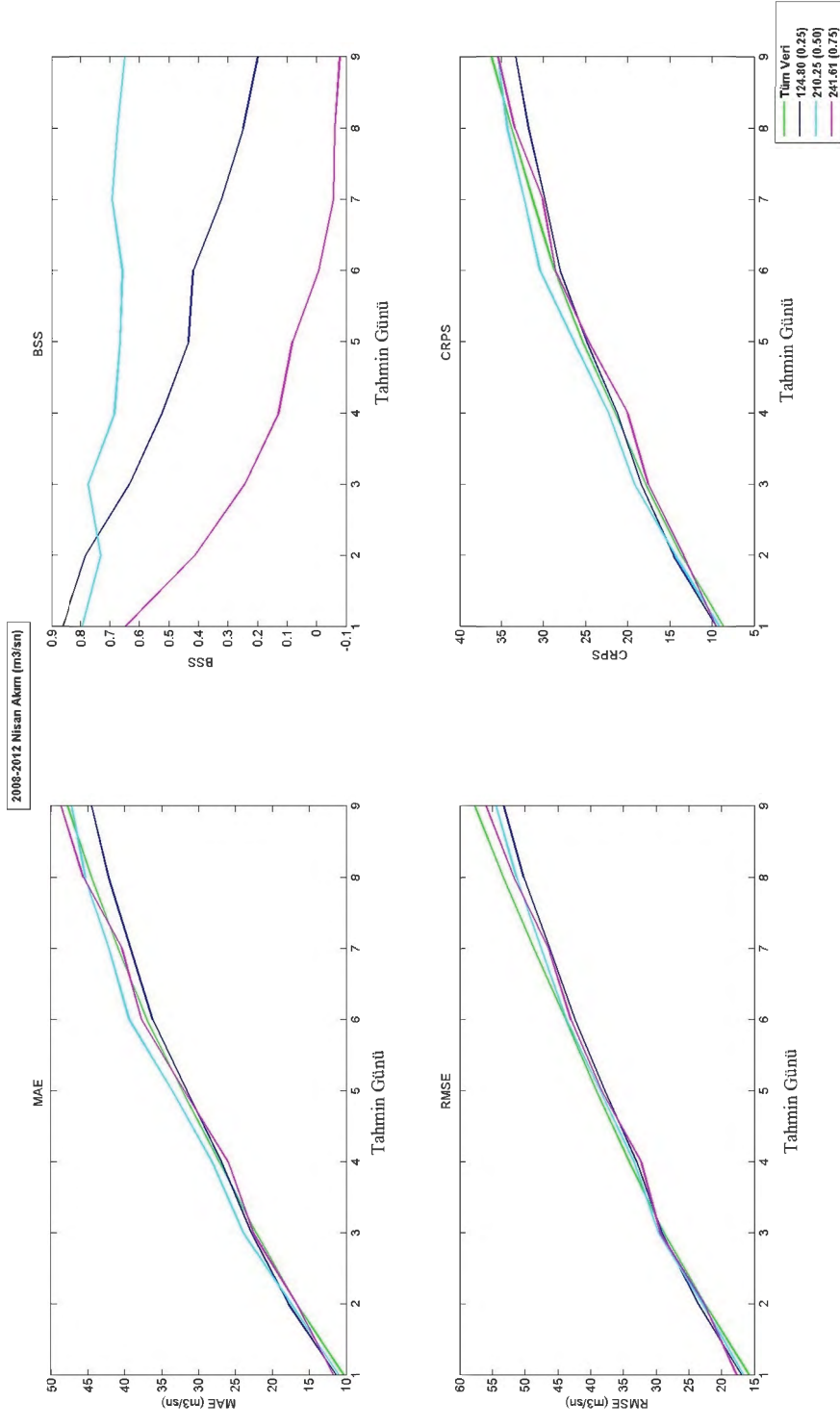
a) Mart ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları



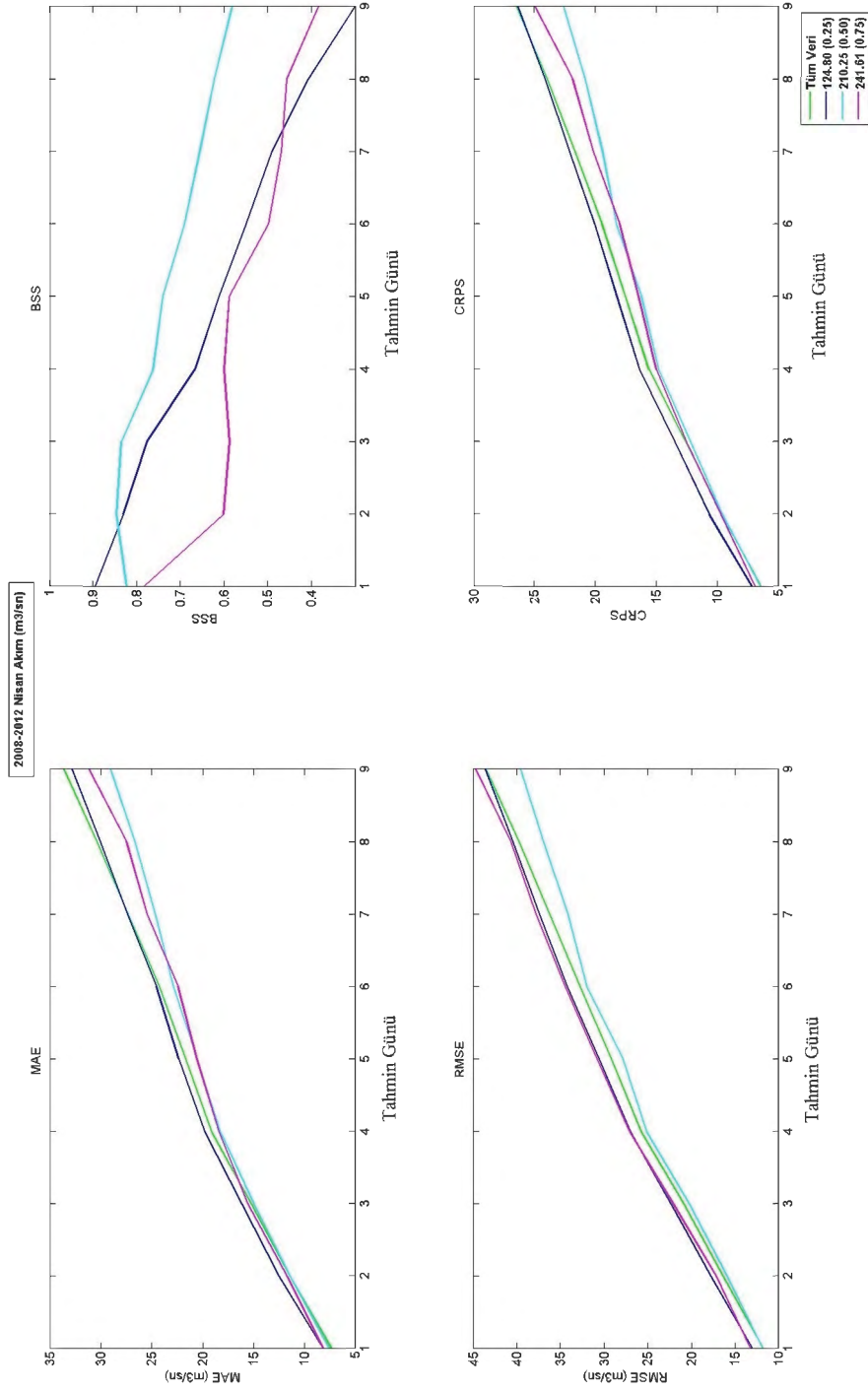
b) Mart ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



