

**YUKARI FIRAT HAVZASINDA
KAR SUYU POTANSİYELİNİN DÖNEMSEL
VE AKIMLARIN GÜNLÜK MODELLENMESİ**

Ersin GÖZEL
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Aralık-2011

Bu tez çalışması 108Y161 No'lu TÜBİTAK projesi ve Anadolu Üniversitesi 1103F069 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) ile desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ersin GÖZEL'in “ Yukarı Fırat Havzasında kar suyu potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük modellenmesi” başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 18 Kasım 2011 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) :Yard. Doç. Dr. ALİ ARDA ŞORMAN

Üye :Yard. Doç. Dr. AYNUR ŞENSOY ŞORMAN

Üye :Yard. Doç. Dr. EMRAH PEKKAN

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

Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**YUKARI FIRAT HAVZASINDA KAR SUYU POTANSİYELİNİN
DÖNEMSEL VE AKIMLARIN GÜNLÜK MODELLENMESİ**

Ersin GÖZEL
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN
2011, 119 sayfa

Artan enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği gibi konular, Türkiye'nin özellikle dağlık doğu bölgelerinde kar erimelerinden beslenen havzalar üzerindeki ilgiyi arttırmaktadır. Bu bölgelerde, bahar ve erken yaz aylarında meydana gelen kar erimleri yıllık akım hacminin yaklaşık 2/3'ünü oluşturmaktadır. Dolayısıyla Fırat Havzasında kar birikme döneminde su potansiyelinin takip edilmesi ve erime döneminde modellenmesinin bölgedeki büyük barajların verimli şekilde işletilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Keban Baraj gölünü besleyen ve Fırat Havzasının önemli kollarından birisi olan Karasu Nehri çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında havzada dönemsel kar su potansiyel hesaplamaları ve günlük akım modellemesi yapılmıştır.

Karasu Havzasının kar suyu potansiyeli hesaplamaları Detrended Kriging yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda Devlet Su İşleri ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından bölge üzerinde yer alan toplam 53 kar gözlem istasyondan sağlanan kar ölçümleriyle 2008-2011 su yıllarının dönemsel kar su eşdeğeri ve kar su potansiyel hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar sırasında MODIS uydusundan elde edilen karla kaplı alan görüntüleri karlı bölgelerin belirlenmesinde kullanılmıştır.

2001-2011 su yılları için Karasu Havzasına kavramsal hidrolojik modellerden birisi olan Snowmelt Runoff Model (SRM) uygulanmıştır. 2001-2010 su yılları model parametreleri, gözlenen akım değerleri ve MODIS uydusunun bulut etkisi azaltılmış karla kaplı alan görüntüleri ile kalibre edilmiş ve kalibre edilen parametreler 2011 su yılının doğrulama işleminde kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında üretilen sonuçlar farklı kıyaslamaların yapılmasına da olanak sağlamıştır. Bunlardan ilki, 2001-2011 su yılları için SRM akım sonuçlarının başka bir hidrolojik model olan HBV model sonuçlarıyla kıyaslanmasıdır. İkinci olarak, yine aynı tarihler için SRM ile HBV modeli kar erime değerlerinin kıyaslanmasıdır. Son olarak, Detrended Kriging yöntemi ve HBV model çıktıları ile üretilen kar su eşdeğeri verilerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kar su potansiyeli, Detrended Kriging, Hidrolojik modelleme, Snowmelt Runoff Model (SRM), Yukarı Fırat (Karasu) Havzası

ABSTRACT
Master Of Science Thesis

**MODELING OF SEASONAL SNOW WATER POTENTIAL AND
DAILY DISCHARGES IN THE UPPER EUPHRATES BASIN**

Ersin GÖZEL

**Anadolu University
Graduate School Of Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ali Arda ŞORMAN
2011, 119 pages**

Subjects like increasing energy demand and climate change, attract the attention especially for the catchments in the mountainous eastern part of Turkey where snowmelt is dominant. In this region, snowmelt runoff constitutes approximately 2/3 in volume of the total yearly runoff. Hence, monitoring the snow potential in the accumulation season and modeling during the depletion period is of great importance for optimum reservoir management in the Euphrates Basin.

In this study, Karasu River being one of the main branches of the Euphrates Basin feeding the Keban Dam Reservoir is selected as the pilot area. Within the scope of the study, calculation of seasonal snow water potential and modeling of daily discharges is conducted in the basin.

Snow water potential calculations for Karasu Basin are performed using Detrended Kriging method. Valuable snow data collected by State Hydraulic Works (DSİ) and Electrical Power Resources Survey and Development Administration (EİE) from 53 snow observation station (KGİ) for 2008-2011 water years are used in determining seasonal snow water equivalent and snow water potential values. During these calculations, snow covered area images derived from MODIS satellite are utilized for masking snow covered locations.

The conceptual hydrologic model, Snowmelt Runoff Model (SRM), is applied in the Karasu Basin for the 2001-2011 water years. 2001-2010 model parameters are calibrated with observed runoff using modified MODIS snow covered area images and validated for 2011 water year.

Different comparisons are conducted with the results of study. Firstly, a comparison between SRM and HBV model runoff simulation results are carried out for 2001-2011 water years. Secondly, the snow melt results from SRM and HBV models are compared for the same period. Finally, a comparison study is done for snow water equivalent results of SRM and Detrended Kriging method.

Key Words: Snow water potential, Detrended Kriging, Hydrologic modeling, Snowmelt Runoff Model (SRM), Upper Euphrates Basin

Sevgili dostlarım ve aileme...

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca her türlü çalışmalarında bana öneri ve eleştirileri ile yol gösteren, çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını, hoşgörülerini esirgemeyen, tecrübe ve bilime olan tutkuları ile ufkumu genişletip problemlere daha cesur ve pratik çözümler üretmeme büyük katkıda bulunan değerli hocalarım Yard. Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN ve Yard. Doç. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans hayatım boyunca değerli hocalarımla birlikte çalışmak benim için büyük bir onurdu.

Çalışma boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen, aynı laboratuvarında çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli takım arkadaşlarım Egemen YAMANKURT, Gökçen UYSAL, Ömer YAVUZ ve Gürcan ARI'ya çok teşekkür ederim.

Eskişehir'de yaşadığım yıllar boyunca dostluklarını, sevgilerini benden esirgemeyen dostlarım Yalçın ESKİCİ, Ali Murat KAPLAN, Burak EVİRGİN, Ulaş ÇAM, Özlem KARABACAK ve Hüseyin AKDENİZ'e çok teşekkür ederim.

Tanıdığıma çok memnun ve mutlu olduğum, her türlü anımda yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen, neşeleri ile hayatımı güzelleştiren sevgili Ceren ÇELİKKAYA, İlkay SEÇGİN, Merve ULUEL, Banu İÇMEN, Elif YURTOĞLU ve Zeynep ÖZSÜT'e teşekkür ederim.

Devlet Su İşleri VIII. Bölge Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüt İdaresi II. Hidrometri Bölge Şefliği ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü çalışanlarına desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Hayatımın her anında benimle birlikte olan, yetişmemde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli aile üyelerim Gül GÖZEL, Yasemin GÖZEL, Sibel GÖZEL ve Servet GÖZEL'e minnettarım. Varlıkları ile hayata karşı sürekli bir güç aldığım aile fertlerime çok teşekkür ederim.

Ersin GÖZEL

Aralık 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	i
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi

1.GİRİŞ	1
1.1.Kar Su Potansiyeli ve Hidrolojik Modelleme Çalışmalarının Önemi	1
1.2.Çalışmanın Amacı	2
1.3.Tez Metninin Ana Hatları.....	3
2.ÇALIŞMA ALANI ve İSTASYONLAR	5
2.1. Çalışma Alanı	5
2.2. İstasyonlar	11
2.3. Hidro-Meteorolojik Veriler	16
3.KAR SU POTANSİYEL HESAPLAMALARI	21
3.1. Detrended Kriging (DK)	22
3.1.1. Kar Su Eşdeğeri.....	23
3.1.2. Detrended Kriging (DK) Yöntemi.....	23
3.1.3. Detrended Kriging (DK) Yönteminde Verilerinin Hazırlanması.....	25
3.1.4. Detrended Kriging Yönteminde Verilerin İşlenmesi.....	29
3.2. Karla Kaplı Alan Görüntüleri.....	31
3.2.1. Kar Çalışmalarının Uzaktan Algılanma Tarihçesi.....	32
3.2.2. Karla Kaplı Alan Bilgisinin Uzaktan Algılanması.....	32

3.2.3. MODIS Harmanlanmış Kar Ürünü.....	34
3.2.4. Karla Kaplı Alanların Maske Olarak Kullanılması.....	37
3.3. Kar Su Potansiyel Sonuçları.....	39
4.HİDROLOJİK MODELLEME	49
4.1. Snowmelt Runoff Model (SRM).....	50
4.1.1. Model Yapısı.....	50
4.1.2. Model Kalibrasyonu.....	62
5. SONUÇLAR	83
5.1. Kar Su Eşdeğeri ve Kar Su Potansiyel Sonuçları.....	83
5.2. SRM Simülasyon Sonuçları	85
5.3. SRM ve HBV Model Sonuçları	89
5.3.1. HBV Modeli.....	90
5.3.2. Model Yapısı.....	90
5.3.3. SRM ve HBV Modelleri Akım Sonuçları Kıyaslaması.....	91
5.4. Kar Erimesi Kıyaslaması.....	99
5.5. Kar Su Eşdeğeri Kıyaslaması	106
KAYNAKLAR	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1 Karasu Havzasının Konumu.....	6
2.2 EİE-2119 Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu hidrografları, a) 2008, b) 2009, c) 2010, d) 2011.....	7
2.3 Avrupa ve Asya’da günlük kar kaplı alan durumu.....	8
2.4 Karasu Havzası’nın yükseklik bölgeleri.....	9
2.5 (a) Tüm havzanın hipsometri eğrisi.....	9
2.5 (b) Zonların hipsometri eğrileri.....	10
2.6 Karasu Havzasında bulunan otomatik kar-meteoroloji ve akım gözlem istasyonları.....	15
2.7 Ultrasonik derinlik ölçerli Güzelyayla kar-meteoroloji istasyonu.....	17
2.8 Manuel ve otomatik kar derinlik değerleri, Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı.....	17
2.9 Günlük ortalama hava sıcaklık değerleri (°C), Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı.....	18
2.10 Ovacık kar-meteoroloji gözlem istasyonu, yağış ölçer.....	19
2.11 Günlük ve toplam yağış değerleri, Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı.....	19
2.12 EİE 2119 – Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu.....	20
3.1 Kar su eşdeğeri üretimi akış şeması.....	22
3.2 Türkiye’nin Doğu Anadolu bölgesindeki kar gözlem istasyonları.....	24
3.3 Detrended Kriging program arayüzü.....	24
3.4 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme öncesi, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 200.....	27
3.5 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme sonrası, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009.....	28
3.6 Detrended Kriging programı veri dosyası.....	30
3.7 Kar su eşdeğeri haritası, Karasu Havzası ve çevresi, Mart,2009.....	31
3.8 Dünya haritası üzerinde bölünmüş MODIS kareleri.....	34
3.9 Günlük MODIS görüntülerini harmanlama süreci akış şeması.....	35
3.10 Terra ve Aqua görüntüleri ile dört farklı harmanlama işlemi sonucu üretilen görüntüler (13 Mart 2009 tarihli görüntü) Karasu Havzası.....	36

3.11 Maskeleme işlemi akış şeması.....	38
3.12 Maskeleme işlemi.....	38
3.13 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri, Karasu Havzası, 2008.....	40
3.14 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri, Karasu Havzası, 2009.....	41
3.15 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri, Karasu Havzası, 2010.....	42
3.16 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri, Karasu Havzası, 2011.....	43
3.17 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2008.....	44
3.18 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2009.....	44
3.19 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2010.....	45
3.20 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2011.....	45
3.21 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2008.....	47
3.22 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2009.....	47
3.23 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2010.....	48
3.24 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2011.....	48
4.1 Snowmelt Runoff Model (SRM) genel yapısı.....	51
4.2 x ve y sabitlerinin bulunması için kullanılan çekilme (k) grafiği, Karasu Havzası.....	58
4.3 Sıcaklık ölçülen AWOS ve KLİMA (18) istasyonları, Karasu Havzası ve çevresi.....	65
4.4 Yağış ölçülen AWOS ve KLİMA (15) istasyonları, Karasu Havzası ve çevresi.....	65
4.5 Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3+ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası a) 2001, b) 2002, c) 2003.....	67
4.5 (Devamı) Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3+ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası d) 2004, e) 2005, f) 2006.....	68
4.5 (Devamı) Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3+ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası g) 2007, h) 2008, i) 2009.....	69
4.5 (Devamı) Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3+ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası j) 2010, k) 2011.....	70
4.6 Zonlar bazında ortalama Derece-Gün katsayısı değerleri, 2001-2010.....	72
4. 7 SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası a) 2001, b) 2002, c) 2003.....	78

