



**YUKARI ARAS HAVZASI'NDA OTOMATİK
KALİBRASYON YÖNTEMİ İLE ÇOK
KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME VE
TAHMİN ÇALIŞMASI**

Yüksek Lisans

Didem ÖZKAN

Eskişehir, 2019

**YUKARI ARAS HAVZASI'NDA OTOMATİK KALİBRASYON YÖNTEMİ İLE
ÇOK KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME VE TAHMİN ÇALIŞMASI**

Didem ÖZKAN

YÜKSEK LİSANS

**İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Ali Arda ŞORMAN**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kasım, 2019**

Bu tez çalışması TÜBİTAK 2211C- Yüksek Lisans Öncelikli Alanlar bursu kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Didem ÖZKAN'ın "Yukarı Aras Havzası'nda Otomatik Kalibrasyon Yöntemi ile Çok Kriterli Hidrolojik Modelleme ve Tahmin Çalışması" başlıklı tezi 07/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı – Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN
Üye	: Doç. Dr. Tuğrul YILMAZ
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Gökçen UYSAL

Prof. Dr. Murat TANIŞLI
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

YUKARI ARAS HAVZASI'NDA OTOMATİK KALİBRASYON YÖNTEMİ İLE ÇOK KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME VE TAHMİN ÇALIŞMASI

Didem ÖZKAN

İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kasım 2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN

Değişen yağış-akış ilişkileri ve artan nüfusa bağlı doğan su ve enerji ihtiyacı su kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle kar ve su potansiyeli yüksek havzalar ile baraj rezervuarlarında hidrolojik model destekli planlama ve tahmin çalışmaları önem kazanmaktadır. Buralarda geliştirilecek erken uyarı sistemleri sayesinde taşkın/kuraklık gibi olaylar en aza indirilebilir ve etkin hazne işletimi yapılabilir.

Su kaynakları yönetiminde ilk basamak havzadan gelebilecek suyu en doğru şekilde modellemek ve tahmin etmektir. Bu çalışmada kavramsal bir hidrolojik model (HBV) kullanılarak Yukarı Aras Havzası'nda yağış-akış modellemesi gerçekleştirilmiştir. Ancak modelin sadece çıktı olarak akımı temsil edebilmesinden ziyade içsel işleyişinin de doğru çalışması önemlidir. Bu aşamaları doğrulayabilecek en güvenilir yöntemlerden birisi uzaktan algılamadır. Uydulardan elde edilen kar ve toprak nemine ait görüntülerle çok kriterli bir hidrolojik modelleme yapısı oluşturulmuştur. Uydu ve yer gözlem verisi bulanık mantık çerçevesinde kurgulanarak Genetik Algoritma optimizasyon yöntemi ile kalibre edilmiş ve en uygun model parametre setleri bulunmuştur. Ardından sayısal hava tahmin verisi hidrolojik modele girdi oluşturularak havzada kısa vadeli akım tahmin çalışması yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar ve sonuçları, seçilen bölge üzerindeki kavramsal hidrolojik modelleme çalışmalarına bir örnek olup, kar ağırlıklı benzer havzalar için öncülük etme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Sözcükler: Hidrolojik Modelleme, HBV, Uydu Görüntüleri, Genetik Algoritma, Akım Tahmini, Aras Havzası

ABSTRACT

MULTI CRITERIA HYDROLOGICAL MODELLING AND FORECASTING USING AN AUTOMATIC CALIBRATION METHOD IN UPPER ARAS BASIN

Didem ÖZKAN

Department of Civil Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, November 2019

Supervisor: Asst. Prof. Ali Arda ŞORMAN

Changing precipitation-flow relationships and the need for water and energy due to increasing population indicate an efficient and effective use of water resources. For this reason, hydrological model supported planning and forecasting studies in basins with high snow and water potential including dam reservoirs gain importance. In such areas, setting up early warning systems may minimize flood/drought occurrences as well as increase efficiency in reservoir operations.

The first step in water resources management is to model and estimate the water coming from the basin in the most accurate way. In this study, a conceptual hydrological model (HBV) is used to determine precipitation-flow modeling in the Upper Aras Basin. However, it is important that the internal functioning of the model works correctly rather than simply representing the runoff as output. One of the most reliable methods to verify these steps is remote sensing. A multi-criteria hydrological modeling structure is formed utilizing data from snow and soil moisture satellite images. The most suitable model parameter sets are found by automatically calibrating satellite and ground observations using Genetic Algorithm optimization within fuzzy logic framework. Afterwards, short-term runoff prediction is conducted in the pilot basin with the integration of numerical weather forecast data and hydrological model.

The study performed and the results achieved serve as an example of the conceptual hydrological modeling on the selected region and have the potential to lead for similar snow dominated basins.

Keywords: Hydrological Modelling, HBV, Satellite Images, Genetic Algorithm, Runoff Forecast, Aras Basin

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında destek olan saygıdeğer hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN ve Prof.Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN'a,

Desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocalarım Araç. Gör. Cansaran ERTAŐ ve Dr. Öğr. Üyesi Gökçen UYSAL'a

Çalışmamı desteklendiği için TÜBİTAK BİDEB'e,

Aileme teőekkürü bir borç bilirim.

Didem ÖZKAN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
Didem ÖZKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın Kapsamı.....	3
2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ.....	5
2.1. Literatür.....	5
2.2. Aras Nehri.....	6
2.3. Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri	7
2.4. Hidro-Meteorolojik Veri	14
2.5. Kar verisi.....	23
2.6. Toprak nemi verisi	29
3. MODEL.....	31
3.1. Literatür.....	32
3.2. HBV-Light	34
3.3. Model Girdileri.....	39
3.4. Genetik Algoritma.....	40
3.5. Monte-Carlo.....	42
4. MONTE-CARLO İLE BELİRSİZLİK ve HASSASİYET ÇALIŞMALARI	43

4.1. Literatür.....	43
4.2. Hassasiyet Analizi	45
4.3. Belirsizlik Analizi	51
5. PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ VE KARLA KAPLI ALAN İLE ÇOK KRİTERLİ YAPI.....	60
5.1. Literatür.....	60
5.2. Çalışmalar.....	61
6. GENETİK ALGORİTMA OPTİMİZASYONU İLE KARLA KAPLI ALAN, AKIM VE ZEMİN NEMİ VERİSİNİ BULANIK MANTIK İLE BİRLEŞTİRME	71
6.1. Literatür.....	71
6.2. Çalışma.....	74
7. AKIM TAHMİN SİSTEMLERİ	80
7.1. Literatür.....	80
7.2. Hava Tahmin (SHT) Verisi Temini ve İşlenmesi	80
7.3. Sayısal Hava Tahmin Verisinin Hidrolojik Model Entegrasyonu.....	85
8. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	90
KAYNAKÇA.....	93
ÖZGEÇMİŞ	101

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Çalışma akış şeması	4
Tablo 2.1. Havzanın ve zonların yükseklik alan verileri	9
Tablo 2.2. Havzanın her bir yükseklik sınıfı için eğim değerleri	12
Tablo 2.3. Havzanın her bir yükseklik sınıfı için bakı değerleri	13
Tablo 2.4. Arazi kullanım verileri	13
Tablo 2.5. Havza çevresinde bulunan istasyonlar ve özellikleri	16
Tablo 2.6. İstasyon Thiessen oranları	17
Tablo 2.7. Her yılın toplam yağış miktarı (mm).....	17
Tablo 2.8. Aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C).....	18
Tablo 2.9. Aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C).....	19
Tablo 2.10. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri (°C).....	20
Tablo 2.11. Aylık ortalama akım değerleri (m ³ /s)	22
Tablo 3.1. HBV model parametreleri ve açıklamaları	37
Tablo 3.2. HBV performans kriterleri ve açıklamaları	38
Tablo 4.1. TT parametresi normalizasyonu.....	46
Tablo 4.2. Her parametrenin farklı başarı kriterleri için %50 ve %80 diliminde bulunma aralıkları	55
Tablo 4.3. Belirsizlik derecelerinin yıldız ifade biçimi için oluşturulan sınıflar	56
Tablo 4.4. Her parametrenin %50 ve %80 başarı kriteri dilimi için belirsizliklerinin yıldız ile gösterimi.....	56
Tablo 4.5. Belirsizlik derecesi için %50 ve %80 dilimlerinin tek bir yıldız ile ifade edilmesi.....	57
Tablo 4.6. Her parametrenin belirsizlik çalışması sonucunda belirlenen belirsizlik sınıfları	57
Tablo 5.1. Monte-Carlo yöntemi ile çok kriterli model yapısı için belirlenen parametre aralıkları	62
Tablo 5.2. Performans kriterleri kombinasyonları	64
Tablo 5.3. Farklı başarı kriterleri ile oluşturulan kombinasyonların modelleme sonucunda en iyi 1000, 100 ve 10 değerlerinin kıyaslanması.....	64
Tablo 5.4. Performans kriterleri kombinasyonlarına göre kalibrasyon sürecinde (2012 Su Yılı) en iyi 10 parametre setleri	66

Tablo 5.5 (a). Performans kriterleri kombinasyonlarına göre VAL 1 süreci 2009-2010-2011 Su Yılları validasyon istatistikleri	67
Tablo 5.5 (b). Performans kriterleri kombinasyonlarına göre VAL 2 2013-2014-2015 Su Yılları validasyon istatistikleri	67
Tablo 6.1. Akım için başarı kriteri çaprazlama sonuçları	76
Tablo 6.2. Karla kaplı alan için başarı kriteri çaprazlama sonuçları	76
Tablo 6.3. Zemin nemi için başarı kriteri çaprazlama sonuçları	76
Tablo 6.4. Akım için Fuzzy GA katsayısı	78
Tablo 6.5. KKA için Fuzzy GA katsayısı	78
Tablo 6.6. ZN için Fuzzy GA katsayısı	78
Tablo 6.7. Fuzzy katsayıları ile oluşturulan model çıktıları	79
Tablo 7.1. STV sınır aralıkları ve sınıflandırması	80
Tablo 7.2. 2013, 2014 ve 2015 su yılları için doğrulama kriterleri.....	83
Tablo 7.3. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 1 günlük akım tahmin çalışması model sonuçları	86
Tablo 7.4. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 2 günlük akım tahmin çalışması model sonuçları	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Çalışma alanı olarak seçilen D24A096 Kayabaşı Havzası'nın konumu.....	6
Şekil 2.2. Kayabaşı Havzasının konumu.....	7
Şekil 2.3. D24A096 Kayabaşı Havzası yükseklik sınıfları.....	8
Şekil 2.4. Tüm Havzanın hipsometrik eğrisi.....	9
Şekil 2.5. Zon E hipsometrik eğrisi	10
Şekil 2.6. Zon D hipsometrik eğrisi.....	10
Şekil 2.7. Zon C1 hipsometrik eğrisi.....	11
Şekil 2.8. Zon C2 hipsometrik eğrisi.....	11
Şekil 2.9. Zon B hipsometrik eğrisi.....	12
Şekil 2.10. Kayabaşı Havzası arazi kullanım sınıfları.....	14
Şekil 2.11. Kayabaşı Havzası çevresinde bulunan istasyonlar.....	15
Şekil 2.12. 2007-2015 su yıllarında havzaya düşen yıllık toplam yağış miktarı (mm).....	18
Şekil 2.13. 2007-2015 su yıllarında havzanın aylık ortalama yağış değerleri (mm).....	19
Şekil 2.14. 2007-2015 su yıllarında havzanın aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C).....	20
Şekil 2.15. 2007-2015 su yıllarında havzanın yıllık ortalama sıcaklık değerleri (°C).....	21
Şekil 2.16. D24A096-Kayabaşı Akım Gözlem İstasyonu 2008-2014 su yılları hidrografi	22
Şekil 2.17. D24A096 Havzası aylık ortalama akım ve bir su yılı içerisinde toplam akımı oluşturduğu aylık yüzde değerleri	23
Şekil 2.18. Avrupa ve Asya'da 6 Mayıs 2015 ile 24 Kasım 2015 tarihleri için günlük karla kaplı alan durumu	25
Şekil 2.19. 2008 su yılı karla kaplı alan verisi	26
Şekil 2.20. 2009 su yılı karla kaplı alan verisi	26
Şekil 2.21. 2010 su yılı karla kaplı alan verisi	27
Şekil 2.22. 2011 su yılı karla kaplı alan verisi	27
Şekil 2.23. 2012 su yılı karla kaplı alan verisi	28

Şekil 2.24. 2013 su yılı karla kaplı alan verisi	28
Şekil 2.25. 2014 su yılı karla kaplı alan verisi	29
Şekil 2.26. 2015 su yılı karla kaplı alan verisi	29
Şekil 2.27. Eumetsat H14 Toprak Nemi görüntüsü (25 Ekim 2015)	30
Şekil 3.1. Hidrolojik döngü	31
Şekil 3.2. HBV-light programı içindeki rutinler şeması.....	36
Şekil 3.3. 01.05.2007-09.05.2007 tarihleri arası ptq dosyası	39
Şekil 3.4. Genetik algoritma evrim şeması.....	40
Şekil 3.5. Genetik algoritma nesil oluşturma adımları	41
Şekil 4.1. Model parametrelerinin hassasiyet grafikleri.....	46
Şekil 4.2. Parametrelerinin belirsizlik analiz grafikleri	52
Şekil 5.1. Farklı başarı kriterleri ile oluşturulan kombinasyonların modelleme sonucunda en iyi 1000, 100 ve 10 değerlerinin kıyaslanması	65
Şekil 5.2. Farklı başarı kriterleri ile oluşturulan kombinasyonların validasyon sonuçlarının kıyaslanması.....	78
Şekil 5.3. D24A096 Havzası 2009-2011 su yılları (Val1) periyodu akım doğrulama sonuçları.....	69
Şekil 5.4. D24A096 Havzası 2013-2015 su yılları (Val2) periyodu akım doğrulama sonuçları.....	70
Şekil 6.1. Her modelleme girdisi için farklı başarı kriterlerine göre genetik algoritma ile optimizasyon sonucu oluşan değerler.....	77
Şekil 7.1. Türkiye MM5 yağış verisi (11 Mart 2012)	81
Şekil 7.2. Türkiye MM5 sıcaklık verisi (11 Mart 2012)	82
Şekil 7.3. 2015 Su yılı sıcaklık doğrulaması	83
Şekil 7.4. Kayabaşı Havzası Günlük Ortalama Sıcaklık 1 günlük SHT Verisi Analizi.....	84
Şekil 7.5. Kayabaşı Havzası Günlük Ortalama Sıcaklık 2 günlük SHT Verisi Analizi.....	84
Şekil 7.6. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 1 günlük akım tahmin çalışması	87
Şekil 7.7. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 2 günlük akım tahmin çalışması	88

KISALTMALAR DİZİNİ

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
ASCAT	: The Advanced Scatterometer
BETA	: Şekil katsayısı
CAL	: Kalibrasyon
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CFR	: Su tutma kapasitesi
CFMAX	: Derece-gün faktörü
CWH	: Suyu dondurma kapasitesi
DSİ	: Devlet Su İşleri
ECMWF	: European Center for Medium range Weather Forecasting
EEA	: The European Environment Agency / Avrupa Çevre Ajansı
EOS	: Earth Observing System
EUMETSAT	: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EVAP	: Evaporation
FC	: Maksimum zemin nemi
GA	: Genetik Algoritma
GAP	: Genetik Algoritma Optimizasyonu
HBV	: Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning
H-SAF	: Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management
IMS	: Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System
K0	: Geri çekilme katsayısı
K1	: Geri çekilme katsayısı
K2	: Geri çekilme katsayısı
KKA	: Karla Kaplı Alan
Log / LogReff	: Logarithmic Nash-Sutcliffe Efficiency
LP	: Buharlaşmayı azaltmak için zemin nemi eşik değeri
MAXBAS	: Öteleme ve ağırlık fonksiyonu
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MC	: Monte-Carlo

NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NOAA	: The National Oceanic and Atmospheric Administration
NRT	: Near Real Time
NSIDC	: National Snow and Ice Data Center
OMGİ	: Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu
P	: Yağış
PERC	: En üst yeraltı suyu kutusundan en alt kutuya sızan maksimum akım
PTQ	: Precipitation Temperature Qsim
Q	: Akım
Reff / NSE	: Nash-Sutcliffe Efficiency
RMSE	: Root Mean Square Error
SCA	: Snow Cover Area
SFCF	: Kar doğrulama faktörü
SHT	: Sayısal Hava Tahmin
STV	: Sayısal Tahmin Verisi
T	: Sıcaklık
TT	: Sıcaklığı düzeltmek için eşik değeri
UTC	: Coordinated Universal Time
UZL	: K0 için eşik değeri
VAL	: Validasyon
VE	: Volume Error
WRF	: Weather Forecast and Research
ZN	: Zemin Nemi

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Su canlıların yaşaması için hayati önem taşır ve hayatımızı sürdürebilmemiz için en önemli kaynaktır. Dünya nüfusunun hızla artması ile yerleşmenin ve suyun yeryüzündeki dağılımı, küresel ısınmaya bağlı iklim değişiklikleri, bulunduğumuz yüzyılda su ile ilgili ciddi problemler doğurmaktadır. Hidrolojik döngüye bağlı olarak su kaynaklarının sabit kalması sebebiyle su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Nüfus artışının yanı sıra çevre kirliliği, su kaynaklarının boşa harcanması, doğru planlanmaması ve fazla kullanımı kuraklığa sebep olmaktadır. Tüm bu sebepler su kaynaklarının etkin kullanımı ihtiyacını doğurmaktadır. Rezervuarlar için etkin planlama ve hidrolojik süreçlere hâkim olmanın önemi daha da artmaktadır. Sel ve kuraklık etkileri en aza indirilebilir, erken uyarı sistemi geliştirilebilir ve öngörü verilerine dayanan hidrolojik modelleme ile desteklenen planlama ile rezervuarlar daha etkin bir şekilde çalıştırılabilir. Tüm bunların yapılması için coğrafi özellikler baz alınarak her havzanın hidrolojik özellikleri detaylı şekilde incelenmeli ve planlanmalıdır.

Türkiye'deki ortalama yükselti 1130 m civarındadır ve özellikle dağlık doğu kesiminde yağış, genel olarak kış aylarında kar olarak düşmektedir. Akımın büyük bir bölümü, önemli baraj göllerinin de bulunduğu bölgelerde kar erimesinden dolayı oluşmaktadır. Aras Nehri ülkemizin en büyük su toplama alanına sahip havzalarından birisi olup sınır ötesi bir nehir olmasından dolayı ciddi bir öneme sahiptir. Bu çalışmada Aras Nehri üzerinde bulunan Akım Gözlem İstasyonu (D24A096) pilot alan olarak seçilmiştir. Havza sınırları içindeki rezervuarlar nedeniyle ulusal su kaynakları yönetiminde önemli olmakla birlikte, sınır ötesi sularımızdan birisi olduğu için uluslararası önem taşımaktadır. Böylece, akışın modellenmesi ve tahmin edilmesi, yalnızca sel ve kuraklığın minimize etkilerinde değil aynı zamanda etkili su kaynakları yönetiminde de fırsat sağlar. Ülkemizin dağlık bölgelerinde günlük karla kaplı alanların ve toprak neminin incelenmesi havzayı temsil eden hidrolojik model olmadan oldukça zordur.

Yer gözlem istasyonlarından alınan veriler noktasal verilerdir ve sadece yakınlarındaki alanı temsil ederler. Gözlem istasyonlarının yerleri bu açıdan büyük önem taşır. Uydular ise alansal değişimi gösteren veriler içerirler ve büyük açıdan havzanın

incelenmesini sağlarlar fakat gerçek zamanlı operasyonel olarak uygulanması zordur. Dolayısıyla, bu verilerin hem hidrolojik modelleme hem tahmin çalışmalarında birlikte kullanılması uygundur.

1.2. Çalışmanın Amacı

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak farklı zamansal ve mekânsal çözünürlüklere sahip uydu verileri birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlardan biri de Su Bilimi (Hidroloji)'dir. Etkili ve verimli su kaynakları yönetiminde ilk basamak olan hidrolojik tasarımın, başvuru yağış-akış modelinin sonucunda ortaya çıkan havzaya ait karakteristikleri ve akımın tutarlılığı, havzayı temsil etme açısından önem arz etmektedir. Bir akış modeli, akım tahmini yapmaya yardımcı olmak için birçok parametre ile havza karakteristiklerini tanımlayan bir denklem kümesi olarak ifade edilebilir. Ancak modellerin iç yapılarından dolayı kar, toprak ve akış modülleri ayrı paketlerde farklı işlemlerden geçtiğinden modellerin işleyişinin ve modeli oluşturan parametrelerin kontrol edilmesi önemlidir. Kontrol aşamasında en güvenilir yöntemlerden birisi de yukarıda bahsedilen uydu verileridir. Bu nedenle, bu çalışmada Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ve Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) uydu görüntülerinden kar verileri, European Center for Medium Range Weather Forecasting (ECMWF) ve EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H-SAF) ile toprak nemine ait veriler temin edilmiştir. Uydulardan elde edilecek kar ve toprak nemine ait veriler; dünya literatüründe kabul görmüş bir kavramsal yağış-akış modeli (HBV) ile çok kriterli bir hidrolojik model uygulaması yapılmıştır. Yağış-akış modelleri gibi, bu tarz uygulanan hidrolojik modelleme tekniği dünyada yaygın olarak kullanılmakla birlikte ülkemizdeki uygulamaları yok denecek kadar azdır. Bu çalışma Aras Nehrinin yüksek kotlu memba bölgelerinden seçilen Kayabaşı Havzası alanına ait kar erimesi ağırlıklı günlük yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmış ve uygulanmıştır.

Ayrıca gerçek olayları temsil etmeye çalışan kavramsal hidrolojik modellerde parametre sayısının fazla olması, parametre belirsizliği ve havzaya ne miktarda etki ettiği, havzayı doğru temsil edecek parametre setleri bulmak konusunda önemli bir problemdir. Bu sebeple Reff (NSE – Nash Sutcliffe Efficiency) başarı kriterine göre parametrelerin hassasiyet / duyarlılık, MC (Monte-Carlo) simülasyonu ve yine Reff başarı kriterine göre belirsizlik analizlerinin yapılması diğer amaçlardan biridir. Kullanılacak hidrolojik model

ile çalıştırılacak Genetik Algoritma otomatik optimizasyon yöntemi sayesinde kısa zamanda ve doğruluk oranı yüksek parametre setlerinin bulunması amaçlanmıştır.

Genetik Algoritma optimizasyon yöntemi ile uydu görüntülerinden temin edilecek kar ve toprak nemi verileri kullanılarak bulanık mantık çerçevesinde çok kriterli modelleme işlemi yapılmıştır.

Çalışmanın bir diğer amacı ise hidrolojik modelleme ile yağış-akış ilişkisinin belirlendiği çalışma alanında akım tahmin çalışmalarının yapılmasıdır. Ülkemizde sayısal hava tahminlerinin hidrolojik uygulamalardaki kullanımı çok sınırlıdır, bu nedenle çalışmada kısa vadeli (2-3 güne kadar) deterministik tahmin verileri ile akım tahmin çalışması yapılması amaçlanmaktadır. Çalışma, seçilen havzaların mansap kısmında bulunan önemli barajların işletme politikalarına da destek oluşturabilecektir.

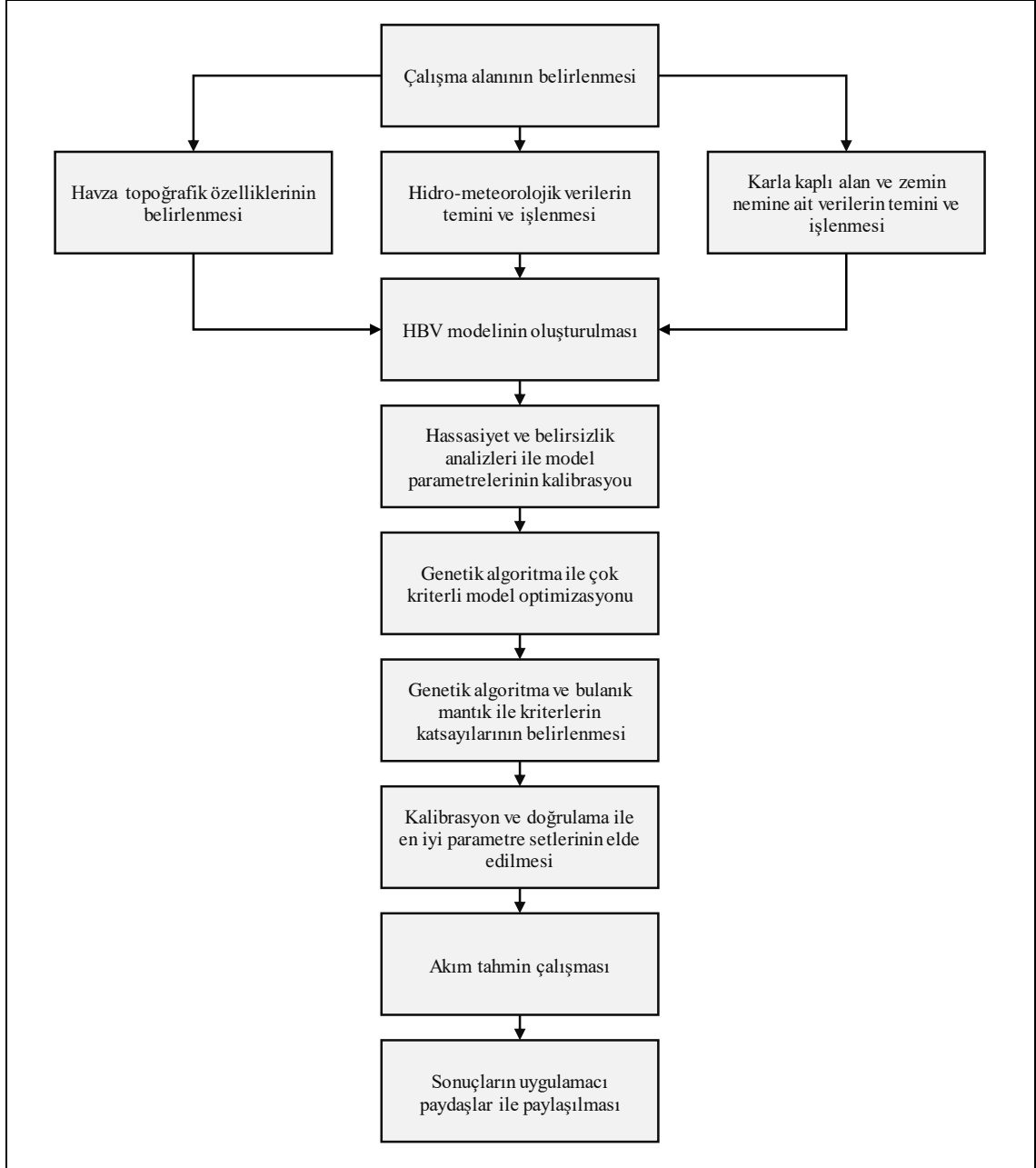
1.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, ülkemizdeki kar potansiyeli yüksek olan Aras havzasında farklı veri içeren uydu görüntülerinin kullanıldığı çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin uygulamasını içermektedir. Bu amaca yönelik olarak çalışma, uydu verilerinin ve yer gözlemlerinin birlikte kullanıldığı doğrulama çalışmaları ve modelleme uygulamalarının yanı sıra tahmin çalışmalarının da yapıldığı bir bütündür. Çalışmada yol haritası olarak izlenecek konular ve adımlar aşağıda sıralanmış ve akış şeması Tablo 1.1’de verilmiştir.

Çalışmanın ilk kısmı genel bilgilerin bulunduğu giriş bölümü ile başlamaktadır. Tezin ikinci bölümü seçilen havza için dijital altlık ile elde edilen topoğrafik özellikler ve hidro-meteorolojik verilerin temini ve işlenmesidir. Elde edilen dijital altlık CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ile analiz edilmiştir. Ardından yapılan işlem karla kaplı alan ve toprak nemi uydu görüntülerinin temini ve işlenmesidir. İkinci kısım sonunda, çalışma için gerekli tüm veriler temin edilip kalibrasyon ve doğrulama süreçlerinde üzerinde çalışılabilir hale getirilmiştir. Bir sonraki bölümde HBV modelinde hangi araçların ve başarı kriterlerinin kullanılacağı açıklanmıştır. Dördüncü bölümde farklı optimizasyon yöntemleri kullanılacak birden farklı başarı kriteri için model parametrelerinin hassasiyet ve belirsizlik analizleri yapılmıştır. Davranışları belirlenen model parametreleri ile veriler, iki farklı model optimizasyonu – Monte Carlo ve Genetik Algoritma – ile çok kriterli yapı oluşturacak şekilde modellenmiş, kalibrasyon ve doğrulama süreçleri için performans analiz sonuçları oluşturulmuştur. Yedinci bölümde coğrafi ve fiziki özellikleri matematiksel olarak modellenen havza için, sayısal hava tahmin verisi ile kısa

vadeli akım tahmin çalışmaları yapılmıştır. Son olarak elde edilen sonuçlar, yorumlar ve çalışmanın bundan sonraki araştırmacılara sağlayacağı faydalar özetlenmiştir.

Tablo 1.1. Çalışma akış şeması.



2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

2.1. Literatür

Kar erimesi hidrolojik denge için birçok bölgede özellikle dağlık arazilerde oldukça önemlidir. Karla kaplı alan verisi temin oldukça zordur çünkü karın karakteristik özellikleri konumsal olarak değişkenlik içerir ve arazide ölçüm imkânı oldukça kısıtlıdır. Uydu görüntüleri ile kar verisi elde etmek yer ölçümlerinden daha kolaydır, veri kalitesi ve erişilebilirlik ise arazi özelliklerine çok fazla bağımlı değildir. Hidrolojik modeller konusunda Türkiye’de birçok çalışma bulunmaktadır (Kaya 1999, Uzunoğlu 1999, Şensoy 2000, Tekeli, 2000) fakat HBV modeli ile ilgili ülkemizde az sayıda çalışma mevcuttur (Şorman, 2009).

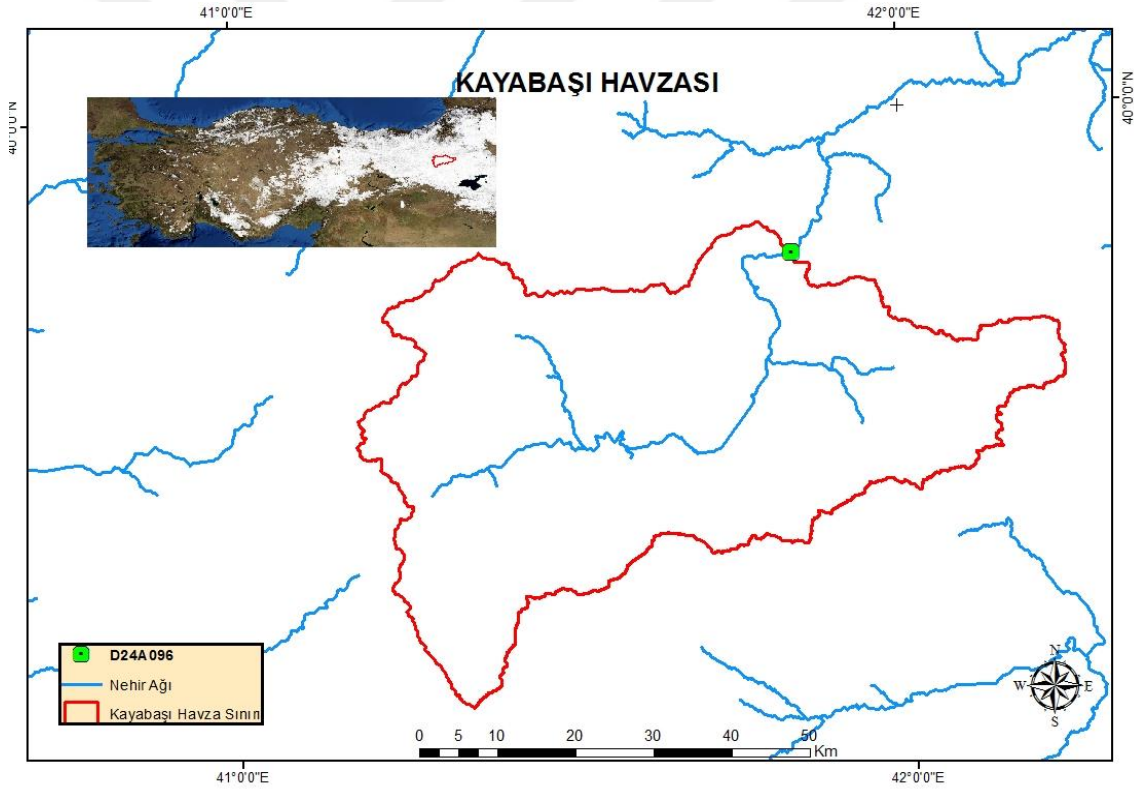
Aras Nehri Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nde Bingöl Dağları’nın Erzurum il sınırları içinde kalan kuzey yamaçlarından doğduktan sonra Ermenistan, Azerbaycan ve İran’dan geçtiği için uluslararası sular kategorisinde yer almaktadır. Aras Irmağı ile ilgili tarihte önemli notlar bulunmaktadır. Aras vadisi ilk çağlardan beri yerleşim merkezi olmuştur. İranlılar, Nehr-i Aras, Araplar Al-Ras derler. İlk ismi Arakses’tir. Tarihteki notları göre Aras Vadisinde bin şehir ve beş bin köy kalıntısı vardır. Aras; Nil, Dicle ve Fırat’tan sonra dördüncü kutsal akarsu olarak kabul edilir. Bu durum göz önüne alındığında su kaynakları açısından doğru ve optimum planlanması çok önemlidir. Ermenistan sınırına kadar uzunluğu 528 kilometreyi bulmaktadır ve yıllık ortalama akım miktarı 0,21 milyar metreküptür (Maden, 2012). Aras Nehri Havzasında yer alan ortak barajlar; Meghri, Aras, Khoda Afarin ve Arpaçay Barajları’dır. Nehir daha sonra Kura Nehri ile birleşip Hazar Denizi’ne dökülmektedir.

Türkiye-Ermenistan iş birliği ile yapılan Aras Nehri üzerindeki Arpaçay Barajı hem politik hem hidrolojik açıdan ülkenin önemli barajlarından birisidir (Madsen, 2012). Bu çalışmada Arpaçay Barajını besleyen Aras Havzasının önemli alt havzalarından birisi olan Kayabaşı Havzası uygulama alanı olarak seçilmiştir (Şekil 2.1).

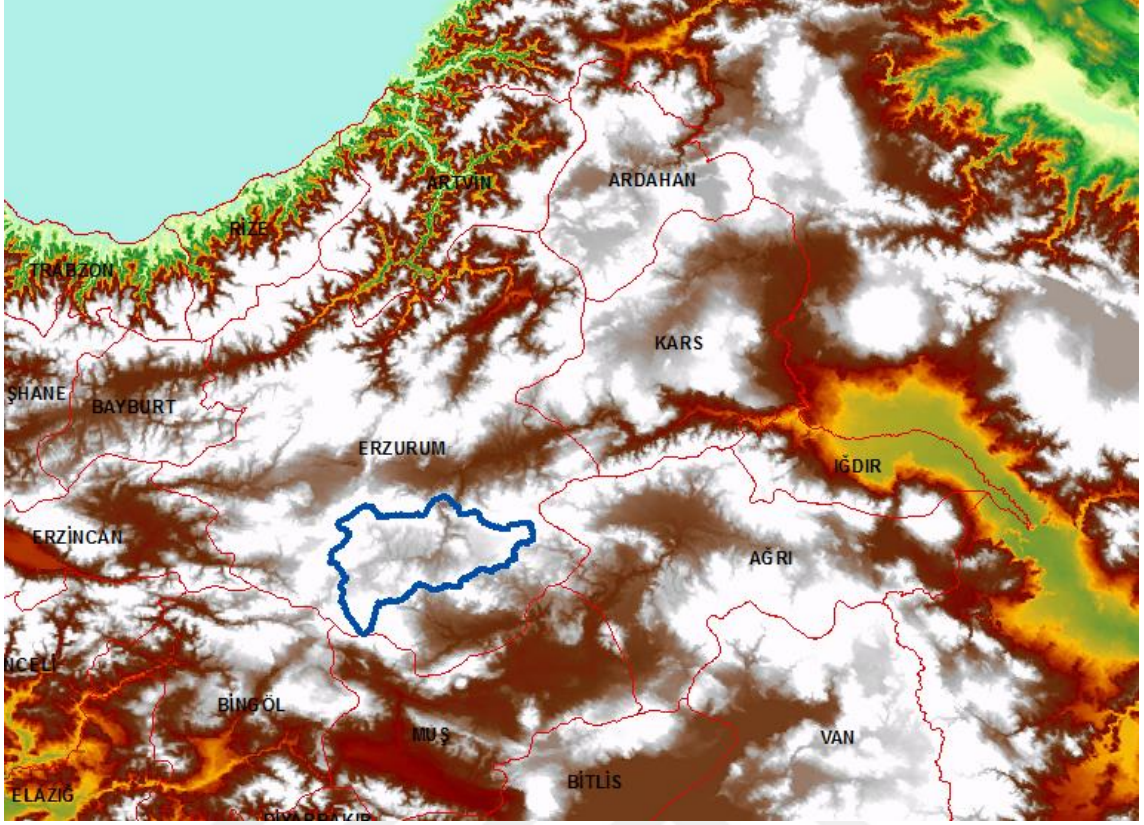
2.2. Aras Nehri

Türkiye'nin yıllık toplam akımın yaklaşık yüzde 60-70'i doğu bölgelerinde bahar ve yazın erken dönemlerinde oluşan kar erimesidir ki bu bölgenin su potansiyeli için ciddi bir öneme sahiptir. Bu sebepten dolayı oluşan akımın miktarı ve zamanını belirlemek su kaynaklarının optimum düzeyde yönetilmesi açısından önemlidir.

Çalışma alanı, $39^{\circ} 32' - 39^{\circ} 86'$ kuzey enlemleri ve $41^{\circ} 18' - 42^{\circ} 23'$ doğu boylamları arasında yer almakta ve çıkışında Devlet Su İşleri'nin (DSİ) işlettiği D24A096 Kayabaşı Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmaktadır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Yaklaşık 2764 km² su toplama alanına sahip olan havzanın yüksekliği 1686 ile 3179 metre arasında değişmektedir. Havzanın ortalama yüksekliği 2215 m ve ortalama eğimi yaklaşık %14'tür.