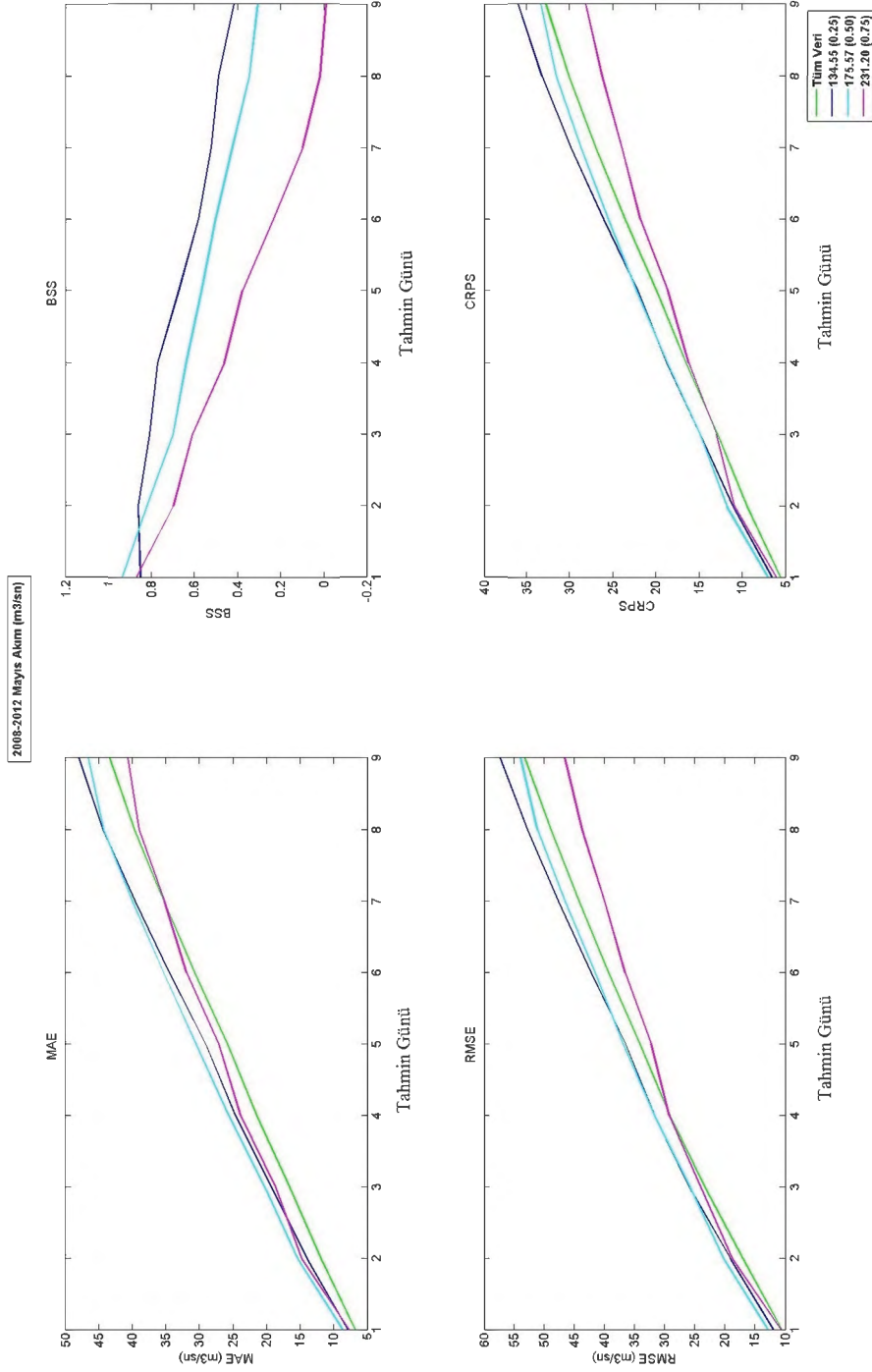
c) Nisan ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