4. 7 (Devamı) SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası	79
d) 2004, e) 2005, f) 2006.....	
4. 7 (Devamı) SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası	
f) 2007, g) 2008, h) 2009.....	80
4. 7 (Devamı) SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası	
j) 2010, k) 2011.....	81
5.1 HBV modelinin ana yapısı (Killingtveit ve Saelthun, 1995).....	91
5.2 SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası,	
a) 2001, b) 2002, c) 2003.....	94
5.2 (Devamı) SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası,	
d) 2004, e) 2005, f) 2006.....	95
5.2 (Devamı) SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası,	
g) 2007, h) 2008, i) 2009.....	96
5.2 (Devamı) SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası,	
j) 2010, k) 2011.....	97
5.3 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2008 su yılı.....	102
5.4 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2009 su yılı.....	103
5.5 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2010 su yılı.....	104
5.6 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2011 su yılı.....	105
5.7 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2008 su yılı.....	109
5.8 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2009 su yılı.....	110
5.9 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2010 su yılı.....	111
5.10 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2011 su yılı.....	112

TABLÖLAR DİZİNİ

2.1 Tüm havzanın ve her bir yükseklik bölgesinin genel topografik özellikleri.....	11
2.2 Tüm havzanın ve her bir yükseklik bölgesinin bakı yüzdeleri.....	11
2.3 (a) Karasu Havzasında bulunan otomatik kar-meteoroloji istasyonları genel bilgileri.....	15
2.3 (b) Karasu Havzasında bulunan akım gözlem istasyonlarının genel bilgileri	15
2.4 Aylık ve yıllık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C), Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı.....	18
3.1 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme öncesi, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009.....	27
3.2 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme sonrası, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009.....	28
3.3 Karla kaplı alanların haritalanmasında uyduların özellikleri (Durum: Haziran 2010)	33
3.4 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2008	46
3.5 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2009.....	46
3.6 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2010.....	46
3.7 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2011.....	46
4.1 Zonlar bazında Derece-Gün katsayısı değerleri, 2001-2010.....	72
4.2 Yağmur ve kar akış katsayı değerleri, Karasu Havzası, 2001-2010.....	73
4.3 1997-2010 Çekilme katsayıları (k), Karasu Havzası.....	74
4.4 Çekilme katsayısı (k) hesabında kullanılan su yılları akım hacim değerleri.....	75
4.5 SRM’de kullanılan çekilme katsayıları (k), Karasu Havzası.....	75
4.6 Yağış katkı alanı parametresinin değişimi, 2001-2010.....	76
4.7 SRM simülasyon sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası.....	82
4.8 SRM simülasyonu maksimum akım sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası.....	82
4.9 SRM simülasyonu pik akım zamanı sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası.....	82
5.1 SRM ve HBV model sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası	98
5.2 SRM ve HBV simülasyonları maksimum akım sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası.....	98
5.3 SRM ve HBV model simülasyonları pik akım zamanı sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
SRM	: Snowmelt Runoff Model
HBV	: Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
UA	: Uzaktan Algılama
WMO	: World Meteorological Organization
H-SAF	: Satellite Application Facility on Hydrology
KSE	: Kar Su Eşdeğeri
KKA	: Karla Kaplı Alan
KSP	: Kar Su Potansiyeli
DK	: Detrended Kriging
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
EOS	: Earth Observation System
HDF	: Hierarchical Data Format
AWOS	: Automated Weather Observation System
EUMETSAT	: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
KGİ	: Kar Gözlem İstasyonu

1. GİRİŞ

1.1. Kar Su Potansiyeli ve Hidrolojik Modelleme Çalışmalarının Önemi

Bulunduğumuz yüzyıl içerisinde suyun en önemli konulardan biri olacağı farklı görüşler tarafından ortaya konulmaktadır. Nüfus artışına bağlı olarak endüstriyel, tarımsal ve içme suyu olarak kullanım talebinin artmasından dolayı su kaynakları büyük bir öneme sahiptir. Çevresel değişimin etkileri Türkiye ve dünyada kuraklık, taşkın ve su kirliliği gibi sorunların yaşanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple bu değişimin etkilerini yavaşlatmak için çaba harcanması, bu değişim süreci içerisinde suyun daha kontrollü ve planlı kullanılması, su kaynaklarının sürdürülebilirliği sağlanmalıdır.

Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülkenin, sağlıklı ve hızlı bir ekonomik kalkınmaya önemli katkısı olabilecek hidroloji bilimine çok fazla ihtiyacı bulunmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından su kaynaklarının ve potansiyelinin belirlenmesi, su kaynaklarına yönelik hidrolojik model çalışmalarının yapılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde ülkenin su potansiyeli en verimli şekilde kullanılabilir.

Türkiye'nin ortalama yüksekliği yaklaşık 1130 m olduğundan kış aylarında yağışlar genelde kar şeklinde düşmektedir. Kar örtüsü özellikle Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinin dağlık ve yüksek kesimlerinde neredeyse yılın yarısında yerde kalmaktadır. Hava sıcaklıklarının artması ile birlikte kar eriyerek nehirlerde akıma dönüşmekte ve yüksek su potansiyeli oluşturmaktadır. Barajların işletilmesi ve taşkın kontrol çalışmaları, rezervuarlarda yağmur ve kar erimesinden oluşacak su potansiyelinin belirlenmesi ve hidrolojik model çalışmalarının yapılmasına bağlıdır. Kar hidrolojisi; karın oluşumu, birikimi ve erimesi süreçlerini konu edinmektedir. Bu nedenle kar hidrolojisi de bu noktada su kaynakları yönetimi ve işletimi açısından önem kazanmaktadır.

Fırat Havzasında uzun yıllar akım gözlemleri incelendiğinde, akımların ilkbahar ve yaz aylarının başında kar erimesi ve yağışlardan dolayı arttığı ve yıl içerisinde yirmi kata varan değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Altınbilek,

2004). Özellikle, Yukarı ve Orta Fırat Havzalarında, bahar ve ilk yaz ayları süresince yoğun kar erimesi ve yağmurların meydana getirdiği akımlar, toplam yıllık akımın yaklaşık 2/3'ünü oluşturmaktadır. Yüksek su potansiyelinin bulunduğu Fırat Havzasının sınır aşan sular kategorisinde yer almasından dolayı da önemi büyüktür. Böylelikle ilk olarak 1975 yılında Keban, 1987 yılında Karakaya ve 1992 yılında Atatürk barajları Fırat Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Bu nedenlerle, bölge üzerinde gerçekleşen yağışlarının oluşturacağı su potansiyelinin alansal ve zamansal olarak takip edilmesi, işletme planlamasının yapılması açısından gerekmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Yukarı Fırat (Karasu) Havzası için kar gözlem verilerinin kullanılması ile dönemsel kar su potansiyelinin belirlenmesi ve hidro-meteorolojik verilerin kullanımı ile akımların günlük modellenmesinin yapılmasıdır.

Kar su eşdeğeri ve Karasu Havzasının topoğrafik bilgileri ile dönemsel kar su potansiyeli hesaplamasının yapılması ve KSE ile hidrolojik modelleme sonuçlarının kıyaslanması çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Kar su eşdeğeri bilgilerinin hesaplanması için Karasu Havzası ve çevresinde bulunan manuel kar gözlem istasyon (KGİ) bilgileri Detrended Kriging (DK) yönteminde kullanılmaktadır. Ayrıca karın alansal ve zamansal dağılımını yakın gerçek zamanlı gözlemlemek için optik uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Kar su eşdeğerinin hesaplanabilmesi için Detrended Kriging yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) gibi modern teknolojilerden faydalanılmaktadır.

Çalışmanın ikinci amacı ise hidro-meteorolojik verilerin kullanımıyla Karasu Havzası için 2001-2010 su yıllarının hidrolojik simülasyonlarının ve kalibre edilen parametre setleri ile 2011 su yılının doğrulama işleminin yapılmasıdır. Hidrolojik modelleme uygulamalarında dağlık alanlarda derece-gün yöntemini kullanarak yağış-akış ilişkisi kuran Snowmelt Runoff Model (SRM) modeli kullanılmaktadır. SRM modelinin kalibrasyonunda 2001-2010 su yıllarının

hidro-meteorolojik verileri (yağış, sıcaklık, akım) ve karla kaplı alan bilgisi kullanılmaktadır. SRM ile modelleme çalışmalarına az bulutlu veya bulutsuz karla kaplı alan görüntüleri girdi verisi olarak sağlanmalıdır. Bu nedenle, karın yağdığı kış aylarında (kar potansiyeli belirleme dönemi) ve erimeye başladığı ilkbahar aylarında (akım tahmin dönemi) karla kaplı alanların buluttan olabildiğince arındırılmış (bulutsuz veya az bulutlu) olması önem kazanmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada, Yamankurt, (2010) tarafından yüksek lisans tez çalışması kapsamında geliştirilen ve çeşitli birleştirme ve filtreleme gibi bir dizi harmanlama işlemleri uygulanarak üretilen günlük uydu görüntülerden faydalanılmaktadır. Elde edilen harmanlanmış görüntülerden 2001-2011 su yıllarının karla kaplı alan eğrileri oluşturulup hidrolojik model programına girdi verisi olarak sağlanmaktadır. Kalibrasyon işleminden sonra elde edilen parametre setleri ve hidro-meteorolojik verilerin kullanılmasıyla Karasu Havzası için SRM modeli ile 2011 su yılının doğrulama işlemi yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında Detrended Kriging, SRM ve Yamankurt (2010) yüksek lisans tez çalışması kapsamında Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning (HBV) hidrolojik modeliyle üretilen sonuçların kıyaslaması yapılmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında, farklı karla kaplı alan görüntüleri ile modellenen SRM günlük akım değerleri, SRM ve HBV modelleri günlük akım değerleri ve kar erimeleri, Detrended Kriging yöntemi ve (HBV) modeli kar su eşdeğeri kıyaslaması yapılmaktadır.

1.3. Tez Metninin Ana Hatları

Tez metni, genel bilgilerin sunulduğu giriş bölümü ile başlamaktadır. Tezin ikinci bölümünde çalışma alanı tanıtılmaktadır. Yine bu bölümde, istasyon bilgileri ve bu istasyonlarda gerçekleştirilen ölçümlerin anlatımı yer almaktadır. Üçüncü bölümde kar su eşdeğeri ve potansiyeli hesabı için kullanılan veriler, yöntemler ve kar su eşdeğeri ve potansiyeli sonuçları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, kar erimesi ve yağmurdan kaynaklanan akımın hesaplanmasında kullanılan kavramsal hidrolojik modelin tanıtılması ve model parametreleri hakkında kısa bilgiler yer almaktadır. Yine bu bölümün içerisinde model

kalibrasyonu ve model doğrulama sonuçları sunulmaktadır. Beşinci bölümde çalışma sonuçları ve değerlendirmeler bulunmaktadır. Karasu Havzası için üretilen kar su eşdeğeri sonuçları, SRM simülasyon sonuçları, SRM ve HBV sonuçlarının kıyaslanması, kar erimeleri ve kar su eşdeğeri kıyaslaması beşinci bölümde yer almaktadır.

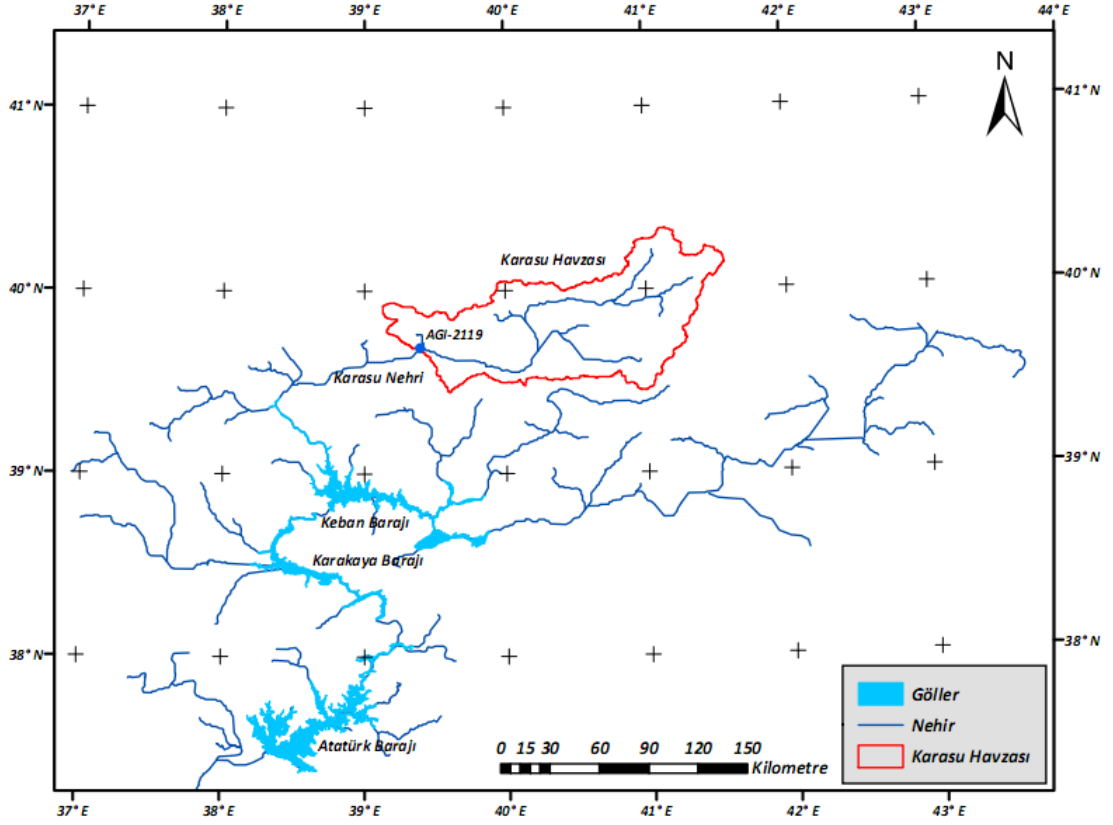
2. ÇALIŞMA ALANI ve İSTASYONLAR

2.1. Çalışma Alanı

Fırat ve Dicle Nehirleri, birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış Mezopotamya Bölgesinin tarım, sanayi ve enerji açısından büyük bir öneme sahip iki akarsuyudur. Fırat ve Dicle Nehirleri taşıdıkları su potansiyeli bakımından Türkiye'nin en büyük su hacmine sahip akarsularını oluşturmaktadırlar. Fırat Nehri, Erzincan, Tunceli, Elazığ, Adıyaman ve Gaziantep illerinden geçtikten sonra Suriye, daha sonra Irak topraklarına girer. Irak'ta denize uzak olmayan bir noktada Dicle Nehri ile birleşerek Şatt'ül-Arab'ı oluşturur ve Basra Körfezi'ne dökülür. Fırat nehrinin en önemli kolları Karasu, Murat, Tohma, Peri, Çaltı ve Munzur çaylarıdır. Dicle nehrinin en önemli kolları ise Batman, Botan, Habur, Büyük Zap ve Küçük Zap'tır (Altürk, 2009).