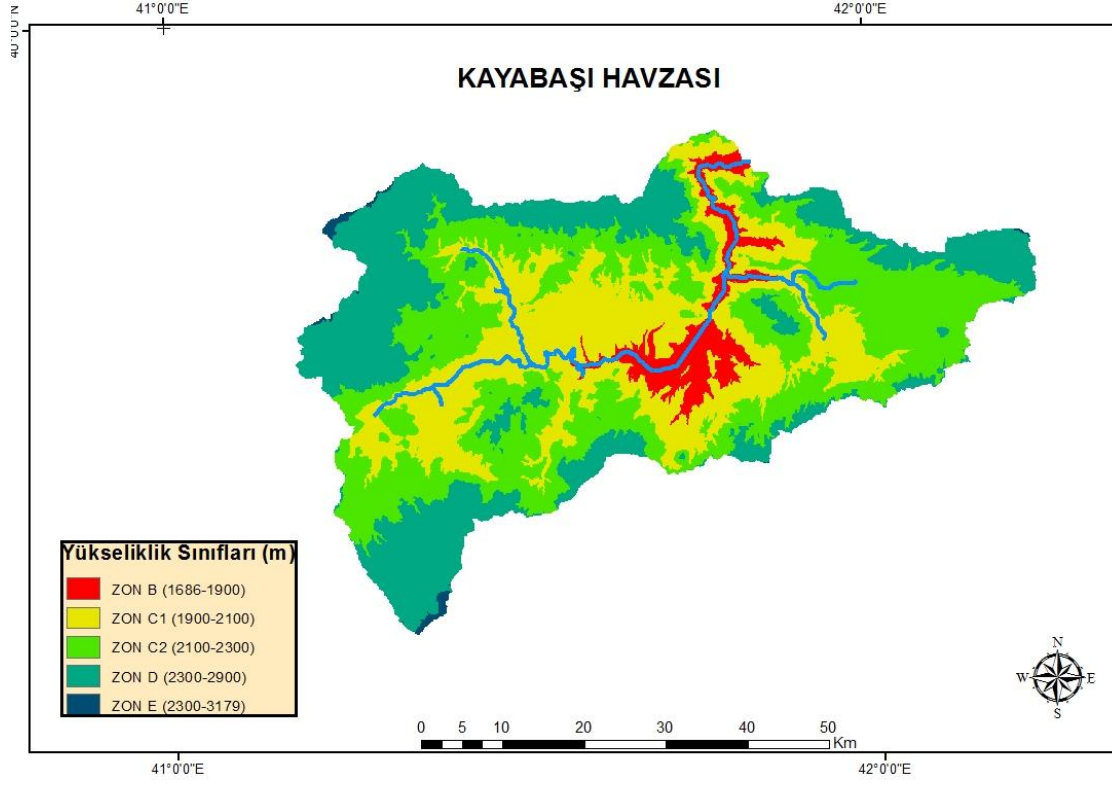
Şekil 2.1. Çalışma alanı olarak seçilen D24A096 Kayabaşı Havzası'nın konumu.



Şekil 2.2. Kayabaşı Havzasının konumu.

2.3. Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri

Havzada meydana gelen hidrolojik olayların mekânsal değişimlerinin daha iyi gözlemlenebilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile havza üzerinde çeşitli yüzey analizleri gerçekleştirilmiştir. 30 metre çözünürlüğündeki Sayısal Yükseklik Modeli kullanılarak üretilen D24A096 Kayabaşı Havzası, daha gerçekçi temsil edilmesi amacıyla beş farklı yükseklik alanına (zon) bölünmüştür (Şekil 2.3). Zon E 3100-2900 metre, zon D 2900-2300 metre, zon C1 2300-2100, zon C2 2100-1900 metre ve son düşük kotta bulunan yükseklik sınıfı olan zon B ise 1900 ile 1686 metre aralığının üzerinde kalan alanı temsil etmektedir (Tablo 2.1).

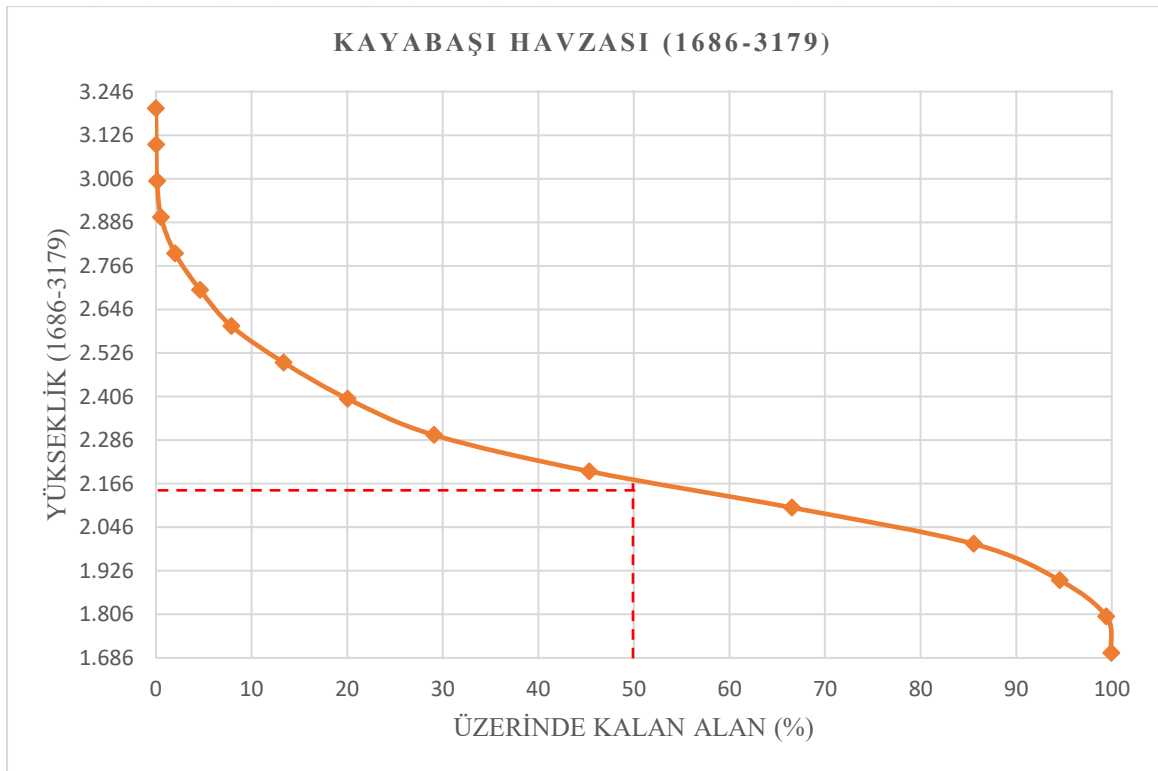


Şekil 2.3. D24A096 Kayabaşı Havzası yükseklik sınıfları.

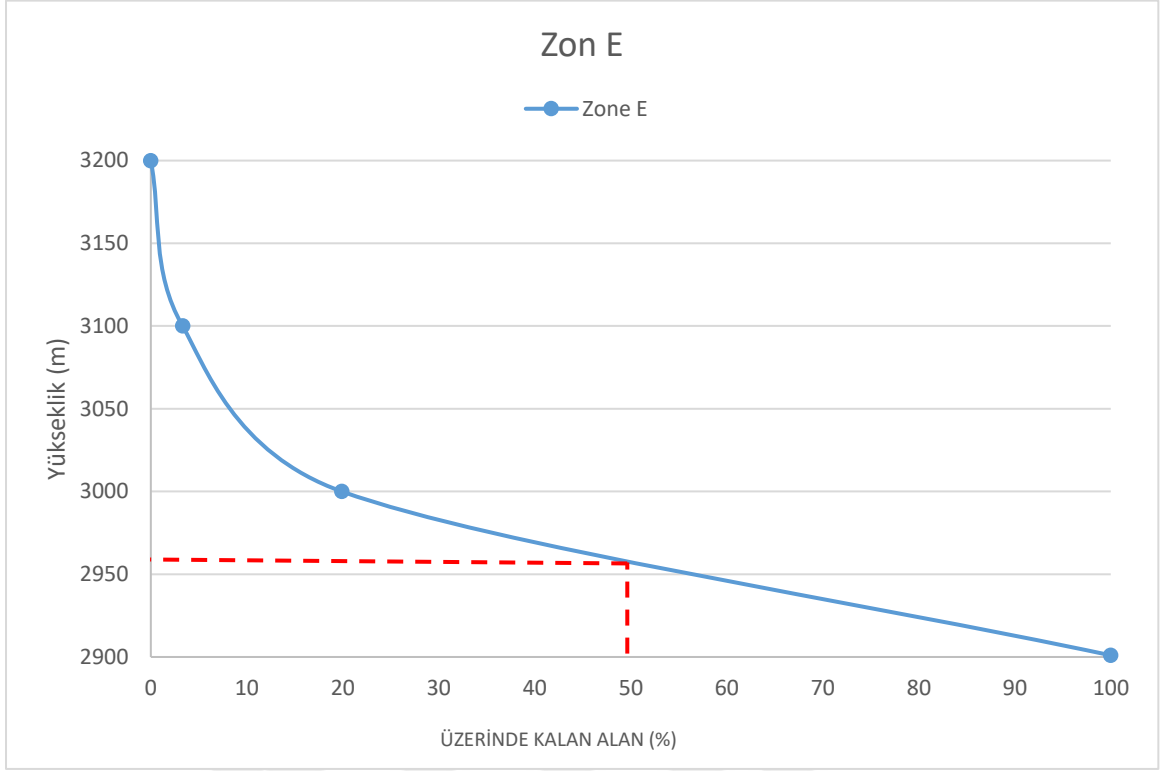
Bir alandaki yüksekliklerin birikimli dağılım fonksiyonuna hipsometri denir ve belirlenen aralıklardaki yükseklik/alan dağılımını tanımlar. Havza çıkarımında kullanılan dijital yükseklik haritası CBS yardımı ile her yükseklik bölgesi (zon) için yükseklik-alan (hipsometri) grafikleri oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 ve 2.9) Elde edilen hipsometrik eğriler ile tüm havzayı temsil edebilecek bir yükseklik alan grafiği oluşturulmuştur.

Tablo 2.1. Havzanın ve zonların yükseklik alan verileri.

Yükseklik (m)	Alan (km ²)	Üzerinde Kalan Alan (%)	Zon
3100-3200	0.486	0.000	E
3000-3100	2.438	0.018	
2900-3000	11.769	0.106	
2800-2900	40.703	0.532	D
2700-2800	72.025	2.004	
2600-2700	90.825	4.610	
2500-2600	150.871	7.895	
2400-2500	184.980	13.353	
2300-2400	249.707	20.045	C1
2200-2300	449.121	29.078	
2100-2200	586.319	45.325	C2
2000-2100	525.844	66.535	
1900-2000	248.694	85.558	B
1800-1900	134.792	94.555	
1700-1800	14.507	99.431	
1686-1700	1.231	99.955	
Toplam	2764.311		



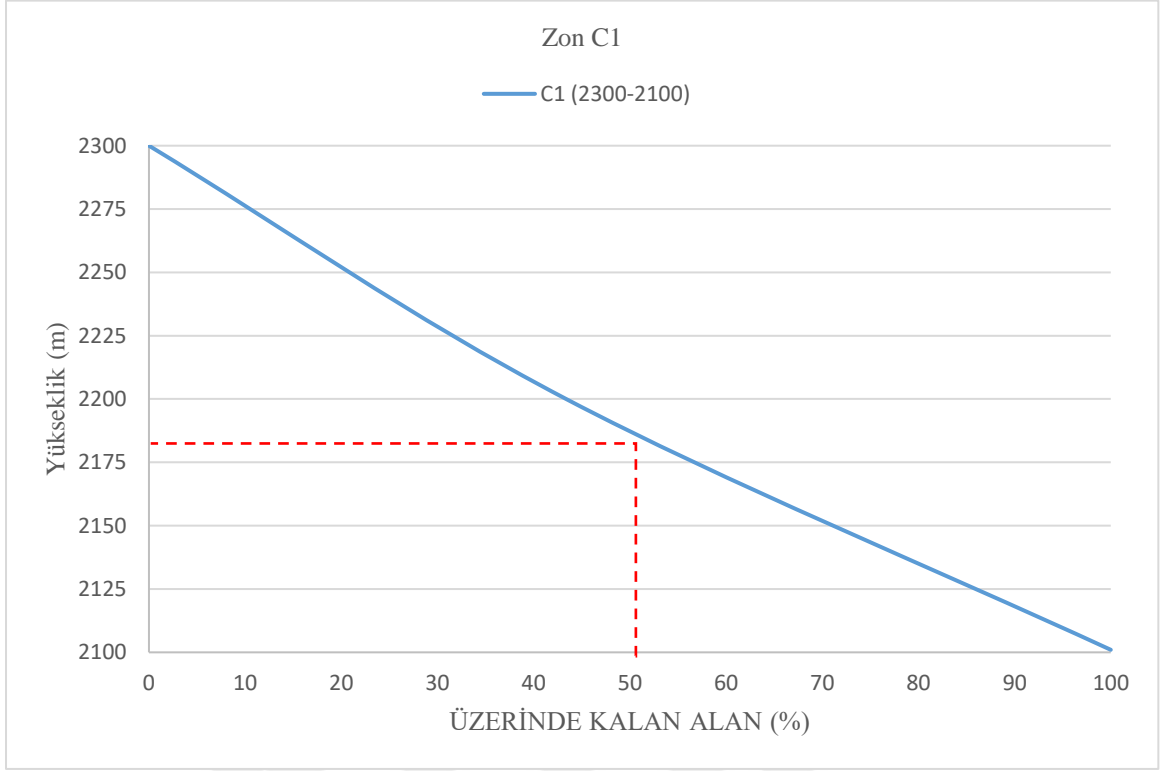
Şekil 2.4. Kayabaşı Havzası'nın hipsometrik eğrisi.



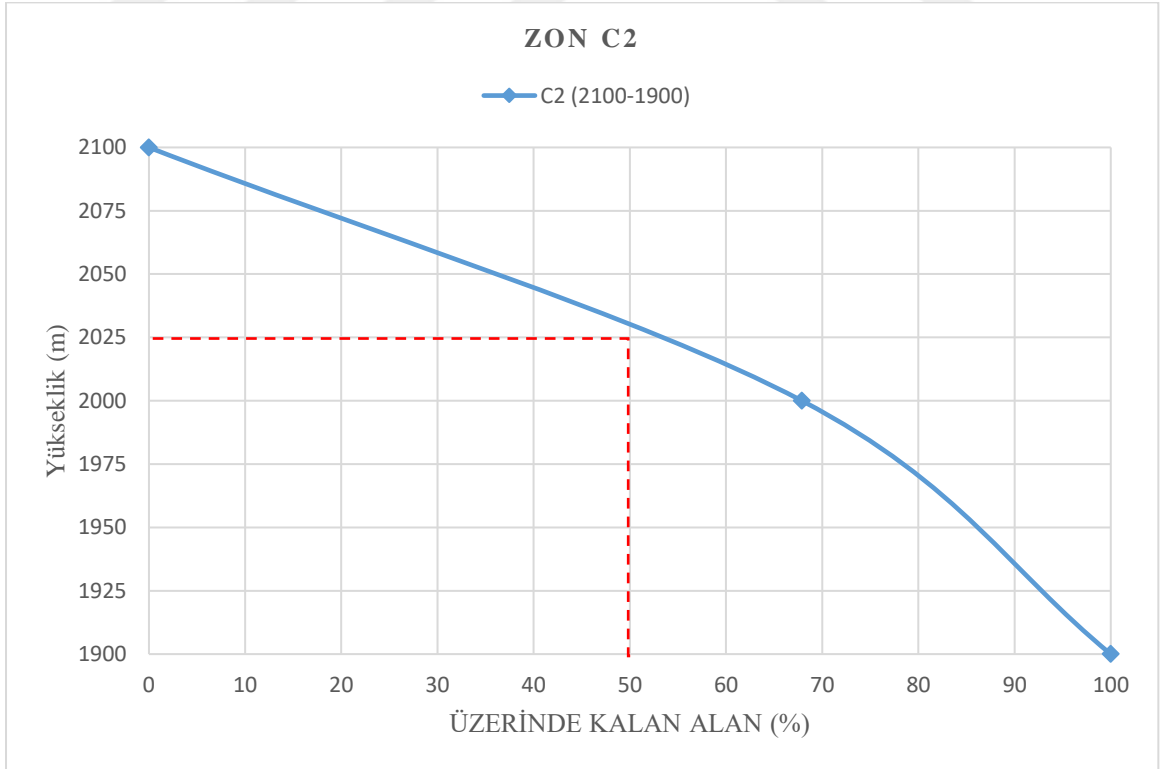
Şekil 2.5. Zon E hipsometrik eğrisi.



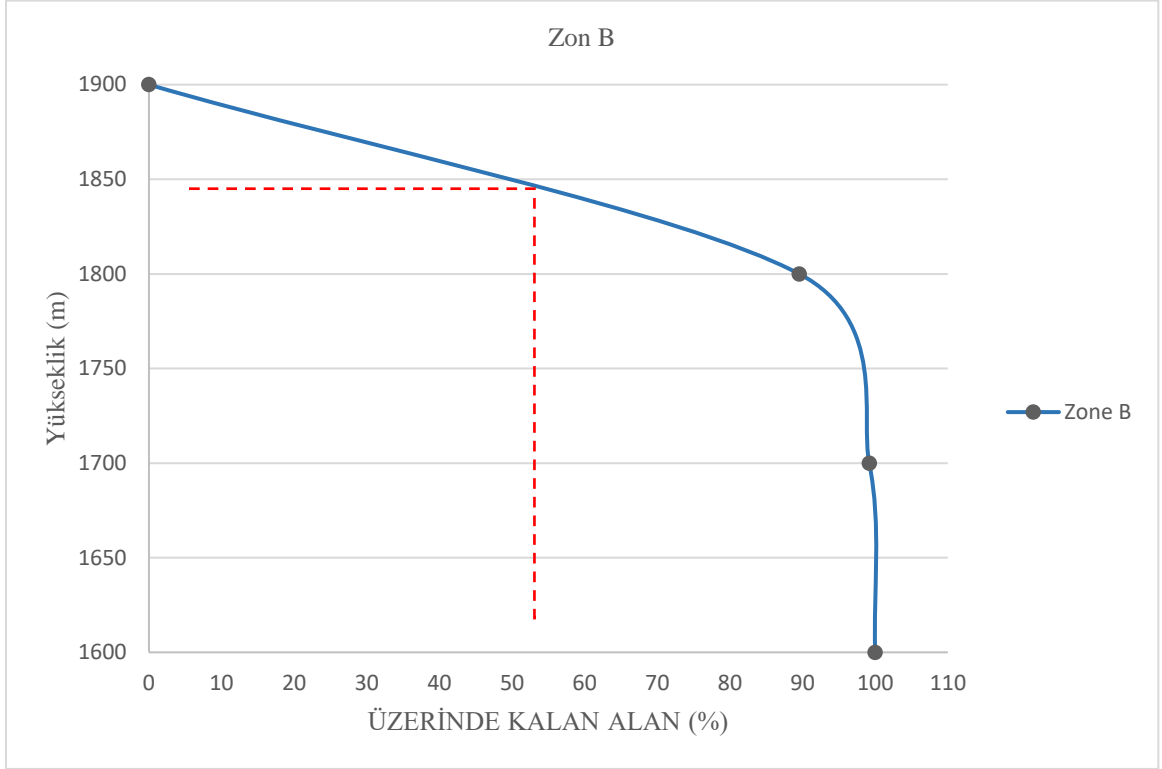
Şekil 2.6. Zon D hipsometrik eğrisi.



Şekil 2.7. Zon C1 hipsometrik eğrisi.



Şekil 2.8. Zon C2 hipsometrik eğrisi.



Şekil 2.9. Zon B hipsometrik eğrisi.

Seçilen havzanın topoğrafik özelliklerinin ve karakteristiklerinin belirlenmesi ileride yapılacak olan çalışmalarda havzanın nasıl davranacağını anlamak için çok önemlidir. Bunun için her bir zonun yüksekliğe göre eğim, bakı ve arazi kullanım haritaları çıkartılmış ve yüzde dağılımları hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 2.2 ve 2.3).

Bir havzadaki eğim, oradaki yeryüzü şekillerinin ne kadar sarp veya ne kadar düz olduğunu ifade eder. Coğrafi Bilgi Sistemleri sayısal yükseklik modelinde eğim; her hücre için, o hücreden komşularına olan değerdeki maksimum değişim oranı ile hesaplanır. Buna göre ortalama eğim yaklaşık %14 ile eğimli sayılabilecek bir havzadır.

Tablo 2.2. Havzanın her bir yükseklik sınıfı için eğim değerleri.

Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan (km ²)	Alan (%)	Hipsometrik Ortalama Yükseklik	Ortalama Eğim (%)
B	1686-1900	150,53	5,45	1843,72	13,08
C1	1900-2100	774,54	28,02	2023,37	12,66
C2	2100-2300	1035,44	37,46	2190,27	12,8
D	2300-2900	789,11	28,55	2505,21	17,28
E	2900-3179	14,69	0,53	2963,88	17,56
Tüm Havza	1686-3179	2764,31	100,00	2218,65	14,08

Bakı, havzadaki dağların, tepelerin güneş ışınlarını alışı yönü veya güneşe bakış kısmı olarak açıklanmaktadır ve havza üzerindeki terlemeyi, buharlaşmayı ve kar erimesini etkilemektedir. Kayabaşı Havzası 5 bakı sınıfına ayrılmıştır. Havzanın çok az bölümü düz olmakla birlikte genellikle eşit bir bakı yönü dağılımı göstermektedir (Bkz. Tablo 2.3).

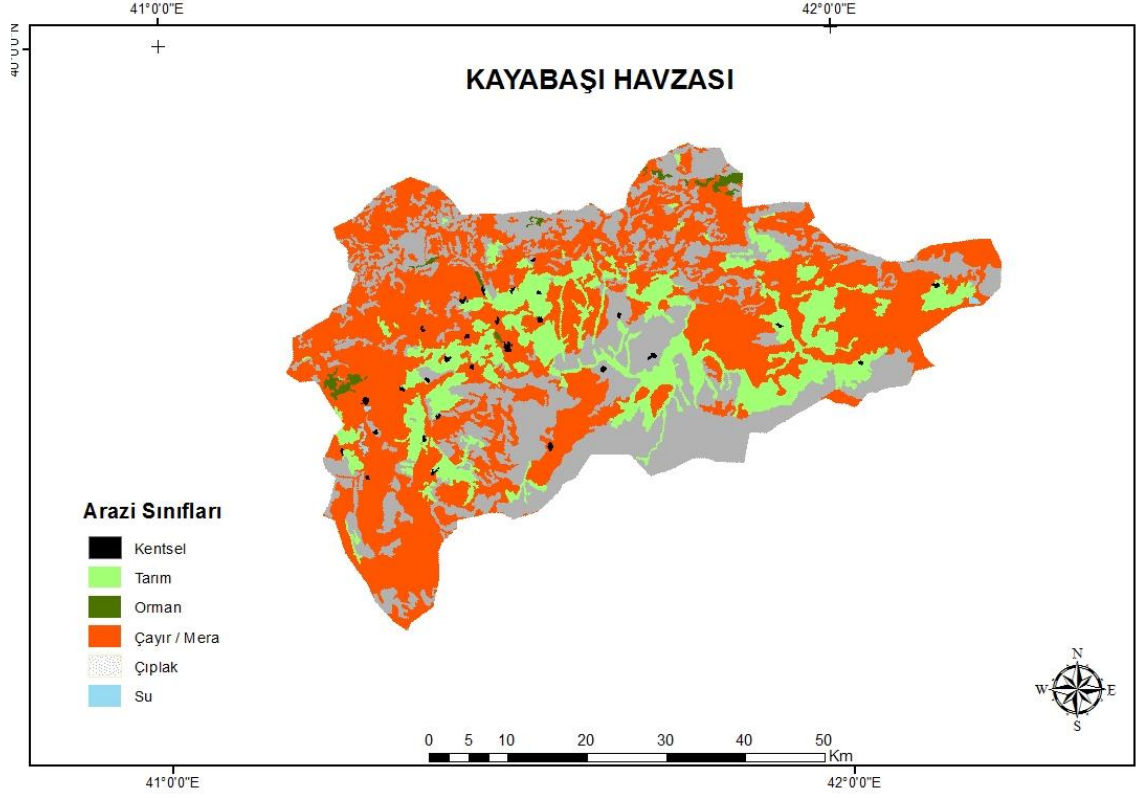
Tablo 2.3. *Havzanın her bir yükseklik sınıfı için bakı değerleri.*

Zon	Kuzeydoğu (%)	Güneydoğu (%)	Güneybatı (%)	Kuzeybatı (%)	Düz(%)
B	25,53	21,16	20,25	25,61	7,45
C1	24,93	24,70	23,53	25,27	1,57
C2	22,51	24,21	27,16	25,99	0,13
D	22,56	28,69	24,55	24,12	0,08
E	11,80	40,46	19,13	28,61	0,00
Tüm Havza	23,31	25,55	24,98	25,25	0,92

Bir havzanın arazi kullanımı, havzaya düşen yağışın ne kadarının akışa dönüşeceğini ve ne kadar kısmının yeraltına sızacağını hesaplanmasında belirgin bir rolü vardır. D24A096 havzasının arazi kullanım verileri için (EEA; The European Environment Agency) Avrupa Çevre Ajansı'nın ürettiği Avrupa ve Türkiye'yi kapsayan arazi kullanım haritası olan Corine altlığı kullanılmıştır. Havza sınırları ile çakıştırılan Corine Map, belirli alanlar için sınıflandırılarak Kayabaşı Havzası için arazi kullanım haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.10). Havzanın büyük bir kısmı çayır, mera ve çıplak alandan oluşmaktadır (Tablo 2.4). Havzanın fiziksel özelliklerini tanımlamak ve anlamak, havzayı modellerken oldukça önemlidir; modeli oluşturan parametrelerin havzaya nasıl etki edeceği konusunda bilgi vermektedir.

Tablo 2.4. *Arazi kullanım verileri.*

Sınıf	Alan (km ²)	Alan (%)
Kentsel	11,45	0,42
Tarım	452,02	16,51
Orman	20,24	0,74
Çayır / Mera	1406,51	51,38
Çıplak Arazi	843,85	30,82
Su	3,55	0,13



Şekil 2.10. Kayabaşı Havzası arazi kullanım sınıfları.

2.4. Hidro-Meteorolojik Veri

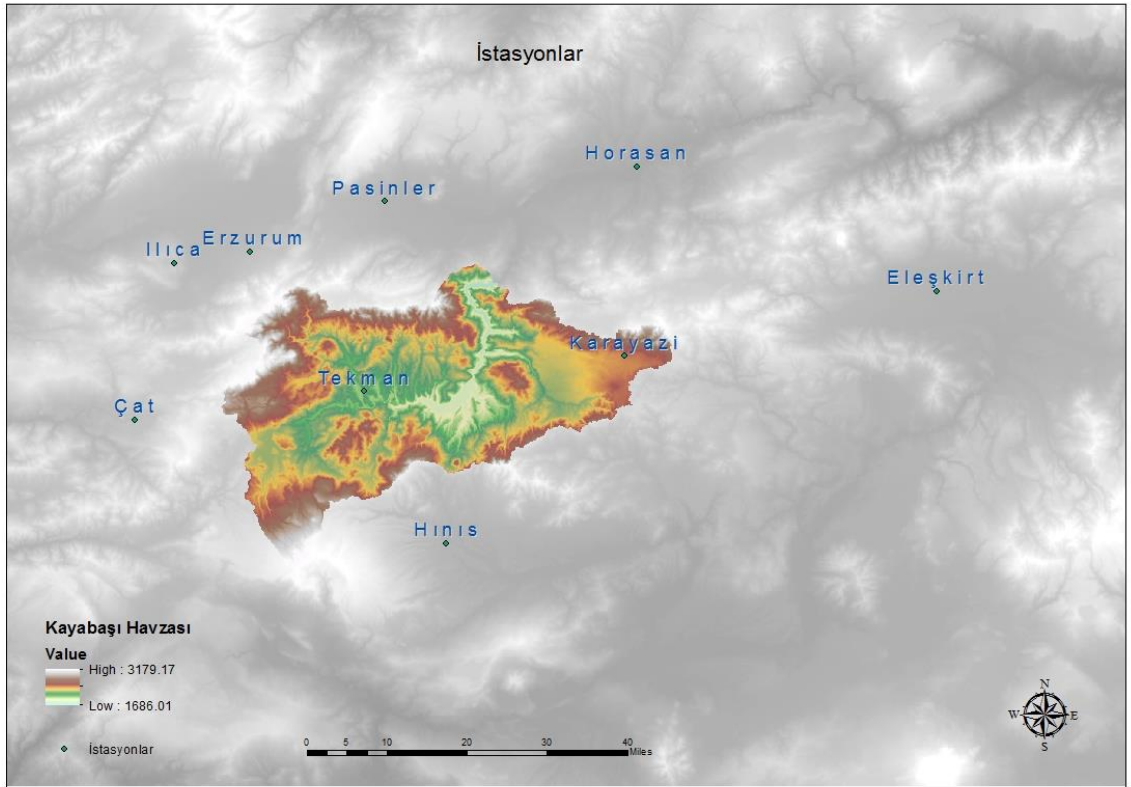
Yağış-akış modelleri oluşturma, akım tahminleri yapma, hidrolojik modelleme gibi çalışmalarda gözlemlenen veri setleri için en önemli bilgi kaynağı hidro-meteorolojik verilerdir. Verilerin kesintisiz bir zaman serisinde olması ve tutarlılığı, hidrolojik çalışmaların yapılmasına destekleyici nitelikte olmalıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) ülkemizdeki hidro-meteorolojik verileri sağlayan, kaydeden ve ilgili paydaşlar ile paylaşan kurumlardır.

Çalışmanın yapılacağı alan ve çevresindeki istasyonlar Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre belirlenmiştir. Bunun için öncelikli olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan ve 12. Bölge Müdürlüğü Erzurum'a bağlı, havza çevresindeki tüm otomatik meteoroloji gözlem istasyonları (OMGİ) ve ve bu istasyonların özellikleri incelenmiştir (Tablo 2.5).

Meteorolojik Veri

Tablo 2.5'te her istasyon için parametre durumları 1'den 6'ya kadar sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar rüzgâr yön ve hız, sıcaklık, nem, yağış, toprak sıcaklıkları ve güneşlenme özelliklerine göre oluşturulmuştur. Bu sınıflar Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Şekil 2.11'de özellikleri verilen gözlem istasyonları bulunmaktadır. Havzaya yakın olmasını yanı sıra içerdiği verilerin doğruluğu, verinin başlangıç tarihi, temsil ettiği alan, bulunduğu yükseklik gibi kriterler de çalışma için seçilecek istasyon hakkında önemli özelliklerdir.



Şekil 2.11. Kayabaşı Havzası çevresinde bulunan istasyonlar.

Tablo 2.5. Havza çevresinde bulunan istasyonlar ve özellikleri.

	İstasyon Adı									
	Eleşkirt	Hınıs	Horasan	Karayazı	Sarıkamış	TAGEM	Tekman	Çat	Erzurum Havaalanı	Ilıca Havzası
İstasyon No	18194	17740	17690	18204	17692	18201	18370	18203	17096	17687
Havza	Fırat	Fırat	Aras	Aras	Aras	Aras	Aras	Aras	Aras	Aras
İl	Ağrı	Erzurum	Erzurum	Erzurum	Kars	Erzurum	Erzurum	Erzurum	Erzurum	Erzurum
İlçe	Eleşkirt	Hınıs	Horasan	Karayazı	Sarıkamış	Pasinler	Tekman	Çat	Yakutiye	Ilıca
Enlem	39.7915	39.3688	40.0383	39.6964	40.3329	39.99	39.6478	39.6058	39.9529	39.8877
Boylam	42.7915	41.6957	42.1705	42.1256	42.5983	41.5742	41.5125	40.975	41.1897	41.0766
Yükseklik	1818	1715	1540	2246	2102	1720	1980	1907	1758	2094
Gözlem Grubu	246	150	150	246	150	246	350	246	H-OMGİ-Sinoptik	HSAF
Parametre Durumu	6	3	3	6	3	4	1			
Kullanılan Yıllar		2006-2015	2006-2015	2013-2015				2013-2015	2006-2015	

Yukarı da belirtilen istasyonların hepsi yağış ve sıcaklık verisi için tek tek incelenmiş ve kullanılmak üzere 3 tane otomatik meteorolojik gözlem istasyonu seçilmiştir: Hınıs 17740, Horasan 17690 ve Erzurum 17096. Belirlenen istasyonlar noktasal veri içermektedir. Havzayı alansal olan temsil edebilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde bir alansal dağılım aracı olan Thiessen Poligon metodu ile istasyon verilerinin yüzdeleri hesaplanmıştır. CBS platformunda istasyonlar arasında üçgenler çizilerek etki alanları belirlenmiş, havza sınırları ile kestirilerek 3 istasyonun havzayı hangi ağırlıkta temsil ettiği hesaplanmıştır. 3 farklı zaman serisi şeklinde olan veri setleri tablo 2.7'de hesaplanan yüzdeler ile tek bir set haline getirilmiştir.

Tablo 2.7. İstasyon Thiessen oranları.

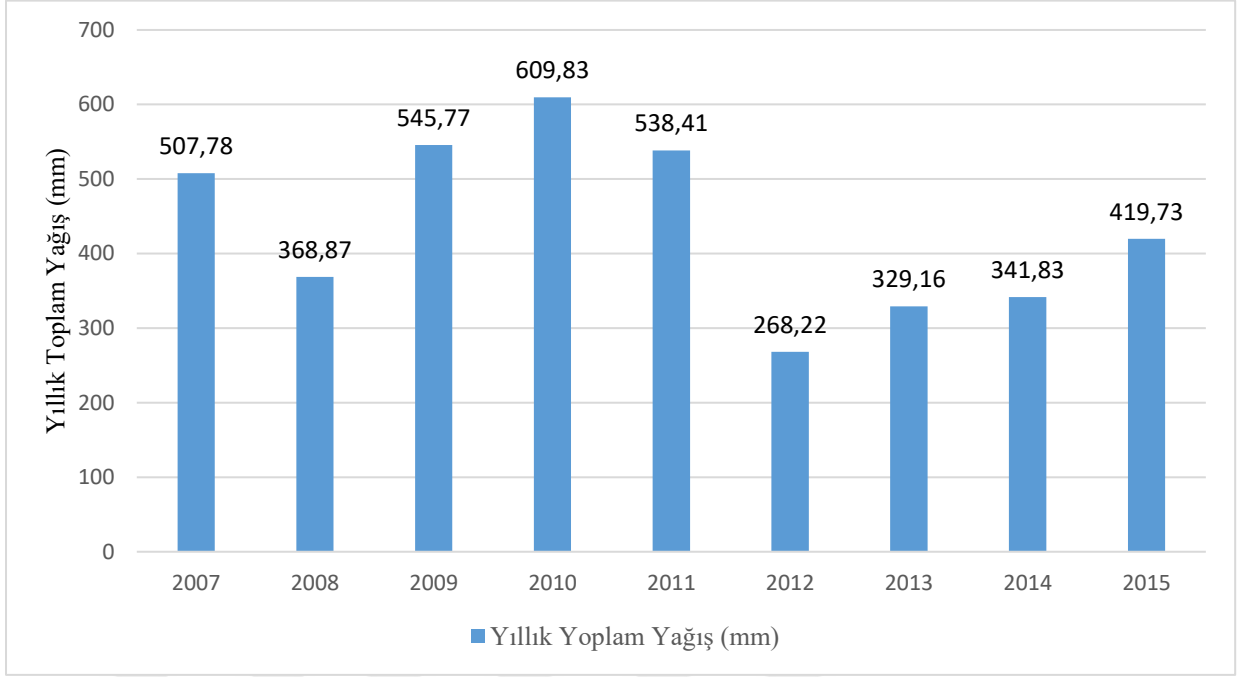
İstasyon	Oran (%)
Hınıs	35
Horasan	30
Erzurum	30

Yukarıda bahsedilen devlet kurumlarından çalışmayı kapsayan yıllar için veriler temin edilmiş, işlenmiş ve eksiklikler giderilerek havzayı en uygun şekilde temsil edecek duruma getirilmiştir.

Belirlenen yüzde değerleri ile havzanın yıllık toplam yağış miktarları (Tablo 2.8 ve Şekil 2.12), aylık ortalama yağış değerleri (Tablo 2.9 ve Şekil 2.13) aylık ortalama sıcaklık değerleri (Tablo 2.10 ve Şekil 2.14) ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri (Tablo 2.11 ve Şekil 2.15) hesaplanmıştır.

Tablo 2.8. Her yılın toplam yağış miktarı (mm).

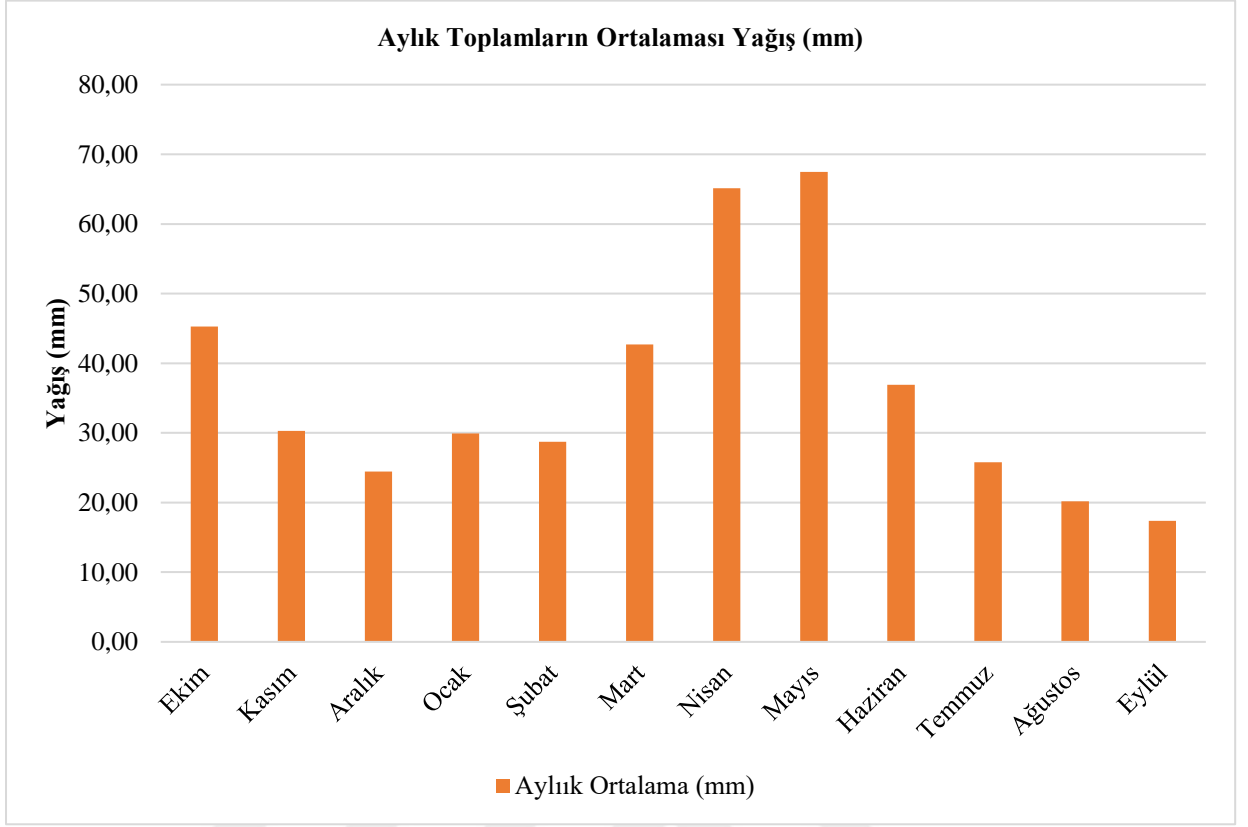
Su Yılları	Toplam Yağış Miktarı (mm)
2007	507.78
2008	368.87
2009	545.77
2010	609.84
2011	538.42
2012	268.22
2013	329.16
2014	341.83
2015	419.73



Şekil 2.12. 2007-2015 su yıllarında havzaya düşen yıllık toplam yağış miktarı (mm).