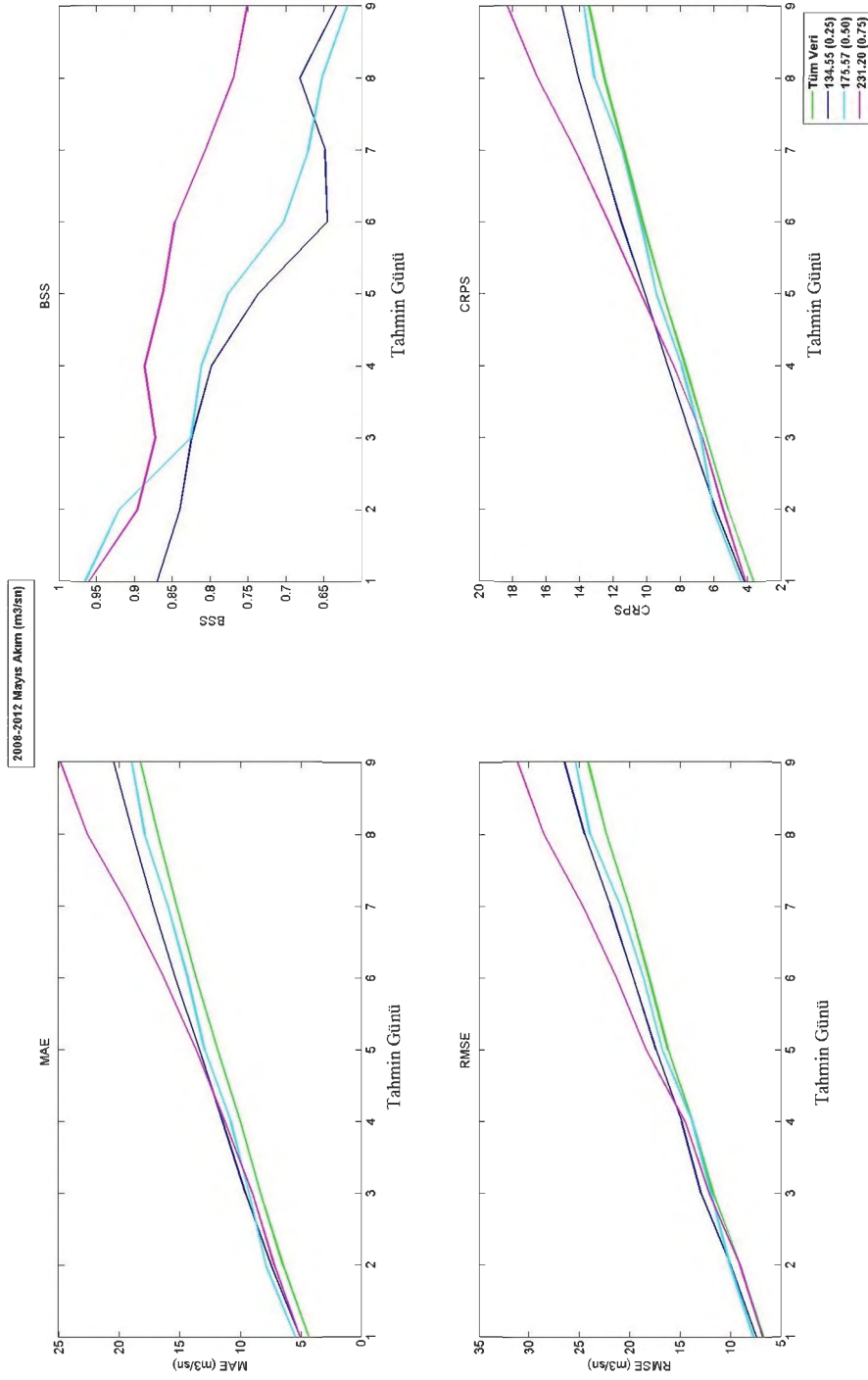
d) Nisan ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



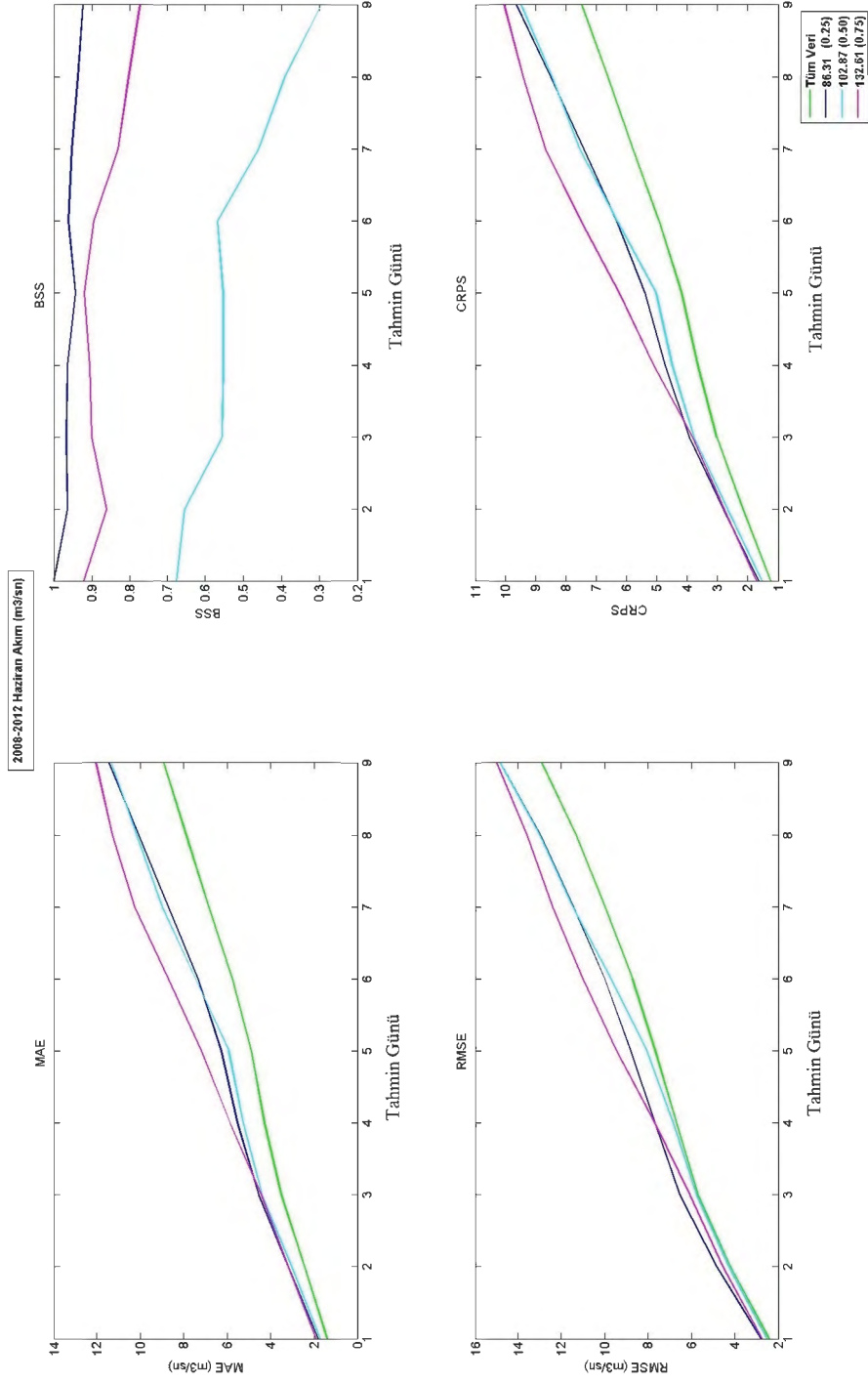
e) Mayıs ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