Fırat Nehri, 2700 km uzunluğu ve 35.6 milyar metreküplük yıllık ortalama akım miktarı ile Güney Batı Asya'nın en uzun nehridir (Aytemiz ve Kodaman, 2006). Fırat Nehri üzerinde kurulmuş olan büyük barajlar sırasıyla Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik ve Karkamış barajlardır. Bu barajların her birinin büyük haznelere sahip olması bu bölgede planlamanın önemini artırmaktadır.

Bu çalışmada Keban Baraj Gölünü besleyen ve Fırat Nehrinin önemli kollarından biri olan Yukarı Fırat (Karasu) Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 2.1). Çalışma alanı olarak Karasu Havzasının seçilmesinde en önemli etkenler, ulaşımı kolay olan Erzurum ve Erzincan şehirlerinin havza içerisinde kalması, bu şehirlerde devlet kurumlarının şube veya bölge müdürlüklerinin bulunması ve bölgenin güvenli olmasıdır. Karasu Havzası Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde, 38° 58'13'' - 41° 38'28'' doğu boylamları ve 39°23'18'' - 40° 24'26'' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Karasu Havzasının yaklaşık drenaj alanı 10275 km² olup, yükseklik aralığı 1125 m ile 3500 arasında değişmektedir. Mera, tarım alanı ve çıplak arazi havzanın başlıca arazi kullanımını oluşturmaktadır (Akyürek ve Şorman, 2002).

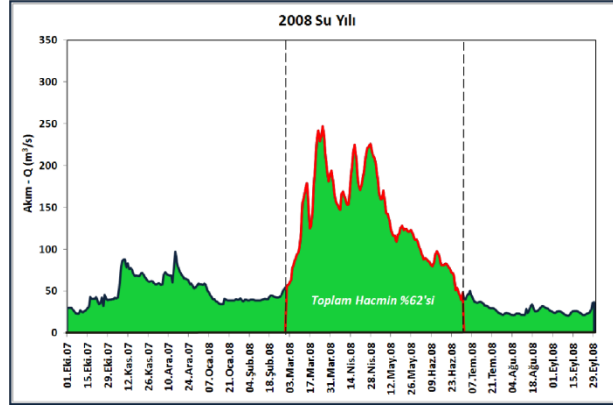


Şekil 2.1 Yukarı Fırat (Karasu) Havzasının konumu

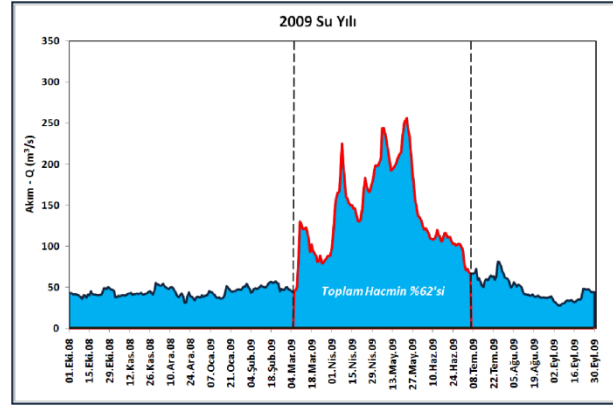
Karasu Havzası çıkış noktası akım ölçümleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından işletilen akım gözlem istasyonu (EİE 2119 – Kemah Boğazı) ile kontrol edilmektedir. Karasu Havzasına düşen yağışların büyük çoğunluğu kar şeklinde düşmekte ve kar erimeleri Karasu Havzası akım değerlerine büyük katkı sağlamaktadır. Karasu Havzası üzerinden yapılan uzun dönem akım ölçümleri, yıllık akımın % 69'unun kar erime dönemi (Mart–Haziran) içinde geldiğini göstermektedir. (Kaya, 1999; Tekeli, 2005).

Karasu Havzası için çalışma aralığı içerisinde kalan 2008, 2009, 2010 ve 2011 su yılı akımları Şekil 2.2(a), (b), (c), (d)'de gösterilmiştir.

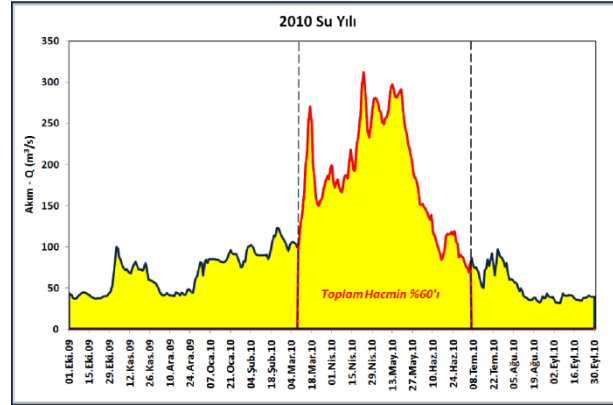
a)



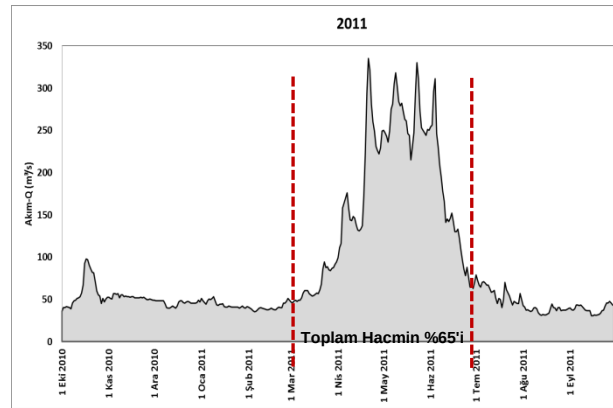
b)



c)

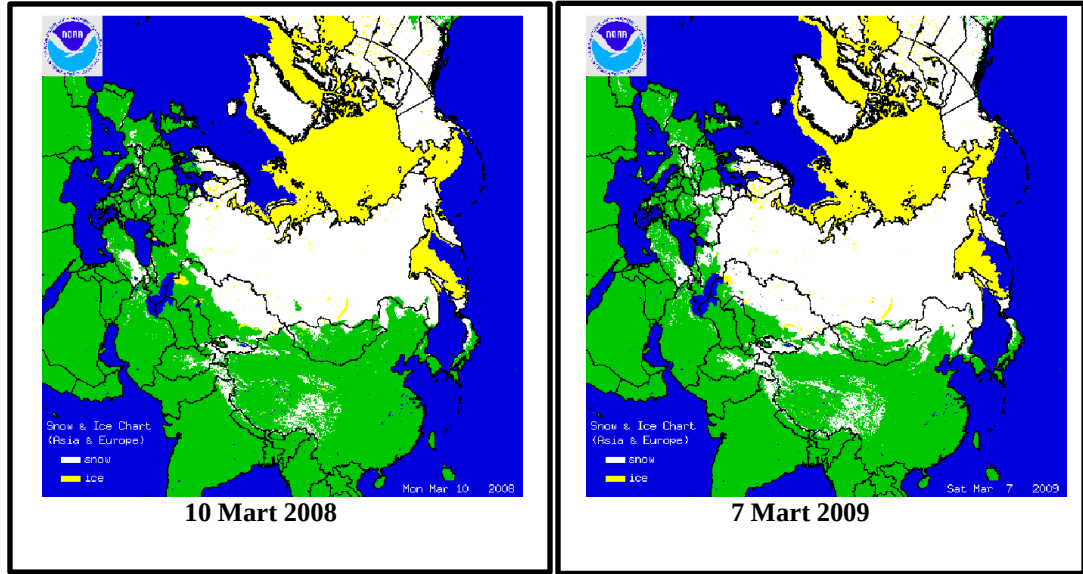


d)



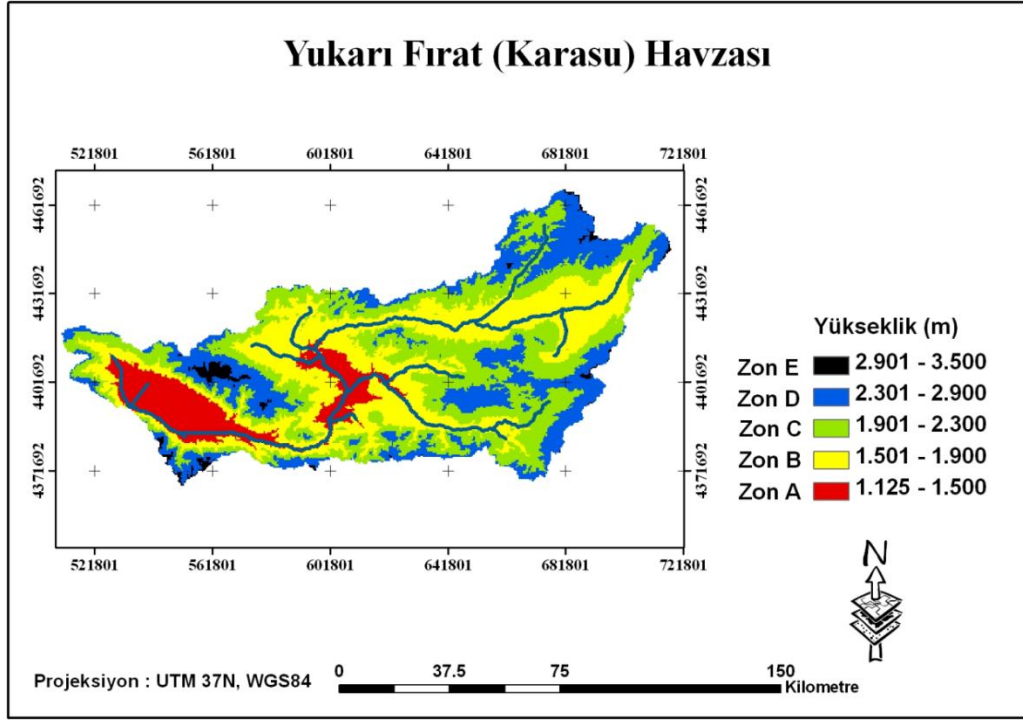
Şekil 2.2 EİE-2119 Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu hidrografları, a) 2008, b) 2009, c) 2010, d) 2011

Karasu Havası üzerinde kalıcı kar örtüsü genellikle Kasım-Aralık aylarında birikmeye ve Mart-Nisan ayları gibi erimeye başlar. Bölge üzerinde kış mevsimi boyunca hemen hemen tüm yağışlar kar olarak düşer ve buna ek olarak kısmi alansal yağışlar da gözlenir. Bahar ve erken yaz dönemlerinde havza üzerindeki yağışlar kar-yağmur karışımı şeklinde gözlenir. Bu tür iklim özelliklerinden dolayı, Karasu Havzası üzerinde kış mevsimi boyunca düşük akımlı tipik bir hidrolojik rejim oluşurken bahar döneminde bölgede sıcaklığın artması ile kar erimesi sebebiyle yüksek akımlar oluşur. Erken yaz aylarında, kar erimleri ve kar örtüsünün ortadan kalkması sonucu, akımlar genellikle azalır. Şekil 2.3'te Türkiye'nin kar kaplı alan görüntüsüne örnekler sunulmuştur.