Tablo 2.9. Aylık ortalama yağış değerleri (mm).

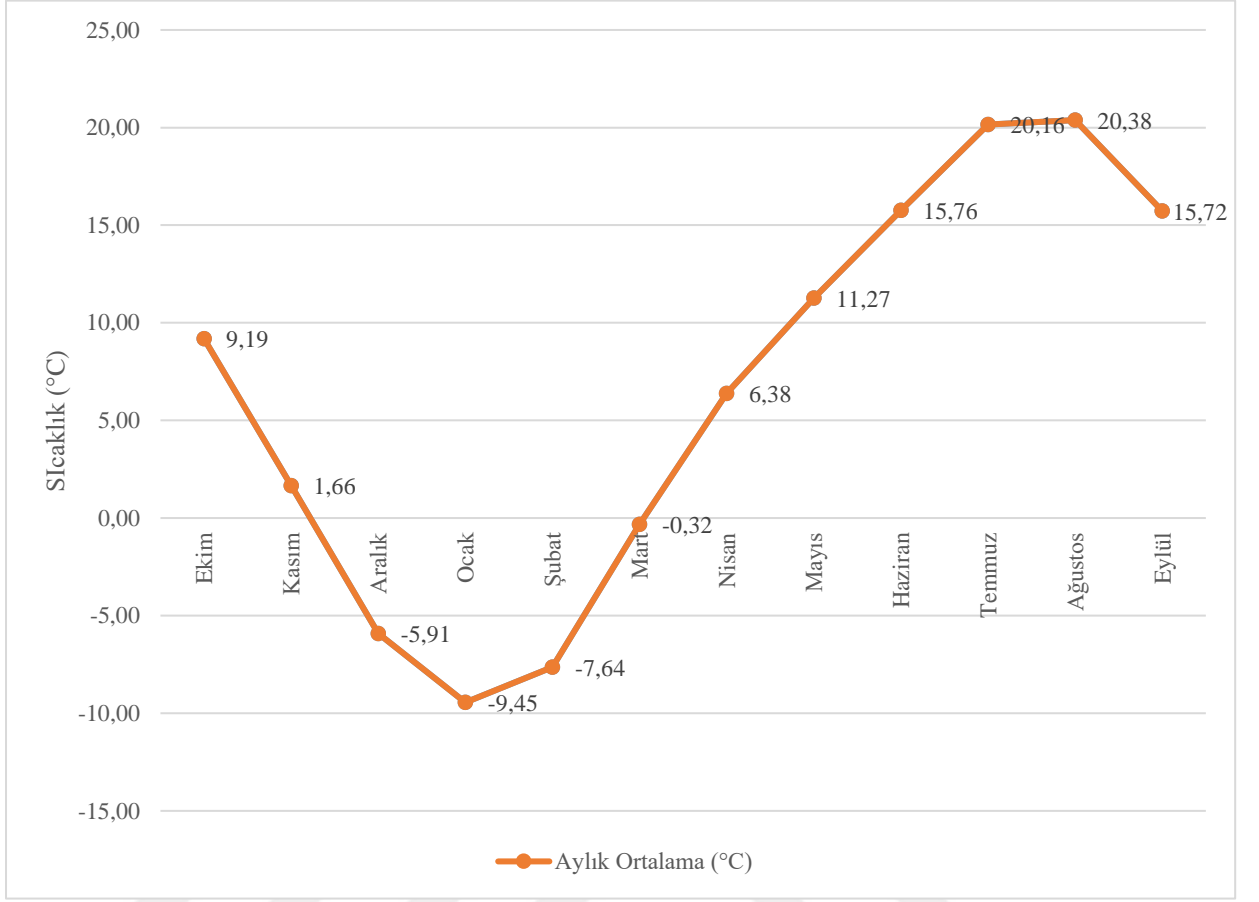
<i>Aylar</i>	<i>Yağış (mm)</i>
Ekim	45.29
Kasım	30.27
Aralık	24.44
Ocak	29.92
Şubat	28.74
Mart	42.70
Nisan	65.13
Mayıs	67.46
Haziran	36.90
Temmuz	25.77
Ağustos	20.18
Eylül	17.37



Şekil 2.13. 2007-2015 su yıllarında havzanın aylık ortalama yağış değerleri (mm).

Tablo 2.10. Aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C).

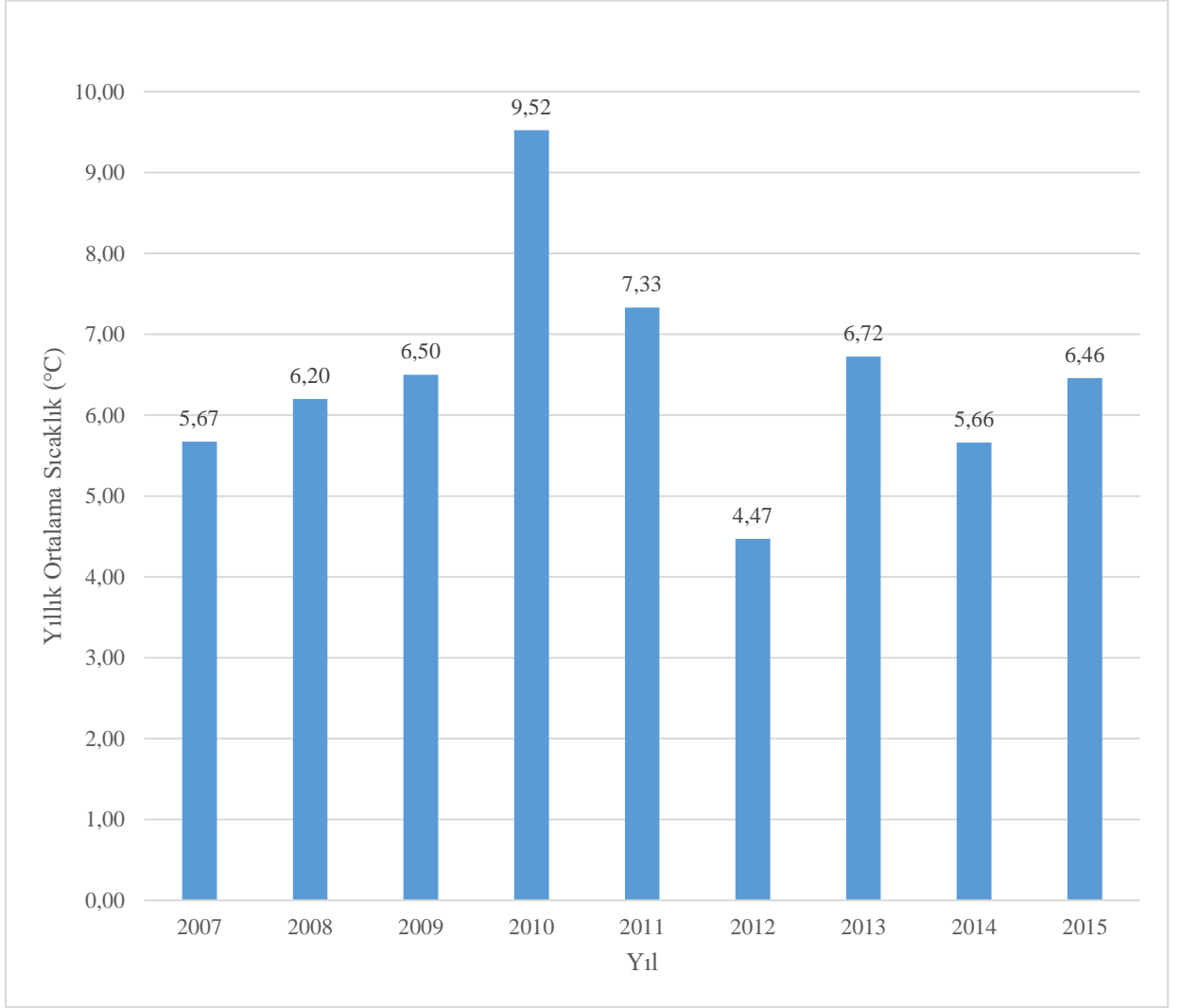
Aylar	Sıcaklık (°C).
Ekim	9.19
Kasım	1.66
Aralık	-5.91
Ocak	-9.45
Şubat	-7.64
Mart	-0.32
Nisan	6.38
Mayıs	11.27
Haziran	15.76
Temmuz	20.16
Ağustos	20.38
Eylül	15.72



Şekil 2.14. 2007-2015 su yıllarında havzanın aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C).

Tablo 2.11. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri (°C).

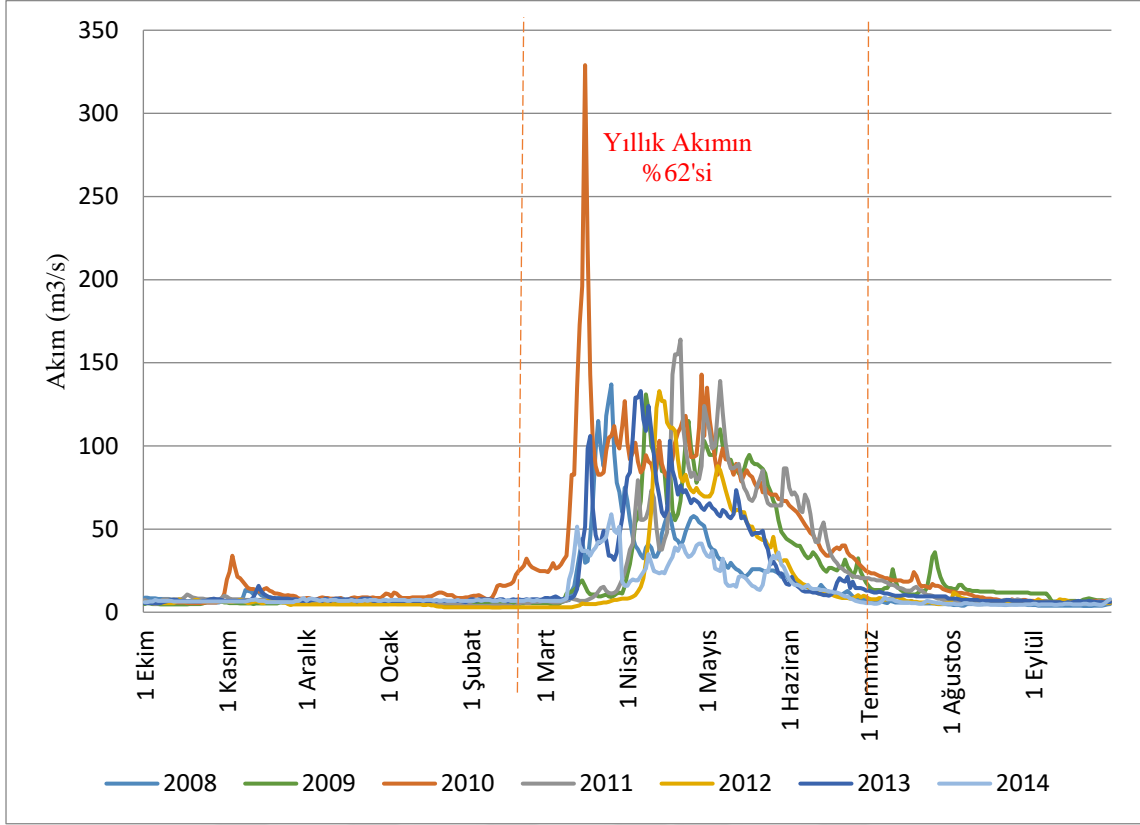
Su Yılları	Sıcaklık (mm)
2007	5.67
2008	6.20
2009	6.50
2010	9.52
2011	7.33
2012	4.47
2013	6.72
2014	5.66
2015	6.46



Şekil 2.15. 2007-2015 su yıllarında havzanın yıllık ortalama sıcaklık değerleri (°C).

Akım Verisi

Kayabaşı Havzasının çıkışı Devlet Su İşleri tarafından işletilen bir akım gözlem istasyonu olan Aras (24) havzasında bulunan D24A096 numaralı istasyondur. Havza bulunduğu coğrafi konum itibari ile akımının büyük bir kısmını kar erimesinden toplamaktadır. Bu sebepten kar erimesi önemli bir role sahiptir. Havzadan alınan uzun dönem veriler çalışmanı yapıldığı 2008-2014 su yılları için incelendiğinde, yıllık toplam akım hacminin yaklaşık %62'sinin kar erimesine döneminde (Mart-Haziran) meydana geldiği görülmektedir (Şekil 2.16).

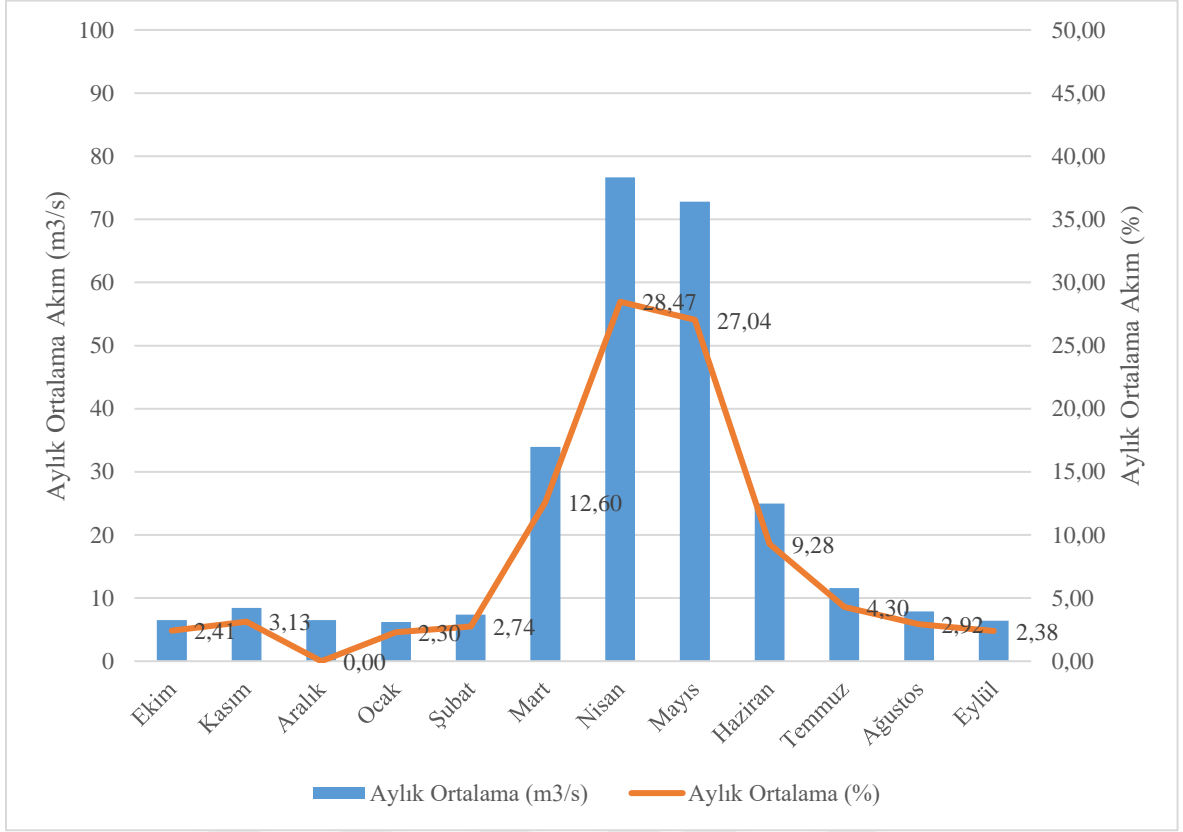


Şekil 2.16. D24A096-Kayabaşı Akım Gözlem İstasyonu 2008-2014 su yılları hidrografı.

Çalışmada farklı su yıllarını bulunması ve zaman serisinin uzunluğu, eksik ya da hatalı veri olduğu zamanlarda, tüm seriyi inceleme fırsatı sunduğu için doğru veri seti elde etmekte önemlidir. Tüm veriler kullanılarak (Tablo 2.12 ve Şekil 2.17) bir su yılı içerisinde aylık ortalama akım değerleri elde edilmiştir.

Tablo 2.12. Aylık ortalama akım değerleri (m³/s ve %).

Aylar	Aylık Ortalama (m ³ /s)	Aylık Ortalama (%)
Ekim	6.49	2.41
Kasım	8.42	3.13
Aralık	6.52	0.00
Ocak	6.19	2.30
Şubat	7.39	2.74
Mart	33.93	12.60
Nisan	76.66	28.47
Mayıs	72.81	27.04
Haziran	24.99	9.28
Temmuz	11.58	4.30
Ağustos	7.87	2.92
Eylül	6.42	2.38



Şekil 2.17. D24A096 Havzası aylık ortalama akım ve bir su yılı içerisinde toplam akımı oluşturduğu aylık yüzde değerleri.

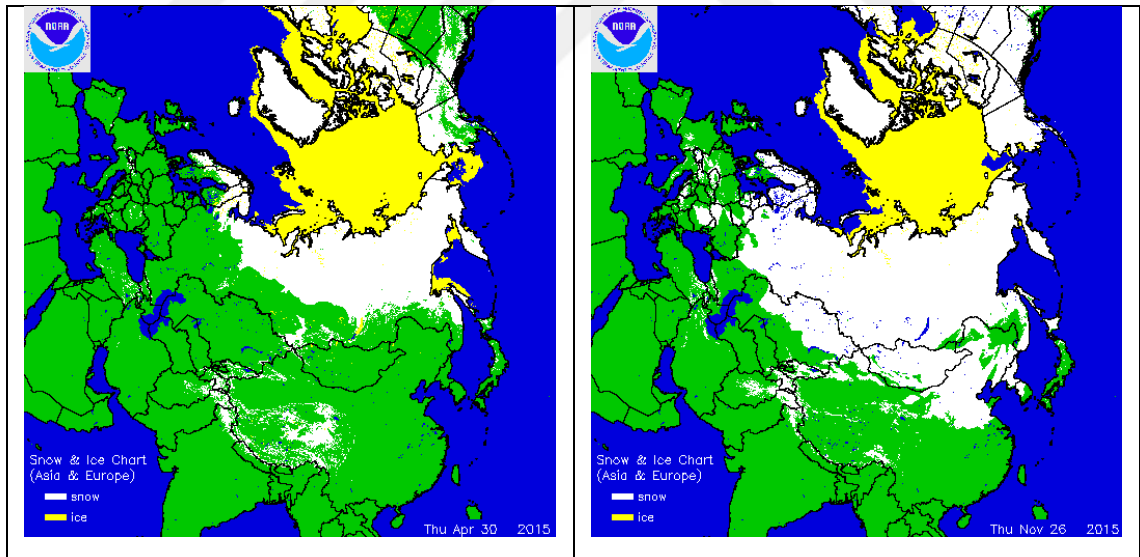
2.5. Kar verisi

Karla kaplı alan verisi temin etmek oldukça zordur çünkü karın karakteristik özellikleri konumsal olarak değişkenlik içerir ve zemin tabanlı ölçüm imkânı oldukça kısıtlıdır. Uydu görüntüleri ile kar verisi elde etmek zemin ölçümleri yaparak veri elde etmekten daha kolaydır, veri kalitesi ve erişilebilirlik ise arazi özelliklerine çok fazla bağımlı değildir.

Karla kaplı alan görüntüleri Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Dünya İzleme Sistemi (Earth Observing System, EOS) programı çerçevesinde Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) algılayıcısı ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi Ulusal Çevre Uydu Veri ve Bilgi Servisi (NOAA/NESDIS) tarafından sağlanan Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) ile elde edilmiştir. Orta Çözünürlük Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) termal kızıl ötesi sensor için 36 kanallı bir görüntülerdir. Uydulardan veri elde etmek konusunda ilk çalışmalar 18 Aralık 1999'da NASA'nın Dünya Gözlem Sistemi (EOS) programının amiral gemisi olan

Terra uydusu üzerine başlatıldı. 04 Mayıs 2002'de Aqua uydusuna ikinci bir MODIS gönderildi. Terra ve Aqua'daki MODIS aletleri günde 2 defa dünyadaki aynı alanı görüntüler. Bu sensörler, birlikte çalışarak, bulutsuz yüzey görüntülemeyi optimize eder ve alt günlük zaman ölçeğinde meydana gelen süreçleri araştırmak için fırsatlar sunar.

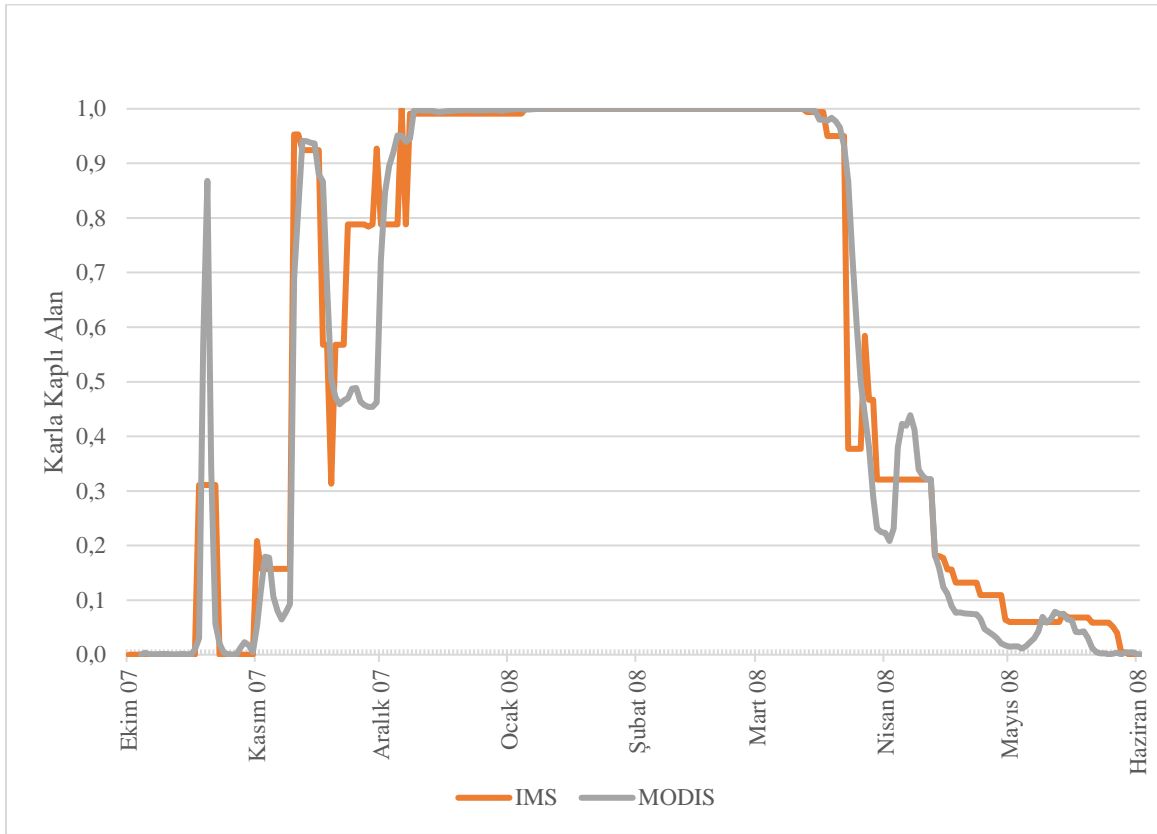
Şekil 2.2'de bulunan Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) görüntüleri ile elde edilen haritalarda görüldüğü üzere, ülkemizde karla kaplı alanlar kasım ayının son haftasında oluşmaya başlar ve mayıs ayının ilk haftalarında erime sürecine geçmektedir. İklim özelliklerine bağlı olarak kış ayı boyunca hemen hemen tüm yağışlar kar olarak düşer ve bu yağışlar alansal olarak uydular aracılığıyla gözlemlenebilir. Bu kar yağışlarına bağlı olarak oluşan hidrolojik rejimde erime dönemleri hariç genellikle düşük akımlar meydana gelmektedir. Bahar aylarında ise biriken kar örtüsünün erimeye başlaması ile Şekil 2.18'de belirtildiği üzere yüksek akımlar meydana gelmektedir. Yaz mevsiminin başlangıcında ise kar erimesi büyük çoğunlukla tamamlandığından akımlar tekrar düşük akım seviyesinde devam etmektedir.



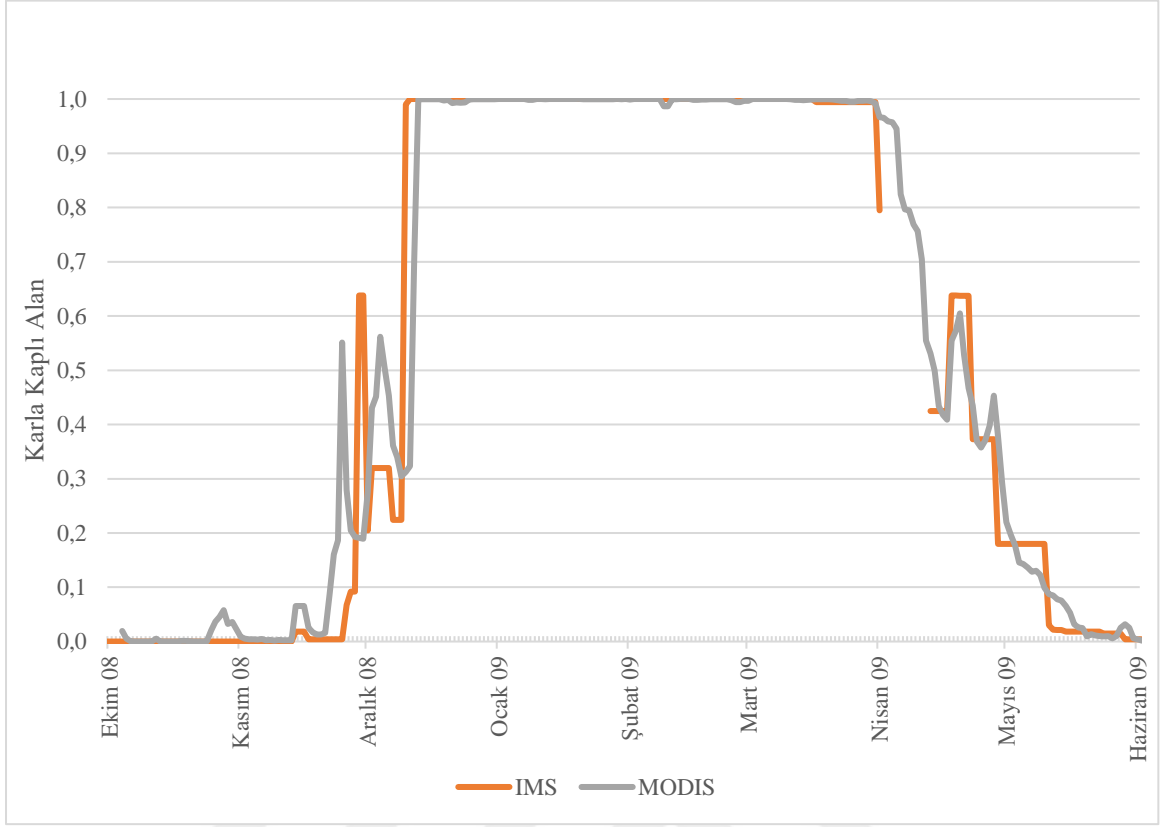
Şekil 2.18. Avrupa ve Asya'da 6 Mayıs 2015 ile 24 Kasım 2015 tarihleri için günlük karla kaplı alan durumu (<http://www.natice.noaa.gov/ims/>).

Kullanılan MODIS ürünleri optik uydu ürünleri olduğu için var olan bulut sorunu da çeşitli zamansal ve mekânsal filtrelemeler ile giderilmiştir. IMS, MODIS gözlemlerinden elde edilen kar örtüleri 2008-2012 su yılları için kullanılmıştır. Etkileşimli çok sensörlü kar ve buz haritası sistemi (IMS), kar ve buz ile ilgili analiz

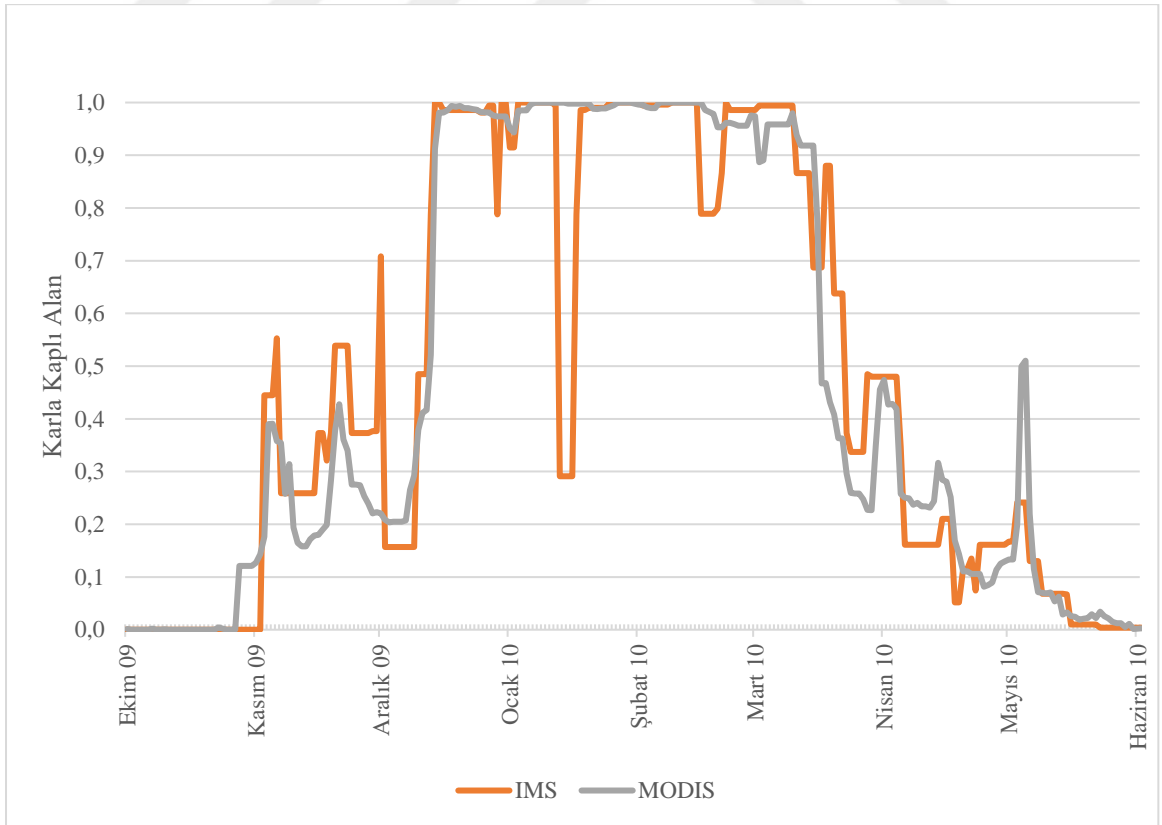
yapılan çalışmalara, belirli platformlarda; kar ve buz varlığını belirlemek, kar ve buzla kaplı alanları harita üzerinde göstermek için çeşitli sensor kaynaklarından görüntüleri alır ve verileri eşleştirerek görsel olarak incelemek için geliştirilmiştir. Bu görüntüler bir günlük ya da daha sık olarak üretilmektedir. IMS görüntüleri projede MODIS ile aynı süre için kullanılmıştır. Belirli günler için temin edilen bu görüntüler Kayabaşı Havzası ile kestirilerek havzanın kar ile kaplı alanları 2008 – 2015 su yılları için ayrı ayrı yüzde olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26).



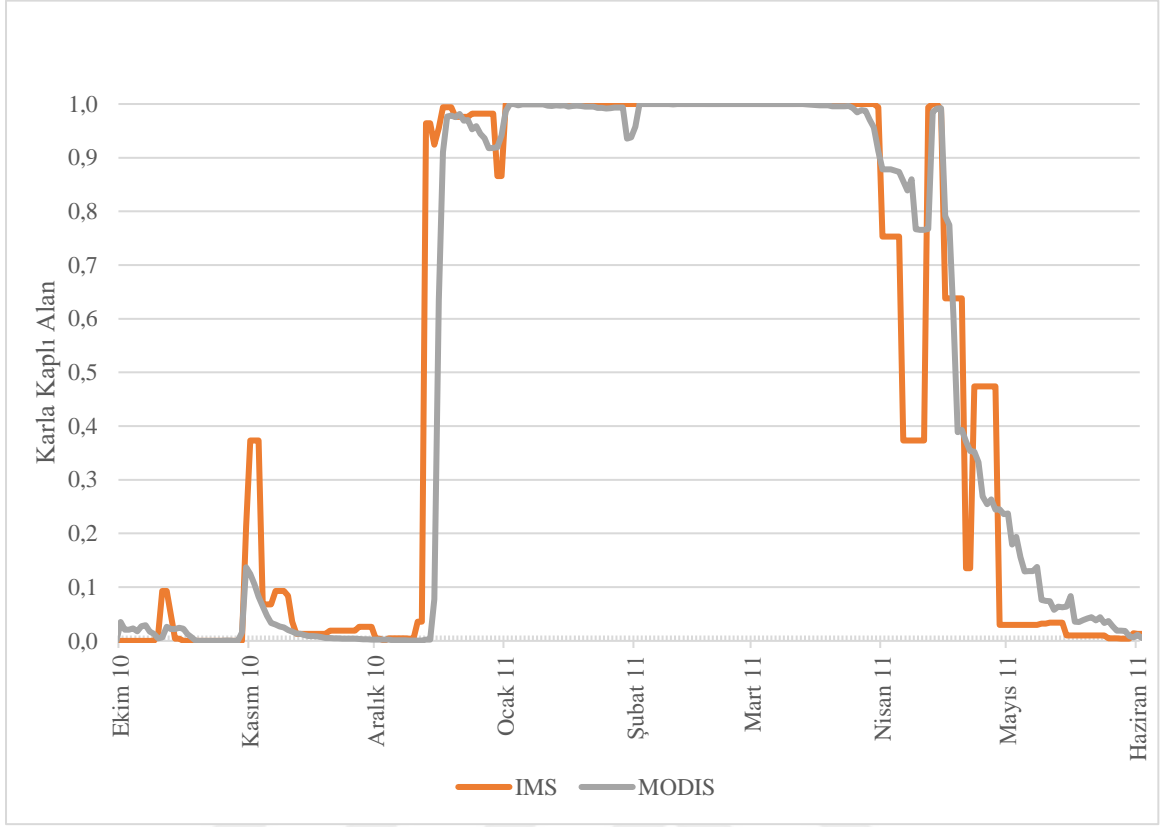
Şekil 2.19. 2008 su yılı karla kaplı alan oranı.



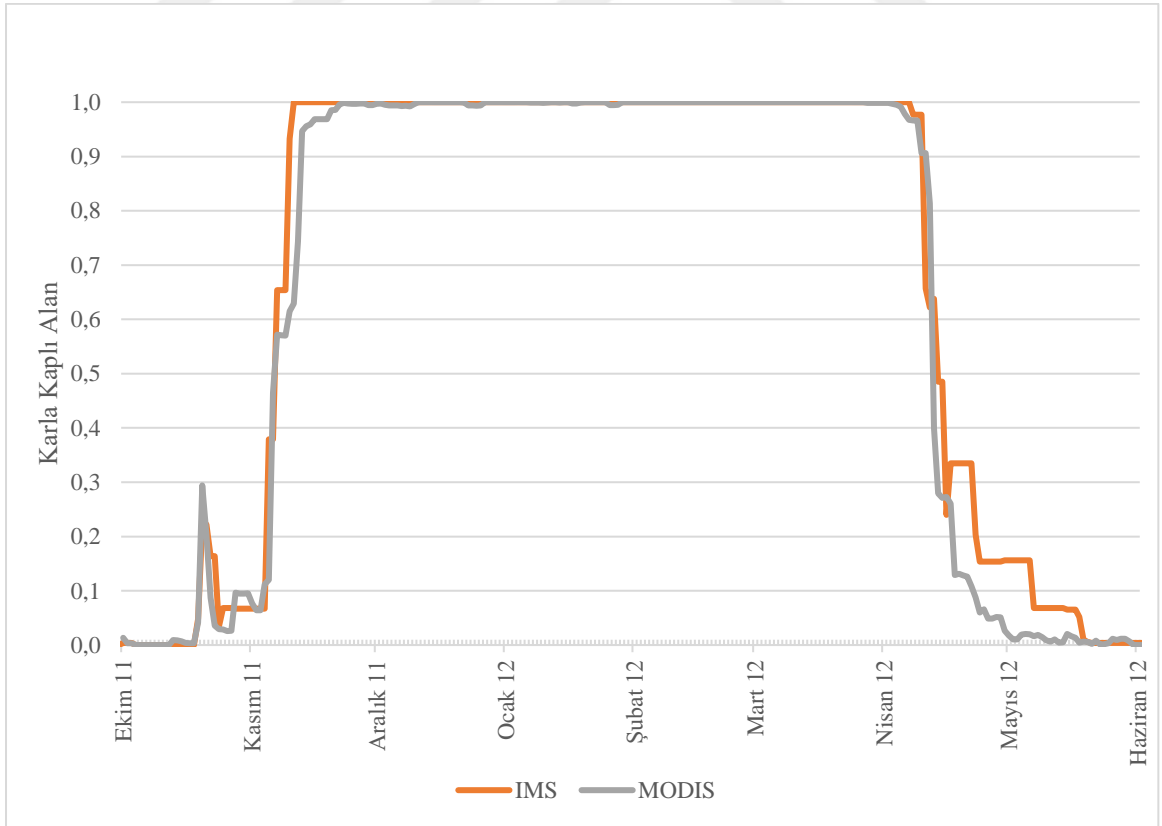
Şekil 2.20. 2009 su yılı karla kaplı alan oranı.



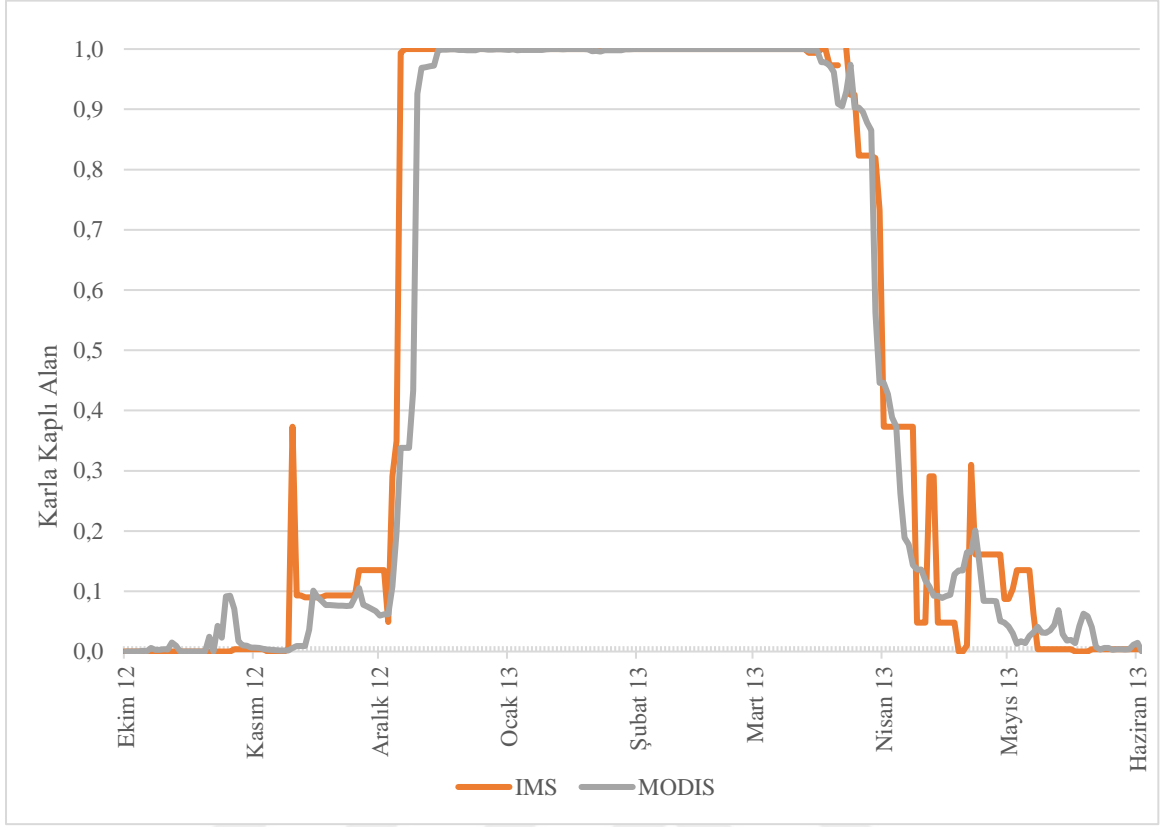
Şekil 2.21. 2010 su yılı karla kaplı alan oranı.