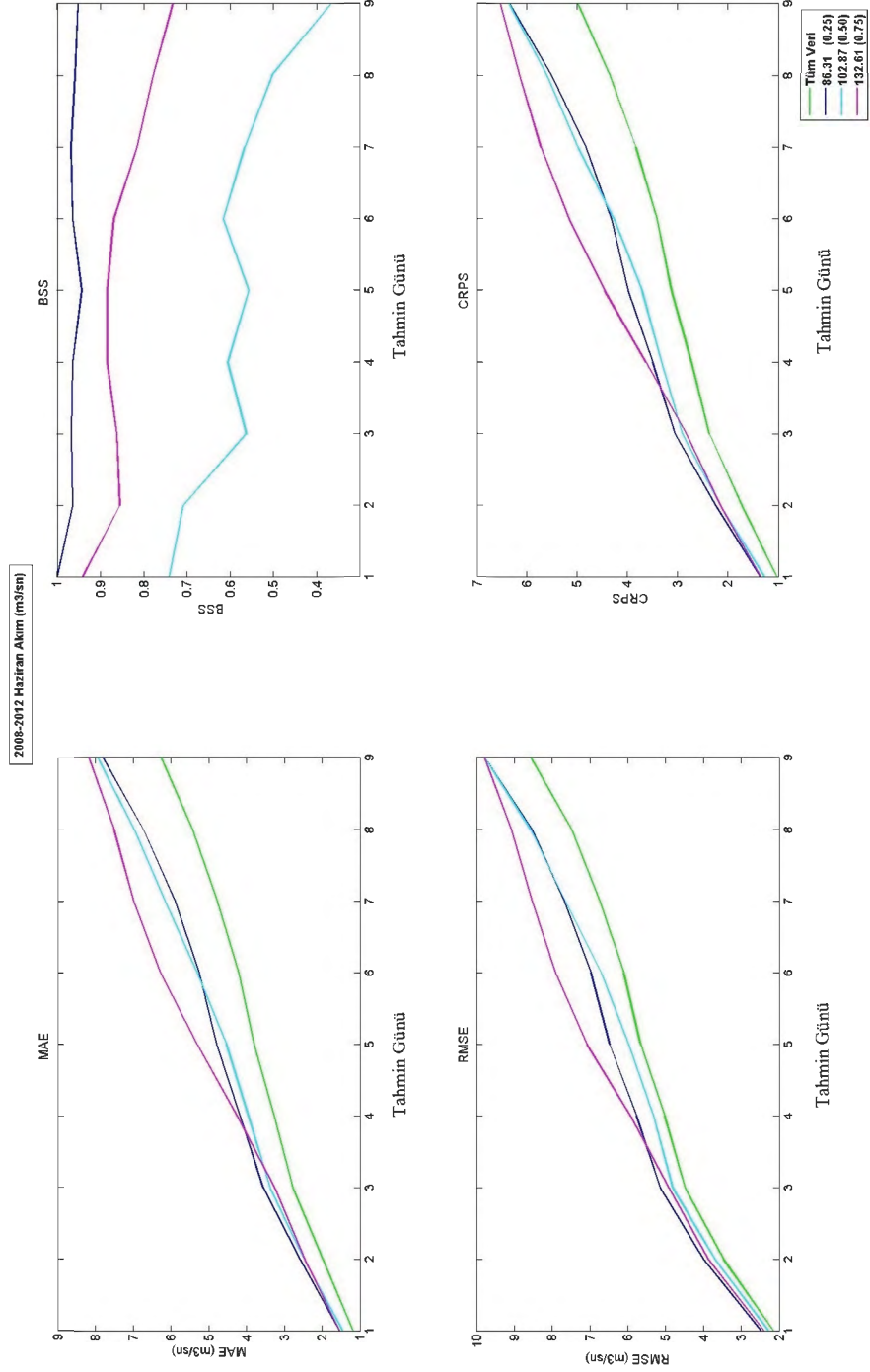
f) Mayıs ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



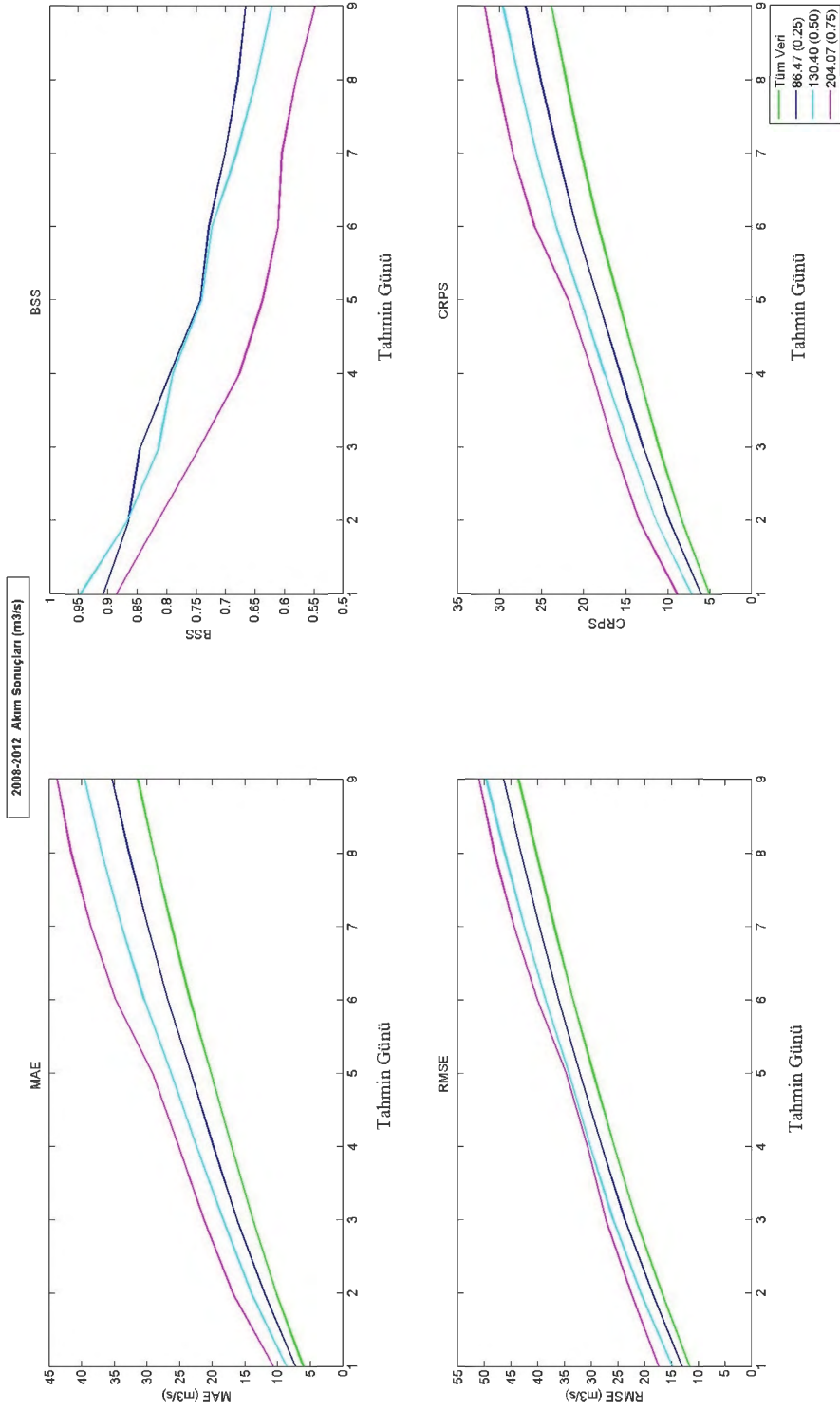
g) Haziran ayı (2008-2012) hata düzeltme öncesi performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