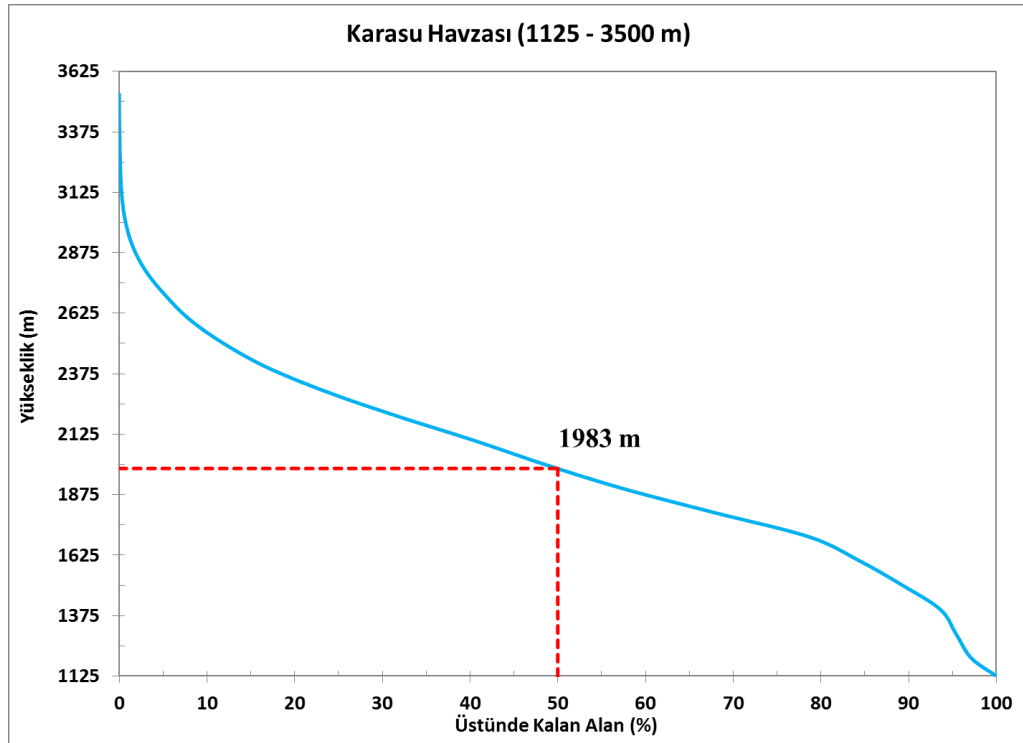


Şekil 2.3 Avrupa ve Asya'da günlük kar kaplı alan durumu (<http://www.natice.noaa.gov/ims/>)

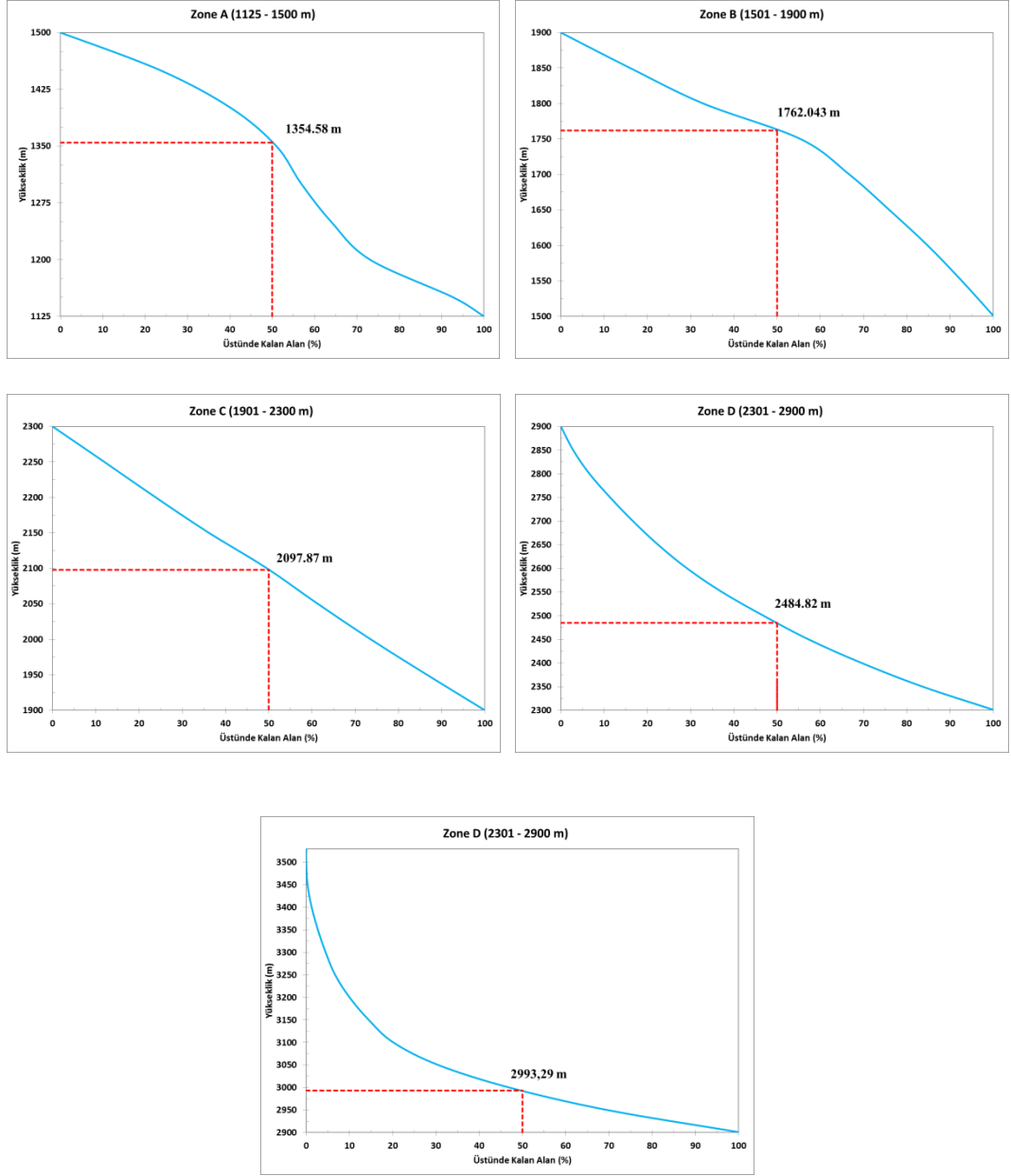
Karasu Havzası Şekil 2.4'te görüleceği üzere dağlık bir bölgedir. Bu sebeple Karasu Havzası, yağış ve sıcaklığın zamansal ve mekânsal dağılımın yüksekliğe bağlı olarak daha iyi temsil edilmesi için 5 farklı yükseklik bölgesine bölünmüştür (Şekil 2.4). Havzanın yükseklik haritası kullanılarak tüm havza ve her bir yükseklik bölgesi (zon) için yükseklik-alan (hipsometri) eğrileri üretilmiştir (Şekil 2.5(a) ve (b)). Bu hipsometrik eğriler kullanılarak ortalama hipsometrik yükseklikler belirlenmiştir.



Şekil 2.4 Karasu Havzası'nın yükseklik bölgeleri



Şekil 2.5 (a) Tüm havzanın hipsometri eğrisi



Şekil 2.5 (b) Zonların hipsometri eğrileri

Karasu Havzasının ve her bir alt bölgesinin tüm topografik verileri, havzanın eğim ve bakı haritaları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 2.1 ve Tablo 2.2).

Tablo 2.1 Tüm havzanın ve her bir yükseklik bölgesinin genel topografik özellikleri, Yamankurt (2010)

Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan (km ²)	Alan (%)	Hipsometrik Ortalama Yükseklik (m)	Ortalama Eğim (%)
A	1125-1500	1093.26	10.64	1355	7.47
B	1501-1900	3257.66	31.70	1762	13.65
C	1901-2300	3473.39	33.80	2098	20.00
D	2301-2900	2286.11	22.25	2485	23.23
E	2901-3500	164.64	1.60	2993	26.91
Tüm Havza	1125-3500	10275.07	100	1983	19.24

Tablo 2.2 Tüm havzanın ve her bir yükseklik bölgesinin bakı yüzdeleri, Yamankurt (2010)

Zon	Kuzeydoğu (%)	Güneydoğu (%)	Güneybatı (%)	Kuzeybatı (%)	Düz (%)
					
A	25.96	25.33	29.25	18.21	1.25
B	22.39	28.59	23.68	24.70	0.64
C	21.41	27.99	23.53	26.79	0.28
D	21.71	25.09	23.22	29.81	0.17
E	22.83	21.51	25.52	29.74	0.40
Tüm Havza	22.26	27.20	24.09	26.03	0.42

2.2. İstasyonlar

Hidroloji bilimi ve uygulaması suyun miktar ve kalitesinin yönetimini, değerlendirilmesini ve tahminini içerir. Hem geçmiş zamanlı, hem de gerçek zamanlı hidrolojik veriler toplanır, depolanır ve analiz edilir. Sonuç bilgisi, su kaynaklarının taşkın, kuraklık, kirlilik olayları ve benzeri suyla ilgili tehlikelere

karşı yönetilmesinde kullanılır. Bu sebeple, doğru, güvenilir ve güncel verinin elde edilmesi önemli bir ön koşuldur (WMO, 1999). Bu verilerin toplanması gelişmiş ülkelerde sorumlu kurumlar tarafından yapılır ve veriler gerekli raporlamaları, analizleri, model kalibrasyonları ile modellere girdi verisinin oluşturulabilmesi için veri tabanlarında depolanır. Hidro-meteorolojik veriler Türkiye’de, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından toplanır ve veri tabanlarında depolanır. Ancak özellikle yüksek kotlarda istasyon sayısının az olmasından dolayı veri akışı yavaş bir şekilde sağlanmaktadır. Şu ana kadar Türkiye’de veri toplayan kurumlar arası düzenli bir ortak veri tabanı bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın temel bakış açılarından birisi de Türkiye’nin hidro-meteorolojik ölçümleri konusunda sürekli bir veri tabanının oluşturulmasıdır. Sonuç olarak, grafiksel ve tablosal çıktıların, istatistiksel analizlerin, uzaktan algılamının ve coğrafi bilgi sistemlerinin en büyük amacı bütünleştirme yeteneği ve raporlama kabiliyetinin devlet kurumlarının desteği ile sağlanmasıdır.

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

Fırat Havzasının yüksek kesimlerinde ilk kar ölçümleri 1960’lı yıllarda EİE ve DSİ tarafından başlatılmıştır. Yıllar içerisinde ölçüm sayısının artmasına rağmen bu ölçümler yeterince yüksek kotlarda ve sık zaman aralıklarında yapılamamıştır. Manuel kar ölçümleri ayda bir veya iki kere alınabilmektedir. Bunun nedeni ise ölçüm alacak personel sayısı, ekonomik nedenler ve güvenlik durumudur. Ölçüm sayısının yetersizliği, önemli hidro-meteorolojik olayların miktarının tahmini, modellenmesi ve gözlenmesini hemen hemen imkânsız kılmaktadır. Bu eksikliğin giderilebilmesi için otomatik veri toplama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bölge üzerinde 1996 yılında NATO-Sfs projesi ile ileri teknolojiler kullanılarak çalışmalar başlatılmıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nin yönlendirmesi ve EİE, DSİ gibi devlet kurumlarının ortak

alışmaları ile 1999 yılında çalışma alanının yüksek kotlarına dört otomatik kar ve meteoroloji istasyonu kurulmuştur. İstasyonların yeri, yükseklik, erişilebilirlik, güvenlik ve farklı alt havza özelliklerini temsil etme yetenekleri dikkate alınarak seçilmiştir. Bu süreçte, işletilen istasyonlar sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve yönü, kar derinliği gibi temel meteorolojik verilerin toplanmasını sağlamıştır.

Bu projeden toplanan verilerle, farklı havza ölçeklerinde değişik hidrolojik modeller (SRM, SLURP, HEC-1) kullanılarak Kaya (1999), Uzunoğlu (1999), şensoy (2000), Tekeli (2000) ve Beşer (2002) tarafından çeşitli çalışmalar tamamlanmıştır. nceki çalışmalardan kazanılan tecrübeler doğrultusunda 2001 ve 2003 yıllarında Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen iki projeler hayata geçirilmiştir. Bu projelerle birlikte DSİ ve DMİ ile protokoller yapılmış ve proje doğrultusunda işbirliğine geçilmiştir. Bu projelerle bölge üzerinde yeni otomatik kar ve meteoroloji istasyonları kurulmuş, halihazırda kurulu olan istasyonların sensör ve ölçüm sistemleri yenilenerek güçlendirilmiştir. Böylelikle bu bölgeden yapılan ölçümlerdeki verimlilik artırılmıştır.