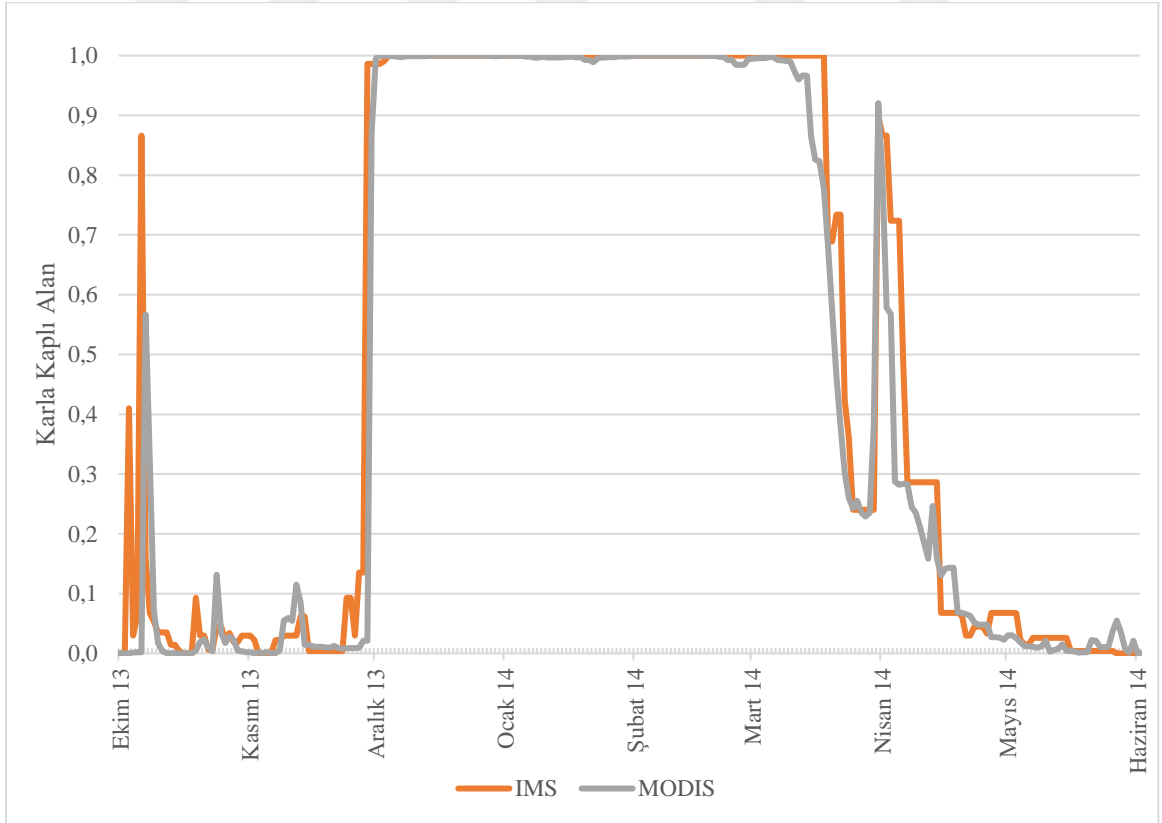
Şekil 2.22. 2011 su yılı karla kaplı alan verisi.



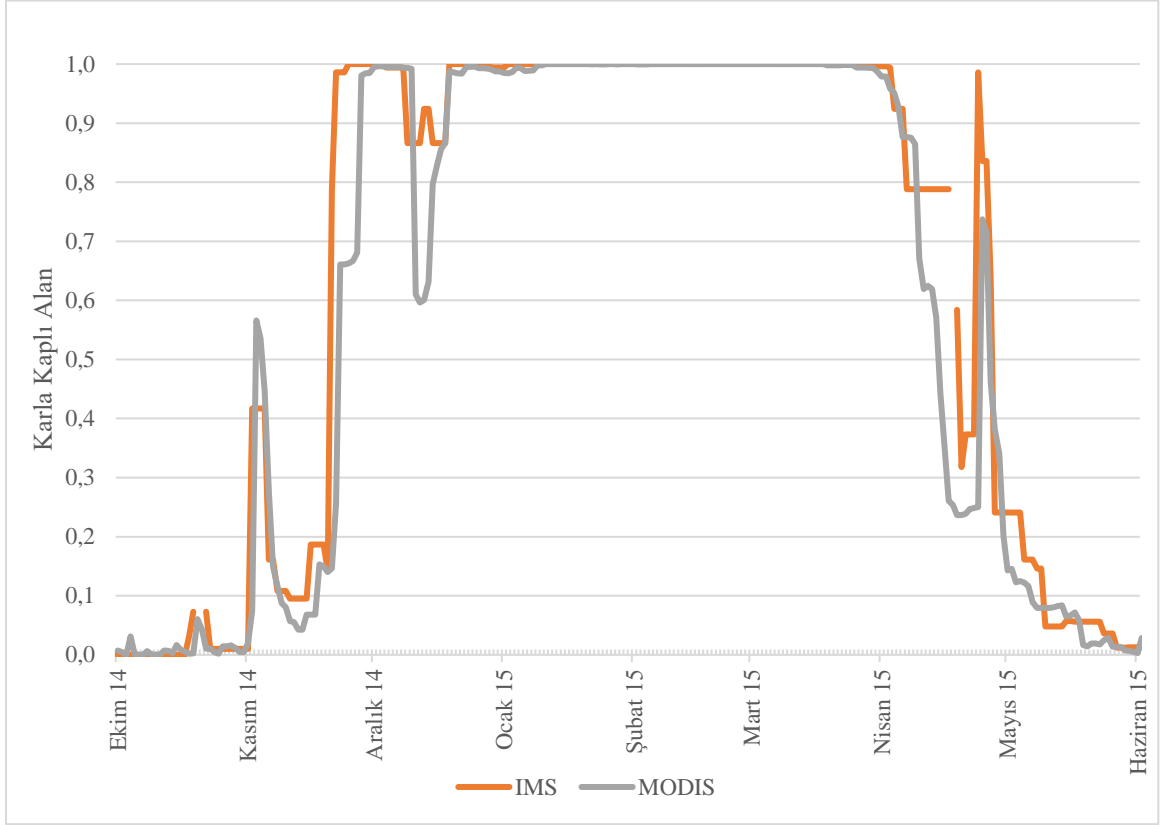
Şekil 2.23. 2012 su yılı karla kaplı alan oranı.



Şekil 2.24. 2013 su yılı karla kaplı alan oranı.



Şekil 2.25. 2014 su yılı karla kaplı alan oranı.



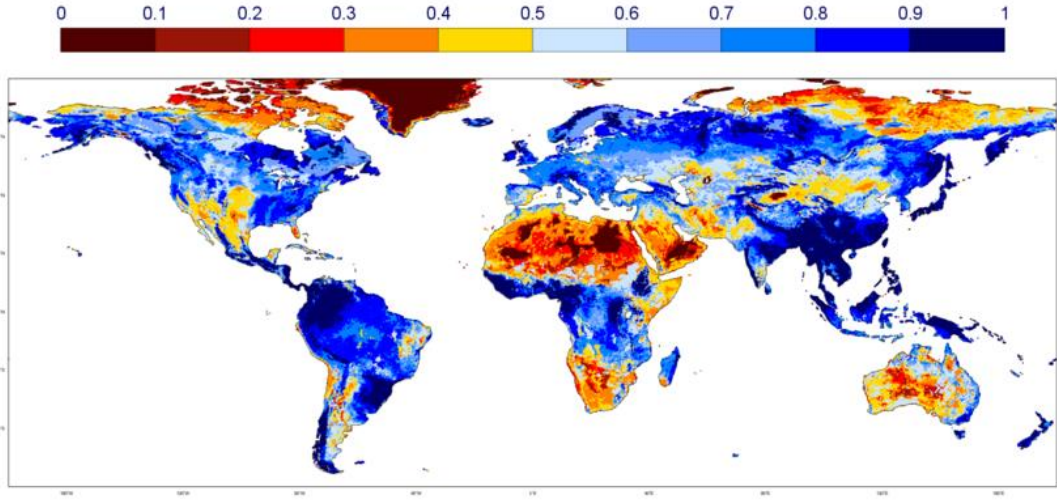
Şekil 2.26. 2015 su yılı karla kaplı alan oranı.

Uydudan temin edilen KKA verisinde eksiklik olduğunda, kullanılan 2 farklı uydu görüntüsü ile eksiklik giderilmiştir. Eğer her iki uydu görüntüsünde de aynı günler eksiklik varsa, önceki ve sonraki günler arası interpolasyon yapılmıştır.

2.6. Toprak Nemi Verisi

Toprak nemine ait veriler Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından üretilen ve Avrupa Meteorolojik Uydular Örgütü (EUMETSAT-HSAF) aracılığıyla dağıtılan görüntülerden temin edilmiştir. Toprak nemi ürününe (H14) örnek olarak 25 Ekim 2015 tarihli görüntü Şekil 2.27’de verilmiştir. Toprak nemi asimilasyon sisteminde, ASCAT’dan gelen yüzey gözlemi, 4 kat (0.07, 0.21, 0.72 ve 1.89 m kalınlıkları) için tahminler sağlar, yüzeyin 2.89 m altına kadar kök bölgelerine doğru yayılır. ECMWF modeli, Toprak Üzerindeki Yüzey Değişim Programı (HTESSEL) için ECMWF Şemasına göre toprak nemi profili bilgisi üretir. SM-DAS-2, 24 saatlik bir zaman aralığında, günlük genel saat 00.00 UTC’de mevcuttur. SM-DAS-2, ürünün zaman serisi tutarlılığını sağlamak için (ve ayrıca, model yayılımından uydu verileri olmadığında değerler sağlamak için) sürekli bir şekilde üretilir. SM-DAS-2 ürünü, NWP, iklim ve

hidrolojik topluluklar için tutarlı yüzey ve kök bölgesi toprak neminin mevcut ilk NRT'si olan ilk global ürünüdür. (<http://hsaf.meteoam.it/description-sm-das-2.php>)



Şekil 2.27. Eumetsat H14 Toprak Nemi görüntüsü (25 Ekim 2015).

3. MODEL

Su, canlılar için en önemli doğal kaynaklardan birisidir. Suyun olmadığı bir hayat düşünülemez. Hidroloji; yeryüzünün karmaşık su sistemlerini ve su sorunlarını çözmeye yardımcı için olarak bir ortaya çıkmış bilim dalıdır. Hidroloji, dünyada bulunan su ve su kullanımında insan faktörü ile ilgili bilgi verir. Bunu yaparken suyun oluşumunu, dağılımını, hareketini yer altı sularını da dikkate alarak oluşturduğu bir hidrolojik döngü ile her aşamasında çevre ile ilişkisini ve özelliklerini inceler.

Su döngüyü veya hidrolojik döngü, buharlaşma ile saflaştırılmış suyun okyanuslar dahil dünya üzerinden atmosfere taşınması ve tekrar yeryüzüne inmesiyle oluşan bir süreçtir (Bkz. Şekil 3.1). Döngünün sürekli olmasını sağlayan birçok fiziksel ve kimyasal olaylar vardır, bunlardan yağmur ve kar yağışları ile sızma en önemlidir. Her kullanıcı kendi amacına yönelik oluşturduğu sistemi anlamak için kendi verileriyle bir su döngüsü oluşturur. Mühendis hidrologistler ya da su kaynakları mühendisleri, su kaynaklarının kontrolü, kullanımı ve yönetimi için planlama, analiz, tasarım, inşaat ve proje çalışmalarında yer alırlar ve bu süreçlerde hidrolojik döngüyü kullanırlar.

(<http://water.usgs.gov/edu/hydrology.html> son erişim 27/01/2015)



Şekil 3.1. Hidrolojik döngü (<http://www.atmosferbilgisi.com/hidrolojik-dongu-ve-nem-kavrami/> son erişim 23.03.2016).

Son yıllarda, hidrolojik problemlerin çözümlerinde matematiksel modeller en önemli konulardan birisi olmuştur.

Hidrolojik döngü içerisinde yer alan olaylar aşağıdaki şekilde formülleştirilmiştir;

$$P + Q_i = ET + D_r + R_u + Q_f$$

P: Yağış;

Q_i: Gözlem başlangıcında toprak nemi;

ET: Buharlaşma;

D_r: Drenaj;

R_u: Yüzeysel akışı;

Q_f: Gözlem sonunda toprak nemi.

Hidrolojik döngünün formülleştirilmesi ile hidrolojik model kavramı yavaş yavaş oluşmaya başlamıştır. Hidrolojik modeller, temelinde hidrolojik döngüyü barındıran birçok farklı sebepler ile farklı formlarda oluşturulmuştur. Temelinde 2 önemli amaç için üretilmişlerdir:

- Havza modellemesinin amaçlarından ilki, havzayı etkileyen fenomenleri anlamak ve bunların değiştirildiği zaman havzada oluşacak değişiklikler hakkında bilgilenmek.
- Diğer amacı ise tasarım ve tahmin amaçlı sentetik dizi üretimidir.

Bir model gerçek dünyanın basitleştirilerek temsil eder. En iyi model ise az parametre ile kompleks sistemi kurarak gerçeğe en yakın sonuçları vermelidir. Modelin amacı sistem davranışını tahmin etmek ve farklı hidrolojik süreçleri anlamaktır. Günümüzde hidrolojik modeller, çevre ve su kaynakları yönetimi açısından önemli ve gerekli araçlar haline gelmiştir.

3.1. Literatür

Hidrolojik modeller kullanılmaya başlandığından beri hangi model ne amaçla kullanılsa daha çok verim alınır sorusu konusu olmuştur. Bilim insanları bu konuda birçok çalışma yapmış ve modelleri incelemişlerdir. Bunlardan en temel olanları, İklim ve arazi kullanımındaki değişiklikleri, taşkın ve kuraklık gibi hidrolojik problemleri anlamak

bunlar için çalışmalar yapabilmek için hidrolojik modellerdir. (Tallaksen 1997, Hunter 2007, Laaha 2007). Yang ve ark (2000) çalışmalarının sonunda taşkın tahmin ve bunun gibi konularda HBV modelinin kullanışlı olabileceğini belirtmişlerdir.

19 yüzyılın ortalarında ilk olarak kentsel kanalizasyon sistemleri, drenaj sistemleri ve rezervuar dolu savak hesapları için yağış-akış modelleri kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde hidrolojinin temel taşlarından birisi olan rasyonel formül üretilen ilk yağış-akış modeli sayılmaktadır. 1930larda birim hidrograf model kavramının içinde yerini almıştır. 1950lerde kavramsal modelin tanımlanmasıyla birlikte 1960larda Dawdy and O'Donnell (1965), Stanford Model IV (Crawford and Linsley, 1966), Sacramento Model (Burnash et al., 1973), HBV model (Bergström and Forsman, 1973), Tank model (WMO, 1975) gibi farklı modeller üretilmiştir.

Çalışmada kullanılan HBV modelini konu alan çalışmalardan birisi de Seibert (1999)'e aittir. Seibert, HBV modeli ile ölçüm yapılmayan havzaları matematiksel olarak modellemek için kullanmış ve parametrelerinin belirsizliğini azaltmak için iki yöntemin mantıklı olduğunu belirtmiştir. Bunlardan bir tanesi bulanık mantık kullanmak ve diğeri yapılan bu çalışmada da kullanıldığı gibi gözlemlenmiş akım verisine ilave olarak farklı veri setleri temin edip modele girdi olarak kalibrasyon süreci için tanıtmaktır. Bu makale özellikle çalışmanın devamı için ışık tutabilecek yöndedir.

Literatürde, gözlemlenmiş akım ile oluşturulan hidrolojik modellerden hangisinin gerçeğe daha uygun sonuçlar verdiğini konu alan birçok çalışma mevcuttur. Çalışmaların çoğu kompleks modellerin daha iyi sonuçlar verip vermediği yönündedir (De Vos 2007). Seibert ve Uhlenbrook (2005), gözlemlenmiş ve model çıktısı olan parametre setlerinin arasındaki bağlantıyı dikkate alarak gerçekleştirilen hassasiyet simülasyonları modelin içsel davranışını anlamak, model yapısı ve süreci kavramsallaştırılmasını kavramak açısından yararlı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Modellerin kompleks yapıları ile ilgili çalışmalardan birisi de Orth ve arkadaşlarının (2015) 3 farklı modeli inceleyen bu amaç için aynı akım verisi ve zemin muhtevası veri seti ile modelleri tek tek kalibre eden çalışmalarıdır. Modellerin kompleks yapılarının performansa etkileri üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Pfannerstill ve ark. (2014) hidrolojik model ile çok kriterli yapıya farklı bir açıdan yaklaşmış ve akım serisini parçalara bölmüşlerdir. Farklı akım olaylarını anlamak için

anahtar noktanın farklı performans ölçütlerini kullanmak ve olaya farklı kriterlerden bakmak olduğunu belirtmişlerdir. Bir ya da iki başarı kriteri kullanmak sadece bir akım olayını modellemek ve farklı olayları göz ardı etmek anlamına geldiğini eklemişlerdir.

Birçok karışık stokastik sistemleri tamamen matematiksel modellerle analiz etmek mümkün değildir ve deterministik kantitatif yöntemlerle faydası sınırlanmıştır. Birçok stokastik yapıdaki karmaşık sistemlerin analizini yapıp sistemi temsil eden bir model kurmak yöneylem araştırmasının en önemli araçlarından biri olan simülasyon tekniği ile, stokastik süreç dolayısıyla Monte-Carlo simülasyon tekniği ile yapmak mümkündür (Kahveci, M. 2002)

HBV modeli kavramsal bir hidrolojik model olup İskandinav havzaları için üretilmiştir. Fakat son 50 yıl içinde 30'dan fazla ülkede farklı hidrolojik konular için kullanılmıştır; dolusavak dizayn ve taşkın analizi (Bergström 1992), iklim değişikliği (Saelthun 1996), arazi kullanım (Brandt ve ark. 1988), akım tahmin (Şorman ve ark. 2009).

3.2. HBV-Light

Yapılacak çalışmada model olarak kavramsal, deterministik ve yarı dağılımlı bir yağış akış modeli olan HBV-light kullanılmıştır. Yarı dağılımlı yağış akış modeli denmesinin sebebi; farklı yükseklik veya farklı arazi kullanım (bitki örtüsü, yerleşim, çorak alan vs.) alanlara bölünmesini ve alt havzalar oluşturmanıza olanak sağlamasıdır. Model farklı modüllerden oluşur ve havzada oluşan akımı ve uzun süreli aylık buharlaşma miktarını tahmin eder, bu işlemi yaparken genellikle günlük zaman serisi halinde verilen yağış, buharlaşma ve akım verilerinden yararlanır (Bkz. Şekil 3.2).

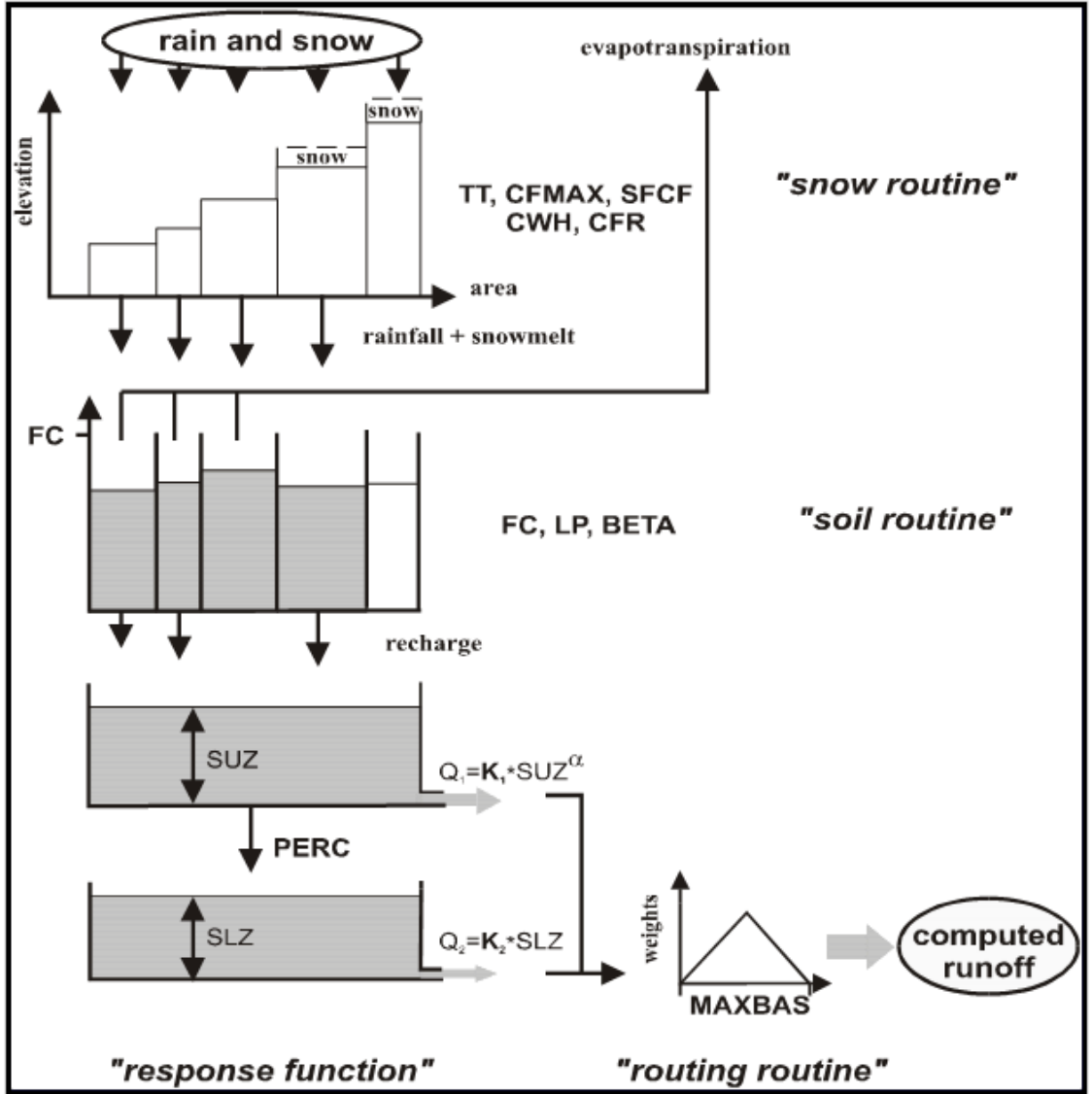
Kar modülünde kar birikmesi ve erimesi derece-gün yöntemiyle hesaplanır. Bu hesaplar rutin içinde bulunan karın erime sıcaklığı için belirlenen eşik değeri (TT) ile modele girdi olarak verilen gözlemlenmiş sıcaklık verisi kıyaslanarak yapılır. Model TT değeri altına düşen yağışı kar olarak hesaplamaktadır. SFCF parametresi ile kar olarak belirlediği yağışları düzeltir. Eğer istasyonlardan alınan gözlemlenmiş sıcaklık verisi eşik değerinden fazla ise karı eritir. Eritme işlemine karar verdikten sonra ne kadar eriteceğine rutin içinde bulunan diğer parametreler (CFMAX) ile karar verir. Kar erimesi dönemi başladığında CFMAX ile TT birlikte çalışır ve karın su tutma kapasitesi (CWH) aşıldığı zaman akım oluşmaya başlar. Bu dönemde eğer sıcaklık yeniden TT değerinin altına

düşüyor ise CFR parametresi ile yağış kar olarak modellenmektedir. Modelde havza farklı yükseklik sınıflarına bölündüğü için her bir zonda yeniden yağış ve sıcaklık düzeltmeleri yapılmaktadır (PCALT ve TCALT).

Zemin rutini, yer altı suyu ve buharlaşma ile ilgili simülasyonları gerçek su depolama fonksiyonları gibi zemin ile akım arasındaki hidrolojik olayları gerçekleştirir. Burada yağış, kar erimesi ve buharlaşma model girdisi olarak kabul edilir, çıktı olarak yağış ile oluşan akım, zemin neminde depolanan su ve gerçek buharlaşma değerlerini hesapları. Bu modülde etkin üç parametre vardır; BETA, FC ve LP. Bu parametreler birbirleri birlikte çalışır ve kalibrasyon gerektirirler. Eğer zemin nemi maksimum kapasitesine eriştiyse yani tamamen su depoladıysa gelen yağış ya da kar erimesi direkt olarak akışa geçmektedir. Burada modele girdi olarak verdiğimiz aylık ortalama buharlaşma verisi kullanılmaktadır.

Akım rutini ise bir üst modül olan zemin modülünden fazla kalan su akıma dönüşmektedir. İçinde barındırdığı parametreler ile zemini bölgelere ayırır (üst ve alt zonlar) ve her bölme için ayrı ayrı yükseklik değerleri hesaplar. Zemin nemi bölgesinden gelen akım ya da yağış verileri üst zondan alt zona doğru süzölmeye başlar (PERC). Eğer üst zonda UZL yani depo için eşik değeri aşılsa, üst zondan alt zona doğru bir drenaj başlayacaktır ve bu drenaj hızı da K0, K1 ve K2 katsayıları ile hesaplanacaktır. Burada sızan su ile ilgili hesaplar yapılmaktadır.

Son olarak, öteleme (routing routine) akım rutininden çıkan değerleri bir üçgen ağırlık fonksiyonu kullanarak havzanın çıkış noktasına öteleyerek bir akım değeri üretmiş olur. Oluşan akım hidrografına MAXBAS parametresi ile uygun şekil verilerek gözlemlenen ve modellenen akım hidrografı üretilir. (Bergström, 1995; Lindström et al., 1997; Seibert, 1999). Modelin kullandığı parametreler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.



Şekil 3.2. HBV-light programı içindeki rutinler şeması.

HBV modelini çalıştırmadan önce parametrelerin minimum ve maksimum değerleri yukarıda belirtilen daha önce yürütülen çalışmalara dayanarak modele tanıtılmıştır (Bkz. Tablo 3.1).

Tablo 3.1. *HBV model parametreleri ve açıklamaları.*

RUTİN	PARAMETRE	TANIM	MİN.	MAKS.	BİRİM
Kar	TT	Yağış tipi için eşik değeri	-2.5	2.5	°C
Kar	CFMAX	Derece-gün faktörü	1	6	mm/gün°C
Kar	SFCF	Kar doğrulama faktörü	0.6	1.2	–
Kar	CFR	Su tutma kapasitesi	0.05	0.05	–
Kar	CWH	Suyu dondurma kapasitesi	0.1	0.1	–
Zemin	FC	Maksimum zemin nemi / zemin nemi depolama kapasitesi	100	450	mm
Zemin	LP	Buharlaşmayı azaltmak için zemin nemi eşik değeri	0.2	1	–
Zemin	BETA	Zemin nemi deposundan akım modülüne katılım katsayısı	1	5	–
Akım	PERC	En üst yeraltı suyu kutusundan en alt kutuya sızan maksimum akım	0	4	mm/gün
Akım	UZL	K0 için eşik değeri / Zemin nemi için maksimum depolama eşik değeri	0	70	mm
Akım	K0	En hızlı geri çekilme katsayısı	0.1	0.5	gün ⁻¹
Akım	K1	Hızlı geri çekilme katsayısı	0.01	0.2	gün ⁻¹
Akım	K2	Geri çekilme katsayısı	0.001	0.1	gün ⁻¹
Öteleme	MAXBAS	Öteleme ve ağırlık fonksiyonu	1	2.5	gün
Diğer	Cet	Buharlaşma düzeltme fonksiyonu	0	3	/°C
Havza Karakteristikleri	PCALT	Yağış için yükseklik fonksiyonu	2	10	%/100 m.
Havza Karakteristikleri	TCALT	Sıcaklık için yükseklik fonksiyonu	0.3	0.8	°C/100 m.

Çalışmanın devamında kullanılan model başarı kriterleri ve açıklamaları Tablo 3.2'deki gibidir.

Tablo 3.2. *HBV performans kriterleri ve açıklamaları.*

Model Performans Kriterleri	Türkçe Ölçüt Tanımı	Formül	Değer Aralığı
Reff (NSE)	Model Verimlilik Katsayısı	$1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}$	$(-\infty) - (+1)$
LogReff	Logaritmik Model Başarısı	$1 - \frac{\sum(\ln Q_{obs} - \ln Q_{sim})^2}{\sum(\ln Q_{obs} - \overline{\ln Q_{obs}})^2}$	$(-\infty) - (+1)$
SnowCover_RMSE	Karla Kaplı Alan Model Başarısı	$1 - \sqrt{\frac{1}{n} - (KKA_{sim} - KKA_{obs})^2}$	$(0) - (\infty)$

Reff (Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE) model verimlilik katsayısı, hidrolojik modellerin gözlemlenene olan başarısını değerlendirmek için kullanılır. Burada Q_{obs} gözlenen akım, Q_{sim} modellenen akım değeri ve $\overline{Q_{obs}}$ gözlenen akımların ortalamasıdır. HBV modelinde bu eşitlik Reff olarak geçmektedir. Reff verimliliği $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. Verim 1 (Reff = 1), gözlenen verilere modellenmiş akımın mükemmel bir eşleşmesine karşılık gelmektedir. Bu yöntem, gözlenen veriler olduğu sürece model sonuçlarını karşılaştırmak ve diğer modellerin tahmin doğruluğunu tanımlamak için kullanılabilir.

LogReff, Reff gibi hesaplanmasına rağmen değerleri logaritmik ölçekte hesaplayarak düşük akımların etkisini irdelemek için kullanılır. Çalışmada bazı aylar yüksek akım değerleri gözlenirken, düşük akım değerlerinin de performans kriteri üzerinde etkili olması için LogReff kullanılması kararlaştırılmıştır.

SnowCover_RMSE, ortalama hata kareleri toplamı kökü (Root Mean Square Error) gözlenen ve modellenen karla kaplı alan değerlerinin farklarının kareleri ile hesaplanmaktadır. Burada KKA_{obs} , gözlemlenen karla kaplı alan verisi; KKA_{sim} ile modelin ürettiği karla kaplı alan verisini temsil etmektedir.

3.3. Model Girdileri

HBV-Light çalışılan havzanın modellenmesi için zorunlu 3 farklı veri dosyasına ihtiyaç duyar; PTQ, buharlaşma ve sıcaklık veri setleridir. Bu zorunlu bilgiler; yağış, sıcaklık, akım ve buharlaşma verileridir. Aldığı dosyalar .xml, .dat ya da .txt formatında olmak zorundadır. Modelde çok kriterli yapı oluşturmak için ayrıca karla kaplı alan verisi de girdi olarak tanıtılmıştır.

PTQ Dosyası gözlemlenmiş verileri içeren ve modeli oluşturmak için bulunması gereken zorunlu dosyadır. 4 kolon halinde oluşturulan dosya sırası ile tarih, yağış (mm/gün), sıcaklık (°C) ve akım (mm/gün) verilerini zaman serisi şeklinde içerir. Model çalıştırıldığı zaman ortaya çıkan grafiklerden gözlemlenmiş verileri içeren eğri, bu PTQ dosyası sayesinde oluşturulur. Dosyadaki ilk iki sıra HBV tarafından okunmaz (Bkz. Şekil 3.3).

Kayabasi_HBV				
Date	Prec	Temp	Qsim	
20070501		1.6	7.9	98.80
20070502		0.0	8.8	110.00
20070503		1.3	7.6	130.00
20070504		0.2	5.6	149.00
20070505		7.7	9.7	160.00
20070506		0.0	11.8	190.00
20070507		0.0	13.0	209.00
20070508		0.0	14.2	204.00
20070509		3.7	11.7	209.00

Şekil 3.3. 01.05.2007-09.05.2007 tarihleri arası ptq dosyası.

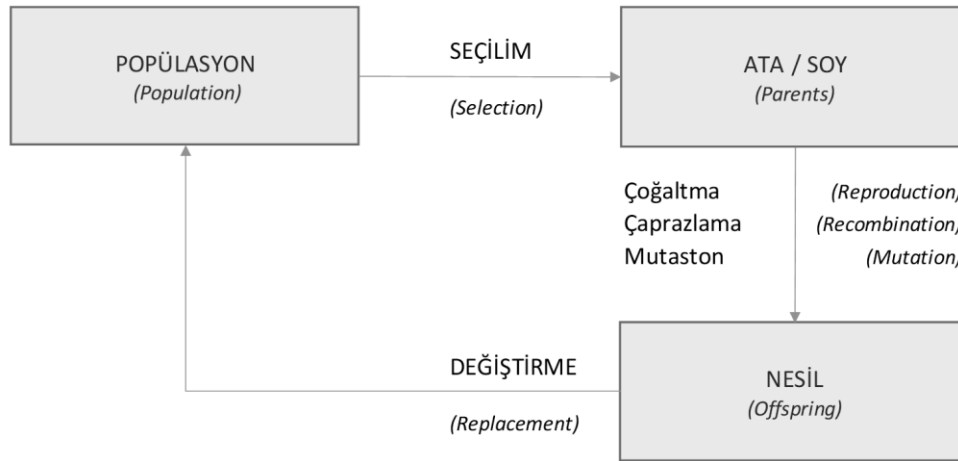
Buharlaşma dosyası, EVAP.txt dosyası aylık potansiyel buharlaşma verilerinin mm/gün formatında içerir. Burada önemli olan noktalardan birisi verileri ocak ayından başlayarak zaman serisi şeklinde almasıdır, hidrolojide sıkça kullanıldığı gibi su yılı şeklinde almaz.

Sıcaklık Dosyası, modele T-MEAN olarak verilen dosya aylık ortalama sıcaklık değerlerinin °C formatında, buharlaşma dosyasında olduğu gibi ocak ayından başlayarak aralık ayına kadar her ayın verisini içerecek şekilde oluşturulur.

Karla Kaplı Alan Verisi, Uydulardan temin edilerek düzenlenen veri seri modele SnowCover.txt formatında alanın yüzde kaçının kar ile kaplı olduğu belirtecek şekilde düzenlenerek modele girdi olarak hazırlandı. Model girdisi oluşturmak için karla kaplı alan haritaları, ayrıca bir ortamda havza sınırları ile kestirilerek 0 ile 1 arası değişen oranlarda her gün için olacak şekilde hazırlandı; 0 bilgisi havzada kar olmadığı, 1 ise havzanın tamamen karla kaplı olduğunu belirtmektedir.

3.4. Genetik Algoritma

Optimizasyonu zor olan farklı birçok problemin çözümünde önemli ölçüde katkıda buldukları için kullanımları giderek artmaktadır. Genetik algoritmalar doğal seçim ilkesine dayanan bir sayısal optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma, çözüm dizilerinden oluşan bir başlangıç nesliyle, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal seçim operatörlerini kullanmaktadır (Bkz. 3.4).



Şekil 3.4. Genetik algoritma evrim şeması

Genetik algoritmalar doğal sistemlerin adaptasyon süreçleri anlamak için geliştirilmiştir. GA genellikle çaprazlama operatörü kullanarak büyük bir rol oynayan iki çözüm ortaya çıkarır ayrıca mutasyon operatörü ile tekil girdileri – çalışma için parametreleri- rastgele değiştirerek ederek sonuçlarda çeşitliliği sağlar. GA orantılı seçim

mantığına dayanan olasılık seçimini kullanır. Değişirme seçimi nesilseldir. Yeni veri seti (offsprings), eski seriden (parents) sistematik olarak üretilir. Geçiş operatörü mutasyon olduğunda n-noktası ya da uniform geçişe dayanır. Sabit olasılık pm ise mutasyon operatörüne uygulanır (El-Gazali, 2009).

Genetik algoritmalar doğal seçim ilkesine dayanan bir sayısal optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma, çözüm dizilerinden oluşan bir başlangıç nesliyle, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal seçim operatörlerini kullanmaktadır.

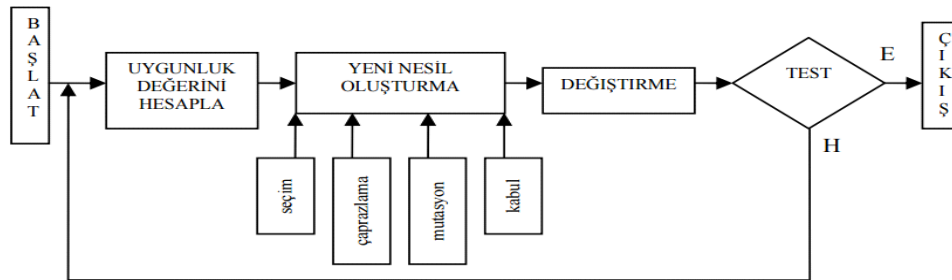
Genetik algoritmalar oldukça genel prensiplerle Şekil 3.5'te akış şemasında görüldüğü gibi çalışmaktadır. Öncelikle ele alınan problem için bir rastgele n kromozomlu popülasyon oluşturulur. Daha sonra popülasyondaki her bir kromozom için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Yeni bir popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımlar tekrar edilir:

Seleksiyon: Uygunluk durumuna göre popülasyondan iki tane kromozom, çaprazlanmak (crossover) amacıyla seçilir (çoğullama - reproduction). Burada uygunluk derecesi yüksek olanın seçilme şansı yüksektir.

Çaprazlama: Seçilmiş olan ebeveyn kromozomlar, çaprazlama oranına göre yeni bireyler oluşturmak üzere çaprazlanırlar. Eğer çaprazlama uygulanmazsa bireyler atalarının tamamen kopyası olacaklardır.

Mutasyon: Kromozom üzerindeki bazı dizilerin (DNA dizilerinin) yerleri ile oynanarak belirli mutasyon oranına göre değişiklikler yapılır.

Yeni popülasyon kabul edildikten sonra, oluşturulan yeni popülasyon eskileriyle yer değiştirilir. Hedeflenen uygunluk değerine ulaşıldığında program durdurulur ve popülasyondaki en iyi çözüm alınır.



Şekil 3.5. Genetik algoritma nesil oluşturma adımları.

Genetik algoritmalarda kromozomlarla bir başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur. Burada popülasyon genişliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Büyük popülasyonlarda, çözüm uzayı iyi örneklendiği için aramanın etkinliği artmakta, fakat buna bağlı olarak da arama süresi uzamaktadır. Küçük popülasyonlarda ise, çözüm uzayını yeterli örnekleyememe ve zamansız yakınsama oluşabilmektedir.