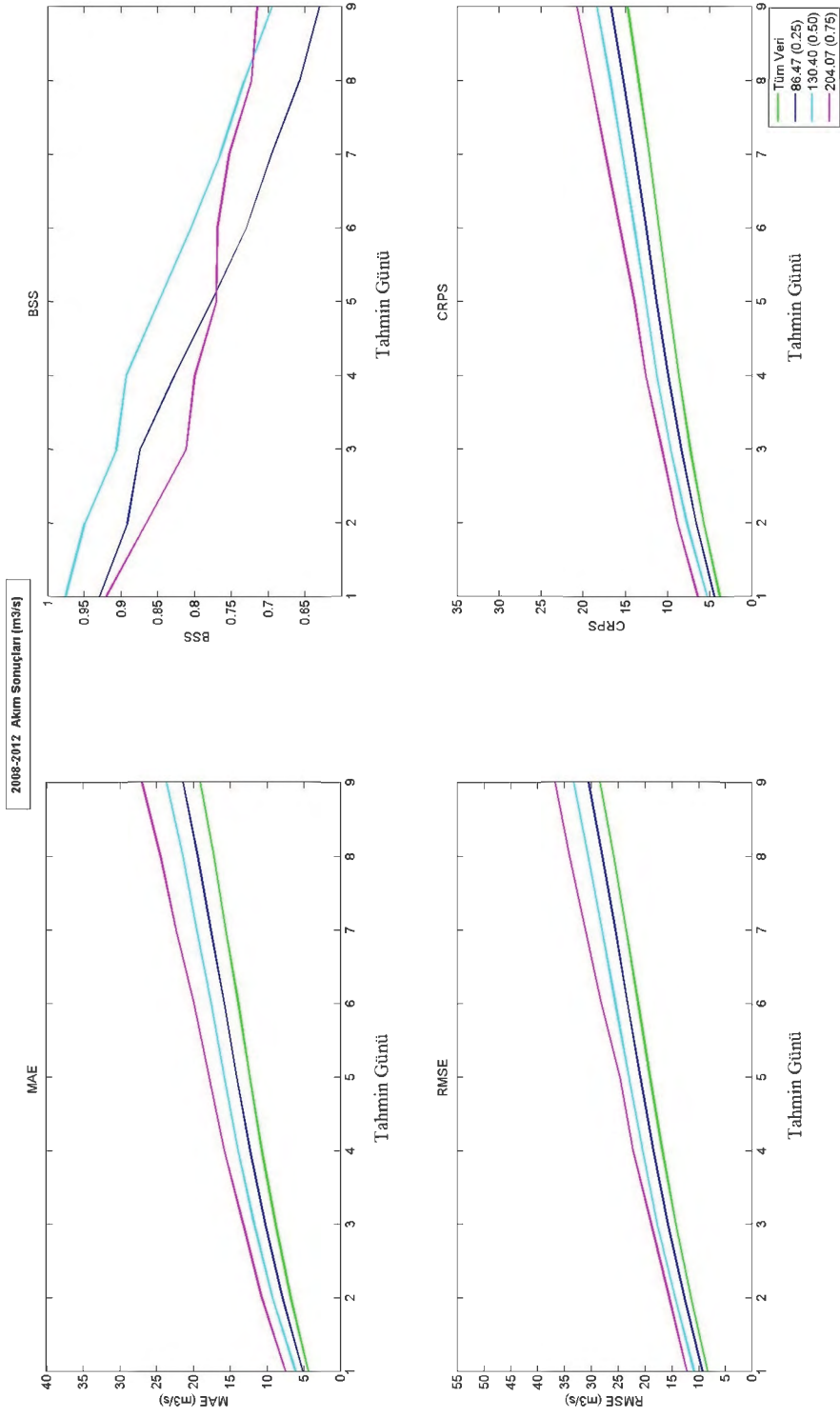
h) Haziran ayı (2008-2012) hata düzeltme sonrası performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



i) 2008-2012 yılları hata düzeltme öncesi performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)



j) 2008-2012 yılları hata düzeltme sonrası performans sonuçları

Şekil 4.8 Akım tahmini performans sonuçları (devam)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerindeki kar erimesinin meydana getirdiği akımlar, bahar ve ilk yaz ayları süresince yıllık toplam akım hacminin yaklaşık 2/3'ünü oluşturması sebebiyle büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, özellikle büyük barajların bulunduğu Fırat Havzası'nda kış aylarında biriken kar miktarının alansal ve zamansal olarak takip edilmesi ülkenin su kaynaklarının verimli şekilde kullanılması için dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Bu çalışmayı yenilikçi kılan en büyük özelliği, son yıllarda dünyada ve özellikle Avrupa ülkelerinde sıkça kullanılmaya başlanan ancak ülkemizde henüz hidrolojik çalışmalarda uygulaması bulunmayan olasılıklı sayısal tahmin verilerinin (EPS) hidrolojik modelleme ile akım tahmin sistemi içinde kullanılmasıdır.

Çalışmada amaçlandığı gibi, Türkiye için büyük önem arz eden Yukarı Fırat (Karasu) Havzasında, 2008-2012 yıllarında erime dönemi olan 122 günlük Mart-Haziran periyodu için Ensemble Tahmin Sistemi ile 1-9 gün ileriye dönük akım tahminleri yapılmıştır.

ECMWF'in ürettiği 28 km/grid çözünürlüğe (T639/N320) sahip EPS verisi kullanılmıştır. İndirilen bu tahmin verilerinin arşivlenmesinin ardından, EVS programı kullanılarak tahmin verilerinin yer gözlem değerleri ile tutarlılığı incelenmiştir. Programda bulunan 18 farklı istatistiksel yöntem ile performans analizleri yapılmıştır. Bu sonuçların hepsinin verilmesi zor olacağı için, daha yaygın kullanıma sahip ve kolay yorumlanabilir olan RMSE, MAE, BSS ve CRPS sonuçları sunulmuştur.