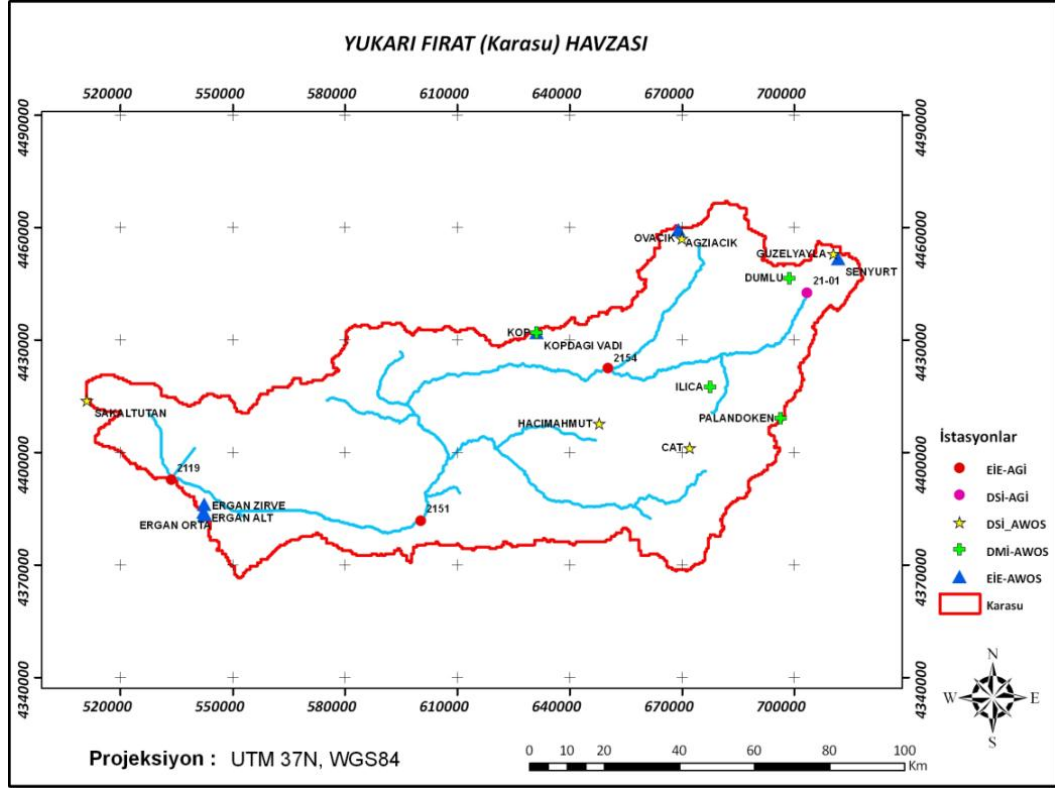
Bu projeler doğrultusunda kurulan yeni sistemler ile Türkiye’de ilkleri ifade eden bazı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi ülkemizde daha önce kullanılmayan ve kar su eşdeğeri ölçümü için kullanılan kar yastıklarının ithal edilmesi ve havzanın çeşitli noktalarına yerleştirilmesidir. Güneş radyasyonunun kardan yansımısını ifade eden albedo; uzun dalga radyasyonu ölçümleri ve karın erime zamanı ile oranını tespit etmeye yarayan kar lizimetresinin havza üzerine yerleştirilmesi bir diğer uygulamadır (şorman ve ark., 2004; şensoy ve ark., 2004; Tekeli ve ark., 2004). Özellikle kışın gidilmesi mümkün olmayan dağlık ve uzak noktalarda toplanan verilerin uydu, GSM ve telefon hatlarıyla çalışma merkezlerine transferi sağlanmaktadır. Kar ve meteorolojik verinin yanı sıra hidrolojik veri olarak nitelendirilen akım verilerinin de otomatik transferi sağlanmıştır.

Bu projelerin ardından 2005 yılında üç adet doktora tezi tamamlanmıştır (şensoy, 2005; Tekeli, 2005; şorman, 2005). Bu tez çalışmaları kapsamında model uygulamasının yansıra, ham verilerin toplanması, gerçek zamanlı analiz ve transferi yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar ile kurumlar ve niversiteler arası ve ayrıca disiplinler arası bir çalışma gerçekleştirilmiş, gerçek zamanlı gözleme

dayanan otomatik hidro-meteorolojik bir bilgi ağı kurulmuş; bu bilgiler ile modeller oluşturulmuş, atmosfer-kar-zemin ara yüzleri arasında enerji ve kütle dengesi hesaplanmış; sayısal hava tahmin model verileri ile Türkiye’de ilk defa atmosfer-hidrolojik model entegrasyonu sağlanmış ve ileriye dönük tahmin çalışmalarına başlanmıştır.

EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) tarafından 2005 yılında Türkiye’nin ve birçok Avrupa ülkesinin dâhil olduğu ve H-SAF (Satellite Application Facility on Hydrology) adlı bir proje başlatılmıştır. Proje, Türkiye’de Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Anadolu Üniversitesi tarafından yürütülmektedir. Bu proje kapsamında Türkiye Avrupa’nın dağlık alanlardaki kar verilerinin (karla kaplı alan, kar su eşdeğeri) geliştirilmesinden sorumlu ülkedir. Bu proje ile daha önceki projelerden elde edilen birikimler paylaşılabilir, bilgi ve donanımlar yeni uygulamalarla ileriye taşınabilecek ve ülkemizin uluslararası platformlarda kar ve yağış modelleme çalışmalarını sergileyebilecektir.

2008 yılında başlayan Doğu Anadolu Bölgesinde uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alanlar ve izotop teknikleri kullanılarak hidrolojik modellemede etki çalışmalarının incelendiği BAP projesi (BAP-070212) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, tüm bu çalışmaların bir ürünü olarak kar potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük tahmin edilmesini amaçlayan TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) destekli bir proje (ÇAYDAG-108Y161) 2008 yılında ve Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) destekli bir proje (BAP-1103F069) 2011 yılında başlatılmıştır. 2009 yılında Yukarı Fırat Havzası’nda kar erimesi sürecinin uydu görüntüsü analizleri ve izleyici teknikleri ile incelenmesi amaçlayan bir doktora tezi yapılmıştır (Pekkan, 2009). Uzun yıllardır sürdürülen bu çalışmalarla bölgede pek çok istasyon kurulmuş, pek çok istasyon da güncellenerek kaliteli ve sürekli verinin temini sağlanmıştır. Şekil 2.6, Karasu Havzası içinde bulunan otomatik kar-meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarını göstermektedir. Tablo 2.3(a) ve (b)’de Şekil 2.6’de gösterilen istasyonların genel bilgileri ve bu istasyonlardan sağlanabilen veri tipleri sunulmuştur.



Şekil 2.6 Karasu Havzasında bulunan otomatik kar-meteoroloji ve akım gözlem istasyonları

Tablo 2.3(a) Karasu Havzasında bulunan otomatik kar-meteoroloji istasyonları genel bilgileri

İSTASYON	YÜKSEKLİK (m)	KURUM	YAĞIŞ	SICAKLIK	GÜNEŞ RADYASYON	KAR DERİNLİK	HABERLEŞME
Ergen Alt	1903	EİE				✓	✓
Hacimahmut	1975	DSİ	✓	✓		✓	✓
Güzelyayla	2080	DSİ	✓	✓	✓	✓	✓
Ilıca	2094	DMİ	✓	✓		✓	✓
Sakaltutan	2148	DSİ		✓		✓	✓
Ovacık	2165	DSİ	✓	✓	✓	✓	✓
Şenyurt	2214	EİE		✓		✓	✓
Ağziçık	2250	EİE		✓		✓	✓
Çat	2343	DSİ		✓	✓	✓	✓
Ergen Orta	2348	EİE		✓		✓	✓
Kop	2416	DMİ	✓	✓		✓	✓
Ergen Zirve	2532	EİE				✓	✓
Dumlu	2666	Dİ	✓	✓		✓	✓
Palandöken	2937	DMİ	✓	✓		✓	✓

Tablo 2.3(b) Karasu Havzasında bulunan akım gözlem istasyonlarının genel bilgileri

İSTASYON	YÜKSEKLİK	HAVZA ALANI (km ²)	KURUM
KEMAH (2119)	1123	10275	EİE
SANSA (2151)	1355	8186	EİE
A.KAĞDARIÇ (2154)	1675	2886	EİE
KIRKGÖZE (21-01)	1830	242	DSİ

Doğu Anadolu'nun zorlu iklim şartları, istasyonlarda bulunan sensör ve aletlerin arızalanmasına sebep olabilmektedir. Bu çevre şartlarına bağlı olarak şehir merkezinden uzak alanlarda bulunan istasyonlara kısa sürede müdahale edilememektedir. Böylelikle pek çok hidro-meteorolojik verinin ölçülmesi zorlaşmaktadır. Bu durum geçmiş yıllarda birkaç kez yaşanmış ve önemli veri kaybına sebep olmuştur.

2.3. Hidro-Meteorolojik Veriler

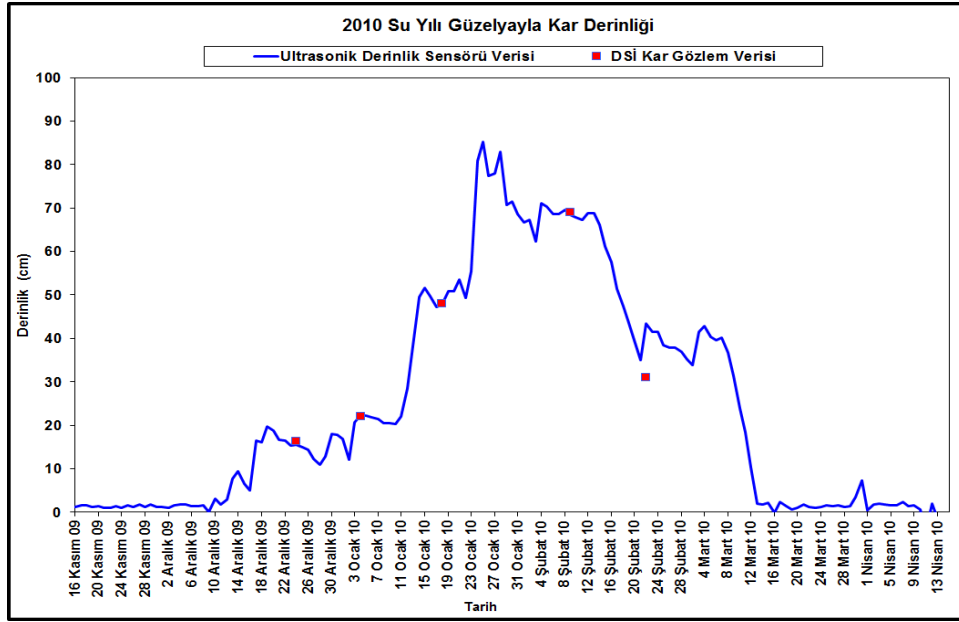
Modelleme çalışmalarında sıcaklık, yağış ve akım temel girdi verileridir. Bu verilerin birçoğu noktasal olarak ölçülmektedir. Bu nedenle bu verilerin (yağış ve sıcaklık) zamansal ve alansal olarak dağıtılması gerekmektedir. Yapılacak zamansal ve alansal dağıtımın doğruluğu ve hassasiyeti açısından noktasal ölçümlerin doğruluğu önem kazanmaktadır. Bu verilerin zamansal ve alansal olarak dağıtılması konusu Bölüm 3'te ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Bu kısımda modelleme çalışmalarına temel girdi olan kar, sıcaklık, yağış ve akım verilerinden bahsedilecektir.

Kar

Bölge üzerinde kar ölçümleri manuel olarak kar tüpleri kullanılarak devlet kurumları tarafından gerçekleştirilmektedir. İlk kar verisi 1960'lı yıllarda toplanmaya başlanmıştır. Bu sıklıkta yapılan kar ölçümleri ile havzanın kar potansiyeli hakkında genel bilgi edinilmekte ancak kar modellemesi için yeterli sıklıkta veri sağlanamamaktadır. Sürekli ölçülen kar verisi ile modelleme yapılabilmesi için her bir kar-meteoroloji istasyonuna ultrasonik derinlik sensörü yerleştirilmiştir (Şekil 2.7). Şekil 2.8'de, Güzelyayla meteoroloji istasyonu 2010 su yılı kar derinlik verileri örnek olarak sunulmuştur. Bu ölçümler, kayıtların alındığı istasyonun yakınlarında kar tüpüyle manuel olarak ölçülen kar verileri ile kıyaslanmaktadır.



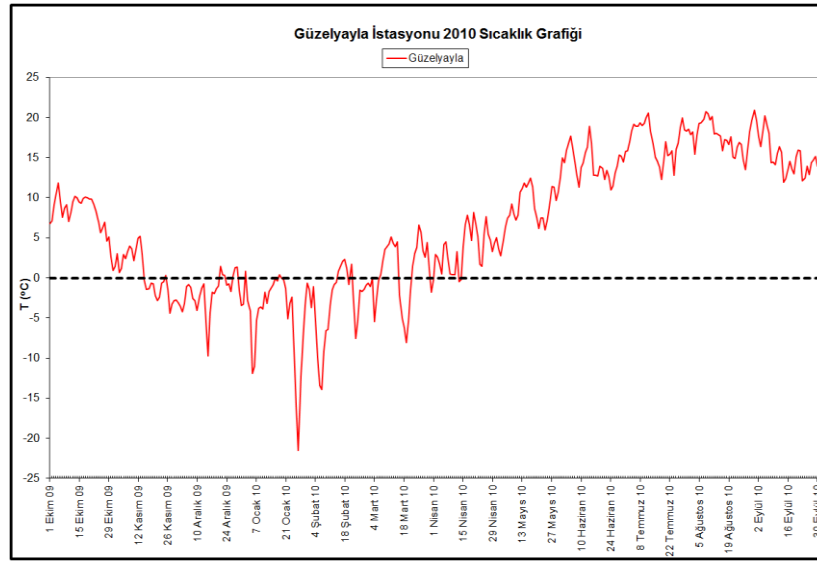
Şekil 2.7 Ultrasonik derinlik ölçerli Güzelyayla kar-meteoroloji istasyonu



Şekil 2.8 Manuel ve otomatik kar derinlik değerleri, Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı

Hava Sıcaklığı

Hava sıcaklığı ölçümleri, kar yüzeyinin üstünde, radyasyonun ve ısı iletiminin etkilerinden korunan belirli bir yükseklikte yapılmaktadır. Karasu Havzası üzerinde hava sıcaklığı ölçümleri Tablo 2.3(a)'da gösterildiği üzere EİE, DSİ ve DMİ ye ait 12 kar-meteoroloji istasyonu tarafından yapılmaktadır. Şekil 2.9'da, Güzelyayla meteoroloji istasyonu 2010 su yılı günlük ortalama sıcaklık değerleri örnek olarak sunulmuştur. Aynı istasyonun 2010 su yılı için aylık ortalama sıcaklık değerleri Tablo 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Günlük ortalama hava sıcaklık değerleri (°C), Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı

Tablo 2.4 Aylık ve yıllık ortalama hava sıcaklık değerleri (°C), Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı

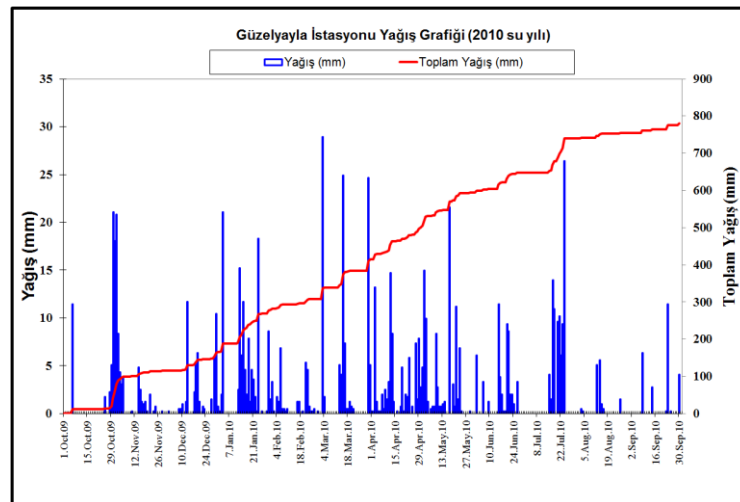
Ay	Ortalama (°C)
Ekim	8.1
Kasım	0.5
Aralık	-1.9
Ocak	-4.5
Şubat	-3.2
Mart	0.8
Nisan	3.5
Mayıs	8.6
Haziran	14.3
Temmuz	17.1
Ağustos	17.6
Eylül	15.2
Ortalama	6.3

Yağış

Karasu Havzasında yağışlar genel olarak Aralık ayından Mart ayı sonlarına kadar kar olarak diğer aylarda ise yağmur olarak düşmektedir. Ancak özellikle mevsimsel geçiş dönemlerinde havza üzerinde hava sıcaklığına bağlı olarak karla karışık yağmur yağışı gözlenmektedir. Karasu Havzasında Tablo 2.3(a) da gösterildiği üzere 7 adet kar-meteoroloji istasyonunda yağış ölçerler bulunmaktadır. Şekil 2.10'da Ovacık kar-meteoroloji istasyonundaki yağış ölçer görülmektedir. Bu yağış ölçerlerde zorlu kış şartlarında da ölçüm yapılabilmesi için antifirizli hazneler bulunmaktadır. Şekil 2.11'de, Güzelyayla meteoroloji istasyonu 2010 su yılı günlük yağış ve toplam yağış değerleri örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 2.10 Ovacık kar-meteoroloji gözlem istasyonu, yağış ölçer



Şekil 2.11 Günlük ve toplam yağış değerleri, Güzelyayla istasyonu, 2010 su yılı

Akım

Akım verisi, hidrolojik model uygulamalarında kalibrasyon ve doğrulama işlemi için kullanıldığından temel nitelikte bir veri türüdür. Bir havza ile ilgili hidrolojik model uygulamalarında kalibrasyon ve doğrulama işlemlerinin verimli şekilde yapılabilmesi için uzun yıllar akım verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmalarla havzanın farklı koşullarda davranışının anlaşılması sağlanmaktadır. Akım verisinin uzun dönemli olmasının yanı sıra anlık olarak izlenmesi, gerçek zamanlı tahmin çalışmaları ve işletme için de son derece önemlidir. Karasu Havzası üzerinde farklı alanları temsil eden dört akım gözlem istasyonu bulunmaktadır (Tablo 2.3(b)). Şekil 2.12’de Karasu Havzasının çıkışında bulunan EİE 2119 Kemah Boğazı istasyonunun görünümü Şekil 2.2’de ise Kemah Boğazı akım istasyonunda ölçülen 2008-2011 akım değerleri sunulmuştur.



Şekil 2.12 EİE 2119 – Kemah Boğazı akım gözlem istasyonu

3. KAR SU POTANSİYEL HESAPLAMALARI

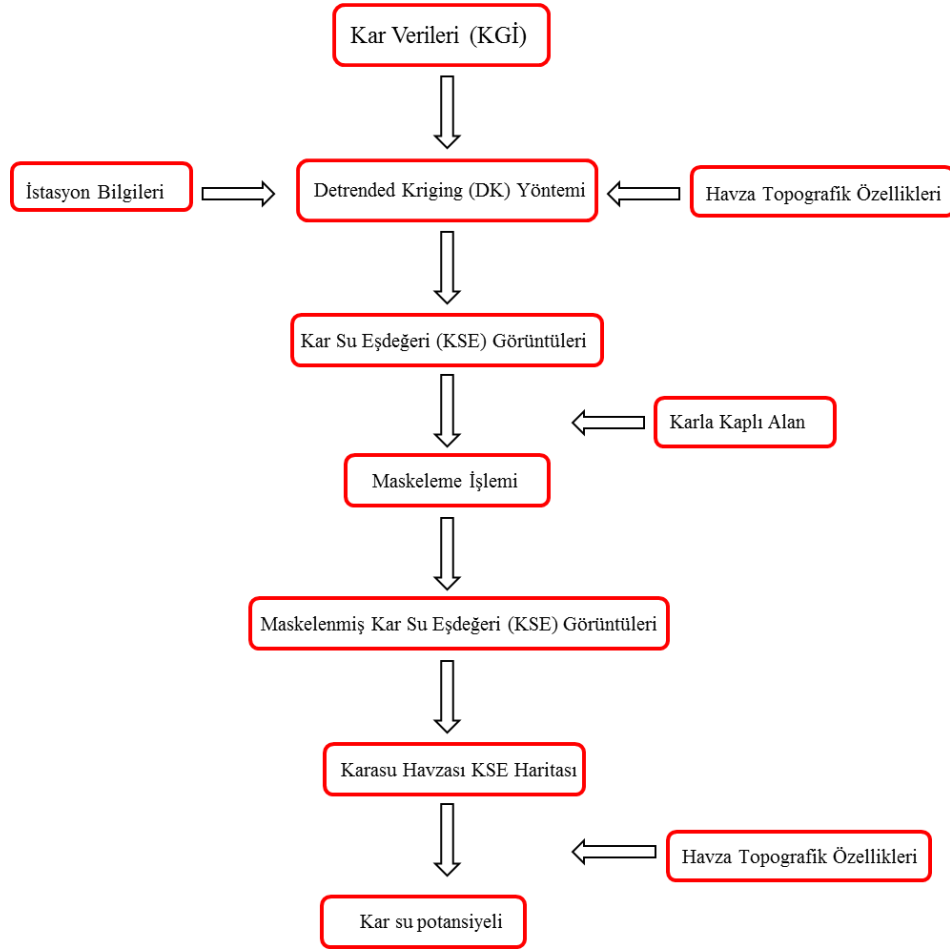
Türkiye'nin dağlık kesimlerinde, bahar ve erken yaz dönemlerinde oluşan kar erimeleri, yıllık su hacminin yaklaşık 2/3'ünü oluşturması açısından büyük bir öneme sahiptir. Kar erimelerinden oluşan su potansiyelinin hesaplanması, olası bir kurak veya ıslak su yılında barajlarda biriken suyun kontrolünü sağlamakla beraber, fazla su potansiyelinde sel durumuna ya da kuraklık durumunda su yetersizliği durumuna karşı önlem almayı sağlayacaktır. 2004 su yılında yüksek miktarda düşen kar yağışının ardından artan sıcaklık ve yağmurlar, erken zamanda beklenenden fazla akım oluşturarak belli bölgelerde taşkınlara yol açarken barajlardan da suyun kullanılmadan atılmasına yol açmıştır. Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi dağlık kesiminde bulunan Fırat Havzası için kar erimelerinden oluşan su potansiyeli bu nedenle büyük öneme sahiptir.

Kar su potansiyeli hesabı için gerekli veriler Karasu Havzası ve çevresinde farklı konum ve yüksekliklerde ölçülen kar gözlem istasyonlarından elde edilmiştir (Şekil 3.2). Şehir merkezlerinde ve köylerde kurulu olan kar gözlem istasyonlarından (KG) kar verileri toplanmıştır. Yer gözlem verileri çalışma alanı üzerinde sadece belirli bir bölgeyi temsil ettiğinden, ayrıca Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydusunun, çalışma alanı ve çevresini temsil eden mekânsal ve zamansal olarak dağılmış kar kaplı alan verileri de kullanılmıştır.

Kar su potansiyeli hesaplamalarında belirli adımlar izlenmiştir (Şekil 3.1). Bu adımların başında araziden elde edilen noktasal kar gözlem istasyon verilerinin öncelikli olarak dağıtılması yer almaktadır. Noktasal verilerin alan üzerinde yüksekliğe bağlı olarak dağıtılması Detrended Kriging (DK) yöntemiyle yapılmaktadır. İkinci adımda, dağıtılan veriler üzerine MODIS uydusundan elde edilen karla kaplı alanların maske olarak kullanılması yer almaktadır. Son adımda ise kar su eşdeğeri ürünleri ile karla kaplı alan bilgisi ve Karasu Havzasının topoğrafik özelliklerinin kullanılması ile kar su potansiyelinin hesaplanması yer almaktadır. Bütün bu adımlar ilerleyen bölümlerde ayrıntısı ile anlatılmaktadır.

Türkiye'de kar su eşdeğeri ölçümü EİE ve DSİ gibi devlet kurumları tarafından otomatik istasyonlarda veya manuel kar gözlem istasyonlarında

yapılmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında kar su potansiyeli hesaplaması için Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) gibi devlet kurumları ve üniversite arası işbirliğinden faydalanılmıştır.



Şekil 3.2 Kar su eşdeğeri üretimi akış şeması

3.1. Detrended Kriging (DK)

Noktasal ölçülen yağış, sıcaklık ve kar su eşdeğeri verilerinin alansal dağıtılması için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları Thiessen poligon, eşyüksekti eğrisi, Kriging ve Detrended Kriging (DK) yöntemleridir. Bu çalışma kapsamında noktasal yağış, sıcaklık ve kar su eşdeğeri verileri Detrended Kriging (DK) yöntemi uygulanarak alansal olarak dağıtılmıştır.

Detrended Kriging yönteminde diğer iki yönetime göre alansal dağılımın yanısıra yüksekliğe bağlı dağılım yapılmaktadır.

3.1.1. Kar Su Eşdeğeri

Kar Su Eşdeğeri (KSE), belirli bir alanda bulunan kar örtüsünün erimesi sonucu oluşacak su miktarıdır. Kar su eşdeğerini ifade eden eşitlik (3.2)'de yer almaktadır. Karasu Havzası ve çevresinde kar bilgileri Şekil 3.2 'te gösterilen 53 kar gözlem istasyonundan (KGİ) elde edilmektedir. Kar verileri EİE ve DSİ çalışanları tarafından kar tüpleri ile ölçülmekte ve bu veriler kış sezonunda ayda bir veya iki kere tekrarlanmaktadır.

$$KSE = d * \rho \quad (3.1)$$

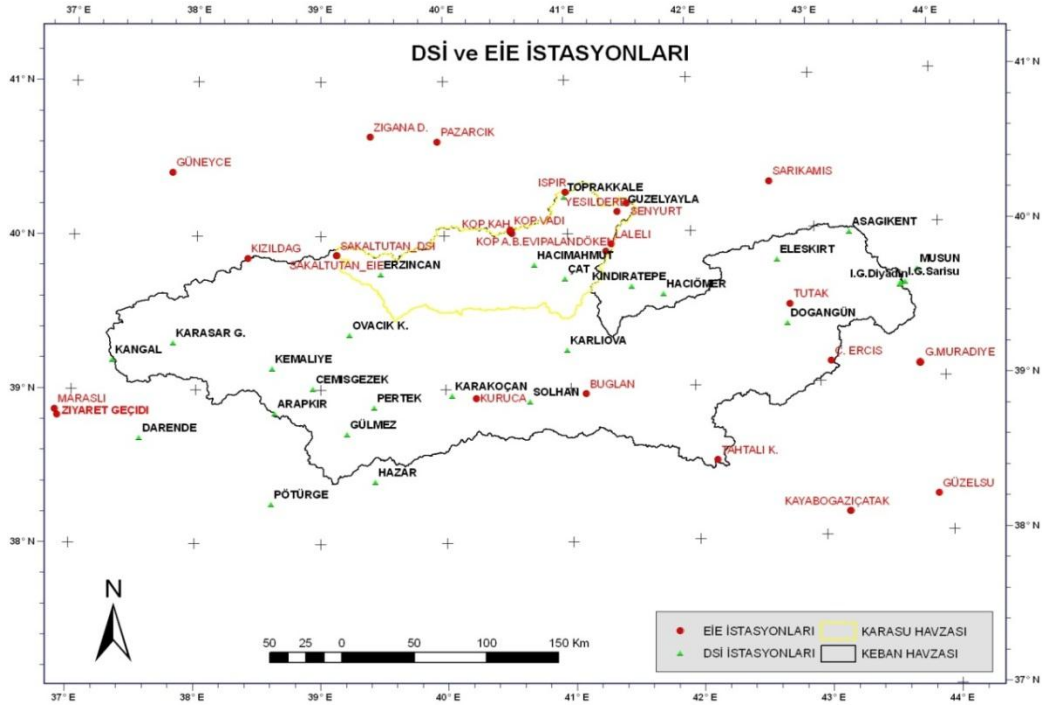
KSE = kar su eşdeğeri (kg/m²)

d= kar derinliği (m)