Genetik algoritmanın her çevriminde, yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu, kromozomları problemin parametreleri haline getirmekte ve bunlara göre hesaplama yapmaktadır. Genellikle genetik algoritmaların başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlıdır.

Geleneksel olarak kalibrasyon işlemi, kullanıcı tarafından deneme yanılma yöntemi ile yapılır. Manuel olarak yapılan bu işlem birbirinden bağımsız parametrelerin sayısına ve parametreler arasındaki ilişkiye göre sıkıcı, yorucu ve zaman kaybı olabilmektedir. Bu birçok farklı değişken için yapıldığında durum daha da zorlaşmaktadır. Ayrıca bu yaklaşımın öznel olmasından dolayı, model simülasyonunun güvenilirliğini değerlendirmek zorlaşmaktadır. Bu sebepten dolayı bu konuda yürütülen çalışmaların çoğu otomatik kalibrasyon yöntemlerinin daha etkili ve yararlı olduğu ile ilgilidir.

3.5. Monte-Carlo

Stokastik süreçlerde matematiksel formülle ifade edilen eşitlikleri kullanabilmek parametre belirsizliği açısından çok zordur. Her bir değişkenin değerini kesin olarak belirleyebilme şansı hemen hemen hiç yoktur. Bundan dolayı matematiksel formüllerle ifade edilemeyen karmaşık yapıdaki sorunları çözümlenebilmek için simülasyon modellerinden yararlanmak gerekir. Sistemleri oluşturan değişkenler ağırlıklı olarak stokastik bir yapıya sahip olduklarından Monte-Carlo simülasyonu tercih sebebidir. Bundan dolayıdır ki daha önce belirttiğimiz nedenlerden dolayı stokastik özellikli karmaşık yapıdaki modeller stokastik simülasyon modeli ile dolayısıyla Monte-Carlo simülasyonu ile analiz edilebilir.

4. MONTE-CARLO İLE BELİRSİZLİK ve HASSASİYET ÇALIŞMALARI

4.1. Literatür

HBV model 1976 yılından beri birçok farklı çalışmada kullanılmıştır; hidrolojik tahminler, dizayn akım hesaplamaları, iklim değişikliği gibi (Bergström 1992). Fakat parametrelerin belirsizlik konusu hala tam olarak çözümlenememiştir.

Kahveci M. (2002), hidrolojiden farklı amaçlarda Monte-Carlo metodunu kullanmıştır ve gerçekte herhangi bir durum için tam belirlilik durumunun olduğu deterministik olarak kurulan simülasyon modelinin stokastik bir değişken eklenmesiyle MC simülasyon modelinin elde edilebileceğini belirtmiştir. Monte-Carlo simülasyon tekniğini, çağımız şartlarında risk ve belirsizlik olduğundan ve olaylarla stokastik açıdan yaklaştığından kullanmak oldukça gerçekçi bir yaklaşım olduğunu söylemiştir.

Seibert 1997 de yürüttüğü çalışmada rastgele parametre seti üreten Monte-Carlo aracı ile fazla sayıda yaptığı model çalışmalarının sonuçlarını alarak parametrelerin belirsizlikleri konusunda çalışmıştır. Parametrenin belirsizliğinden kaynaklanan model sonucu üretilen akımın belirsizliği yaptığı çalışmanın asıl amacıdır. Ayrıca hangi parametrenin simülasyonu en çok etkilediğini parametrelerin değerlerini değiştirerek bulmaya çalışmıştır. Monte-Carlo kullanarak 500,000 adet parametre seti üretmiş ve aralarından en iyi olanları almıştır. Oluşturduğu modellerde farklı verimlilik kriteri kullanmış fakat çalışmaların devamında model başarı kriteri olan Reff değeri 0.7'den fazla olan parametre setlerini kullanmıştır. Çalışmasının sonucunda parametreleri tek tek irdelemiş ve modellerinin Reff değerlerini 0.81 ve 0.86 olarak bulmuştur.

Parametre hassasiyeti konusunda HBV ile yapılan bir başka çalışma 2010 yılında Abebe ve ark.na aittir. Monte-Carlo yöntemi ile parametrelerin hassasiyet ve duyarlılık analizleri yapılmış ve sonuçlar için farklı akım periyotları ile farklı model amaç fonksiyonları olan objektif fonksiyonlar kullanılmıştır. Sonuçlarda ana parametrelerin hassasiyet analizlerinde daha yüksek verim alınırken “response” rutin parametrelerinde bu değer daha düşük bulunmuştur.

Sürer ve ark. (2015), HBV modelinin her bir parametresinin hassasiyet analizi için yukarı Fırat Havzasını seçmişlerdir. Çalışmanın sonucunda farklı parametre setlerinin model simülasyonunu aynı ölçüde iyileştirdiğini belirlemiştir. Hidrolojik modellemeler de ıslak ve kurak yıllara bağlı olarak elde edilen akım değerleri birbirinden farklılık

göstermekte ve tek bir parametre seti ile tüm yıllar için modelleme başarısını yüksek beklemenin mümkün olmadığını eklemiştir.

Hornberger ve arkadaşları (1986) tarafından tanıtılan HBV modelini Harlin ve Kung (1992) parametre belirsizliği için kullanan başka bilim insanlarıdır. 8 kalibrasyon modeli kullanarak maksimum/minimum değerleri içinde düzgün dağılım ile 1000 parametre seri üretmişlerdir. Ürettikleri parametre setlerini kullanılabilecekler ve kullanılamayacaklar şeklinde ikiye bölmüşlerdir. Bu grupları karşılaştırarak, parametrelerin hangisinin değişikliği ile model çıktısının daha fazla değiştiğini ve hangi parametrenin daha hassas olduğunu anlamaya çalışmışlardır.

Uhlenbrook ve Seibert (1999), HBV ve Monte-Carlo ile belirsizlik analizi Uhlenbrook ve arkadaşlarına da konu olmuştur. Onlara göre iyi simülasyon sonucu farklı ve “unrealistic” olayları da aynı model ile temsil etmektir. Monte-Carlo parametreleri tek tek çalıştırmaktansa, aralarındaki bağıntıyı dikkate alır. Ayrıca havzayı alt zonlara bölmek model performansını arttırdığını belirtmişlerdir.

Doğrulama veri seti için kötüleşen model davranışı parametreleri tanımlamak için ipucu olabilir. Fakat Bir modeldeki çok sayıda serbest parametre ile ilgili olarak, Tek bir performans ölçüsü modelin arka planında var olan eşitliliğe karşı modelleme başarısını kanıtlamak ve ispat etmek için zayıf bir kriterdir (Beven, 2001). Bunun için Ouyang ve arkadaşları (2014) Model içinde bulunan parametrelerin farklı Reff değerleri için dağılımlarını bularak parametrelerin belirsizliğini azaltmak üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda dönemleri yoğun irdelemenin Kritik dönemler için belirsizliği azaltarak parametre değeri üretmenin periyodları tanımlamadaki önemini vurgulamışlardır.

Model belirsizliği ile yapılan çalışmaları genel olarak modele farklı veri setleri ilave etmek üzerine oluşmaktadır. Örneğin Beven ve Binley (1992) Monte-Carlo simülasyonu ile aynı performans kriterini veren birçok parametre seti üretmiş ve belirsizliğin sınır noktalarını bulmaya çalışmışlardır. Thiemann ve ark. (2001) ise parametre tahminlerini manuel olarak simültane çalışmalarla üretmişlerdir. Bunlardan diğeri de Uhlenbrook ve Sieber'in 2005'te yayımlanan çalışmalarına aittir. Çalışmalarında akıma ilave veri setleri kullanarak Monte-Carlo kullanmışlar ve belirsizliğin birden fazla veri seti ile azaldığını ayrıca model belirsizlik tahminlerinde bunun zamana bağlı bir değişken olduğunu

vurgulamışlardır. Her hidrolojik olay için belirsizliğin ve sınır değerlerin farklı olduğunu; örneğin en yüksek uç değerlerin maksimum akımla oluştuğunu belirtmişlerdir. Belirsizlik analizi öncelikle her olay için ayrı ayrı yapılmalı daha sonra tüme gidilmeli diye eklemişlerdir.

4.2. Hassasiyet Analizi

Hidrolojik modelleme, farklı alanlarda gerçek durumların birden çok bağımlı ya da bağımsız parametreler ile matematiksel ifade edilmesidir. Bu şekilde olan çalışmalarda parametrelerin belirlenmesi, kontrol edilmesi ve modelde etkisinin araştırılması modelin hassasiyeti için önemlidir. Hassasiyet ayrıca modelin verdiği sonuçların nasıl oluştuğu ve bu sonuçların parametreler ile arasındaki bağlantının daha net anlaşılması için bilgi verir.

Belirsizliğin derecesini bulmakta genellikle kullanılan diğer yöntem parametrelerin hassasiyetini kavramaktır. Bunu yaparken her parametre değeri için tek tek çalışma yapılmıştır. Tüm değişkenleri sabit tutup her parametre tek tek değiştirilerek hidrografa ve toplam başarı değerine bakılır.

Bir parametrenin farklı değerleri için hep iyi simülasyon sonuçları elde etmek, simülasyonun o parametre için hassas olmadığı anlamına gelmez, değişikliğin diğer parametre tarafından telafi edildiği anlamına gelebilir.

Modelin davranışını ve tepkilerini anlayabilmek için en hassas parametreleri ve bu parametrelerin hangi hidrolojik süreçte etkili olduğunu bilmek gerekir. Parametrelerin hassasiyetlerini anlayabilmek için çalışmada model Monte-Carlo yöntemi ile 2012 su yılı için oluşturulmuştur. Parametre sınırları literatürde bulunan farklı çalışmalardaki sınırlar ve Kayabaşı Havzasının hidrolojik ve coğrafi yapısı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Model oluşturulduktan sonra seçilen bir parametre hariç diğer tüm parametreler sabit tutularak seçilen parametre minimum değerinden maksimum değerine kadar farklı değerler için model çalıştırılmıştır. Seçilen parametrenin her farklı değerine karşılık gelen Reff model başarı sonucu kaydedilmiştir. Bu işlem her parametre için tek tek yapılmıştır.

İkinci adım olarak her parametrenin sınır değerleri normalize edilerek tüm parametreler için aynı aralıklar ile aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4.1). Normalizasyonun amacı, farklı parametrelerin farklı aralıkları olduğu için hepsini aynı

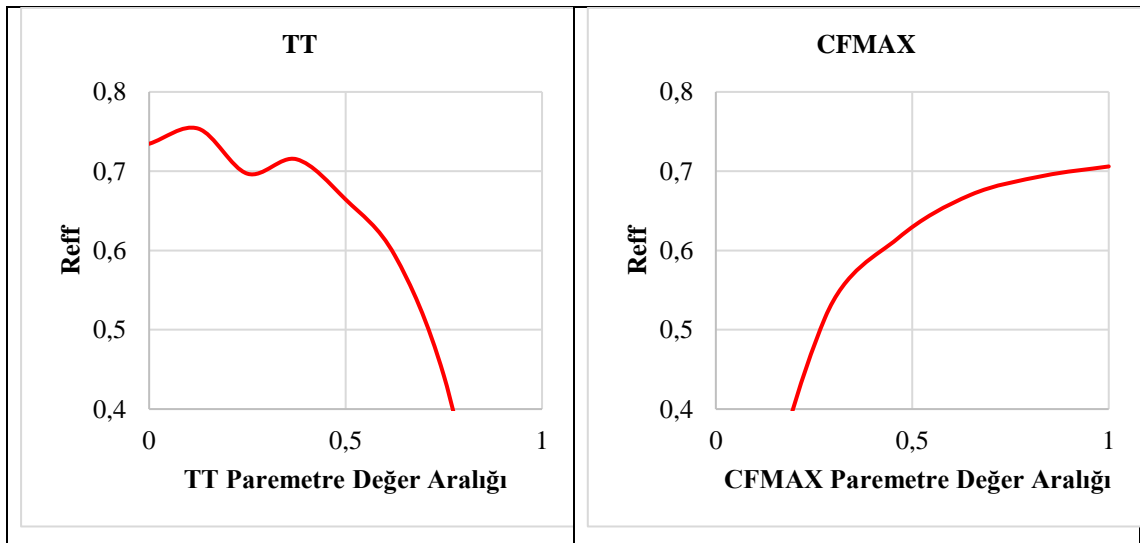
sınırlar içerisinde daha anlaşılır hale getirmektedir. Grafiklerde x eksenini normalize edilmiş parametre değerlerini, y eksenini modelin başarı kriteri $Reff$ sonucunu göstermektedir.

Normalizasyon işleminin amacı her parametrenin farklı aralıklarına karşılık gelen grafiklerini incelemenin zor olmasıdır. Bu işlem, her parametre için parametrenin modelde kullanılan değerinden minimum değerinin çıkartılıp; maksimum değeri ile minimum değeri arasındaki farkın mutlak değerine bölünmesi ile elde edilir. Örneğin TT denklem 4.1 için;

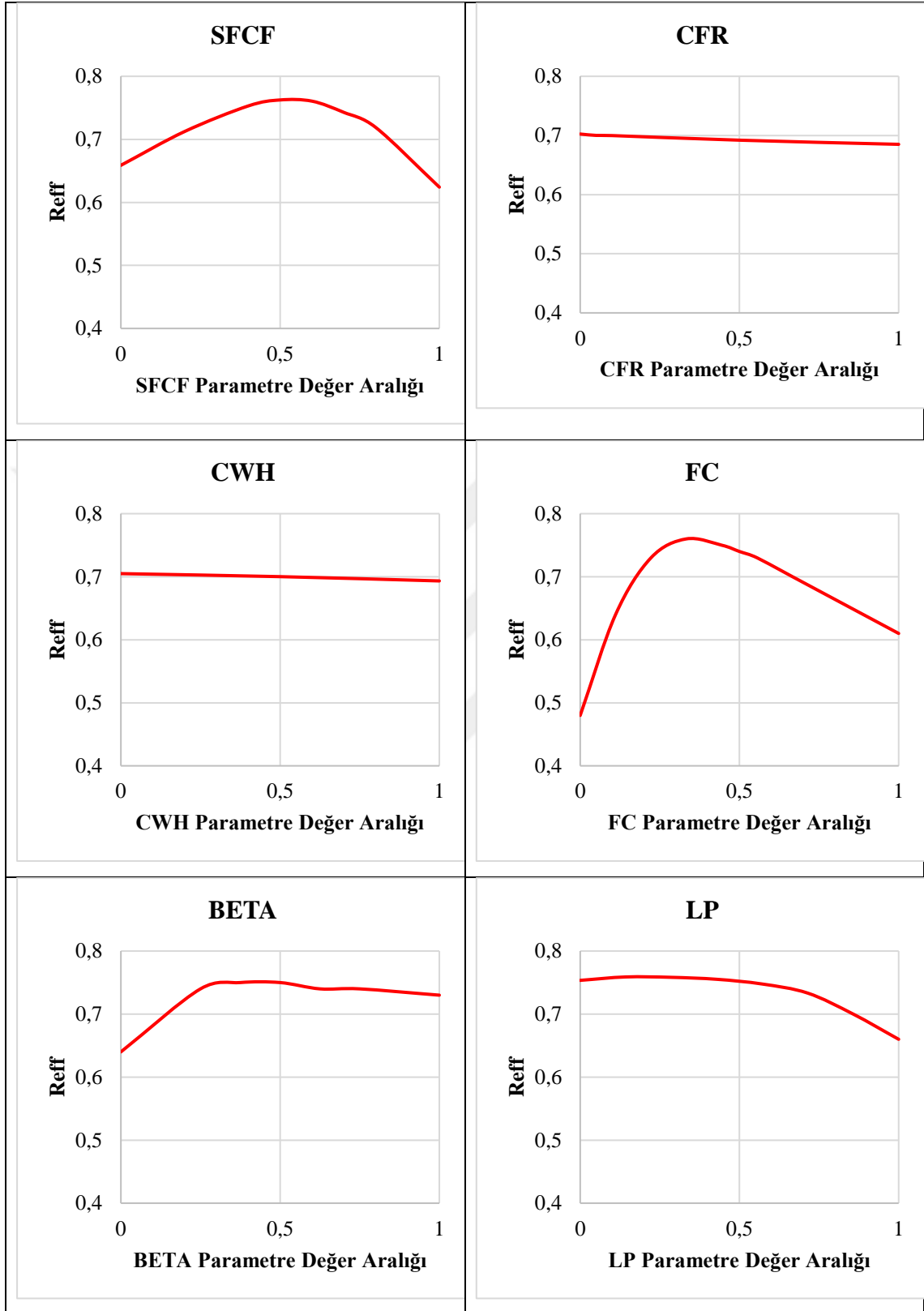
$$TT_{norm} = \frac{TT - TT_{min}}{|TT_{max} - TT_{min}|} \quad (4.1)$$

Tablo 4.1. TT parametresi normalizasyonu.

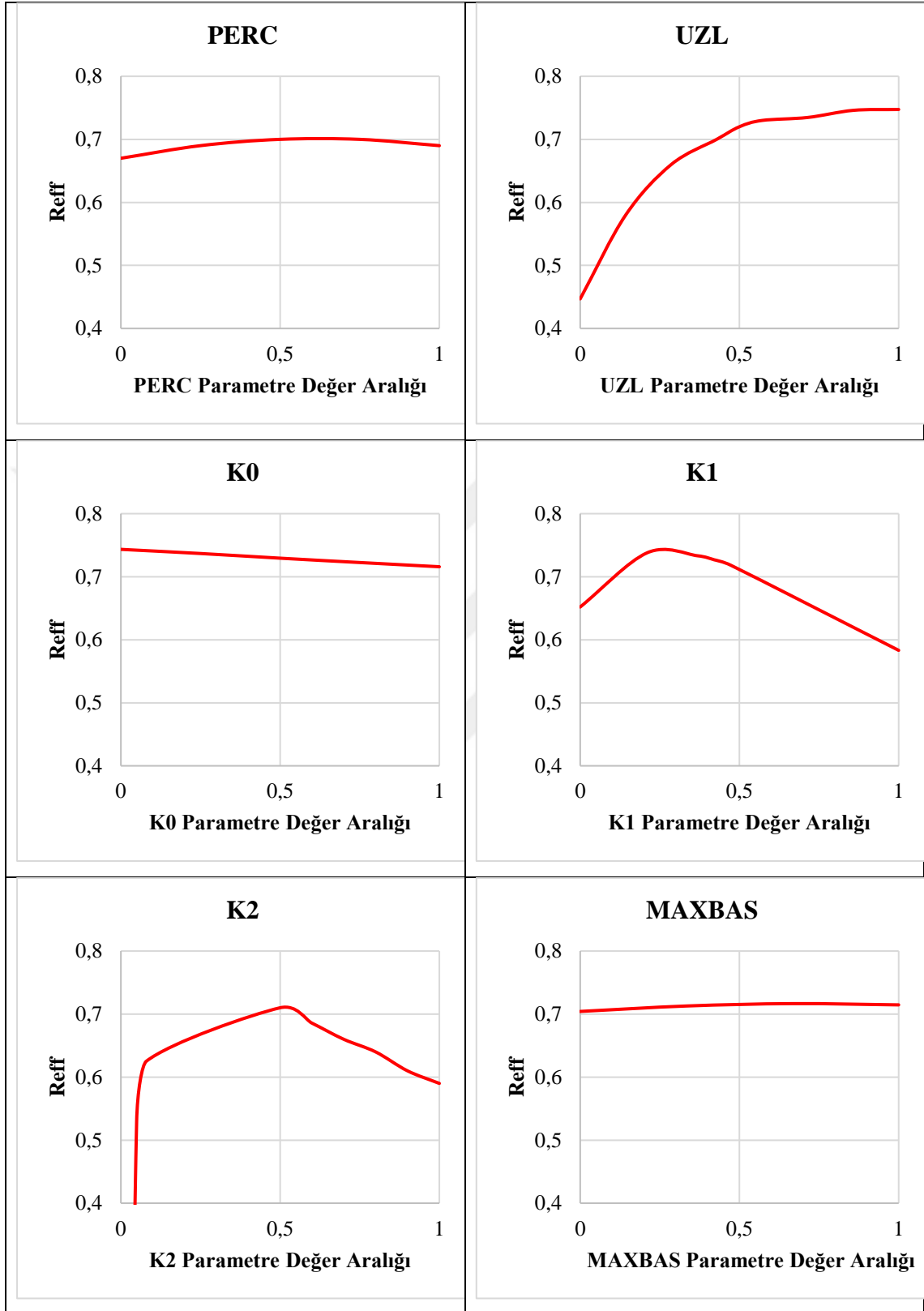
TT	TT	REFF
-2	0	0.7346
-1.5	0.125	0.7537
-1	0.25	0.6969
-0.5	0.375	0.7151
0	0.5	0.6644
0.5	0.625	0.594
1	0.75	0.4423
1.5	0.875	0.1781
2	1	0



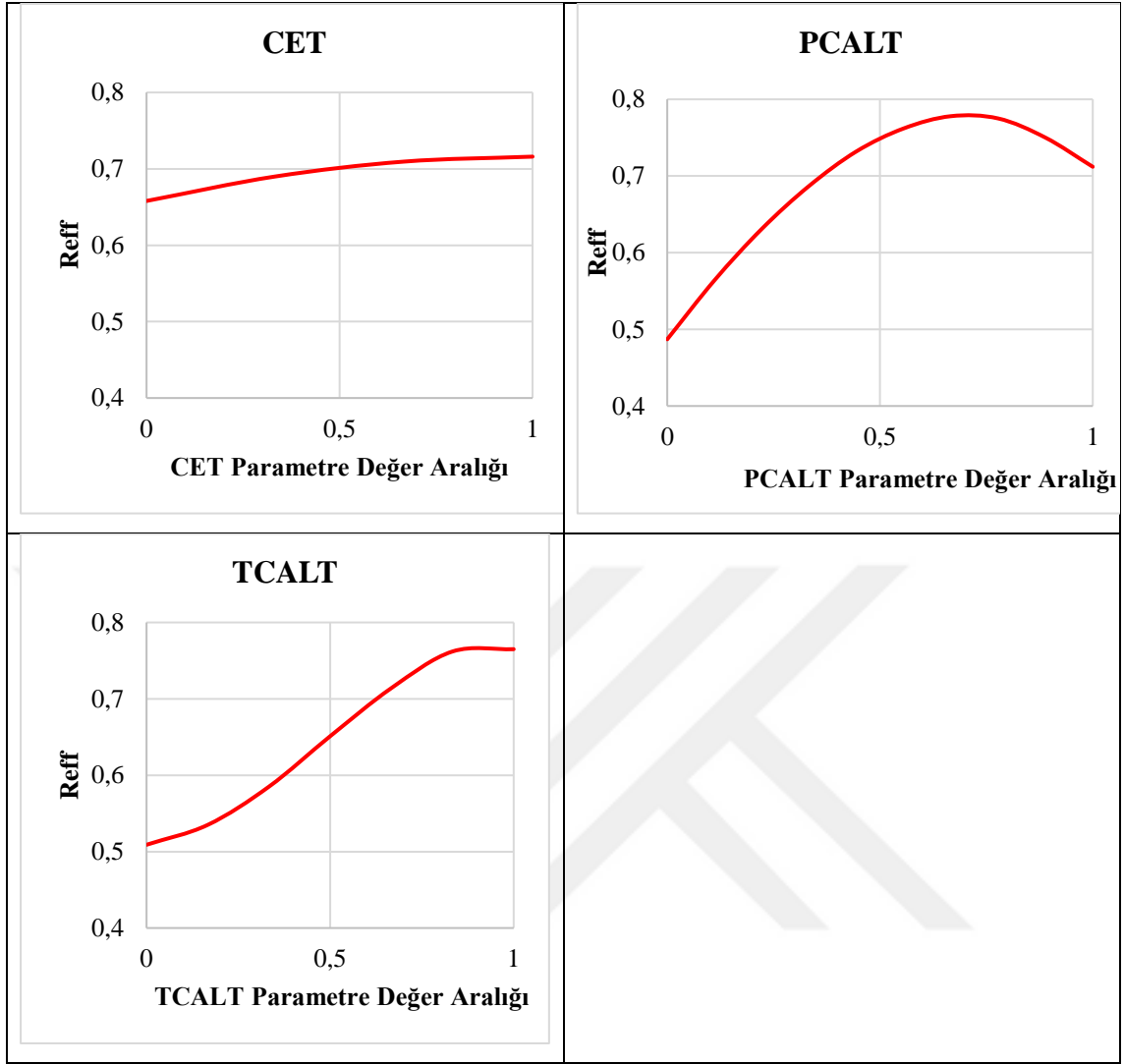
Şekil 4.1. Model parametrelerinin hassasiyet grafikleri.



Şekil 4.1. (Devamı) Model parametrelerinin hassasiyet grafikleri.



Şekil 4.1. (Devamı) Model parametrelerinin hassasiyet grafikleri.



Şekil 4.1. (Devamı) Model parametrelerinin hassasiyet grafikleri.

Şekil 4.1’de her parametrenin Reff başarı kriterine göre hassasiyet analizleri verilmiştir ve hangi parametrenin model için daha hassas olduğu belirlenmiştir.

Kar rutini TT, CFMAX, SFCE, CFR VE CWH parametrelerinden oluşmaktadır. HBV kar erimesini gözeterek akım üreten, akımın kaynağını karın oluşturduğu bir modeldir. Bu yüzden kar rutinindeki parametrelerde oluşturulan değişim akımı önemli ölçüde etkilemektedir ki bu da kar rutinindeki parametrelerin hassas olduğu göstermektedir ve sonuçlar da bu hassasiyeti doğrular niteliktedir. Özellikle TT ve CFMAX hem en hassas parametreler hem davranışı belirgin parametrelerdir. Belirli sınırlar içerisinde aldıkları farklı değerler ile model başarısında belirgin farklar

yaratmaktadırlar. TT ile CFMAX birlikte çalışan parametrelerdir; birisinin düşük olması diğerinin yüksek olmasını gerektirmez şekil 4.1 görüldüğü üzere TT düşük sıcaklıklarda hassas CFMAX ise yüksek değerlerde hassas davranmaktadır. SFCF ise kar doğrulama faktörü olduğu için TT ve CFMAX parametlerine bağlı olarak hassasiyet göstermektedir ve hassasiyeti yüksek bir parametredir. CFR ve CWH literatürde bulunan diğer çalışmalarda olduğu gibi hassasiyetleri düşüktür bu sebepten dolayı çalışmaların ilerleyen kısımları CFR 0.05 ve CWH 0.1 sabit değerleri alınarak devam edilmiştir.

Verilen sınırlar içerisinde, toprak rutini rutinindeki en önemli parametrelerden birisi FC ve LP dir. FC en hassas parametredir, değerindeki en ufak bir değişiklik başarı kriterini belirgin şekilde etkilemektedir. FC havzaya gelen yağışların akıma dönüştürülmesinde veya toprak nemi rutininde depolanmasını sağladığı için hassasiyeti oldukça fazladır. FC değerinin doğru belirlenmesi hem model başarısını hem hidrografın şeklini etkiler. Bu yüzden sınırlandırılabilmesi için bir çalışma yapılmasını gerektirmektedir. Bu da bir sonraki adım olan belirsizlik çalışmasıdır. Buharlaşmayı ve terlemeyi etkileyen FC ve Cet parametresinin hassasiyeti Reff başarı kriterine göre analiz yapıldığından oldukça düşük görülmektedir. BETA, toprağın su tutma kapasitesi ile toprak nemini ilişkilendirmektedir. Havzaya düşen yağışın ne kadarının toprakta depolanacağını ne kadarının akışa geçeceğini ayarlayan parametrelerden birisidir. Böyle olduğu için hidrografi ve model başarısını etkileyen hassas bir parametredir.

PERC tüm sınırları içinde hassas olmayan bir parametredir ve ortalama bir değer ile devam edilebilir olduğunu göstermektedir. UZL minimum ve maksimum sınırları içinde aldığı değerler ile başarı kriterini ciddi oranda etkilemektedir bu da hassas bir parametre olduğunun göstergesidir. Monte-Carlo ile değer üretildikten sonra manuel olarak yeniden ayarlanmayı gerektirmektedir. K0-K1-K2 katsayıları arasında en hassas K2 ve sonra K1 değerleridir. Özellikle K2 değeri PERC ile çalıştığı için başarı kriterini aldığı farklı değerler ile ciddi oranda etkilemektedir. Özellikle verilen minimum değerler başarı sonucunu oldukça düşük seviyelere çekmektedir. Bu nedenle bu parametrenin minimum değeri yeniden ayarlanmalıdır. MAXBAS hassas olmayan sabit değer ile ilerlenebilecek parametredir.

PCALT ve TCALT parametreleri havzanın fiziksel özelliklerindedir. Havza 5 farklı yükseklik sınıfı ile tanıtılmıştır ve modelin ürettiği yağmur ve kar gibi veri setleri PCALT ve TCALT parametrelerinin gözlemlenmiş verileri indirgeyip yükselterek yeni

değerler üretmesiyle oluşmaktadır. Diğer parametreler bu üretilen yeni değerler ile simülasyon gerçekleştirmektedir. Bu yüzden bu iki parametre hassasiyeti yüksek parametrelerdir ki sonuçlar bu yargıyı destekler niteliktedir.

4.3. Belirsizlik Analizi

HBV modelinin bu çalışmadaki kullanım amaçlarından birisi havzayı temsil edecek optimal bir parametre seti bulmaktır. Literatürde bulunan daha önceki deneyimler ve yürütülen bu çalışma ile görülmüştür ki yegâne bir tane parametre seti bulmak oldukça zordur. Hidrografta aynı benzerliği verecek birçok parametre seti üretilebilirken problem en iyisinin hangisi olduğunu seçip sonraki çalışmalara o set ile devam etmektir. Kalibrasyon sürecinde en iyi olan parametre seti farklı yıllar için kullanıldığında en doğru set olmayabilmektedir. Doğanın farklı iklim koşulları oluşturabilmesi, temin edilen verilerdeki hatalar gibi etkenler modelin belirsizliğini oluşturmaktadırlar. Kalibrasyon sürecinde aynı sonuçları verecek birçok farklı parametre seti bulunabilmektedir fakat bu parametre setleri her biri ile ayrı ayrı akım tahmin yapılacak olursa ortaya çıkan sonuçların hepsi birbirinden farklıdır.

Model belirsizliğinin başka bir kaynağı ise modelin fazla sayıda parametre içermesi ve bu parametrelerin aralarındaki ilişkinin karmaşıklığıdır. Bu parametreler genellikle fiziksel tabanlı olmayıp, ölçülemeyen ve havzayla açık şekilde bağlantı kurulamayanlardır. Monte-Carlo aracı ile yapılan çalışmada parametre tahminlerindeki belirsizlikler açıklanmaya çalışılmıştır ve farklı parametre belirsizliklerinin farkları üzerinde durulmuştur, çalışma aşağıdaki 6 adımda gerçekleştirilecektir;

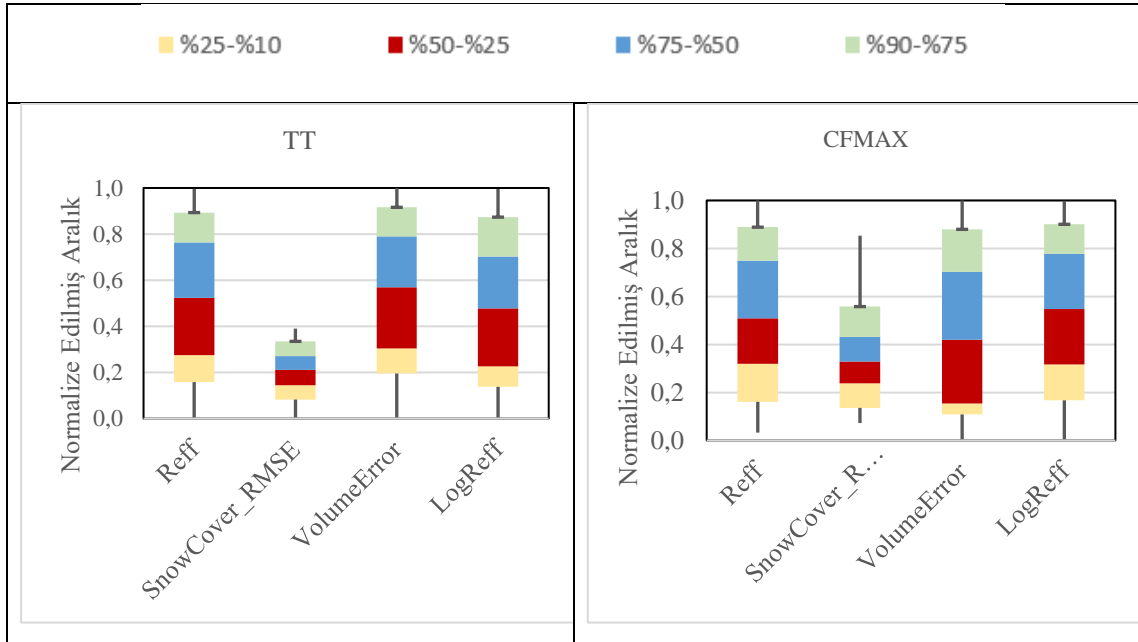
1. Modelin oluşturulması.
2. En iyi 1000 setlerin ayrıştırılması.
3. Normalizasyon.
4. Grafiklerin çizilmesi.
5. Bulanık mantık ile bütünselleştirme.
6. Yorumlama

Çalışmanın daha önceki kısımlarında oluşturulan 2012 su yılına ait veriler belirsizlik çalışmaları için kullanılmıştır. Modelin ürettiği 10,000 parametre setine ait veriler belirsizlik çalışmalarının ilk adımını oluşturmuştur. Çalışmanın ikinci

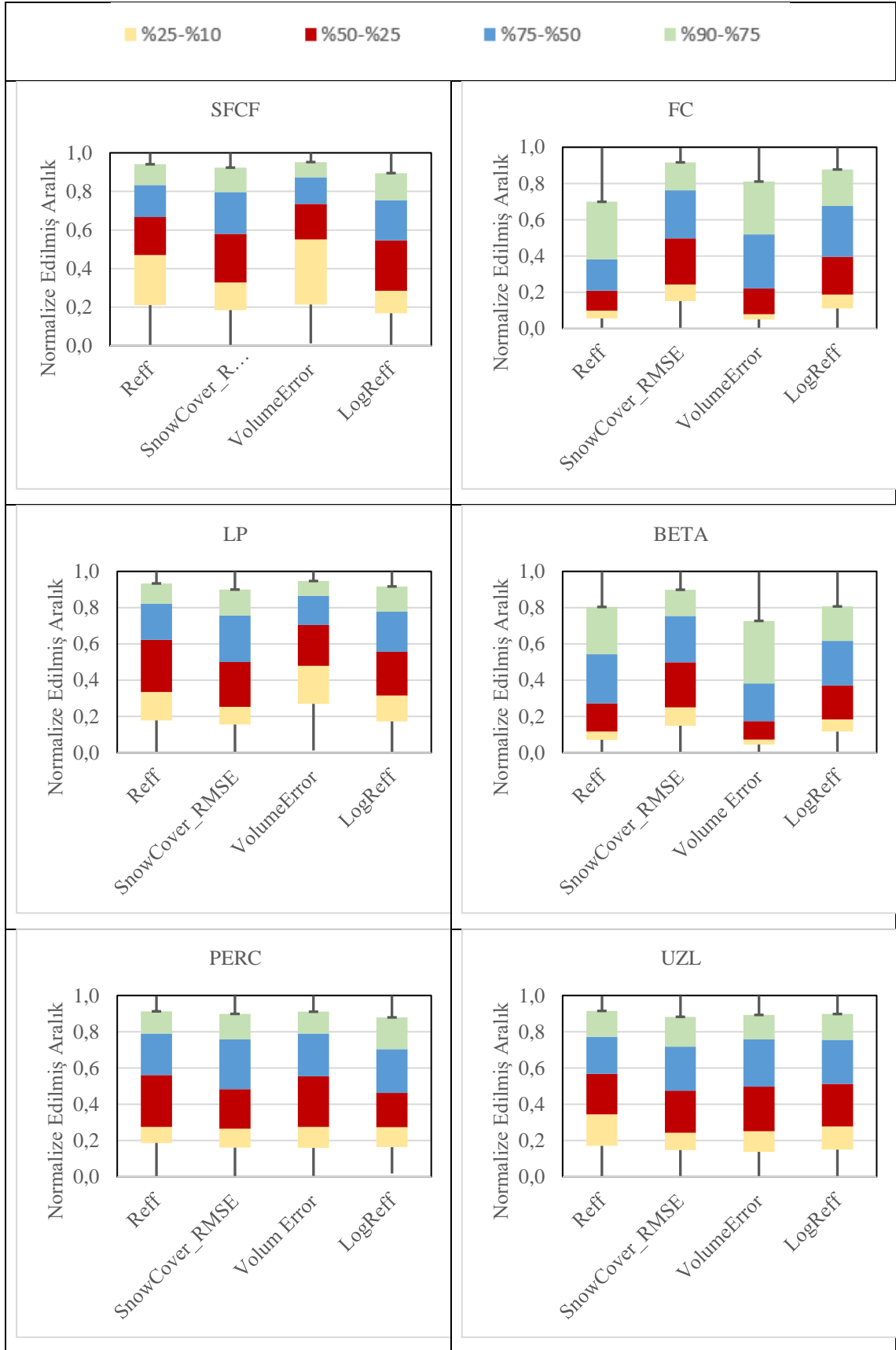
basamağında tüm verilerin yani 10000 seti sonuçlarının içinden iyi 1000 değer seçilmesidir. Bu aşamada 4 farklı verim kriteri kullanılmıştır, bunlar Reff, LogReff, VolumeError ve SnowCover_RMSE kriterleridir. 4 farklı kritere göre ayrı ayrı en iyi 1000 set alınmıştır (Bkz. Şekil 4.3). En iyi setlerde bulunan parametrelerin her biri 0 ile 1 arasında normalleştirilmiştir. Parametrelerin kıyaslanması ve aynı skalada gösterilebilmesi için bu işlem uygulanmıştır. Normalleştirilmiş parametre değeri; aşağıda açıklandığı denklem 4.2'deki gibidir. Örneğin;

$$\overline{LP} = \frac{LP-0.3}{1-0.3} \quad (4.2)$$

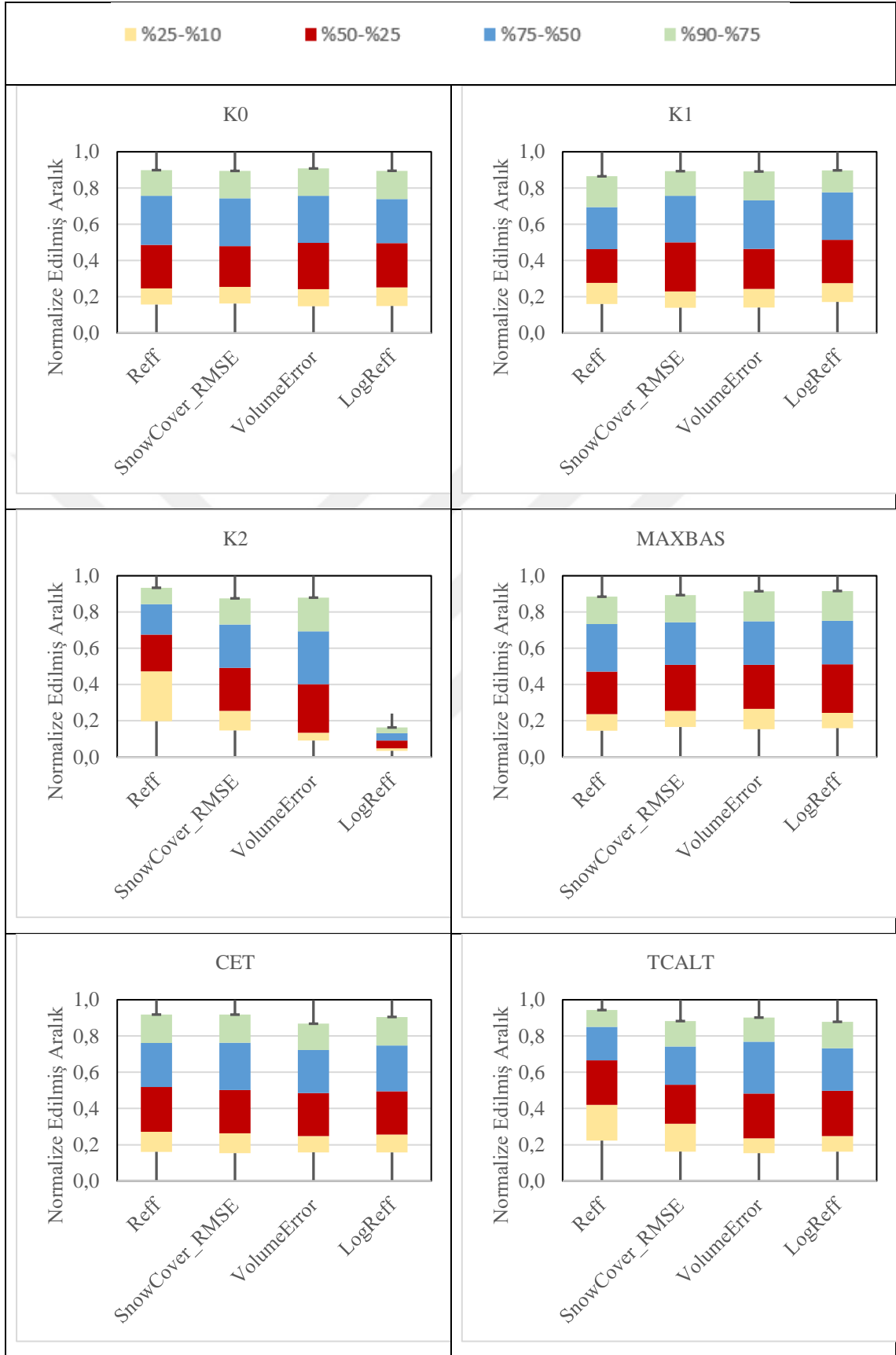
Burada \overline{LP} normalleştirilmiş ve LP ile modelin çıktısı olan değer, 0.3 ve 1 ile LP parametresi için belirlenen sırasıyla minimum ve maksimum sınırlardır. Normalleştirilmiş her parametre setinin dağılımları 4 farklı başarı kriteri için tek tek sırası ile %10, %25, %50 ve %90'lık olarak hesaplanmıştır. Burada amaç parametrelerin %50'sini kapsayan değerlerin hangi aralıklarda toplandığını ve nasıl dağıldığını görmektir. Verilerin özellikle %50 ve %80'inin hangi aralıklarda toplandığı çalışmanın devamı için önem arz etmektedir (Bkz. Şekil 4.2). Ayrıca çalışmanın bir diğer amacı, parametrelerin %10 ve %90 arasında aldığı değerlerin farklı model başarı kriterleri kullanılarak parametre belirsizliği üzerinde ne kadar etkili olduğunu belirlemektir.