EPS meteorolojik tahmin verilerine hata düzeltme çalışması uygulayabilmek için FEWS platformunda kodlar hazırlanmıştır. Çapraz doğrulama yöntemi ile 2008-2012 yılları arasındaki bütün EPS verileri için lineer ölçekleme ve değer odaklı ölçekleme metotları ile hata düzeltmesi yapılmıştır. Bu düzeltmelerden sonra yeni EPS verilerinin performans analizleri sunulmuştur.

FEWS platformunda hazırlanan HBV hidrolojik modelinin kalibrasyon çalışması yapılmıştır. 2001-2007 yılları arasında uygulanan kalibrasyon çalışması sonucunda $R^2 = 0.83$ olan parametre seti elde edilmiştir. Çalışma periyodu olan 2008-2012 tarihlerindeki doğrulama çalışması ise $R^2 = 0.75$ değerini vermektedir. Tahmin çalışmalarında kullanılan HBV modeli EPS tahmin verilerinin kullanılabilmesi için uygun formata dönüştürülmüştür. Bu işlemin ardından, ham EPS verisi kullanılarak ileriye dönük 1-9 günlük akım tahminleri yapılmış, akım tahminlerinin model simülasyonu ile olan tutarlılığının performans değerlendirilmesi için EVS programı kullanılarak hazırlanmıştır. Düzeltilmiş EPS verileri ile akım tahminleri tekrar yapılmıştır ve son olarak, düzeltilmiş EPS verisi ile yapılan akım tahminlerinin de model simülasyonu ile performans analizi sunulmuştur.

Hata düzeltme çalışmalarının uygulanmasının ardından, özellikle sıcaklık ve akım tahminlerinin yer gözlemleri ile olan tutarlılıkları önemli ölçüde artmıştır. 2008-2012 dönemi için tüm verilere ve sonuçlara bakıldığı zaman, 1.tahmin günleri için RMSE sonuçlarında yağış için %15, sıcaklık için %52 ve akım için %30 oranında iyileşme gerçekleşmiştir.

Ensemble tahmin sistemine dayalı akım tahmin çalışması ülkemiz literatüründe ilk kez yapılan bir çalışmadır. Dolayısıyla gerek bu çalışmanın ve bu konuyla ilgili gelecek çalışmaların operasyonel akım tahmini çalışmaları adına önemi büyüktür. Bu nedenle bu tez çalışmasında elde edilen tecrübeler ve kazanımlar ile birlikte ileriye dönük çalışmaların planlanması gerekmektedir.

Model kalibrasyon çalışması ne kadar iyi olursa olsun simülasyon ile gözlenmiş akım arasında hatalar bulunmaktadır. Bu model hataları EPS verisi ile yapılan akım tahmini sonuçlarının gözlenen akımdan uzakta kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle model kalibrasyonundan da ileriye gidilerek veri asimilasyonu uygulanması ile model hatalarının minimize edilmesi yoluna gidilebilir.

Hata düzeltme çalışmalarında yağış ve sıcaklık verisi için kullanılan lineer ölçekleme yöntemi, gerek meteorolojik veri için gerekse de akım tahminleri için iyileştirici yönde oldukça etkili olmuştur. Sadece bu yöntem değil başka hata düzeltme yöntemlerinin de uygulaması yapılarak, farklı yöntemlerin iyileştirmeye yaptıkları katkılar belirlenmelidir.

Ülkemizde EPS'e dayalı olasılık odaklı akım tahmini çalışması için bir ilk olma niteliği taşıyan bu çalışma ile birlikte ilerleyen çalışmaların geliştirici etkisiyle, EPS tahmin verisine dayalı orta vadeli akım tahminleri operasyonel anlamda kullanılmaya başlanması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

AFP-97-03-03-09 Projesi (Mayıs 1997 – Aralık 1998), *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Tekniklerinin Hidrolojik Modellere Uygulanarak Taşkınların Ön Tahmini*, ODTÜ, Ankara.

AFP-98-03-03-01 Projesi (Mayıs 1998 – Aralık 1999), *Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistem (CBS) Teknikleri Kullanılarak Alansal Dağılımlı Hidrolojik Model Uygulamaları*, ODTÜ, Ankara.

Albostan, A., Önöz, B. (2010), *Seasonality measurement of fow-flows:Mid-Euphrates Basin example*, 9th Advances in Civil Engineering Conference, 27-30 Eylül, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Anna, J., Goran, L., Jonas, O. (2007), *Deterministic evaluation of ensemble streamflow predictions in Sweden*, Nodric Hydrology, Vol.38, No.4-5, 441-450.

Anonim (2008), *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, <http://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/sayisalnedir.pdf>

Aytemiz, L., Kodaman, T. (2006), *Sınır Aşan Sular Kullanımı ve Türkiye – Suriye İlişkileri*, TMMOB Su Politikaları Kongresi, Ankara.

BAP-03-03 DPT 2001K120990 (Mayıs 2001- Aralık 2004), *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Teknolojileri Kullanılarak Yersel ve Zamansal Dağılımlı Havza Hidrolojik Modellemesi ve Uygulamaları (Yukarı Fırat Havzası)*, ODTÜ, Ankara.

BAP-03-03 DPT 2003K120920-01 (Mayıs 2003 – Mayıs 2005), *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Teknolojilerinin Geliştirilmesi ve Kullanımı: Yersel ve Zamansal Dağılımlı Havza Hidrolojik Model Uygulamaları (Yukarı Fırat Havzası)*, ODTÜ, Ankara.

BAP-070212 (Haziran 2007 - Haziran 2009), *Doğu Anadolu Bölgesinde uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alanlar ve izotop teknikleri kullanılarak hidrolojik modellemede etki çalışmaları*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

BAP-1207F117 (2012-2014), *Türkiye'nin Dağlık Doğu Bölgelerinde Harmanlanan Uydu Görüntüleriyle Bulut Azaltma Yöntemleri ve Doğrulaması*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

BAP-1404F149 (2014), *Kar erimesine bağlı akımların yapay sinir ağları ile modellenmesi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

BAP-1307F284 (2013-2015), *Hidrolojik ensemble tahmin sisteminin uygulanması*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Berglöv, G., German, J., Gustavsson, H., Harbman, U. ve Johansson, B. (2009), *Improvement HBV model Rhine in FEWS Final report*, No 112, Koblenz, Germany.

Bergström, S. (1976), *Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments*. Ph.D. Thesis. SMHI Reports RHO No. 7, Norrköping, Norway.