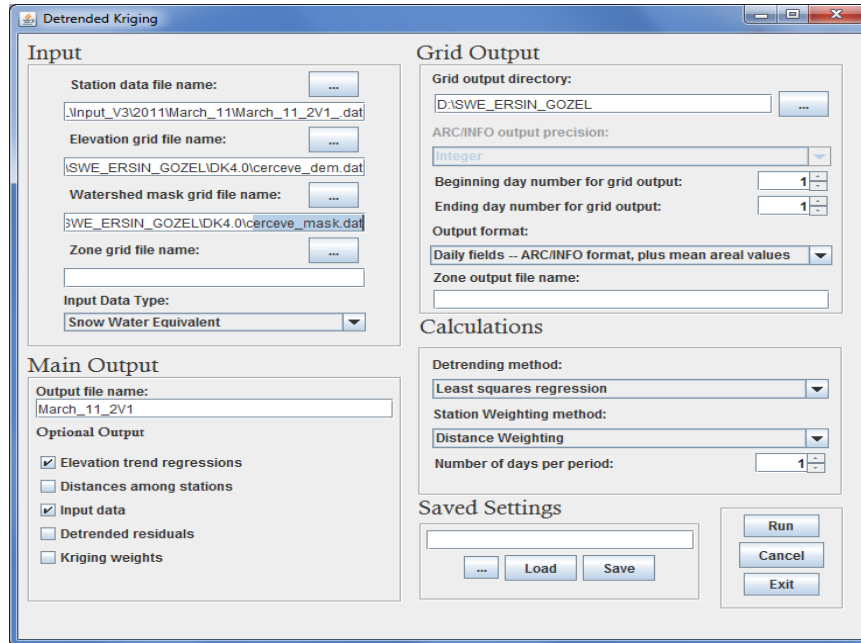
ρ = kar yoğunluğu (kg/m³)

3.1.2. Detrended Kriging (DK) Yöntemi

Detrended Kriging yöntemi sıcaklık, yağış ve kar su eşdeğeri gibi noktasal ölçülebilen verileri yüksekliğe bağlı olarak belirli bir alanda istatistiksel formüllerle dağıtan bir yöntemdir. Bu yöntem ile veriler günlük veya farklı zamansal çözünürlükte işlenmektedir. Detrended Kriging yöntemini bilgisayar ortamında ve CBS ile uyumlu kullanabilmek için Garen (1994) tarafından yazılan DK programı kullanılmıştır. Literatürde yapılan birçok çalışmaya göre, Parajka (2009) ve Harshburger (2010), dağlık kesimlerde meteorolojik verilerle yükselti arasında doğrusal bir ilişki vardır. DK programı, girdi olarak sunulan verileri havza sınırları içerisinde enlem (x), boylam (y) ve yüksekliğe (z) göre işlemektedir. Şekil 3.3'de DK programında kullanılan ara yüz gösterilmektedir. Detrended Kriging programında istenilen verilerin işlenmesi için, öncelikli olarak verilerin işleneceği alan sınırlarının programa tanımlanması gerekmektedir. Program için havza sınırları ile birlikte Bölüm 3.1.3'te anlatılan girdi dosyasının hazırlanması ve kullanılacak yöntemin seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.2 Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesindeki kar gözlem istasyonları (KGİ)



Şekil 3.3 Detrended Kriging program ara yüzü

3.1.3. Detrended Kriging (DK) Yönteminde Verilerinin Hazırlanması

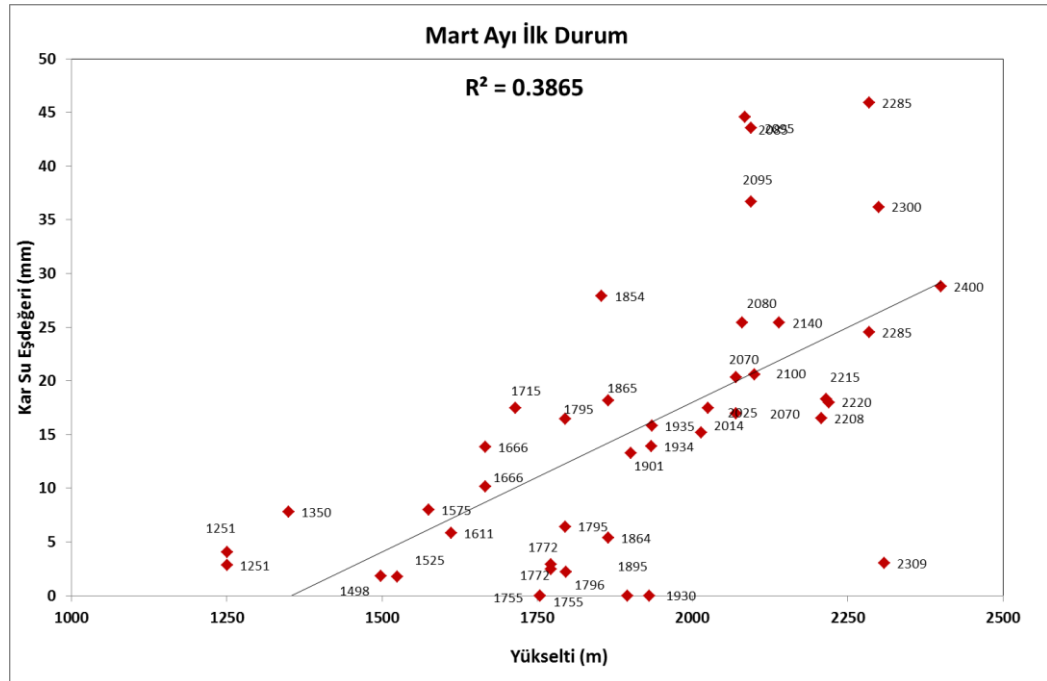
Detrended Kriging yönteminde noktasal kar su eşdeğeri verileri ile ölçümün yapıldığı noktanın koordinatları ve yükseklik değeri kullanılmaktadır. Noktasal kar su eşdeğerinin alansal olarak dağıtılması için kar gözlem istasyonlarından elde edilen kar verilerinin yükseklik ve istasyonların havza içerisindeki konumuna bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme aşaması için bölge üzerinde ölçümü yapılmış olan kar su eşdeğeri verilerinin tablosal ve grafiksel olarak hazırlanması gerekmektedir. Bu durum, ölçülmüş değerlerin birbiri ile olan ilişkisinin incelenmesi açısından kolaylık sağlayacak bir uygulamadır. Tablo 3.1’de 2009 su yılı Mart ayı için Karasu Havzası ve çevresinde ölçümü yapılmış kar su eşdeğeri bilgileri bulunmaktadır. Tablo 3.1’de yer alan veriler Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından kar gözlem istasyonlarında ölçülmüş kar su eşdeğerleridir. Bu verilerin değerlendirilmesi için Şekil 3.4’de gösterildiği üzere kar su eşdeğerine karşılık istasyon yükseklikleri çizdirilmektedir. Grafik üzerinde yer alan noktasal verilere doğrusal bir çizgi çizdirilerek noktasal verilerin yükseklik durumuna göre değerlendirilmesi yapılmaktadır. Detrended Kriging yönteminde beklendiği üzere, yüksekliğin artması durumunda kar su eşdeğeri de artış göstermektedir. Bu nedenle Tablo 3.1 ve Şekil 3.4’te yer alan dağılımına göre havza çevresinde yer alan istasyonlardan kar su eşdeğeri bilgisi aykırı olan istasyonlar hesaplama sürecine dahil edilmemektedir. Değerlendirme sürecinde ayrıca DK programına kar sınır çizgisinin yüksekliği girilmektedir. Bu yükseklik değeri, kar su eşdeğerinin de başladığı kottur. Tablo 3.2 ve Şekil 3.5’teki örnekten görüleceği üzere kar sınır çizgisi 1450 metre kotuna verilmiştir. Bu yükseklik değeri, başlangıç değerleri (Tablo 3.1 ve Şekil 3.4) arasında yer almamasına rağmen, özellikle uydu görüntüleri aracılığı ile üretilen karla kaplı alanların eşyükselti haritasına göre yapılan değerlendirme sonucu kar sınır çizgisinin 1450 metre yüksekliğinden başladığına karar verilmiş ve DK programına 2009 Mart ayı için bu şekilde işlenmiştir. Bu işlem her ay için benzer şekilde uygulanmaktadır. Mart 2009 Değerlendirme sonucu kullanılacak kar su eşdeğerine karşılık istasyon yükseklikleri Tablo 3.2 ve Şekil 3.5’te yer almaktadır. Bu bilgiler ile noktasal kar

su eşdeğeri belirli bir eğilime göre enlem, boylam ve yükseltiye göre DK programı tarafından dağıtılmaktadır. Dağıtma işlemi sırasında, veriler arasında artan eğilime (farklarının karesinin toplamının en küçüğüne göre) göre bir formül oluşturulmaktadır. Nokta değerlerinin bu eğilime olan farkları kriging yöntemiyle dağıtılmaktadır.

Thiessen ve eş yükselti haritası yöntemlerine göre bu yöntemde ortaya çıkan farklılık ise noktasal kar su eşdeğerinin sadece alansal olarak değil ayrıca yükseltiye göre de dağıtılmasıdır. Böylelikle dağılım üzerine yükselti etkisi de dahil edilmiş olmaktadır.

Tablo 3.1 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme öncesi, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009

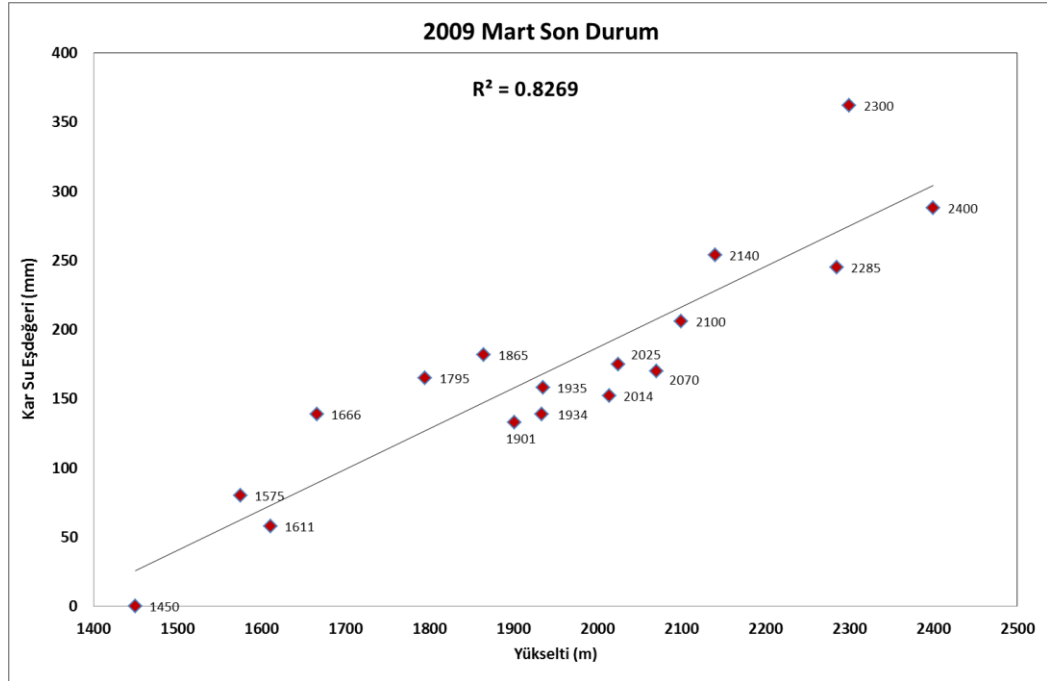
İstasyon Adı	Ölç. Tarihi	Yükselti (m)	KSE (cm)	İstasyon Adı	Ölç. Tarihi	Yükselti (m)	KSE (cm)
Ovacık Kandolar	10 Mart	1251	4.1	İpek Geçidi Diyağın	19 Mart	1930	0.0
Ovacık Kandolar	23 Mart	1251	2.8	Gönderme Muradiye	2 Mart	1934	13.9
Pazarcık Yaylası	3 Mart	1350	7.8	Yeşildere	5 Mart	1935	15.8
Pertek	10 Mart	1498	1.8	Laleli	5 Mart	2014	15.2
Solhan	10 Mart	1525	1.8	Zigana Dağı	4 Mart	2025	17.5
Güneyce	4 Mart	1575	8.0	Güzelyayla	5 Mart	2070	17.0
Buğlan II	5 Mart	1611	5.8	Güzelyayla	23 Mart	2070	20.3
Doğangün	5 Mart	1666	13.9	SakalTutan	2 Mart	2080	25.4
Doğangün	23 Mart	1666	10.1	Kızıldağ	2 Mart	2085	44.6
Tutak	4 Mart	1715	17.5	Aşağıkent	9 Mart	2095	43.6
Musun	10 Mart	1755	0.0	Aşağıkent	20 Mart	2095	36.7
Musun	19 Mart	1755	0.0	Sarıkamış	10 Mart	2100	20.6
Karlıova	10 Mart	1772	2.9	Sakaltutan	2 Mart	2140	25.4
Karlıova	20 Mart	1772	2.4	ÇATAK	5 Mart	2208	16.5
Eleşkirt	9 Mart	1795	16.5	Şenyurt	5 Mart	2215	18.3
Eleşkirt	20 Mart	1795	6.4	Kop D. A.Bakım E.	6 Mart	2220	18.0
Pötürge	5 Mart	1796	2.2	Çat	6 Mart	2285	24.5
Kuruca	3 Mart	1854	27.9	Çat	30 Mart	2285	45.9
Maraşlı	6 Mart	1864	5.4	İspir	12 Mart	2300	36.2
Kop D. Kahveler	6 Mart	1865	18.2	GüzelSu	6 Mart	2309	3.0
İpek GeçidiSarısu	19 Mart	1895	0.0	Kop D. Vadi	3 Mart	2400	28.8
Ziyaret Geçiti	6 Mart	1901	13.3				