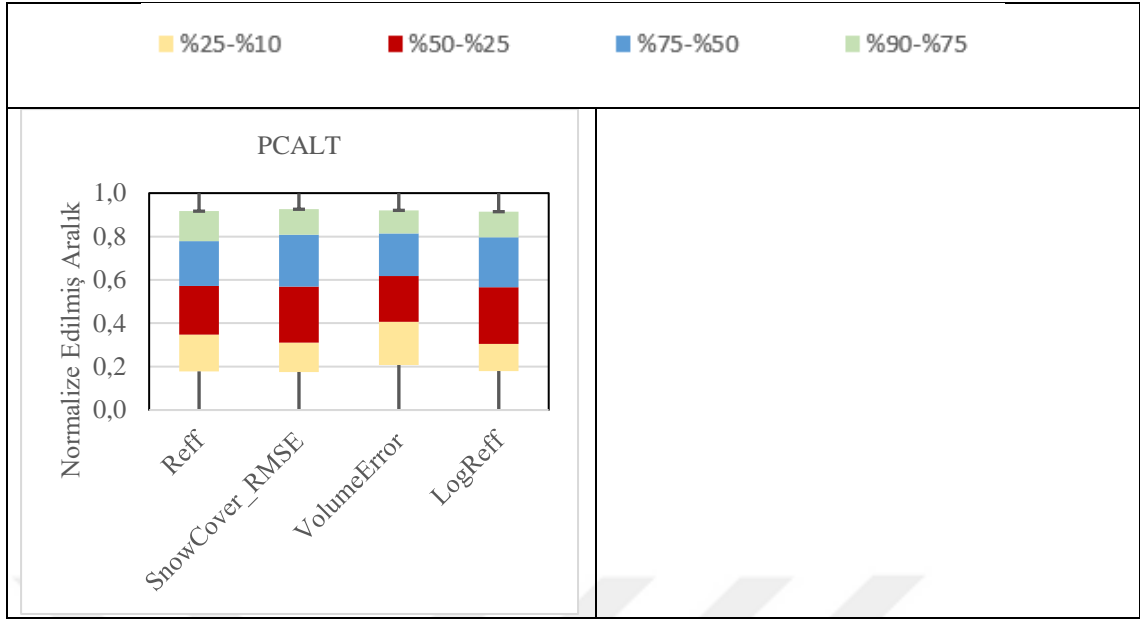
Şekil 4.2. Parametrelerinin belirsizlik analiz grafikleri.



Şekil 4.2. (Devamı) Parametrelerinin belirsizlik analiz grafikleri.



Şekil 4.2. (Devamı) Parametrelerinin belirsizlik analiz grafikleri.



Şekil 4.2. (Devamı) Parametrelerinin belirsizlik analiz grafikleri.

Tablo 4.2. Her parametrenin farklı başarı kriterleri için %50 ve %80 diliminde bulunma aralıkları.

Parametre	REFF (%)		SCA (%)		VE (%)		LOG (%)	
	50	80	50	80	50	80	50	80
BETA	0.427	0.758	0.504	0.797	0.310	0.699	0.433	0.739
CET	0.490	0.807	0.500	0.807	0.476	0.777	0.492	0.805
CFMAX	0.430	0.697	0.193	0.383	0.548	0.834	0.461	0.749
FC	0.282	0.655	0.519	0.824	0.439	0.782	0.488	0.800
K0	0.512	0.809	0.489	0.801	0.515	0.813	0.488	0.791
K1	0.418	0.744	0.528	0.803	0.490	0.787	0.502	0.793
K2	0.371	0.654	0.477	0.766	0.560	0.835	0.083	0.150
LP	0.488	0.776	0.503	0.801	0.386	0.725	0.462	0.772
MAXBAS	0.497	0.793	0.488	0.803	0.483	0.802	0.508	0.829
PERC	0.516	0.824	0.493	0.794	0.515	0.791	0.431	0.750
SFCF	0.363	0.681	0.469	0.781	0.322	0.602	0.470	0.776
TT	0.489	0.777	0.126	0.272	0.487	0.807	0.475	0.783
UZL	0.427	0.739	0.475	0.785	0.506	0.779	0.477	0.769

Çalışmanın 5. adımında ise daha önce hesaplanan %50 ve %80'e denk gelen değerler alınarak farklı başarı kriterleri için 1'den 3 kadar yıldızlandırılmıştır. Yani parametrenin ne kadar sınırlandırıldığına çok ya da az sınırlandırılabilir gibi subjektif

yorumlar yapmak yerine bulanık mantık kullanılarak sayısal değerler verilmiştir. Buradaki amaç objektif değerler elde etmektir. Her parametrenin farklı kriterler için tek tek yıldızlandırılması sonucunda elde edilen tablo belirsizlik çalışmasının sonucunu oluşturmaktadır (Bkz. Tablo 4.3 ve 4.4).

Tablo 4.3. Belirsizlik derecelerinin yıldız ifade biçimi için oluşturulan sınıflar.

Belirsizlik Derecesi			50%	80%
	Az	*	min-0.45	min-0.75
	Orta	**	0.45-0.5	0.75-0.8
	Çok	***	0.5-maks	0.8-maks

Tablo 4.4. Her parametrenin %50 ve %80 başarı kriteri dilimi için belirsizliklerinin yıldız ile gösterimi.

Parametre	Reff (%)		SnowCover_RMSE (%)		VolumeError (%)		LogReff (%)	
	50	80	50	80	50	80	50	80
	BETA	*	**	***	**	*	*	*
CET	**	***	***	***	**	**	**	***
CFMAX	*	*	*	*	***	***	**	*
FC	*	*	***	***	*	**	**	***
K0	***	***	**	***	***	***	**	**
K1	*	*	***	***	**	**	***	**
K2	*	*	**	**	***	***	*	*
LP	**	**	***	***	*	*	**	**
MAXBAS	**	**	**	***	**	***	***	***
PERC	***	***	**	**	***	**	*	**
SFCF	*	*	**	**	*	*	**	**
TT	**	**	*	*	**	***	**	**
UZL	*	*	**	**	***	**	**	**

Aşağıdaki Tablo 4.5'te %50 ve %80'lik dilimde yer alan parametrelerin aldığı yıldız derecelerini tek bir yıldız ile ifade etmek için kullanılan sübjektif olarak oluşturulan sınıflar bulunmaktadır. Bu tablodaki değerlere göre parametre tek bir belirsizlik derecesi ile ifade edilmektedir (Bkz. Tablo 4.5 ve 4.6). Tablo 4.4'te gösterilen sonuçlar, Tablo 4.5'teki çarpım sonuçlarına göre hesaplanmış ve Tablo 4.6 elde edilmiştir.

Tablo 4.5. Belirsizlik derecesi için %50 ve %80 dilimlerinin tek bir yıldız ile ifade edilmesi.

Belirsizlik Derecesi		
50%	80%	Toplam
*	*	*
*	**	*
*	***	**
**	*	*
**	**	**
**	***	***
***	*	**
***	**	***
***	***	***

Tablo 4.6. Her parametrenin belirsizlik çalışması sonucunda belirlenen belirsizlik sınıfları.

Parametre	Reff	SnowCover_RMSE	VolumeError	LogReff
BETA	*	***	*	*
CET	***	***	**	***
CFMAX	*	*	***	*
FC	*	***	*	***
K0	***	***	***	**
K1	*	***	**	***
K2	*	**	***	*
LP	**	***	*	**
MAXBAS	**	***	***	***
PERC	***	**	***	*
SFCF	*	**	*	**
TT	**	*	***	**
UZL	*	**	***	**

Parametrelerin hangi bölgelerde dağıldığının yani hangi değerler çevresinde toplandığının anlaşılması için parametrelerin her biri için 4 farklı başarı kriterine göre dağılım yapılmıştır.

Kayabaşı Havzası ile yapılan çalışmanın bu kısmında başarı kriterlerinin her biri için Reff değeri 0.7 ve fazlası olan parametreler alınmıştır. Kar rutini için, TT; karın kaç derecede eriyeceğine kadar veren bir parametredir. Bu sebepten dolayı karla kaplı alan ile ilgili yapılan modelleme sonucu en hassas olan kriter de bu yönde olmuştur. Reff

kriterine göre verilen %50 ve %80 dağılıma göre sınırlandırılabilen bir parametredir. Toplam hacim bu ve birçok parametrede hacimsel olarak tutarlı sonuçlar vermiştir ve TT değerlerinin büyük bir kısmı ile ve kriterine göre 0.9 ve üzeri başarı sağlanmıştır. LogReff düşük akımlarla ilgili hesaplarda kullanılmaktadır dolayısıyla özellikle kar erimesi dönemlerinde akımlar yüksek olduğu için bu parametre ile başarılı sonuçlar elde edilememiştir. TT parametresi sadece SnowCover_RMSE kriterine göre rahatlıkla sınırlandırılabilen bir parametredir. CFMAX; Derece-gün faktörü TT ile çalışır ve karın erimesi ile ilgilendir. Monte-Carlo simülasyonu sırasında verilen sınırlar içerisinde (0.5-4.9) SnowCover_RMSE, LofReff kriterlerine göre kolaylıkla sınırlandırılabilen bir parametredir. Daha çok verilen bölge içerisinde 0.5-25 arasında değerler aldığı gözlemlenmiştir. SFCF; kar doğrulama parametresi sınırları içerisinde en çok karakteristik özellik gösteren parametrelerden birisidir. Üst sınıra doğru yoğunlaşma eğilimi göstermektedir. CFR- CWH daha önceki çalışmalar referans alınarak belirsizlik çalışmasına konu olmamıştır.

Zemin rutinindeki en önemli parametrelerden birisi FC dir. FC zemin rutini ile ilgili bir parametre olduğu için beklendiği gibi SnowCover_RMSE başarı kriterine göre belirsizliği fazla olan bir parametredir. Çünkü SnowCover_RMSE kar ve kar erimesi ile ilgili parametreleri iyileştirmek üzerine Genetik algoritma çalışması yapar. Özellikle Reff ve VolumeError kriterine göre alt sınıra yaklaşan bir dağılıma sahiptir. LogReff için 0.7 kriterini sağlayan az değere sahip olması bu rutin ile ilgili daha çok çalışma yapılması gerektiğini anlatır gibidir. LP buharlaşmayı azaltmak için zemin nemi eşik değeri olmasına karşın zemin ile ilgili kalibrasyon yapıldığında 0.7 sınırını aşan az sayıda parametre üretmektedir. Reff ve VE kriterine göre üst sınırlara yaklaşmaktadır ki bu üst sınırı ne kadar aşarsak o kadar yukarı doğru ürettiği değerlerde başarı sağlayacak gibi bir izlenime sahiptir. Beta şekil katsayısı belirsizliği en az olan parametrelerden birisidir. Verilen sınırları içerisinde SnowCover_RMSE hariç hepsinde alt sınıra yoğunlaşma eğilimindedir.

PERC, akımdan yer altına sızan su ile ilgili olan parametre sadece LogReff için belirgin bir parametredir 0 ile 4 arasında verilen sınırlar içerisinde LogReff için sadece 0 ile 1 arasındaki değerleri 0.7 başarı kriterini aşmıştır. Diğer başarı kriterleri için belirsizliği yüksek bir parametredir. UZL Reff ve LogReff'e göre dağılımı paralellik göstermektedir ki bu birbirini destekler niteliktedir. Verilen sınırlar içerisinde üst sınıra

yaklaşma eğilimindedir. Karla Kaplı Alan ve toplam hacim kriterine göre sınırlandırılabilir bir davranış göstermemektedir. K1-K2-K3 geri çekilme katsayılarından sadece K2'nin özellikle LogReff'e göre belirsizliğinin çok az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. MAXBAS öteleme katsayısı tüm başarı kriterlerine göre belirsizliği yüksek bir parametredir.



5. PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ VE KARLA KAPLI ALAN İLE ÇOK KRİTERLİ YAPI

5.1. Literatür

HBV ile hidrolojik modellemeden bir sonraki adım, havzayı tanıyıp matematiksel olarak ifade ettikten sonra havzada operasyonel akım tahmin çalışmaları yapmaktır. Literatürde bu konuda birçok çalışma bulunmaktadır. Havzada oluşabilecek sınır koşullar ve su kaynaklarının yönetimi ile ilgili konularda işlem yapabilmek için doğru ve güvenilir tahmin çalışmalarına ihtiyaç vardır. Hidrolojik modelin önemi bu açıdan çok fazladır. Ne kadar iyi model oluşturulsa sonraki çalışmalar daha iyi sonuç verecektir.

Kullanım alanları genişledikçe ve akım modelleri karmaşıklıklaştıkça, modellerin parametrelerinin çokluğu ve hataların telafisi konusunda riskler birçok çalışmaya konu olmaktadır. Buna bulunan çözümlerden birisi akım haricinde başka gözlenmiş veri setlerini girdi olarak modele ilave etmektir. Bergström ve ark. çalışmalarında çok değişkenli modellerde parametre tahmini ve HBV modelinin içsel kontrolünü konu almışlardır. Yapılan araştırmalarının sonunda bu yöntemlerin ikisinin de yararlı olduğunu ve kesinlikle modelin yapısına olan güveni arttırdığını vurgulamışlardır.

Otomatik kalibrasyon yöntemi ile yapılan uygulamaların genellikle tekli ölçü kriterleri kullanılmaktadır; örneğin ölçülen ve modellenen akımların farklarının karelerinin toplamı (root mean square error). Fakat tek bir bakış açısı ile çalışmak, gözlemlenen veriler tarafından yansıtılan ve dolaylı olarak su bilimciler tarafından kullanılan model kalibrasyonunda başarı kriteri (goodness of fit) üretmek için, sistemin tüm karakteristik özelliklerini dikkate almak açısından yeterli değildir demiştir Madsen ve arkadaşları (2002). Bu yargılara destek olarak Lingström (1997), Liang ve ark (1996, 1998), Gupta ve ark. (1998), Yapo ve ark (1998), Boyle ve ark (2000) ve Boyle (2000), kalibrasyon için çok kriterli formülasyon ile otomatik rutinlerde oluşan problemleri yağış-akış modelleri için yaptıkları çalışmalarda tanıtmışlardır.

Madsen ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmanın sonucunda tüm performans ölçütlerine kıyasla hiçbir kalibrasyon metodun tek başına en iyi olmadığını belirtmişlerdir. Her metot tek başına hidrografi farklı açılardan etkilemektedir. Beven ve Binley (1992) bunu destekler şekilde, kabul edilebilir tek bir objektif çözüm için birçok farklı parametre kombinasyonu olduğunu söylemişler ve bunu “equifinality” olarak tanımlamışlardır.

Stokastik model kalibrasyonunda modelin kaç kez çalıştırıldıktan sonra parametrelerde gerçekçi değerlerin garanti edileceğine dair bir strateji yoktur. Beven ve Binley (1992), Seibert ve Beven (2009), Sudret (2008), Uhlenbrook ve Sieber (2005) yaptıkları farklı çalışmalarda modeli 10000 kez çalıştırarak 38 parametreyi kalibre etmeye çalışmışlardır.

5.2. Çalışmalar

Modelleme sürecinde en önemli aşamalarından birisi oluşturulan modelin kendi içindeki işleyişini anlamaktır. HBV-Light kavramsal bir modeldir, modele girdi olarak yüklediğimiz veriler birçok karmaşık matematiksel işlemlerden geçerek çıktı oluşturur, dolayısı ile modelin başarılı olabilmesi için modelin kullandığı matematiksel denklemleri oluşturan parametrelerin tutarlı olması gerekmektedir. Kalibrasyon, parametrelerin düzenlenmesi için belirlenen periyot içinde modelin çalıştırılmasıdır. Kalibrasyon süreci sonrası belirlenen model parametrelerini kullanarak farklı periyotlar için model doğruluğunun test edilmesine validasyon denir. Çalışmada farklı doğrulama metotları kullanılarak hem model girdisi olarak hem amaç fonksiyonu olarak çok kriterli yapı oluşturulmuştur. Böylece hem düşük akımların hem su yılının genel doğrulanması 2 farklı metot ile hesaplanmıştır. Çalışmanın ilk adımı olan kalibrasyon süreci 2012 yılı seçilerek 1 yıllık dönemden oluşmaktadır. Her yıl birbirinden farklı yağış olayları ve sıcaklık içerdiğinden her yıl için üretilen parametre setleri farklılık gösterir. Kalibrasyon sürecinin öncesinde her yıl kendi içinde ve birbirinden bağımsız olarak modellenerek, su yıllarının analizleri yapılmıştır. Her yıl Genetik Algoritma metodu kullanılarak modellenmiştir. Birbirleri ile kıyaslanması açısından her su yılının parametre aralıkları aynı, model çalıştırılma sayıları aynı ve havza karakteristikleri aynı ve sabit tutulmuştur. Böylece şartlar değiştirilmeden her bir yılın hidrolojik yapısı çözümlenmeye çalışılmıştır. Kalibrasyon sürecinde 2 farklı periyottan oluşmaktadır; 2009-2011 ve 2013-2015 su yılları olarak çalıştırılacağından, verimliliği etkileyen faktörler, modelin başarı ve başarısızlığının altında yatan nedenler anlaşılmış olacaktır.

Tablo 5.1. Monte-Carlo yöntemi ile çok kriterli model yapısı için belirlenen parametre aralıkları

Parametre	En Küçük Değer	En Büyük Değer
TT	-2	0.5
CFMAX	0.5	4
SFCF	0.5	0.9
CFR	0.05	0.05
CWH	0.1	0.1
FC	100	550
LP	0.3	1
BETA	1	5
PERC	0	70
K0	0.1	0.5
K1	0.01	0.2
K2	0.00005	0.1
MAXBAS	1	2.5
Cet	0	0.3
PCALT	10	10
TCALT	0.6	0.6

Modelin başarısı, kalibrasyon süreci sonunda elde edilen parametre setinin hidrolojik süreçleri ne derece iyi ifade ettiğiyle alakalıdır. Farklı amaç fonksiyonları kullanılarak modeli çalıştırmak güvenilirliği yüksek parametre setleri bulunmasına yardımcı olur. Çalışmanın bu kısmında bölüm 3'te tanımlanan (Bkz. Tablo 3.1) 3 farklı performans kriteri ile karşılaştırma yapılmıştır.

Uydudan temin edilen karla kaplı alan verisi ile kalibrasyon yapılmaya başlandığında sadece akım verisine olan bağımlı olma zorunluluğu azalır. İlave kar verisi ile hem güvenilen iki veri seti olur hem birbirlerini destekledikleri için çıktılar iki kez doğrulanmış olur. Çalışmanın bu kısmı aşağıda belirtilen 5 adımda yapılmıştır.

1. Modelin oluşturulması ve model run sonuçlarının alınması.
2. Sıralama (ranking) işleminin yapılması.
3. Başarı kriteri için kombinasyonların belirlenmesi.
4. En iyi 1000, 100 ve 10 setin seçilmesi
5. Grafikselleştirme ve sonuçların değerlendirilmesi.

Destekleyen veri seti ile modelleme çalışması için iki farklı veri serisi kullanılmıştır. Bunlardan ilk veri serisi karla kaplı alan (KKA) verisidir. KKA verisi hem modeli desteklemesi açısından girdi olarak kullanıldı, hem de modelin başarısı hesaplanırken sadece akım kriterine göre değil ayrıca kar verisine göre de kıyaslanmasında yardımcı olmuştur. Bu işlem için 2012 su yılı seçilmiştir ve hazırlanan KKA verisi akım verisi ile modelin girdi setlerini oluşturmuşlardır. Monte-Carlo yöntemi ile model 10000 kez çalıştırılmış ve bu işlemin sonucunda 10000 parametre seti ve her setin başarı kriterleri elde edilmiştir. Burada çalışmanın amacı KKA verisi ile modelin ne kadar ve hangi başarı kriterleri ile çoklu model kalibrasyonunda başarılı sonuç elde ettiğinin tespitidir. Modelin çalıştırılması ve sonuçların alınması çalışmanın bu kısmının ilk adımını oluşturmaktadır.

İkinci adım başarı kriterlerinin sıralanmasıdır. Burada farklı bir sıralama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her başarı kriterinin 10000 sonucu ayrı ayrı alınmıştır. Modelin işlem sırası korunarak başarı kriteri değeri en yüksekte en düşüğe doğru sıralanmıştır. Buradaki amaç en yüksek sonuç için 1 değerini vermektir, böylece en iyi sonuç 1; en kötü sonuç ise sıradaki 10.000 değerini almıştır. Bu işleme normalizasyon denilmektedir ve aşağıdaki gibi formülüz edilmiştir. Ardından toplam veri sayısı 10.000 olduğu için aşağıdaki denklem uygulanmıştır.

$$E' = \frac{(10.000+1)-E}{10.000} \quad (5.1)$$

Burada E' sıralama değerini (ranking value) ve E ise başarı sıralamasını (rank) temsil etmektedir. Böylece her başarı kriteri en iyi değer olan 1'den en kötü değer olan 0.0001'e kadar yeni başarı kriterine atanmıştır.

Reff, LogReff ve SnowCover_RMSE içinden en iyi başarı kriterinin hangisi olduğunun ya da çok kriterli yapı için hangilerinin birlikte kullanılması gerektiğinin anlaşılması için bu 3 kriter ile farklı şekilde kombinasyonlar oluşturulmuştur (Bkz. Tablo 5.2). 1, 2 ve 3 numaralar sadece tek bir kriterle model çalıştırılmıştır. 4,5 ve 6 numaralar %50 ağırlık verilerek çok kriterli model oluşturulmuştur. 7 numara 3 kriterin ortalaması ile %33 ağırlık vererek oluşturulmuştur.

Tablo 5.2. Performans kriterleri kombinasyonları.

No	Kombinasyonlar
1	Reff
2	LogReff
3	SnowCover_RMSE
4	Reff+LogReff
5	Reff+ SnowCover_RMSE
6	LogReff+ SnowCover_RMSE
7	Reff+LogReff+ SnowCover_RMSE

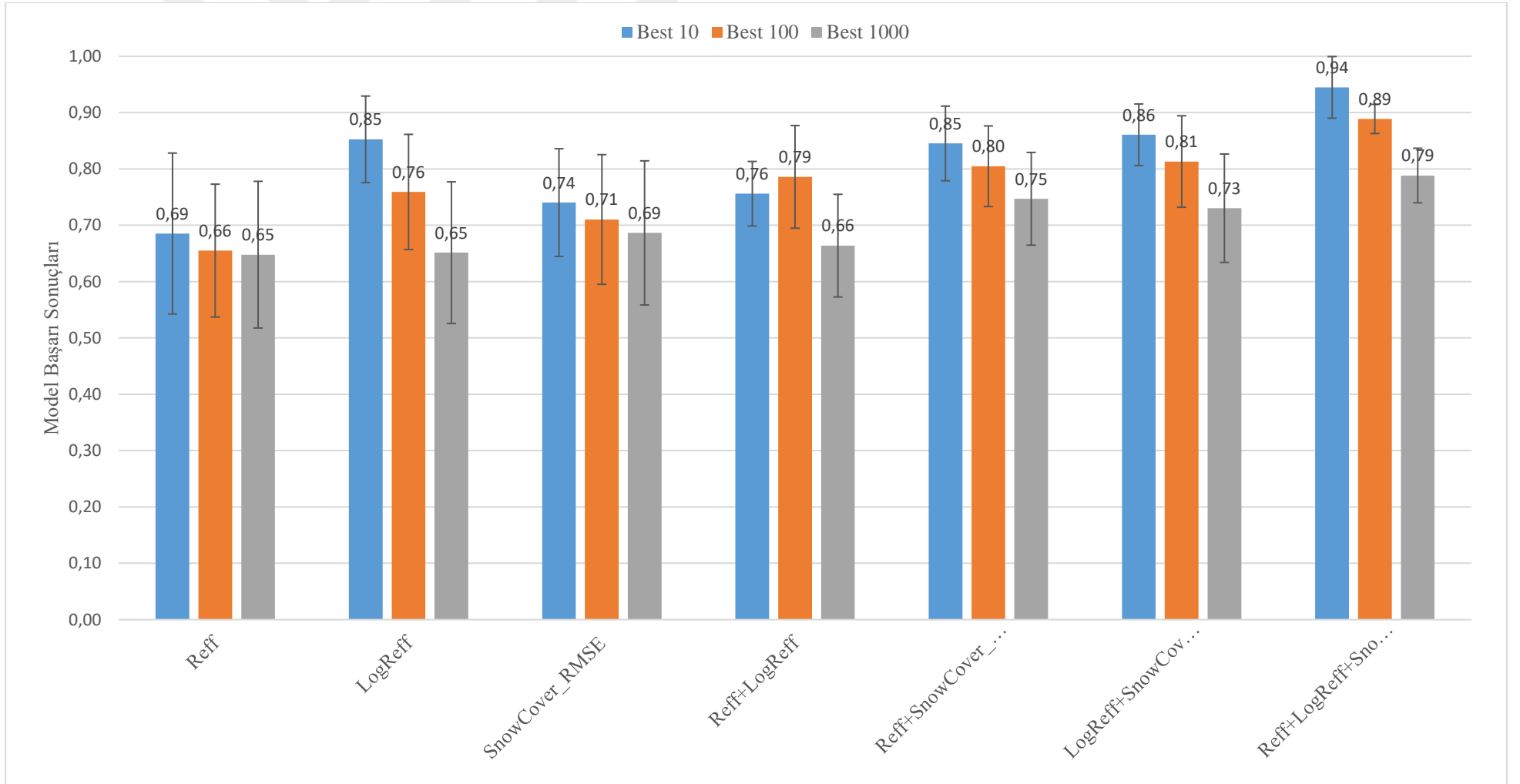
Kombinasyon serisindeki değerlerin hesaplanması için her bir kriter ile elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

$$\text{Reff+LogReff+ SnowCover_RMSE} = \frac{1}{3} (E_{\text{Reff}} + E_{\text{LogReff}} + E_{\text{SnowCover_RMSE}}) \quad (5.2)$$

Buradaki formül 10.000 değer için tüm kombinasyonlara uygulanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Bkz. Tablo 5.3 ve Şekil 5.1).

Tablo 5.3. Farklı başarı kriterleri ile oluşturulan kombinasyonların modelleme sonucunda en iyi 1000, 100 ve 10 değerlerinin kıyaslanması.

Model Başarı Kriterleri	En İyi 10 set	En İyi 100 set	En İyi 1000 set
Reff	0.69	0.66	0.65
LogReff	0.85	0.76	0.65
SnowCover_RMSE	0.74	0.71	0.69
Reff+LogReff	0.76	0.79	0.66
Reff+ SnowCover_RMSE	0.85	0.80	0.75
LogReff+ SnowCover_RMSE	0.86	0.81	0.73
Reff+LogReff+ SnowCover_RMSE	0.94	0.89	0.79



Şekil 5.1. Farklı başarı kriterleri ile oluşturulan kombinasyonların modelleme sonucunda en iyi 1000, 100 ve 10 değerlerinin kıyaslanması.

Kalibrasyon sürecinde verimlere göre devam edilecek başarı kriterleri ve kombinasyonlar Reff, LogReff, Reff+SCA, LogReff+SCA ve Reff+LogReff+SCA olarak belirlenmiştir. Çok kriterli model sonuçları içerisinde belirlenen kombinasyonlarda en iyi 10 parametre seti doğrulama çalışmaları için seçilmiştir (Bkz. Tablo 5.4). Tabloda görüldüğü gibi en iyi parametre setlerini ilk 10 set içerisinde aranmıştır ve çok kriterli oluşturulan modelde ortaya çıkan model setleri ile çalışmaya devam edilmiştir.

Tablo 5.4. Performans kriterleri kombinasyonlarına göre kalibrasyon sürecinde (2012 Su Yılı) en iyi 10 parametre setleri.

Başarı Kriterleri	Reff	LogReff	Reff+ SnowCover_RMSE	LogReff+ SnowCover_RMSE	LogReff+ SnowCover_RMSE+ Reff
Model No	2705	7493	6233	3054	73
	9982	8114	8813	3530	3172
	6696	7974	1495	3316	3788
	5907	3172	3223	2836	60
	4886	3530	3369	8083	3054
	8813	3788	3431	150	4559
	1321	2009	2780	7085	3530
	3906	3354	41	3883	6382
	1482	4298	7870	3757	3369
	3551	5352	8071	8537	4933

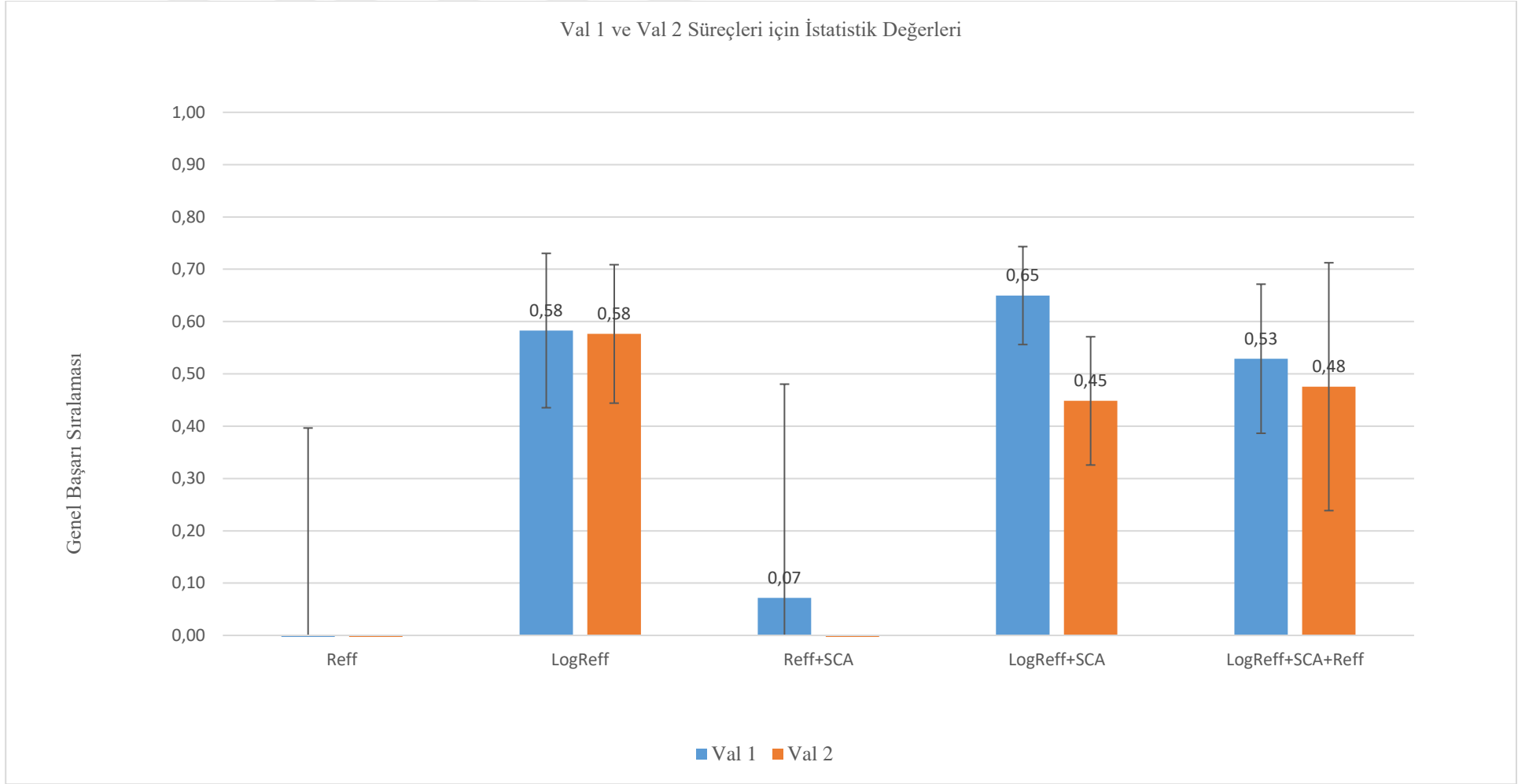
Tabloda renkli boyalı simülasyon numaraları ortak parametre setlerinin numaralarını temsil etmektedir. Tablodan da anlaşılacağı gibi LogReff ve SnowCover_RMSE (KKA) kriterlerinde başarılı olan parametre setleri çok kriterli modelde de başarılı olmaktadır. Burada gösterilen simülasyon numaralarının her biri 2 validasyon süreci (VAL 1- 2009-2010-2011 ve VAL 2- 2013-2014-2015) için tek tek çalıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Bkz. Tablo 5.5 (a) ve (b)). Aşağıdaki sonuçlarda görüldüğü üzere sadece Reff başarı kriterine göre model çalıştığında model başarısı oldukça düşüktür. Negatif başarı kriterleri grafiksel gösterimde sıfır olarak ifade edilmiştir (başarı kriteri < 0 ise sonuç 0).

Tablo 5.5 (a). Performans kriterleri kombinasyonlarına göre VAL 1 süreci 2009-2010-2011 Su Yılları validasyon istatistikleri.

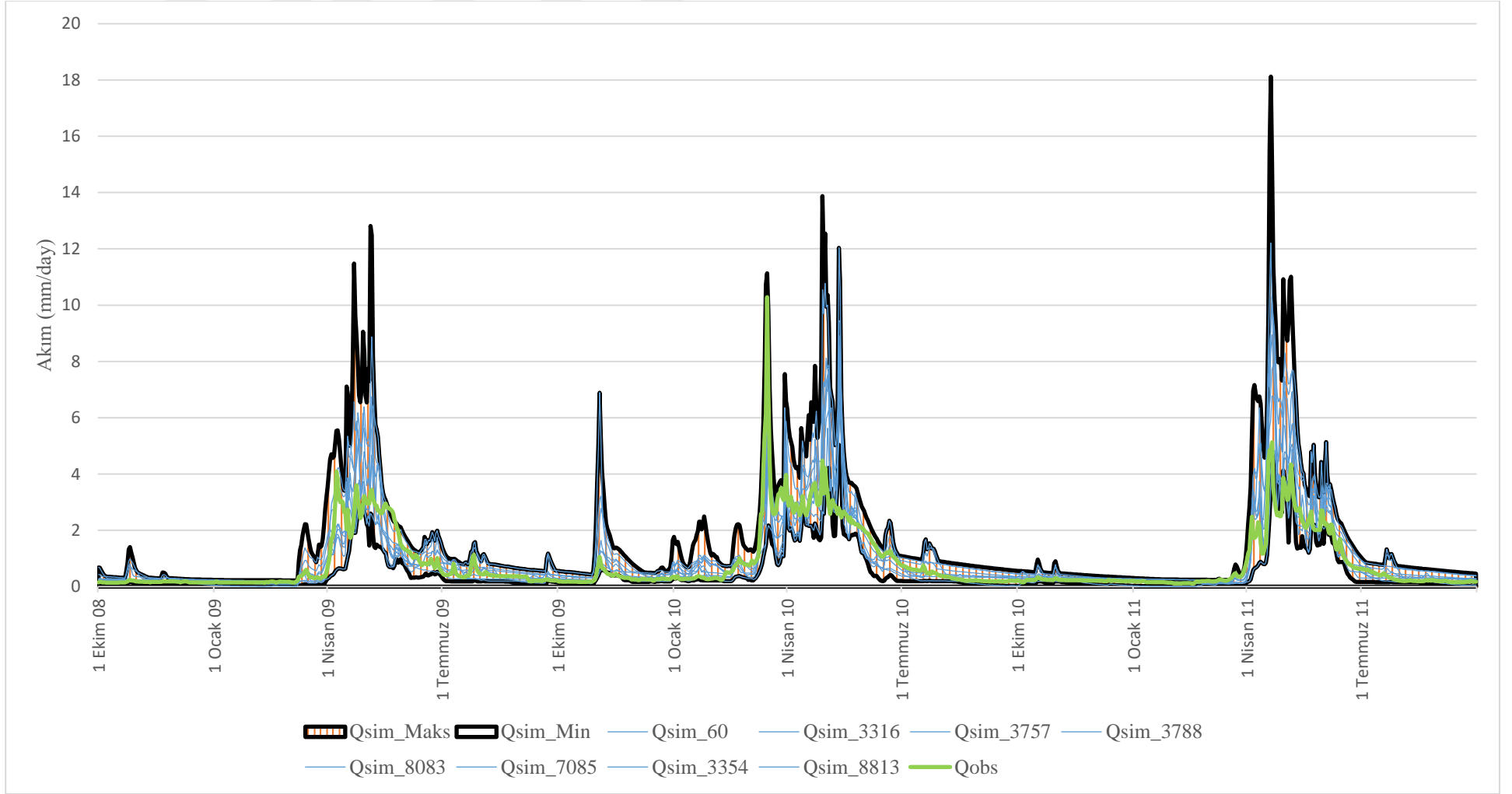
Başarı Kriterleri	Reff	LogReff	Reff+SCA	LogReff+SCA	LogReff+SCA+Reff
Validasyon Değerleri	-1.12	0.42	0.31	0.68	0.22
	-0.03	0.47	0.36	0.42	0.48
	0.34	0.68	-0.32	0.73	0.66
	-0.75	0.48	-0.64	0.66	0.61
	-0.18	0.42	0.54	0.65	0.68
	0.36	0.66	-0.19	0.72	0.67
	-2.68	0.80	0.42	0.70	0.42
	-1.09	0.76	0.45	0.64	0.55
	0.26	0.45	-0.32	0.72	0.54
	-0.52	0.69	0.09	0.57	0.46

Tablo 5.5 (b). Performans kriterleri kombinasyonlarına göre VAL 2 2013-2014-2015 Su Yılları validasyon istatistikleri.