Bergström, S., Lindström, G., Pettersson, A. (2002), *Multi-variable parameter estimation to increase confidence in hydrological modeling*, Hydrological Processes, 16, 413-421.

Beşer, Ö. (2002), *The Use of SSM / I for Snow Mapping Over the Eastern Part of Turkey*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.

Bradley, A. A., Schwartz, S. S., Hashino, T. (2003), *Distributions-Oriented verification of ensemble streamflow predictions*, Journal of Hydrometeorology, Vol.5, 532-545.

Brier, G.W. (1950), *Verification of forecasts expressed in terms of probability*, Monthly Weather Review 78, 1–3.

Brown, J.D., Heuvelink, G. (2005), *Assessing uncertainty propagation through physically based models of soil water flow and solute transport*, In Anderson, M. (ed.) The Encyclopedia of Hydrological Sciences, John Wiley and Sons, 1181–1195, Chichester, England.

Brown, L., Thorne, R., Woo, M.K. (2008), *Using satellite imagery to validate snow distribution simulated by a hydrological model in large northern basins*, Hydrological Processes, (early review) online basım.

Brown, J.D., Demargne, J., Seo, D.J., Liu, Y. (2010), *The Ensemble Verification System (EVS) A software tool for verifying ensemble forecasts of hydrometeorological and hydrologic variables at discrete locations*, Environmental Modelling & Software, 25, 854-872.

Buizza, R., Miller, M., Palmer, T.N. (1999), *Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 125 (560), 2887–2908.

Crawford, N. H., Linsley, R. K. (1966), *Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV*, Department of Civil Engineering Technical Report 39, Stanford University, Palo Alto, California.

- Garen, D. C., Johnson, G. L., Hanson, C. L. (1994), *Mean areal precipitation for daily hydrologic modeling in mountainous regions*, Water Resources Bulletin 30, 481-491.
- Gneiting, T., Raftery, E. A., Wetveld, H. A., Goldman T. (2004), *Calibrated Probabilistic Forecasting Using Ensemble Model Output Statistics and Minimum CRPS Estimation*, Monthly Weather Review, Vol 133, 1098-1118.
- Gözel, E. (2011), *Yukarı Fırat Havzasında Kar Suyu Potansiyelinin Dönemsel ve Akımların Günlük Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Gupta, H.V., Beven, K.J., Wagener, T. (2005), *Model calibration and uncertainty estimation*, In Anderson, M. (Ed.), The Encyclopedia of Hydrological Sciences, John Wiley & Sons, 2015-2032, Chichester, England.
- He, Y., Wetterhall, F., Hongjun, B., Cloke, H., Li, Z., Pappenberger, F., Hu, Y., Manful, D., Huang, Y. (2010), *Ensemble forecasting using TIGGE for the July–September 2008 floods in the Upper Huai catchment: a case study*, Atmospheric Science Letters, Vol:11, 132-138, doi: 10.1002/asl.270.
- Johansson, B., Caves, R., Ferguson, R., Turpin, O. (2001), *Using remote sensing data to update the simulated snow pack of the HBV runoff mode*,. In: Remote Sensing and Hydrology, IAHS publ., No. 267, 595-597.
- Jonsdottir J.F., Sorarinsson J.S. (2004), *Comparison of HBV models driven with weather station data and with MM5 meteorological model data*, Orkustofnun Hydrological Services, Report No. OS-2004/017.

- Kaya, I. (1999), *Application of Snowmelt Runoff Model Using Remote Sensing and Geographic Information Systems*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara.
- Komma, J., Reszler, C., Blöschl, G., Haiden, T. (2007), *Ensemble prediction of floods – catchment non-linearity and forecast probabilities*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 7, 431–444.
- Kunstmann, H., Stadler, C. (2005), *High resolution distributed atmospheric-hydrological modeling for Alpine catchments*, Journal of Hydrology, 314, 105-124.
- Liu, Y., Duan, Q., Zhao, L., Ye, A., Tao, Y., Miao, C., Mu, X., Schaake, J. C. (2013), *Evaluating the predictive skill of post-processed NCEP GFS ensemble precipitation forecasts in China's Huai river basin*, Hydrological Processes, Vol 27, 54-74.
- Lorenz, E. (1969), *The predictability of a flow which contains many scales of motion*, Tellus A 21, 289–307.
- Marks, D., Dozier, J., Davis, R. (1992), *Climate and energy exchange at the snow surface in the Alpine region of the Sierra Nevada 1. Meteorological measurements and monitoring*, Water Resources Research, Vol.28, No. 11: 3029-3042.
- Martinec, J. (1975), *Snowmelt runoff model for streamflow forecasts*, Nordic Hydrology, 6: 145– 154.
- Martinec, J., Rango, A., Roberts, R. (1998), *The Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual*, Geographica Bernensia, P29, Department of Geography, University of Berne, Berne, Switzerland.

- Meiyan, Y., Chen, X., Lanhai, L., Anming, B., Munpenzi, J. D. L. (2013), *Incorporating accumulated temperature and algorithm of snow cover calculation into the snowmelt runoff model*, Hydrological Processes, 27, 3589-3595.
- Nagler, T., Helmut, R., Petra, M., Florian, M. (2008), *Assimilation of meteorological and remote sensing data for snowmelt runoff forecasting*, Remote Sensing of Environment, 112, 1408-1420.
- NATO SfS 96-01-055 TU-REMOSENS (1996 – 2000), *Establishment of satellite based observation and its applications in Turkey –NATO Consultant*, NVE, Norway.
- Nester, T., Kirnbauer, R., Parajka, J., Blöshl, G. (2012), *Evaluating the snow component of a flood forecasting model*, Hydrology Research, 43.6, 762-779.
- Ohara, N., Kavvas, M., Anderson, M., Richard Chen, Z., Yoon, J. (2011), *Water Balance Study for the Tigris-Euphrates River Basin.*, *J. Hydrol. Eng.* 16, SPECIAL ISSUE: Modeling of Hydroclimate and Climate Change, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000209, 1071–1082.
- Pappenberger, F., Beven, K. J., Hunter, N. M., Bates, P. D., Gouweleeuw, B. T., Thielen, J., Roo, P. J. (2005), *Cascading model uncertainty from medium range weather forecasts (10 days) through a rainfall–runoff model to flood inundation predictions within the European Flood Forecasting System (EFFS)*, Hydrology and Earth System Sciences 9 (4), 381–393.
- Pappenberger, F., Cloke, H. L. (2009), *Ensemble flood forecasting: A Review*, Journal of Hydrology, 375, 613–626.