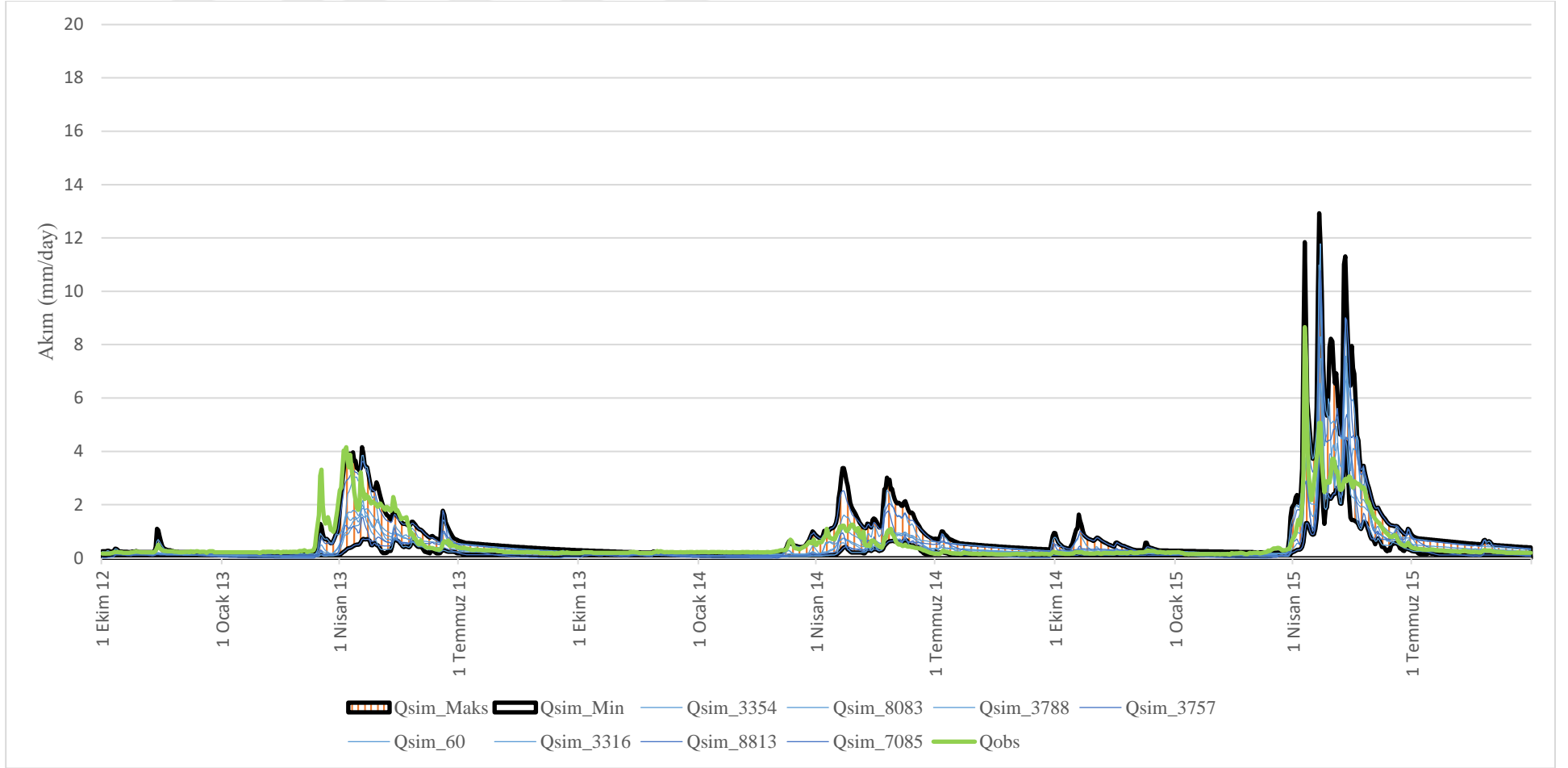
Başarı Kriterleri	Reff	LogReff	Reff+SCA	LogReff+SCA	LogReff+SCA+Reff
Validasyon Değerleri	-2.7499	0.5608	-0.7242	0.6791	0.0476
	-1.8841	0.5754	-0.4285	0.2647	0.4894
	-0.7191	0.5782	-2.6436	0.4139	0.6951
	-3.2584	0.4894	-3.0604	0.3580	0.7081
	-2.0645	0.2647	0.1687	0.5316	0.6791
	-0.4285	0.6951	-2.5263	0.3295	0.5827
	-8.0754	0.6984	-0.0280	0.5286	0.2647
	-3.0581	0.6477	0.0978	0.4187	0.4762
	0.1646	0.5452	-2.1726	0.4136	0.1687
	-2.1139	0.7090	-1.3884	0.5456	0.6432



Şekil 5.2. Farklı başarı kriterleri ile oluşturulan kombinasyonların validasyon sonuçlarının kıyaslanması.



Şekil 5.3. D24A096 Havzası 2009-2011 su yılları (Val1) periyodu akım doğrulama sonuçları.



Şekil 5.4. D24A096 Havzası 2013-2015 su yılları (Val2) periyodu akım doğrulama sonuçları.

6. GENETİK ALGORİTMA OPTİMİZASYONU İLE KARLA KAPLI ALAN, AKIM VE ZEMİN NEMİ VERİSİNİ BULANIK MANTIK İLE BİRLEŞTİRME

6.1. Literatür

Geleneksel olarak kalibrasyon işlemi, kullanıcı tarafından deneme yanılma yöntemi ile yapılır. Manuel olarak yapılan bu işlem birbirinden bağımsız parametrelerin sayısına ve parametreler arasındaki ilişkiye göre sıkıcı, yorucu ve zaman kaybı olabilmektedir. Bu birçok farklı değişken için yapıldığında durum daha da zorlaşmaktadır. Bu konu üzerine otomatik kalibrasyon metotları geliştirilmiştir. Evrim tabanlı olan bu metotlar kavramsal akım modellerinin optimizasyonu için çok uygun araçlardır (Wang 1991, Duan ve ark 1992, Franchini 1996, Kuczera 1997, Yapo 1998). Genetik algoritma da bu metotlardan birisidir.

Yağış akış modellerinin performansının farklı ülkelere göre incelenmesi, seçilecek kalibrasyon metodunun model karmaşıklığından daha önemli olduğunu göstermiştir (Gan ve ark. 1997). Bu yüzden her coğrafi bölge / havza için farklı hidrolojik modeller ve kalibrasyon metotları bulunmaktadır.

Çok kriterli akım modelleri için kalibrasyon ve doğrulama süreçleri gittikçe önem kazanan bir araştırma konusudur (de Groisbois ve ark. 1988, Ambroise ve ark. 1995, Mroczkowski ve ark 1997, Franks ve ark. 1998, Kurczera ve Mroczkowski 1998, Yapo ve ark 1998).

Modelin sadece akıma bağlı olmayıp, modeli destekleyecek farklı veri setleri ile çok kriterli model oluşturmak önemlidir. Literatürde bunun gibi birçok örnek vardır: Seibert 2000, Bergström ve ark 2002, Engeset ve ark 2003, Johansson ve ark 2003, Madsen 2003, Muleta ve Nicklow 2005, Parajka 2006, Şorman 2009.

Şorman ve ark. (2009), Kar ve meteoroloji istasyonlarından ve uydulardan (MODIS) alınan verileri ile HBV modeli kurulmuştur. Parametre tahmini ve uygun seti bulmak için çok kriterli model yapısı oluşturulmuştur ve çıkan sonuçta çok kriterli yapı ile bulunan sonuçların yalnızca akım ile bulunanlardan daha iyi olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarının devamında kalibre edilmiş HBV modeli, yakın zamanlı akım tahmini yapmak için kullanılmıştır.

Grayson ve Blöschl (2000), kompleks modeller için, model içinde bulunan tüm parametreleri kalibre etmektense daha fazla gözlemlenmiş veri seti kullanmak gerektiğini belirtmişlerdir. Grayson ve ark. (2002) uzaktan algılama verisinin hidrolojik modellerde kalibrasyon ve doğrulama için önemli bilgiler içerdiğini vurgulamışlardır.

Beven 2001'de yaptığı çalışmada birçok hidrolojik modelde problemin sadece gözlemlenmiş ve modelin ürettiği akımın kıyaslamak olduğunu belirtmiştir. Çünkü modeller sadece yağış-akış değil zemin, kar gibi birçok farklı hidrolojik süreci temsil eden parametreler içermektedir.

Literatürde Uydu tabanlı karla kaplı alan (KKA) verisi ile yağış-akış modellerine destek sağlayan birçok çalışma vardır (Udnes ve ark 2007; Parajka ve Blöschl, 2008; Sorman ve ark., 2009; Konz ve ark., 2010). HBV dahil olmak üzere farklı modeller ile KKA ile akımı birleştirerek çok kriterli modeller oluşturmuşlardır.

Finger Pellicotti 2011 Yaptıkları çalışmanın sonunda, Akımın hacimsel bilgisi ve karla kaplı alanın mekânsal verisi birbirini tamamlayıcı oldukları için akım ve MODIS'in karla kaplı alan görüntüsü kombinasyonu ile en iyi model performansına ulaşmışlardır. Çalışmalarında 10000 kez Monte-Carlo simülasyonu çalıştırmışlar, her çalıştırılmasında parametreler mantıklı bir şekilde sınırlandırılmış değer aralığı içinde düzgün dağılıma uyacak şekilde rastgele üretilmiştir.

Gözlemlenmiş karla kaplı alan uydu görüntüleri farklı dağlık bölgeler için uygulanmıştır. Uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen KKA görüntülerini Parajka ve Blöschl (2006) Avusturya'da bir farklı alanlarda Şorman ve ark (2009)'da Türkiye'nin güneyinde bulunan havzalarda model performansını arttırmak için yarı dağılımlı hidrolojik modellerde kullanmışlardır.

Çok kriterli havza modellemesi farklı amaçlar için birçok çalışmaya konu olmuştur. Ambroise ve ark. (1995), Kurczera ve Mruczkowski (1998) ve Refsgaard (1997) özellikle modellerin iç yapısının karmaşıklığını gidermek için farklı veri setleri ile model parametrelerini sınırlandırmak üzerine çalışmalarda bulunmuştur. McMillan (2011) yaptığı çalışmanın sonucunda farklı kaynaklardan elde edilen veri setlerinin model içindeki hidrolojik süreçlerin optimizasyonunda kullanılması gerektiğini önermiştir. Literatürde, kara kaplı alan, yeraltı suyu muhtevası, buz kütlesi gibi farklı veri setleri kullanılmıştır. Finger ve ark. (2011) ise 1 yıllık karla kaplı alan görüntüsü, mevsime bağlı

buz kütlesi ve günlük akım veri setlerinin, dağlık bir havzada bulunan nehir ağındaki kar, buz ve yağış dağılımının tahminini nasıl iyileştireceği üzerinde çalışmalarda bulunmuştur.

Finger ve ark. (2015) yaptıkları kalibrasyon doğrulama çalışmaları sonucunda ne farklı veri setleri için ne de farklı performans kriterleri için modelin başarısında kayda değer bir farklılık bulamamışlardır. Buna rağmen uydudan alınan karla kaplı alan verisinin kullanılması kar tahmini yapılmasında avantaj sağlamıştır. Çalışmanın sonucunda eğer veri seti sınırlandırılmış çıktı için uygun veriyi içermiyorsa oluşturulan modelin karmaşık yapısının model performansını yeterince geliştiremediği yargısına ulaşmışlardır. Buna rağmen yaptıkları farklı kalibrasyon modelleri içinde en iyi sonucu akım ve karla kaplı alan verisi ile elde etmişlerdir.

Seibert (2000), çalışmada genetik algoritma ve HBV modeli ile çok kriterli model yapısı otomatik kalibrasyon ile yapılmıştır ve çok kriterli yapının sonuçları iyileştirdiği görülmüştür. Belirsizliği azaltmasının yanı sıra, çok kriterli kalibrasyon süreci sadece akım ile oluşturulandan daha uygun ve kabul edilebilir parametre seri üretmektedir.

Seibert 2000, Kalibrasyon ve doğrulama süreçleri için 3 farklı havzada genetik algoritma kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Her bir havza için akım verisi, diğer iki havzanın simülasyonu ile elde edilmiştir. Oluşturulan modeller genetik algoritma ile bulanık mantık ile birleştirerek çok kriterli bir yapı ile çalıştırılmıştır. Yan yana olan bu havzaları tek tek modellediği zaman elde ettiği başarı değer, bir model için ürettiği parametre setini diğer havzaya uyguladığı zaman elde ettiği başarı kriterinden oldukça fazla olduğunu bulmuştur. Havzaları tek tek modellediğinde ve hepsini tek bir havza gibi modellediğinde ise optimize edilen parametre setlerinde dikkate çarpacak şekilde bir farklılık gözlemlememişlerdir. Çalışmanın sonucunda ise parametre değerlerinin havzanın büyüklüğünden etkilenmediğini belirtmişlerdir. Ayrıca genetik algoritmanın parametre üretmede kullanılabilir bir araç olduğunu söylemişlerdir.

Bu çalışmada olduğu gibi, modellerin karmaşıklığı ve bilinmezliği arttıka modeli destekleyecek farklı veri setleri de girdi olarak modellere tanıtılma ihtiyacı artmaktadır. Franz ve ark. (1998) MODIS'e bağlı Terra uydusunun karla kaplı alan verisi ve akım ile kar modeli oluşturmuşlardır. KKA (Karla Kaplı Alan) ve KKA+Akım ile iki farklı model oluşturulmuş, sadece kar ile ilgili parametreleri optimize etmeye çalışarak hangisinin

daha hassas sonuçlar verdiğini araştırmışlardır. Kalibrasyon sonucunda yüksekliği az olan ve sıcak havzalarda modelin performansını düşük bulmuşlardır. Sonuç olarak kar verisi ile modelin sonuçlarının iyileştiği fakat akım simülasyonu için yeterli çıktılar alınmadığını belirtmişlerdir.

6.2. Çalışma

Monte-Carlo ve belirsizlik başlıklı çalışmalarda parametrelerin belirsizliği ve KKA verisinin modele katkısı üzerinde durulmuştur. Öncelikle KKA verisinin modeli iyileştirdiği görülmüştür ki bu sonuç çalışmanın devam etmesini sağlar niteliktedir. Bu kısımlardan elde edilen çıkarımlar ile Genetik Algoritma çalışması yapılmıştır.

Parametrelerin belirsizlik ve hassasiyet çalışmaları ile GAP çalışmasının parametrelerin sınırlarının daraltılmasını sağlamıştır. Bu sınırlar çalışmanın ileri kısımlarında her zaman belirleyici faktör olmuştur. Yukarıda belirlenen sınırlar ile Model, 2008-2015 su yılları arasındaki çalışmalarda kullanılmıştır. Çalışmanın adımları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. Akım, KKA ve ZN (zemin nemi) verilerinin temini, doğrulanması ve işlenmesi.
2. Veri setleri için GAP uygulanacak periyotların belirlenmesi ve belirlenen periyotlara göre parametre setlerinin üretilmesi.
3. Her kriter için en iyi parametre setinin alınması. BULANIKLAŞTIRMA; Bireysel en iyi parametre setinin diğer kriterler için uygulanması.
4. BULANIK SONUÇ ÇIKARMA: Çapraz uygulanan parametre setlerinin başarı kriterlerinin bulanık mantık ile yeniden hesaplanması.
5. DURULAŞTIRMA: Hesaplanan yeni başarı kriterlere bağlı kalınarak akım, kka ve zn veri setinin GAP ile birleştirilmesi.
6. Yeni yüzde değerleri ile 2015 yılı GAP modellemesi ve en iyi parametre setinin elde edilmesi.

Bulanık mantık ile çok kriterli yapı oluşturmanın ilk adımı olarak doğadaki evrimi temel alan Genetik Algoritma ile parametre setleri üretilmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada farklı yıllar için farklı hidrolojik aşamaları temsil eden veri setleri mevcuttur. KKA, akım

ve ZN aynı süreçlerde çalıştırılmaması gereken verilerdir bu sebepten dolayı her bir veri için farklı yıllar tespit edilmiş ve bu yıllar için öncelikle ayrı ayrı modeller kurulmuştur.

- KKA verisi 2008-2011 su yılları için modele girdi olarak verilmiş ve SnowCover_RMSE ile başarı skoru hesaplanmıştır.

- Akım verisi hem KKA hem ZN'ye destek olarak bulunmaktadır. Ayrıca model öncelik olarak akım üreten bir model olduğu için bu veri olmadan çalışmamaktadır. Başarı kriteri elde etme açısından KKA verisinin yanında bulunmaktadır.

- ZN verisi 2012-2015 yılları için mevcuttur. Bu veri karın zeminde olmadığı tarihler için kullanılmıştır. Kar zeminde olduğu sürece zemin nemi tam kapasite durumundadır. Dolayısıyla bilinmek istenen karın olmadığı süre içinde zemin neminin nasıl değiştiğidir ki bu işlem için belirlenen su yılları içerisinde 6 Mart- 31 Ekim tarihleri arasındaki zemin nemine ait model çıktıları, model dışında bir ortamda SnowCover_RMSE metodu gibi manuel olarak hesaplanmıştır. Bu aşamada KKA ile ZN verisinin aynı anda çalıştırılmadığı görülmektedir. KKA verisi var iken ZN, ZN var iken KKA verisi anlamsız kalmaktadır.

Model her bir aşama için aynı başlangıç değerleri ve aynı GAP katsayıları ile 50.000 kez belirlenen başarı kriteri için çalıştırılmıştır. Bu aşamada ZN bireysel olarak 50.000 kez, KKA ve akım ise aynı kalibrasyon süreci içinde iki popülasyon tanımlanarak çalıştırılmıştır. Her bir kriterin en iyi sonucunu veren başarı değeri ve parametre seti alınmıştır.

Çalışmanın 3. adımında çaprazlama yani bulanıklaştırma işlemi bulunmaktadır. Burada bireysel en iyi sonuç veren parametre seti diğer kriter için uygulanmış, çapraz olarak birbirlerine göre nasıl bir başarı kriteri elde ettikleri gözlemlenmiştir. Burada amaç akımı en iyi tutturan parametre setinin kar ve zemin ile ilgili değerleri ne kadar doğru temsil ettiğini gözlemlemektir. Aşağıdaki tablolar bireysel ve çapraz uygulanan parametre setlerinin başarı kriterlerini göstermektedir (bkz. Tablo 6.1, 6.2 ve 6.3).

Tablo 6.1. Akım için başarı kriteri karşılaştırma sonuçları.

AKIM	
Reff	0.84
Birbirlerine Göre Eff:	
REF-KKA	0.63
REF-ZN	0.50

Tablo 6.2. Karla kaplı alan için başarı kriteri karşılaştırma sonuçları.

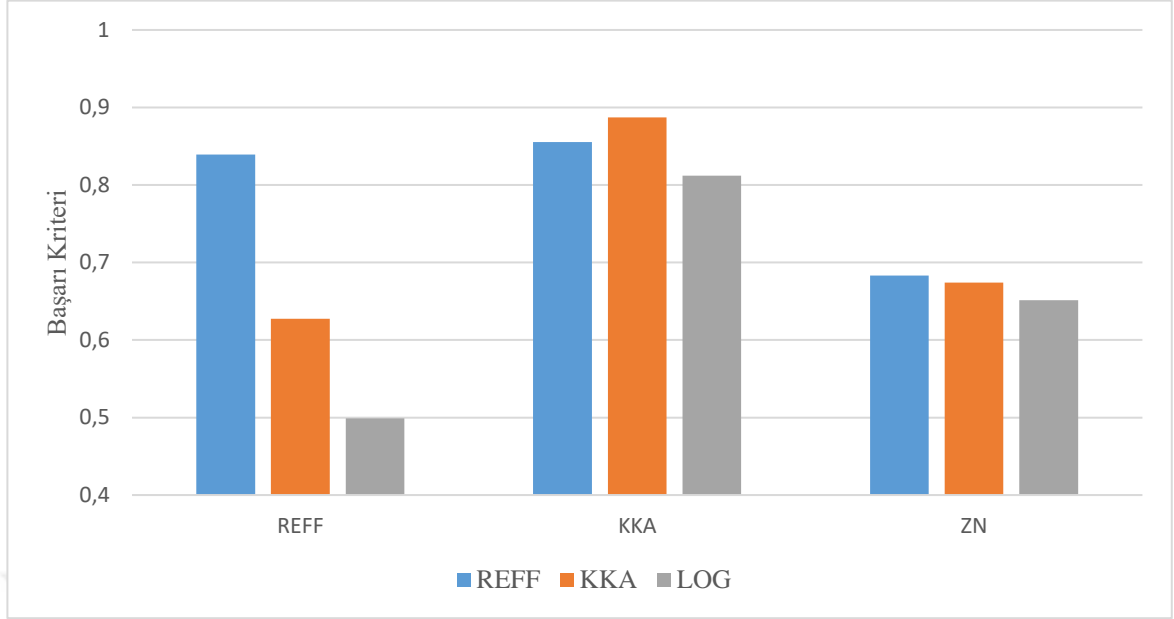
KARLA KAPLI ALAN	
SnowCover_RMSE	0.89
Birbirlerine Göre Eff:	
KKA-REF *	0.86
KKA-ZN	0.81

Tablo 6.3. Zemin nemi için başarı kriteri karşılaştırma sonuçları.

ZEMİN NEMİ	
ZN	0.65
Birbirlerine Göre Eff:	
ZN-REF **	0.69
ZN-KKA	0.67

* Akım için en iyi parametre seti uygulandığı zaman elde edilen (KKA) SnowCover_RMSE değeri

** Akım için en iyi parametre seti val sürecine uygulandı. Sonuçlar sc/fc yapılarak 1-rmse alındı.



Şekil 6.1 Her modelleme girdisi için farklı başarı kriterlerine göre genetik algoritma ile optimizasyon sonucu oluşan değerler.

Yukarıdaki grafik bireysel ve çaprazlama sonucu elde edilen başarı kriterlerini temsil etmektedir. Görülmektedir ki başarı kriteri en düşük olan zemin ile ilgili hesaplamalardır. Burada modelin zemin konusunda çok başarılı olmadığı görülmektedir. Havza karla beslenen bir havza olduğundan ve akımın büyük bir kısmını kar erimesi oluşturduğundan modelin bu konuda oldukça iyi olduğu sonucuna varılabilir.

4. adım olarak bulanık sonuç çıkarma işlemi bir dizi hesaplamalardan sonra birbirlerini nasıl temsil ettiklerini gösterme biçimidir (Seibert, 2000). Tabloda bulunan değerler aşağıdaki formüller ile birleştirilmiştir.

$$f = \max\left(0, \frac{Reff - 0.8 * Reffmaks}{0.2 * Reffmaks}\right) \quad (6.1)$$

Reff: Birbirlerinin parametre setleri çapraz uygulayarak elde edilen başarı kriteri,

Reffmaks= Genetik algoritma ile modellenen maksimum başarı kriteri. Her popülasyon için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

f=bulanık mantık ile hesaplanmış başarı kriteri

$$F = (f1 * f2 * f3)^{1/3} \quad (6.2)$$

Çıkan sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Bkz. Tablo 6.4, 6.5 ve 6.6).

Tablo 6.4. Akım için Fuzzy GA katsayısı.

Akım için kombinasyonlar	f
REF-REF	1.00
REF-KKA	-0.26
REF-ZN	-1.03
F	0.65
FUZZY KATSAYILARI	0.2

Tablo 6.5. KKA için Fuzzy GA katsayısı.

Karla Kaplı Alan için kombinasyonlar	f
KKA-KKA	1.00
KKA-REF *	0.82
KKA-ZN	0.58
F	0.78
FUZZY KATSAYILARI	0.2

Tablo 6.6. ZN için Fuzzy GA katsayısı.

Zemin Nemi için kombinasyonlar	f
ZN-ZN	1.00
ZN-REF **	1.24
ZN-KKA	1.17
F	1.13
FUZZY KATSAYILARI	0.6

Genetik algoritma için her bir başarı kriterinin katsayısı bulanık mantık ile hesaplanmıştır. Bu katsayılar hesaplandıktan sonra model daha sonraki tahmin çalışmalarına parametre seti elde edebilmek için genetik algoritmada çok kriter oluşturmak için kullanılmıştır. Model 2015 su yılı için tek popülasyonda, AKIM=0.2, KKA=0.2 ve SM=0.6 başarı kriterleri katsayıları ile 100.000 kez çalıştırılmıştır. Elde edilen parametre seti ve tekli parametre setleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.7. Fuzzy katsayıları ile oluşturulan model çıktıları.

Su Yılı	2008-2011	2012-2015	2008-2011	2015
Reff (NSE)	0.8394			0.9095
ZeminNemi_RMSE (ZN)		0.6514		0.6805
SnowCover_RMSE (KKA)			0.8871	0.8770
Weighted_Obj_Function				0.8944
PERC	4.94	1.00	2.25	1.00
UZL	30.00	69.99	55.53	60.51
K0	0.39	0.4	0.25	0.35
K1	0.10	0.05	0.08	0.0
K2	0.04	0.01	0.04	0.01
MAXBAS	1.00	1.02	1.15	1.49
Ce	0.20	0.20	0.24	0.30
PCALT	5.0	9.00	7.45	5.42
TCALT	0.43	0.30	0.53	0.49
Pelev	1700			
Telev				
TT	0.28	-1.50	-0.37	-0.89
CFMAX	4.40	1.53	1.98	2.44
SFC	0.90	0.95	0.7	0.79
CF	0.05			
CW	0.1			
FC	186.47	150.00	294.79	150.00
LP	0.70	0.5	0.51	0.56
BETA	2.17	2.00	2.79	4.00

7. AKIM TAHMİN SİSTEMLERİ

7.1. Literatür

Dünyada birçok ülkede, kompleks hidrolojik modeller akım tahmin çalışmaları için kullanılmaktadır. Kritik olaylarda, taşkın uyarı sistemlerinde, hidroelektrik santrallerinde ve rezervuar işletmelerinde akım tahminleri çok önemlidir. Bu konuda yapılan en önemli çalışmalar Anderson ve ark (2002), Jasper ve ark (2002), Westrik ve arkadaşlarına (2002) aittir.

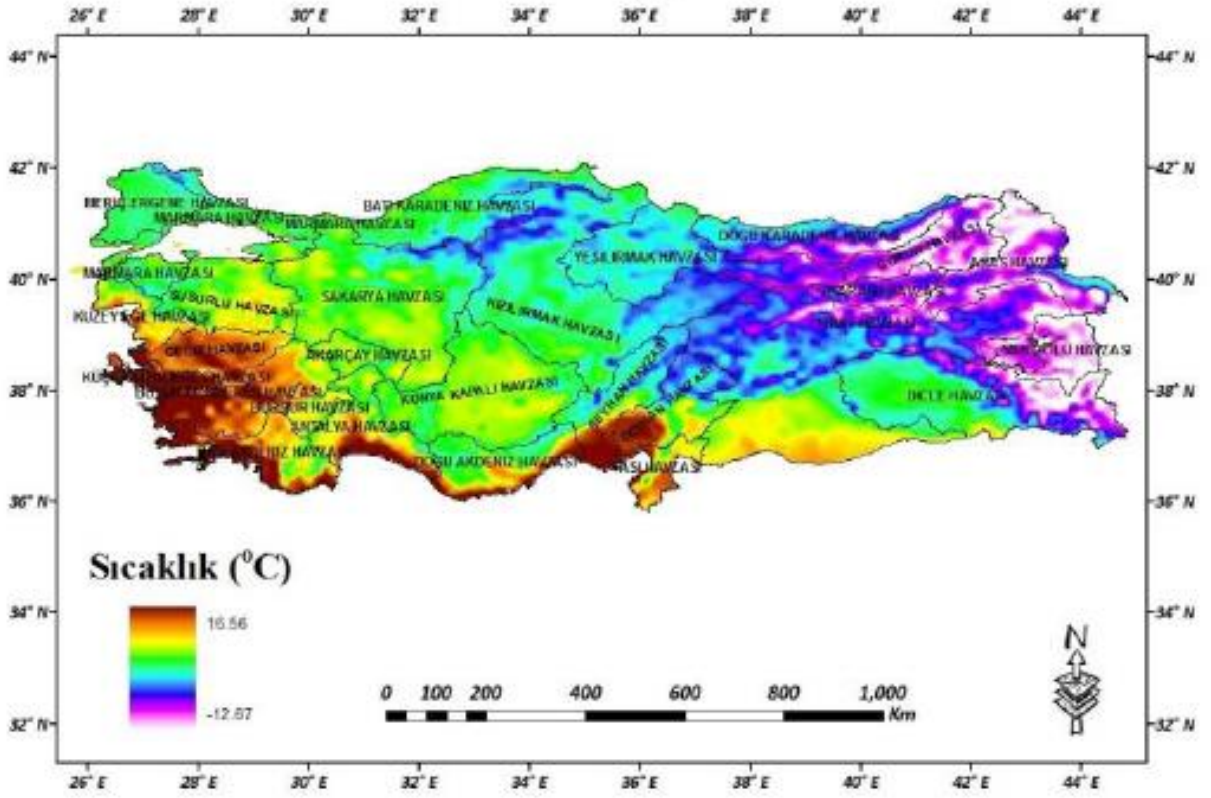
7.2. Hava Tahmin (SHT) Verisi Temini ve İşlenmesi

Sayısal hava tahmini, gözlemlenmiş verileri bilgisayar modelleri ile işleyerek ileri zamanlar için hava koşullarını tahmin etmektir. Şimdiki koşulların verilerinin temini sayısal/hidrolojik modeller için önemli bir aşamadır. Gerçek zamanlı gözlemlenmiş veriler ile veri asimilasyonu olarak bilinen sayısal model ile işlenerek oluşturduğu çıktılar okyanustan atmosferin en üst tabakalarına kadar sıcaklık, yağış, nem gibi yüzlerce hidrolojik veri üretilmektedir (www.ncdc.noaa.gov). Başka bir deyişle sayısal veri tahmin sistemi gözlemlenmiş verileri işleyerek birkaç gün sonrasında tahmin yapabilmek için tahmin verisi üretmektir. Tablo 7.1 STV'ne (sayısal tahmin verisi) aralıkları ve sınırlamaları göstermektedir. Çalışmanın adımları aşağıdaki gibidir:

1. WRF Modeli çıktılarının temini
2. Verilerin düzenlenmesi ve Bias doğrulaması
3. HBV modeli ile tahminleme

Tablo 7.1. STV sınır aralıkları ve sınıflandırması.

Sınır Aralıkları	Sınıflandırma
Kısa Dönemli Tahmin (0 - 2/3 gün)	Deterministik Tahmin Sistemi
Orta Dönemli Tahmin (2/3 gün - 2 hafta)	
Uzun Dönemli Tahmin (2 haftadan daha fazla)	Olasılıksal Tahmin Sistemi

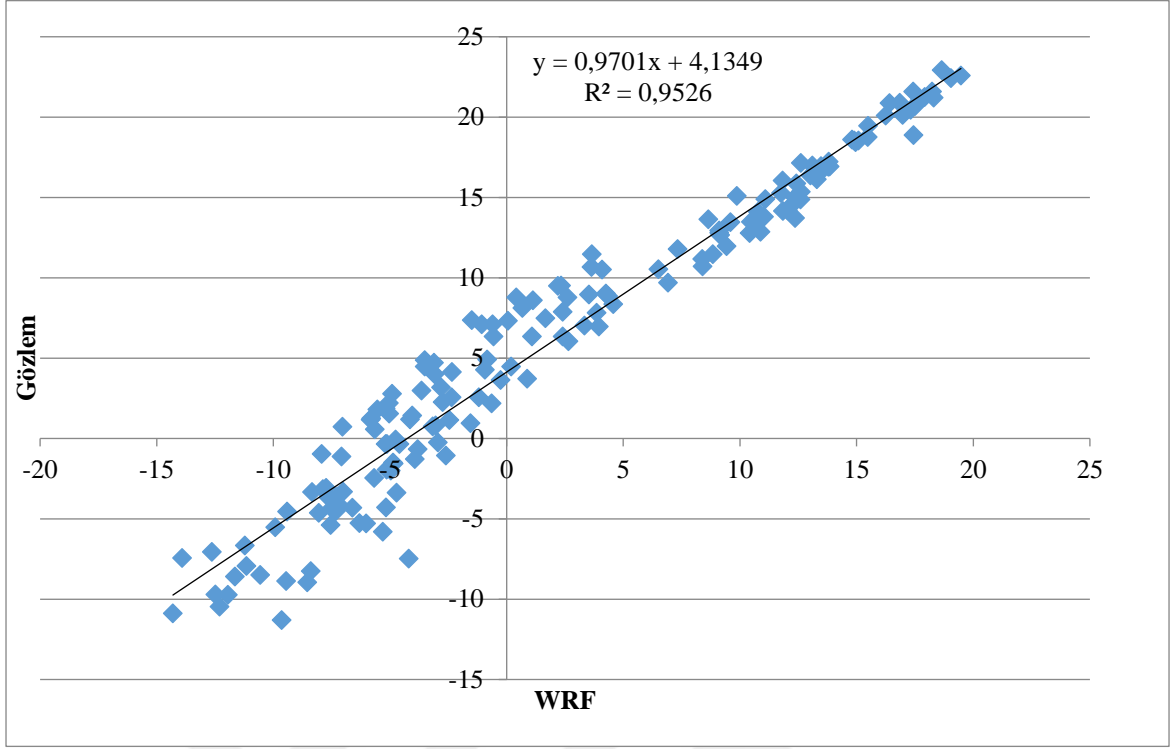


Şekil 7.2. Türkiye MM5 sıcaklık verisi (11 Mart 2012).

Hidrolojik modeller bize SHT (Sayısal Hava Tahmin) sistemleri ile akım tahmini yapma imkânı sağlamaktadır. Hidrolojik tahminlerin doğruluğunun önemli kısmını SHT verisinin doğruluğu oluşturmaktadır. Tahmin verisinin doğruluğu arttıkça hidrolojik tahmin sisteminin performansının da artması beklenmektedir. Bu yüzden girdi verilerinin doğruluğu hidrolojik tahmin sisteminin başarısında çok önemli bir role sahiptir.

Bu çalışmada 4,5 km çözünürlüğe sahip günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış verileri 1 ve 2 gün ötelenerek HBV modeline girdi olarak işlenmiştir. Oluşturulan model ile Kayabaşı Havzası 2015 su yılı için akım tahmin uygulaması yapılmıştır.

MM5 verisi direkt olarak modele uygulanmadan önce MM5 sıcaklık tahmin ve gözlemlenmiş verisinin tutarlılığını arttırmak amacı ile hata doğrulaması yapılmıştır. Bunun için lineer ölçekleme metodu uygulanmıştır. Öncelikle gözlemlenmiş veri ile tahmin verisinin lineer ilişkisi tanımlanmıştır. Tanımlanan ilişki diğer yılların tahmin verisine uygulanmıştır. Tüm veri setleri hata doğrulama sürecinin sonunda aynı ortalama değerlere sahiptir. Bu ilişki şekil 7.3 de gösterilmiştir.

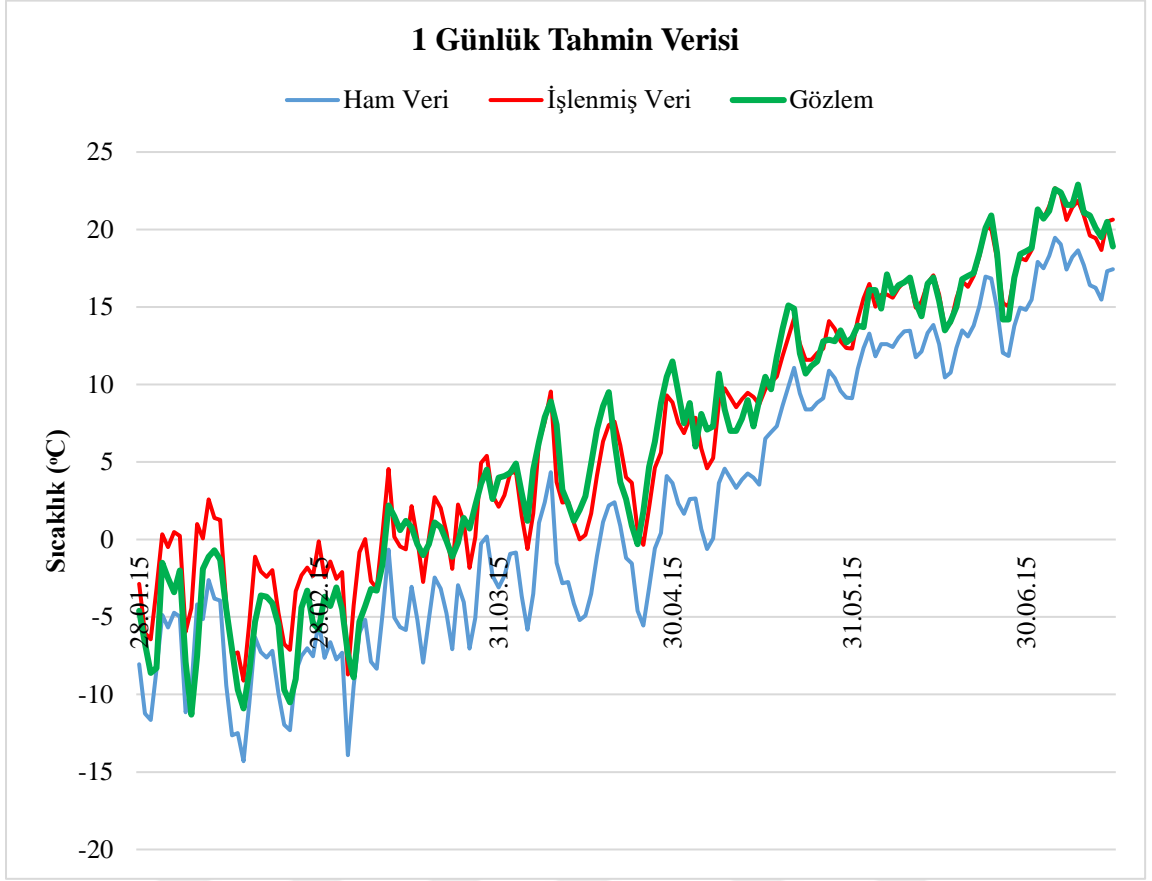


Şekil 7.3. 2015 Su yılı sıcaklık doğrulaması.