- Renate, H., Thomas, M., H., Jeffrey S., W. (2007), *Probabilistic Forecast Calibration Using ECMWF and GFS Ensemble Reforecasts. Part I: Two-Meter Temperatures*, Monthly Weather Review , Vol: 136, 2608-2619.
- Roo, P.J., Pappenberger, F., Gouweleeuw, B. (2003), *Development of a European flood forecasting system*, International Journal of River Basin Management, 1, 49-59.
- Roo P.J., Gouweleeuw B.T., Thielen J., Franchello G., Buizza R. (2005), *Flood forecasting using medium-range probabilistic weather prediction*, Hydrology and Earth System Sciences, 9(4), 365-380.
- Roulin, E. ve Stephane, V. (2005) *Skill of medium-range hydrological ensemble predictions*, Journal of Hydrometeorology, Vol.6, pp.729-744.
- Roulin, E. (2007), *Skill and relative economic value of medium-range hydrological ensemble predictions*, Hydrology and Earth System Sciences, 11, 725-737.
- Schwanenberg, D. (November-2012), *HBV Replacement Project*, Universität Duisburg-Essen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Essen, Germany.
- Singh, V.P. (1995), *Computer models of watershed hydrology*, Water Resources Pub., 1130.
- Singh, V.P., Frevert, D.K. (2002a), *Mathematical models of large watershed hydrology*, Water Resources Pub., 891.
- Singh, V.P., Frevert, D.K. (2002b), *Mathematical models of small watershed hydrology and applications*, Water Resources Pub., 950.

SMHI (1996), *Integrated hydrological modeling system manual, Version 4.0, IHMS*, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden.

SMHI (2012), *Integrated Hydrological Modeling System Manual Version 6.3, IHMS*, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden.

Şen, O. L., Unal, A., Bozkurt, D., Kindap, T. (2011), *Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections*, Environ. Res. Lett., Vol 6, 024012, 9.

Şen, Ö. L. (2011), *Orta Fırat Havzası için bir atmosfer-hidroloji modelleme sistemi*, 5.Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Orhantepe, İstanbul.

Şensoy, A. (2000), *Spatially Distributed Hydrologic Modeling Approach Using Geographic Information Systems*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.

Şensoy, A. (2005), *Physically Based Point Snowmelt Modeling and Its Distribution in Upper Euphrates Basin*, Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara.

Şensoy, A., Uysal, G. (2012), *The Value of Snow Depletion Forecasting Methods Towards Operational Snowmelt Runoff Estimation Using MODIS and Numerical Weather Prediction Data*, Water Resources Management, 26(12),3415-3440, doi 10.1007/s11269-012-0079-0.

Şensoy, A., Parajka, J., Çoskun, C., Sorman, A., Ertas, C. (2014a), *Quantifying the performance of two conceptual models for snow dominated catchments in Austria and Turkey*, Vol. 16, EGU2014-10421, Vienna, Austria.

Şensoy, A., Schwanenberg, D., Şorman, A. A., Akkol, B., Montero, A. R., Uysal, G. (2014b), *Assimilating H-SAF and MODIS Snow Cover Data into the Conceptual Models HBV and SRM*, Vol. 16, EGU2014-10240, Vienna, Austria.

Şorman, A. A., (2005), *Use of Satellite Observed Seasonal Snow Cover in Hydrological Modeling and Snowmelt Runoff Prediction in Upper Euphrates Basin, Turkey*, Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara.

Şorman, A. A., Şensoy, A., Tekeli, A. E., Şorman, A. Ü., Akyürek, Z. (2009), *Modelling and forecasting snowmelt runoff process using the HBV model in the eastern part of Turkey*, Hydrological Processes 23, 1031–1040.

Tekeli, A. E. (2000), *Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems on Snow Hydrology Modeling*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.

Tekeli, A. E. (2005), *Operational hydrological forecasting of snowmelt runoff by remote sensing and geographic information systems integration*, Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara.

Tekeli, A. E., Akyürek, Z., Şorman, A. A., Şensoy, A., Şorman, A. Ü. (2005), *Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey*, Remote Sensing of Environment, 216-230.

Tekeli, A. E., Şensoy, A., Şorman, A. A., Akyürek, Z., Şorman, A. Ü. (2006), *Accuracy assessment of MODIS daily snow albedo retrievals with in situ measurements in Karasu basin, Turkey*, Hydrological Processes, Vol. 20, 705-721.

Teutschbein, C., Seibert, J. (2012), *Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods*, Journal of Hydrology, 456-457, 12-29.

TÜBİTAK (108Y161) (Kasım 2008 –Mayıs 2011), *Yukarı Fırat Havzasında, arazi ölçümleri, uydu teknolojileri, hava tahmin verileri ve hidrolojik modeller kullanılarak, kar potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük tahmini*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

TÜBİTAK (113Y075) (Eylül 2013 –Eylül 2015), *Dağlık Fırat ve Seyhan Havzalarında EPS ve Uydu Verileri ile Operasyonel Hidrolojik Tahmin Sisteminin Geliştirilmesi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Uysal, G., Şorman, A. A., Şensoy, A. (2014), *Contribution of MODIS Derived Snow Cover Satellite Data into Artificial Neural Network for Streamflow Estimation*, Vol. 16, EGU2014-9581-1, Vienna, Austria.

Uzunoğlu, E. (1999), *Application of the SLURP Model in Snowmelt Runoff Modeling Using RS/GIS*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.

WMO (1975), *Intercomparison of conceptual models used in hydrological forecasting*, Operational Hydrology Technical Report No: 7, WMO, Geneva, Switzerland.

WMO (1986), *Intercomparison of models of snowmelt runoff*, Publication No. 646, Operational Hydrology Report No. 23, WMO, Geneva, Switzerland.

WMO (1992), *Simulated real-time intercomparison of hydrological models*, Publication No. 779, Operational Hydrology Report No. 38, WMO, Geneva, Switzerland.

WMO (1999), *Areal modeling in hydrology using remote sensing data and geographical information system*, Publication No. 885, Operational Hydrology Report No. 44, WMO, Geneva, Switzerland.

Yamankurt, E. (2010), *Harmanlanan Uydu Görüntülerinin Karla Kaplı Alanlar Üzerindeki Etkisi ve Türkiye'nin Yukarı Fırat Havzası'nda Dönemsel Kar Potansiyelinin Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Zeilew, M., B., Alfredsen, K. (2013), *Sensitivity-guided evaluation of the HBV hydrological model parameterization*, Journal of Hydroinformatics, 15.3, 967-990.

<http://www.ecmwf.int/>

<http://www.eea.europa.eu/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Brier_score

<http://www.eumetcal.org/>

<http://www.mgm.gov.tr/>

<http://www.ncdc.noaa.gov/wct/>

<http://www.nws.noaa.gov/>