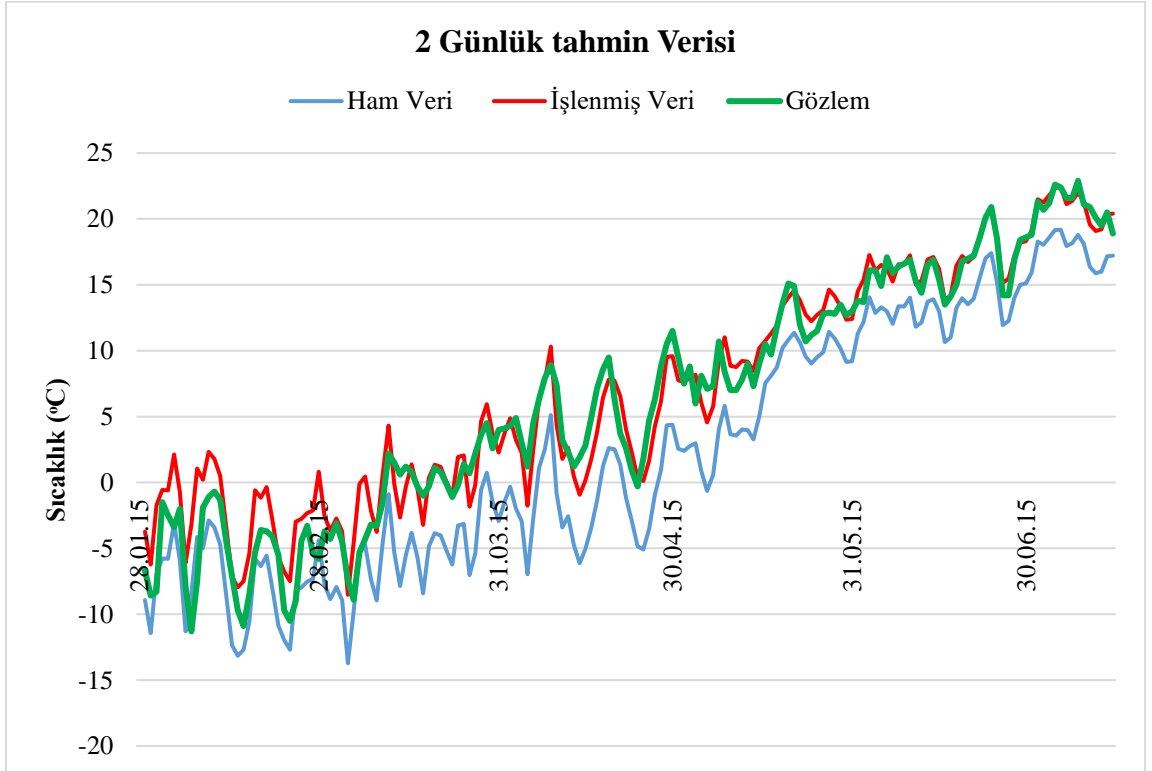
Tablo 7.2. 2013, 2014 ve 2015 su yılları için doğrulama kriterleri.

	Tüm Veri Seti	< +6.0 °C	> +6.0 °C	Fark
2015 Sıcaklık	4.13	5.16	3.23	1.93
2014 Sıcaklık	4.25	4.51	1.57	2.94
2013 Sıcaklık	4.98	6.21	3.57	2.64
Uygulanan Doğrulama		5.2	3.2	

Grafikte 6°C veri setinin iki farklı aşamada incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Değerler bu değerden kesilerek incelendiğinde 6°C ve altı için +5.2°C, 6°C ve üzeri için +3.2°C doğrulama oranı uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır (Bkz. Tablo 7.2).



Şekil 7.4. Kayabaşı Havzası Günlük Ortalama Sıcaklık 1 günlük SHT Verisi Analizi.



Şekil 7.5. Kayabaşı Havzası Günlük Ortalama Sıcaklık 2 günlük SHT Verisi Analizi.

Görüldüğü üzere, SHT ile gözlemlenmiş veri arasındaki ilişkinin iyi tanımlanması ve hata doğrulaması ile hata oranı azalmıştır (Bkz. Şekil 7.5 ve 7.4). İşlem görmemiş tahmin verisinin ortalaması, Kayabaşı Havzasına ait gözlemlenmiş verinin ortalamasına göre az çıkmaktadır. Buna karşılık yağış verisine bakıldığında gözlem ile tahmin verisi arasında herhangi bir lineer ilişki tanımlanamamaktadır. Bu yüzden yağış verisi için hata doğrulaması yapılmamıştır.

7.3. Sayısal Hava Tahmin Verisinin Hidrolojik Model Entegrasyonu

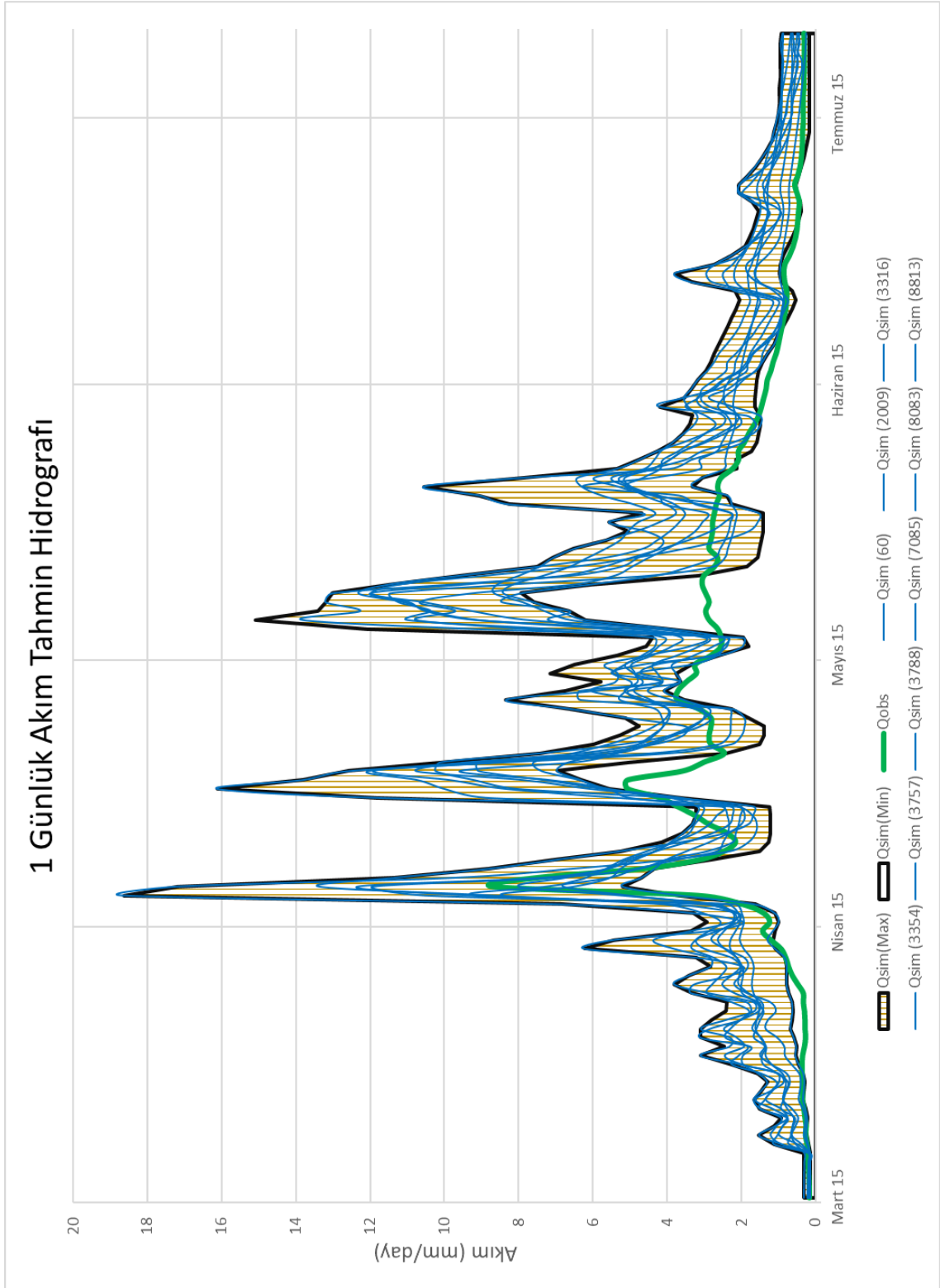
Hata doğrulaması ile yeniden düzenlenen veriler akım tahmini için HBV modeline entegre edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda PTQ dosyasını sırasıyla gözlemlenmiş yağış, sıcaklık ve akım oluşturmuştur. Tahmin yapmak için doğrulanmış veri seti, daha önceki gözlemlenmiş verilerin yerine koyularak girdi dosyası oluşturulmuştur. Genetik algoritma ve çok kriterli yapı oluşturularak elde edilen en iyi parametre setleri karşılaştırılmış ve en iyi parametre seti olarak çok kriterli yapıda bulunan 14 adet parametre seti olduğuna karar verilmiştir. Havzayı en iyi temsil eden parametre setleri ve SHT verisi birlikte kullanılarak 1 ve 2 günlük tahmin modeli oluşturulmuştur (bkz. Şekil 7.6, Tablo 7.3, Şekil 7.7 ve Tablo 7.4). En iyi 14 parametre seti içinden ise 3172, 3788, 3354, 8083, 150, 3757, 8537 ve 4559 numaralı setlerinin sonuçları aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.

Tablo 7.3. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 1 günlük akım tahmin çalışması model sonuçları.

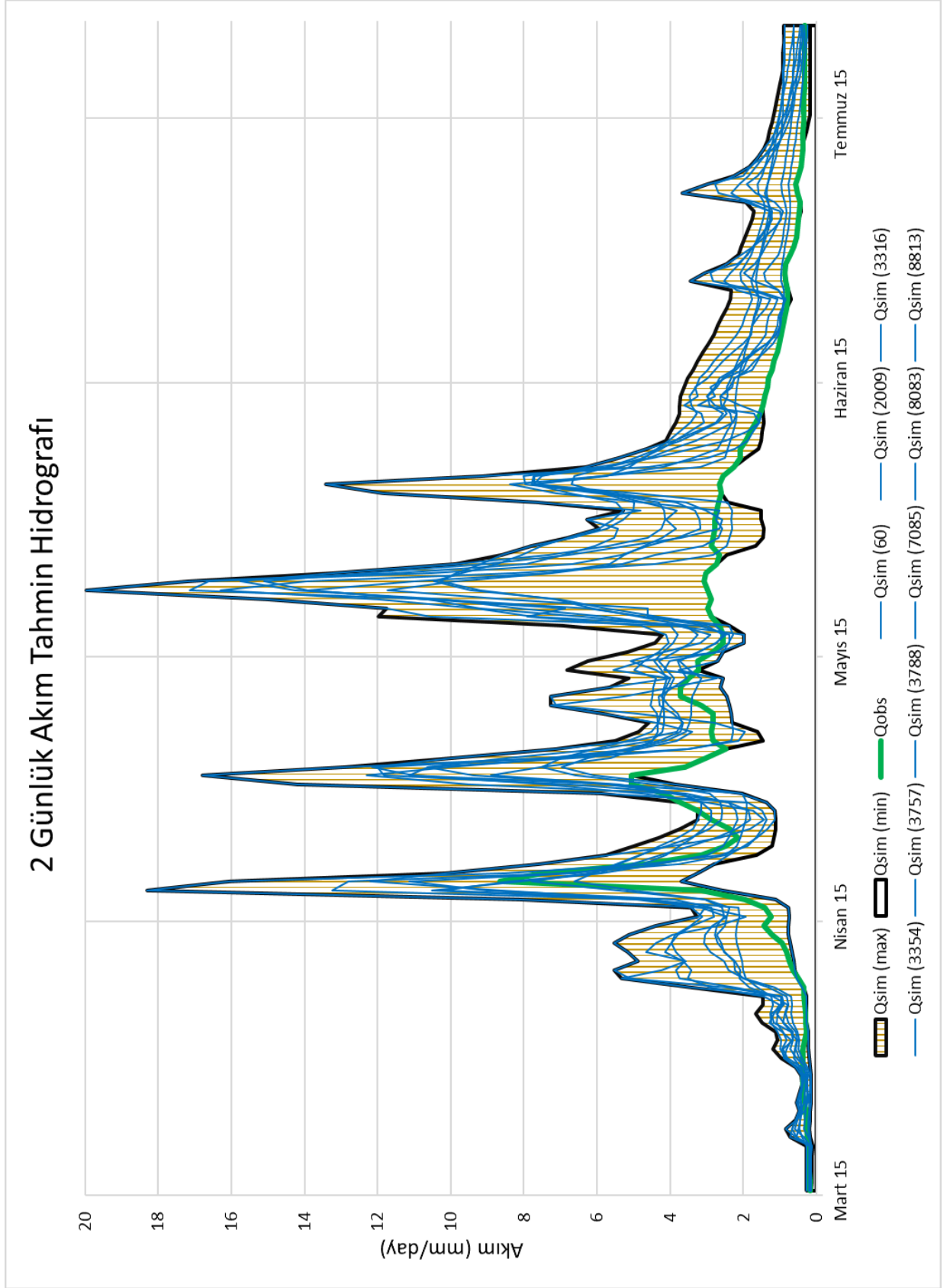
1 Gün Tahmin Akım Tahmin Sonuçları				
Toplam Gözlemlenen Akım= 601.41 mm/day				
Parametre Set Numaraları	Başarı Kriterleri			Akım Sonuçları
Run No	Reff	LogReff	Toplam Hacim	Toplam Modellenen Akım
6696	-0.33	0.33	0.22	1072.21
8813	-1.31	0.26	0.08	1153.55
3172	-0.49	0.35	0.32	1009.19
3788	-0.32	0.66	0.39	970.32
2009	-0.92	0.17	0.13	1126.60
3354	-0.62	0.40	0.33	1006.37
3316	-1.77	0.21	0.11	1136.96
8083	-0.99	0.38	0.38	972.13
150	-0.43	0.53	0.38	975.65
7085	-1.01	0.18	0.19	1088.11
3757	-0.15	0.73	0.53	886.23
8537	-2.09	0.54	0.47	920.59
60	-4.58	-0.04	-0.21	1327.02
4559	-0.88	0.60	0.37	983.25

Tablo 7.4. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 2 günlük akım tahmin çalışması model sonuçları.

2 Gün Tahmin Akım Tahmin Sonuçları				
Toplam Gözlemlenen Akım= 597.79 mm/day				
Parametre Set Numaraları	Başarı Kriterleri			Akım Sonuçları
Run No	Reff	LogReff	Toplam Hacim	Toplam Modellenen Akım
6696	-0.39	0.36	0.19	1079.18
8813	-2.05	0.37	0.07	1155.62
3172	-0.66	0.50	0.28	1025.99
3788	-0.73	0.66	0.35	987.44
2009	-1.31	0.29	0.08	1149.29
3354	-0.88	0.52	0.34	995.21
3316	-2.59	0.34	0.03	1176.14
8083	-1.75	0.41	0.37	975.78
150	-1.09	0.58	0.37	973.82
7085	-2.21	0.28	0.13	1116.66
3757	-0.82	0.65	0.55	864.84
8537	-2.44	0.55	0.41	949.65
60	-6.06	0.12	-0.26	1351.98
4559	-0.96	0.65	0.34	992.06



Şekil 7.6. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 1 günlük akım tahmin çalışması.



Şekil 7.7. Kayabaşı Havzası 2015 Su yılı 2 günlük akım tahmin çalışması.

Model her iki tahmin çalışması için 6 Mart 2015 tarihinden itibaren çalıştırılmıştır. Bunun sebebi kar erime dönemine denk gelmesi ve etkin akımların gözlemlenmesidir. 1 günlük tahmin çalışması başarısı sonuçlar Tablo 7.3 ve 2 günlük tahmin çalışmasının başarısı Tablo 7.4'teki gibi hesaplanmıştır.



8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye'nin kar potansiyeli yüksek dağlık doğu bölgelerindeki yıllık toplam akım hacminin büyük bir bölümü, bahar ve ilk yaz ayları süresince kar erimesinin meydana getirdiği akımlardan oluşmaktadır. Bu nedenle özellikle büyük enerji santrallerinin bulunduğu Kayabaşı Havzası'nda kış aylarında biriken kar miktarının mekânsal olarak yağış-akış ilişkisi olarak takip edilmesi ülke su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması açısından önemlidir. Bölgenin dağlık olması sebebiyle kış yağışların daha çok kar olarak düşmesi ve akımın önemli kısmının kar erimesine bağlı oluşmasından dolayı kar örtüsünün zamana bağlı değişiminin izlenmesi ayrı bir öneme sahiptir.

Kayabaşı Havzası, $39^{\circ} 32' - 39^{\circ} 86'$ kuzey enlemleri ve $41^{\circ} 18' - 42^{\circ} 23'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık 2.764 km^2 su toplama alanına sahip olan havzanın yüksekliği 1686 ile 3179 metre arasında değişmektedir. Havzanın ortalama yüksekliği 2215 m ve ortalama eğimi yaklaşık %14'tür.

Havzada yapılan çalışmalar Mayıs 2007 ile 2015 su yılı arasındaki dönemi kapsamaktadır. Havza çevresinde ve içinde farklı yüksekliklerde bulunan 3 farklı istasyon olan Hınıs, Horasan ve Erzurum Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından yağış ve sıcaklık verileri temin edilmiştir. Bu veriler her bir su yılı için incelenerek eksiksiz zaman serisi haline getirilmiştir. Yağış verileri incelendiğinde en fazla yağış Mayıs ayında 67.46 mm, en az yağış Eylül ayında 17.37 mm'dir. Havzaya düşen 1 yıllık ortalama yağış miktarı ise 436.6 mm'dir. Sıcaklık verileri incelendiğinde en sıcak ay Ağustos ve 20.38°C , en soğuk ay ise Ocak olup ortalama sıcaklık değeri -9.45°C 'dir. Akım verileri incelendiğinde ise en yüksek akım Nisan ayında $76.66 \text{ m}^3/\text{s}$, en düşük akım Eylül ayında $6.42 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak kaydedilmiştir. Hidrometeorolojik verilere ek olarak havzanın karla kaplı alanları da çalışmada incelenmiş ve çalışmanın girdi verisi olarak kullanılmıştır. Günlük kar verisi kar potansiyeli yüksek olan havzada yağış-akış ilişkisine destek vermektedir. Bu amaçla 2 farklı uydu olan IMS ve MODIS'ten günlük karla kaplı alan verisi alınmış, eksik veriler birbirleri ve bir gün öncesi – sonrasına göre analiz edilerek doldurulmuştur.

Hazırlanan veri setleri ile HBV Light modeli oluşturulmuştur. Seçilen havza Aras Nehri üzerinde önemli barajlar içermekte ve sınır ötesi sular olduğu için hidropolitik öneme sahiptir. Bu nedenle havzada meydana gelen akımın Aras Nehri üzerinde bulunan barajların optimum işletilmesi oldukça önemlidir. Model belirlenen alan ve

yüksekliklerde içinde barındırdığı 4 modül ve hidrolojik olayları temsil eden 18 parametre ile çalışmaktadır. Çalışmada 2 farklı modelleme yöntemi kullanılmıştır.

Çok kriterli model çalışmasına başlamadan önce modeli oluşturan parametrelerin modele, çıktılara ve hidrografa etkisi üzerinde çalışmıştır. Bunu için parametrelerin hassasiyet ve belirsizlik analizle çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kar modülünde bulunan TT, CFMAX ve SFF parametreleri en hassas parametreler olurken CWH ve CFR parametrelerinin değişkenliği modeli etkilemediği için en hassas parametreler olarak belirlenmiştir. Bu yüzden çalışmanın ilerleyen kısımlarında sabit değer verilerek devam edilmiştir. Toprak rutinde FC ve LP parametrelerinde yapılan en ufak değişikliklerin model verimliliğini önemli ölçüde etkiledikleri için bu parametreler hassas parametreler olarak belirlenmiştir. K2 ve PERC parametreleri birlikte çalıştıkları için bir tanesinde yapılan değişiklik diğerinde de değişiklik yapmayı gerekir bu yüzden modeli ciddi derecede etkilerler, sonuç olarak hassas parametreler olarak belirlenmişlerdir. Yapılan belirsizlik ve hassasiyet analizleri sonucu modelin iç yapısı daha iyi anlaşılmış, parametre güvenilirliği arttırılmış ve çalışmanın devamında oluşturulacak çok kriterli yapıda parametre aralıkları daha verimli sonuçlar elde edebilmek için bu analiz sonuçlarına göre sınırlandırılmıştır.

Çalışmanın önemli amaçlarından birisi olan çok kriterli model yapısı 2 farklı şekilde oluşturulmuştur. Bunlardan birisi Monte-Carlo model simülasyonu ile oluşturulan çok kriterli yapı, diğeri ise Genetik Algoritma ile bulanık mantık kullanılarak oluşturulan çok kriterli yapıdır. Monte-Carlo ile oluşturulan modelde kalibrasyon süreci 2012 su yılı olarak belirlenmiş, karla kaplı alan verisi ile çok kriterli yapı oluşturularak model 10000 kez çalıştırılmıştır. Doğrulama süreci olarak 2 farklı periyot belirlenmiştir; 2009-2011 su yılları ve 2013-2015 su yılları. Kalibrasyon sürecinde havzayı temsil edecek tek bir parametre değil, birden fazla model verimliliği başarılı parametre setleri seçilmiş ve çalışmanın bu kısmında hep birden fazla parametre seti ile devam edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre modeli destekleyici veri seti ile model başarısının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca birden fazla başarı kriterine göre model çalıştırıldığında ve parametre setlerinin birbirlerine göre kombinasyonlarına bakıldığında daha güvenilir parametre setleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Monte-Carlo ile çok kriterli yapı çalışmasında KKA verisinin model başarıya etki ettiği gözlemlenmiştir, bundan sonraki adım olan Genetik Algoritma ile çok kriterli yapı çalışmasında KKA verisine ilave olarak zemin nemi verisi de modele

girdi olarak tanıtılmıştır. Monte-Carlo simülasyonunda kullanılan parametre sınırları çalışmanın bu kısmında da aynı şekilde kullanılmıştır. Model 2008-2015 su yılları arasında çalıştırılmıştır. Farklı periyotlarda farklı destekleyen veri setleri için çalışma yapılmış ve 2015 su yılı çok kriterli doğrulamasında 0.8944 sonucu elde edilmiştir. Bu da tıpkı Monte-Carlo model simülasyonunda olduğu gibi çok kriterli oluşturulan yapının modeli olumlu yönde etkilediği ve model güvenilirliğini arttırdığını desteklemektedir.

Oluşturulan çok kriterli hidrolojik modelin ardından sayısal hava tahmin verisiyle beslenerek belirlenen pilot havzada operasyonel akım tahmin çalışması yapılmıştır. Model parametre setleri belirlendikten sonra akım tahmin çalışmasına geçilmiştir. 2015 su yılı için kısa dönem 1 ve 2 günlük WRF tahmin verileri kullanılarak akım tahmin çalışması yapılmıştır.

Ülkemizde operasyonel hidrolojik model çalışmalarının yok denecek kadar az olması, özellikle yeni metodolojilerle birleştirilerek yapılacak bu çalışmanın değerini artırmaktadır. Hem devlet kurumlarının hem de özel sektörün işlettiği su yapıları için akım tahmin sistemlerinin etkin biçimde kullanılması gerekmektedir. Bu çalışma, başta suyla ilgili kurum ve/veya işletmelerin öncelikli pilot uygulama havzalarında kullanılmak üzere bir havza modeli ve bundan sonra havzada alınabilecek kararlara (havza yönetimi, ön tahmin ve operasyonel işletme sistemleri, su yapılarının optimum işletilmesi, taşkın çalışmaları, kalite çalışmaları vb.) bir altlık oluşturulmasına yön verebilir.

Çalışmadan çıkan sonuçlar ayrıca seçilen pilot havzada veri ve yöntem anlamında bilimsel literatüre katkı sağlayarak başta üniversitemiz olmak üzere ülkemiz için yeni yetişmekte olan genç bilim insanlarına ışık tutacaktır.

KAYNAKÇA

- Abebe N. A., Ogden F. L., Pradhan N. R. (2010). Sensitivity and uncertainty of the conceptual HBV rainfall-runoff model: implication for parameter estimation, *Journal of Hydrology* 389, 301-310.
- Ambroise, B., Perrin, J., and Reutenauer, D. (1995). Multicriterion validation of a semidistributed conceptual model of the water cycle in the Fecht Catchment (Vosges Massif, France), *Water Resources Research*, vol 31(6), pp. 1467-1481.
- Anderson ML, Chen Z-Q, Kavvas ML, Arlen Feldman M. (2002). Coupling HEC-HMS with atmospheric models for prediction of watershed runoff. *Journal of Hydrologic Engineering* 7(4):312-318.
- Bergström, S. (1992). The HBV model- its structure and applications, SMHI Hydrology, RH No.4, Norrköping, 35 pp.
- Bergström S., Lindström G. ve Petterson A. (2002). Multi-variable parameter estimation to increase confidence in hydrological modelling, *Hydrological Processes*, 16, 413-421, doi:10.1002/hyp.332.
- Beven, K. and Binley, A. (1992). the future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction, *Hydrological Processes*, vol. 6, pp. 279-298.
- Beven KJ (2001). *Rainfall-runoff modelling*. Wiley, Chichester, UK.
- Beven K. J. (2001). *Rainfall-Runoff modelling: The primer*, John Wiley&Sons, LTD., Chichester, England, 360p.
- Boyle, D. P., Gupta, H. V., Sorooshian, M. (2000). Toward improved calibration of hydrologic models: combining the strengths of manual and automatic methods. *Water Resour. Res.* 36 (12), 3663-3674.
- Brandt M., Bergström S. & Gardelin M. (1988). Modelling the effects of clearcutting on runoff- examples from central Sweden, *Ambio* 17(15), 307-313.
- De Grosbois, E., Hooper, R. P, and Christophersen, N. (1998). A multisignal automatic calibration methodology for hydrochemical models: a case study of the Birkened model, *Water Resour. Res.*, 24, 1299-1307.

- De Vos N. J., Rientjes T. H. M. (2007). Multi-objective performance comparison of an artificial neural network and a conceptual rainfall-runoff model, *Hydrological Sciences*, 52(3).
- Duan, Q., Sorooshian, S. & Gupta, V. K. (1992). Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research* 28(4), 1015-1031.
- Engeset, Udnaes HC, Guneriussen T., Koren H, Malnes E., Solberg R., Alfnes E. (2003). Improving runoff simulations using satellite-observed and time-series of snow covered area. *Nordic Hydrology* 34(4): 281-294.
- Finger D., Pellicciotti M., Konz M, Rimkus S. And Burlando P. (2011). the value of glacier mass balance, satellite snow cover images, and hourly discharge for improving the performance of a physically based distributed hydrological model, *Water Resour. Res.*, 47, W07519, doi:10.1029/2010WR009824.
- Finger D., Vis M., Huss M., Seibert J. (2015). The value of multiple data set calibration versus model complexity for improving the performance of hydrological models in mountain catchment, *Water Resour. Res.*, 51, 1939-1958, doi 10.1002/2014WR015712.
- Franchini, M. (1996). Using a genetic algorithm combined with a local search method for the automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models. *Hydrolog. Sci. J.*, 41, 21-40.
- Franks, S. W., Guineste, P., Beven, K. J., Merot, P. (1998). On constraining the predictions of a distributed model: the incorporation of fuzzy estimates of saturated areas into the calibration process. *Wat. Resour. Res.*, 34(2), 787-797.
- Gan, T. Y., E. M. Dlamini, and G. F. Biftu (1997). Effects of model complexity and structure, data quality, and objective functions on hydrologic modelling, *J. Hydrol.*, 192(1-4), 81-103.
- Grayson R., and G. Blöschl (2000). Spatial modelling of catchment Dynamics, in *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*, edited by R. B. Grayson and G. Blöschl, pp. 51-81, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

- Grayson, R. B., G. Blöschl, A. W. Western, and T. A. McMahon (2002). Advanced in the use of observed spatial patterns of catchment hydrological response, *Adv. Water Resour.*, 25(8-12), 1313-1334.
- Gupta, H. V., Wagener, T., Liu, Y. (2008). Reconciling theory with observations: elements of a diagnostic approach to model evaluation. *Hydrol. Process.* 22 (18), 3802-3813.
- Harlin, J. And Kung, C.-S. (1992). Parameter uncertainty and simulation of design flood in Sweeden. *Journal of Hydrology*, vol. 137, pp. 209-230.
- Hornberger, G. M., Beven, K. J., Cosby, B. J., and Sappington, D. F. (1985). Shenandoah watershed study: Calibration of topography-based variable contributing area hydrological model to small forested catchment, *Water Resources Research*, vol. 21(12), pp. 1841-1850.
- Hunter N. M., Bates P. D., Horritt M. S., Wilson M. D. (2007). Simple spatially distributed models for predicting flood inundation: a review. *Geomorphology* 90(3), 208-225.
- Jasper, K., Gurtz, J., Lang, H. (2002). Advanced flood forecasting in Alpine watersheds by coupling meteorological observations and forecasts with a distributed hydrological model. *Journal of Hydrology* 267: 40-52.
- Johansson B., Andreasson J., Jansson J. (2003). Satellite data on snow cover in HBV model. Method development and evaluation, *SMHI Hydrology*, RH No.90, Norrköping.
- Kahveci M. (2002). Simülasyon modelinin Monte-Carlo simülasyon tekniği ile stokastik süreçlerde uygulanması, *Mali Çözüm Dergisi*, Sayı:59, 135-142
- Kaya, HI, (1999). Application of Snowmelt Runoff Model using remote sensing and geographic information systems. MSc dissertation. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- Konz M., Finger D., Bürgi C., Normand S., Immerzeel W. W., Merz J., Giriraj A. (2010). Calibration of distributed hydrological model for simulations of remote glacierized Himalayan catchments using MODIS snow cover data. In: *global change: Facing risks and threats to water resources (proc. Of the Sixth World*

- FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010) IAHS Publ. 340, pp. 465-473.
- Kurczera, G & Mroczkowski, M. (1998). Assessment of hydrologic parameter uncertainty and the worthof data. *Wat. Resour. Res.* 34(6), 1481-1489.
- Laaha G., Blösch G. (2007). A national low flow estimation procedure for Austria, *Hydro. Sci. J.* 52(4), 625-644.
- Lingström, G. (1997). A simple automatic calibration routine for the HBV model, *Nord. Hydrol.*, 28(3), 153-168
- Liong, S, Y., Khu, S, T., Chan, W, T. (1996). Construction of multi-objective function response surface with genetic algorithm and neural network. *Proceeding of the International Conference on Water Resource and Environment Research*, October 29-31, Kyoto Japan, vol. 2, pp 31-38.
- Liong, S, Y., Khu, S, T., Chan, W, T. (1998). Derivation of Pareto front with accelerated convergence genetic algorithm, ACGA. In: Babovic, V., Larsen, L. C. (Eds.). *Hydroinformatics 1998*. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 889-896.
- Maden T. E. (2012). Son erişim: <https://orsam.org.tr/tr/aras-nehri-havzasinda-yer-alan-ortak-barajlar-meghri-aras-khoda-afarin-ve-arpacay-barajlari/>
- Madsen. H. (2000). Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objective, *J. Hydrol.* 235 (3), 276-288.
- Madsen H., Wilson G., Ammentorp H. C. (2002). Comparison of different automated strategies for calibration of rainfall- runoff models, *Journal of Hydrology* 261, 48-59.
- Madsen H, (2003). Parameter estimation in ditributed hyrological catchment modelling using automatic calibration with multiple objectives. *Advances in Water Resources* 26: 205-216.
- Mayr, E., Hagg, W., Mayer, C., ve Braun, L. (2013). Calibration a spatially distributed conceptual hydrological model using runoff, annual mass balance and winter mass balance, *J. Hydrol.*, 478, 40-49, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.11.035.

- McMillan, H. K., M. P. Clark, W. B. Bowden, M. Duncan, and R. A. Woods (2011). Hydrological field data from a modeller's perspective: Part 1. Diagnostic tests for model structure, *Hydrol. Processes*, 25(4), 511-522, doi:10.1002/hyp.7841.
- Mroczkowski, M., Raper, G. P., Kurczera, G. (1997). The quest of more powerful validation of conceptual catchment models. *Wat. Resour. Res.* 33, 2325-2335.
- Muleta M., Nicklow, J. (2005). Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model. *Journal of Hydrol.*, 306:127-145.
- Orth R., Staudinger M., Seneviartne S. I., Seibert J., Zappa M. (2015). Does model performance improve with complexity? A case study with three hydrological models, *Journal of Hydrology* 523, 147-159.
- Ouyang S., puhlmann H., Wang S., Wilpert K., Sun O. S. (2014). Parameter uncertainty and identifiability of a conceptual semi-distributed model to simulate hydrological processes in a small headwater catchment in Northwest China, *Ecological Processes* 2014, 3:14.
- Parajka, J., and G. Blöschl (2006). Validation of MODIS snow cover images over Austria, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10(5), 679-689.
- Parajka J., Blöschl G. (2008). The value of MODIS snow cover data in validating and calibrating conceptual hydrological models, *J. Hydrol.* 358(3-4), 240-258.
- Pfannerstill M., Guse B., Frohre N. (2014). Smart low flow signature metric for an improved overall performance evaluation of hydrological models, *Journal of Hydrology* 510, 447-458.
- Refsgaard, J. C. (1997). Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models, *J. Hydrol.*, 198(1-4), 69-97, doi 10.1016/S0022-1694(96)03329-x.
- Rientjes, T.H.M., Haile, A.T., ve Fenta, A. A. (2013). Diurnal rainfall variability over the Upper Blue Nile Basin: a remote sensing based approach. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation:JAG*, 21 (2013) pp.311-325.

- Saelthun N. R. (1996). The Nordic HBV model. Description and documentation of the model version developed for the Project Climate change and energy production. Norges Vassdrags-og energiverk report No:7.
- Seibert J. (1997). Estimation of parameter uncertainty in the HBV model, *Nordic Hydrology*, 28 (4/5), 247-262.
- Seibert J. (1999). Regionalisation of parameters for a conceptual rainfall-runoff model, *Agriculture and Forest Meteorology* 98-99, 279-293.
- Seibert J., Uhlenbrook S., Leibungut C. Ve Haldin S. (2000). Multiscale calibration and validation of a conceptual rainfall-runoff model, *Phys. Chem. Earth (B)*, Vol. 25, No. 1, pp, 59-64.
- Siebert J. (2000). Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using a generic algorithm. *Hydrology and earth system sciences* 4(2), 215-224.
- Sieber A., Uhlenbrook S. (2005). Sensitivity analyses of a distributed catchment to verify the model structure. *Journal of hydrology* 310, 216-235.
- Skaugen, T., ve Onof, C. (2014). A rainfall-runoff model parameterized from GIS and runoff data, *Hydrological Processes*, Wiley Online Library.
- Sorman A. A., A. Sensoy, A. E. Tekeli, A. U. Sorman, and Z. Akyurek (2009). Modelling and forecasting snowmelt runoff process using the HBV model in the eastern part of Turkey, *Hydrol. Processes*, 23(7), 1031-1040, doi:10.1002/hyp.7204.
- Sürer S., Yılmaz K. K., Akyürek Z. (2015). Çoklometrik çerçeve ile HBV modelinin kalibrasyonu, VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi 08-10 Ekim 2015, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Şensoy, A. (2000). Spatially distributed hydrologic modeling approach using geographic information systems. MSc dissertation. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- Talbi El-Ghazali (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*.
- Tallaksen L. M., Madsen H., Clausen B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume, *Hydrological Sci. J.* 42(1), 15-33.

- Tekeli, AE. (2000), Integration of remote sensing and geographic information systems on snow hydrology modelling. MSc dissertation. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- Thiemann, M., Trosset, M., Gupta, H., Sorooshian, S. (2001). Bayesian recursive parameter estimation for hydrologic models. *Wat. Resour. Res.* 37 (10), 2521-2535.
- Thielen J., Bartholmes J., Ramos M., De Roo A. (2009). The european flood alert system part 1: Concept and development. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13(2), 125.
- Tian Y., Yue-ping xu, ve Xu-Jie Zhang, (2013). assessment of climatge change impacts on river high flows through comparative use of GR4J, HBV and Xinanjiang Models, *Water Resources Management*, 27:2871-2888 doi 10.1007/s11269-013-0321-4.
- Uhlenbrook S., Seibert J., Leibundgut C., Rodhe A. (1999). Prediction uncertainty of conceptual rainfall-runoff models caused by problems in identifying model parameters and structure, *Hydrological Sciences*, 44(5).
- Udnaes H. C., Alfnes E., Andreassen L. M. (2007). Improving runoff modelling using satallite-derived snow covered area, *Nord. Hydrol.* 38(1), 21-32.
- Uhlenbrook S., Sieber A. (2005). On the value of experimental data to reduce the prediction uncertainty of a process-oriented catchment model, *Environmental Modelling & software* 20, 19-32.
- Uzunoğlu, E. (1999). Application of the SLURP model using remote sensing and geographic informatio systems. MSc dissertation. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- Wang, Q. J. (1991). The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models, *Water Resour. Res.*, 27, 2467-2471.
- Westrik, K., Storck, P., Mass, C. (2002). Description and evaluation of a hydrometeorological system for mountainous watersheds. *Weather and Forecasting* 17:250-262.

Yang, D., Herath, S., ve Musiaka, K. (2000). Comparison of different distributed hydrological models for characterisation of catchment spatial variability, Journal of Hydrological Procedia 14(3), 403-416.

Yapo, O., Gupta, H. V. & Sorooshian, S. (1998). Multi objective global optimization for hydrologic model. J. Hydrol. 204, 83-97.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Didem ÖZKAN
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Bursa /21.12.1990
E-Posta : didemozkan.19.90@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 09.2009 – 09.2014, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Lisans
- 09.2019 – 02.2013, Warsaw Politechnica, Faculty of Civil Engineering, Civil Engineering
- 06.2013 – 08.2019, Stajyer, Sinta A.Ş, Yapı Stajı
- 06.2016 – 08.2019, Stajyer, DSi, Hidrolik Stajı
- 02.2015 – 12.2019, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- 09.2015 – Halen, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme
- 10.2016 – 04.2017, İnşaat Mühendisi, İzlem Yapı Denetim Ltd. Şti.
- 08.2017 – 05/2018, İnşaat Mühendisi, Elbirlik Metal Ltd. Şti.
- 05.2018 – 01.2020, Kalite Mühendisi, Barga Bayramoğlu Renewable Energy
- 01.2020 – Halen, Kalite Güvence Şefi, Barga Bayramoğlu Renewable Energy

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2016, İnşaat Mühendisleri Odası, Bursa.