Şekil 3.4 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme öncesi, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009

Tablo 3.2 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme sonrası, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009

İstasyon Adı	Ölç. Tarihi	Yükselti (m)	KSE (cm)
PERTEK	4 Mart	1450	0.0
GUNEYCE	4 Mart	1575	80.0
BUGLAN	5 Mart	1611	58.0
DOGANUN	5 Mart	1666	139.0
ELESKIRT	9 Mart	1795	165.0
KOPDAGI KAHVELER	6 Mart	1865	182.0
ZİYARET GECIDI	6 Mart	1901	133.0
GONDERME MURADIYE	2 Mart	1934	139.0
YESILDERE	5 Mart	1935	158.0
LALELİ	5 Mart	2014	152.0
ZIGANA DAGI	4 Mart	2025	175.0
GUZELYAYLA	5 Mart	2070	170.0
SARIKAMIS	10 Mart	2100	206.0
SAKALTUTAN	2 Mart	2140	254.0
CAT	6 Mart	2285	245.0
ISPIR	12 Mart	2300	362.0
KOPDAGI VADI	3 Mart	2400	288.0



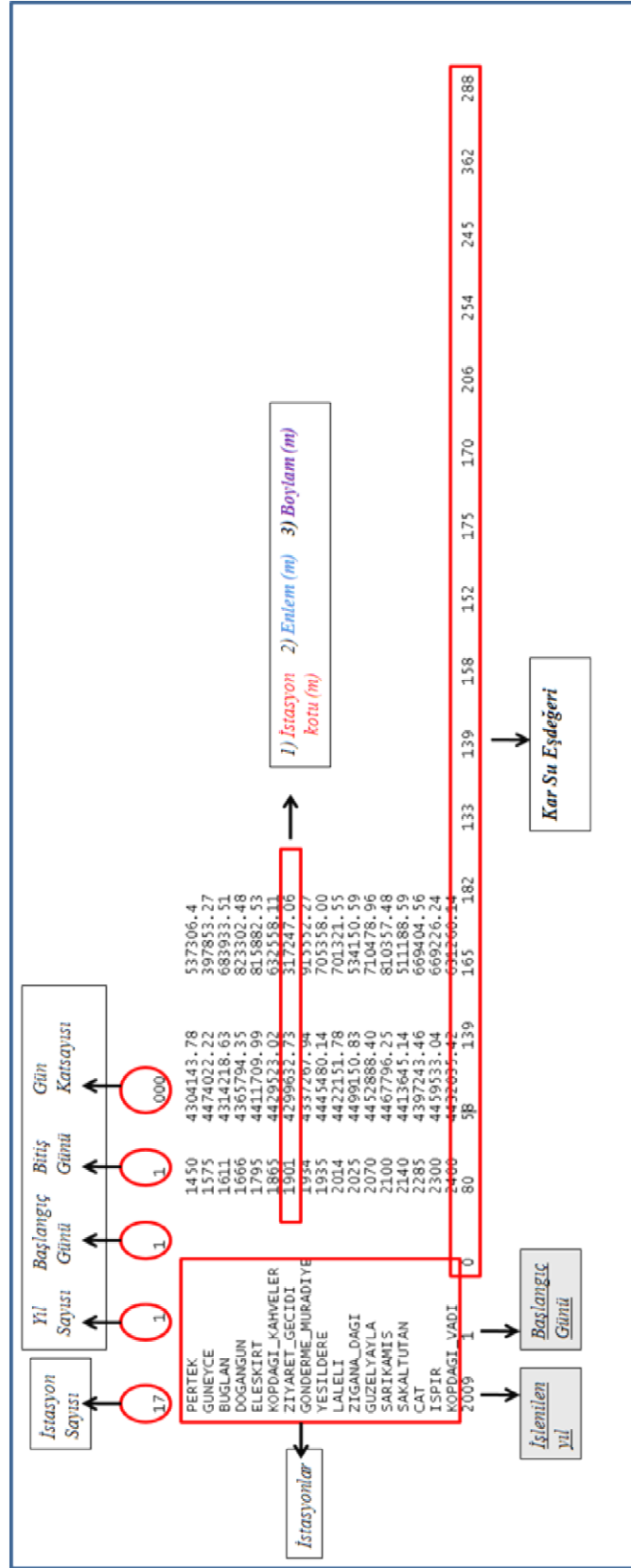
Şekil 3.5 Kar su eşdeğeri ve istasyon yükseklik ilişkisi değerlendirme sonrası, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009

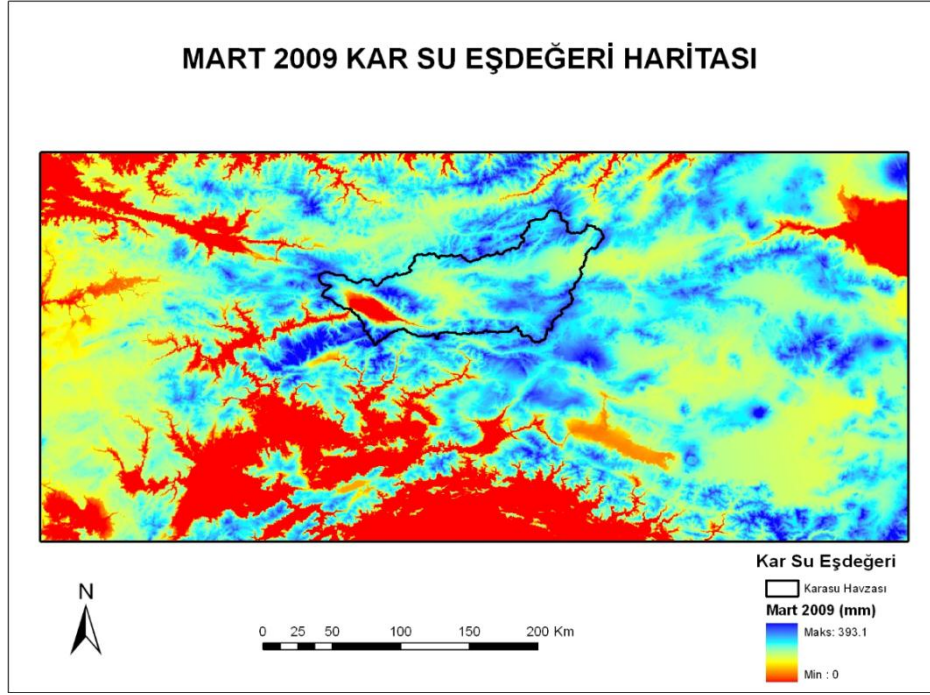
3.1.4. Detrended Kriging Yönteminde Verilerin İşlenmesi

Değerlendirme sonrası kullanılacak veriler Detrended Kriging programında işlenmeye uygun hale getirilmelidir. Bunun için veriler text (txt) veya data (dat) formatındaki yazı dosyasına kaydedilmelidir. Şekil 3.6’te Detrended Kriging girdi dosyası istasyon bilgileri ve bu bilgilerin düzeni görülmektedir.

Verileri text dosyasına aktarırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu yazı dosyası içerisinde ve dosyanın kayıtlı bulunduğu kaynak dosya isminde Türkçe karakterlerin ve kelimeler arası boşluğun olmamasıdır. Bu tür bir hata karşısında DK programı verileri işlemeyi sürdürememektedir.

Detrended Kriging yöntemiyle noktasal kar su eşdeğeri dağıtılarak, kar su eşdeğeri haritalarına dönüştürülmektedir (Şekil 3.7). Bu haritalar CBS ortamında işlenerek havza ile ilgili minimum, ortalama ve maksimum kar su eşdeğeri bilgileri edinilmektedir. DK ile dağıtılmış kar su eşdeğeri haritalarına kar sınır çizgisinin belirlenmesi işlemi ise MODIS uydularından elde edilen karla kaplı alanlarla uygulanmaktadır.





Şekil 3.7 Kar su eşdeğeri haritası, Karasu Havzası ve çevresi, Mart 2009

3.2. Karla Kaplı Alan Görüntüleri

Hidroloji biliminde su kaynaklarının modellenmesi, yönetilmesi, işletilmesi ve çeşitli tahmin çalışmalarında mekansal veriye ihtiyaçtan dolayı karla kaplı alan bilgisi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde uzaktan algılama yöntemlerinin gelişmesi ile yeryüzü üzerinde gözlem yapılan uydu teknolojisi de gelişmektedir. Özellikle kar hidrolojisi çalışmalarında, kar örtüsünün havza içerisindeki dağılımını ve zamanla değişimini belirlemek amacıyla uydu görüntülerinden faydalanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan bilgisi iki farklı amaç için kullanılmaktadır. İlk olarak karla kaplı alan bilgileri ile kar su potansiyeli hesaplamalarında kar sınır çizgisi belirlenerek bu sınırın üzerinden kar su eşdeğeri hesabı yapılmaktadır. İkinci olarak hidrolojik modelleme için farklı yükseklik zonlarında karla kaplı alanların tespit edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Yamankurt (2010) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışması kapsamında üretilen karla kaplı alan bilgileri kullanılmıştır.

3.2.1. Kar Çalışmalarının Uzaktan Algılanma Tarihçesi

Yeryüzünü Gözlemleme (Earth Observation – EO) verisi, kar hidrolojisinde 1975’li yıllarda uygulanmaya başlamıştır. Rango ve ark. (1977) EO verisi kullanılarak, kar erimesinden kaynaklı akım tahmini uygulamaları gerçekleştirmiş ve Rott (1978), farklı sensörler kullanarak Alp Dağlarının karla kaplı alan uygulamasını yapmıştır. EO verisi kullanılarak, kar ve buz haritalama çalışmaları Hall ve Martinec (1985) tarafından özetlenmiştir. Uydu görüntüsünden üretilen karla kaplı alan verisinin hidrolojik modellemede kullanılmasının yararını gösteren bir çalışma Martinec ve Rango (1987) tarafından verilmiştir. Wiesnet ve ark., (1987) kar kaplı alanların haritalanması için uzaktan algılama metotlarının önemini vurgulamıştır. Frank ve ark. (1988), Harrison ve Lucas (1989), Hu ve ark. (1993), Seidel ve ark. (1994), Baumgartner ve Rango (1995), Rango (1996), Nagler ve Rott (1997) bireysel olarak karla kaplı alan izleme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Ancak geniş kullanıcı kitlesiyle paylaşılan metot ve uygulama sonuçları özellikle Avrupa’da HydAlp (Rott ve ark., 2000) ve SnowTools (Gunteriusen ve ark., 2000) projeleri ile başlamıştır.

3.2.2. Karla Kaplı Alan Bilgisinin Uzaktan Algılanması

Günümüzde karla kaplı alan görüntülenmesinde birçok uydu ürünleri kullanılmaktadır. Bu uydular ve teknik özellikleri Tablo 3.3’te görülmektedir. Bu çalışmada karla kaplı alan bilgisi için orta çözünürlüklü optik görüntüleyicilerden olan Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydu görüntüleri kullanılmıştır. MODIS uydu görüntülerinin seçilmesinin amacı hem ulaşılabilirlik hem de kar haritalaması için mekânsal ve zamansal olarak en iyi çözünürlüğün sağlanmasıdır. Earth Observing System (EOS), NASA tarafından yürütülen uluslararası bir bilim programı olan Earth Science Enterprise (ESE)’nin kollarından biridir. EOS, MODIS algılayıcısını üzerinde bulunduran, Terra platformunu 18 Aralık 1999 ve Aqua platformunu 4 Mayıs 2002 tarihinde uzaya fırlatmıştır (Hall ve ark., 2002). Terra ve Aqua platformları üzerindeki MODIS algılayıcısı, dünya yüzeyi ve bulutların görüntüsünü 36 dar spektral bantta, 0.4

μm 'den 14 μm 'ye kadar dalga boyu aralığında, günlük tekrarlama süresinde ve 250 m (bant 1-2), 500 m (bant 3-7) ve 1000 m (bant 8-36) mekansal çözünürlükte sağlamaktadır. 24 Şubat 2000 tarihinde veri toplamaya başlayan MODIS/Terra uydusunun ekvator geçiş zamanı yaklaşık saat 10:30 civarındadır. 24 Haziran 2002 tarihinde veri toplamaya başlayan MODIS/Aqua uydusunun ekvator geçiş zamanı ise yaklaşık saat 13:30 civarındadır. Bu iki geçiş zamanıyla (Terra sabah, Aqua öğleden sonra), bulutların 3 saat içerisinde yerinin ve alansal dağılımının değişmesinden dolayı bu iki ayrı uydu görüntüsünün kullanılmasıyla, daha açık kar örtüsü görüntülerinin elde edilme olasılığı artmaktadır (Hall ve Riggs, 2007).

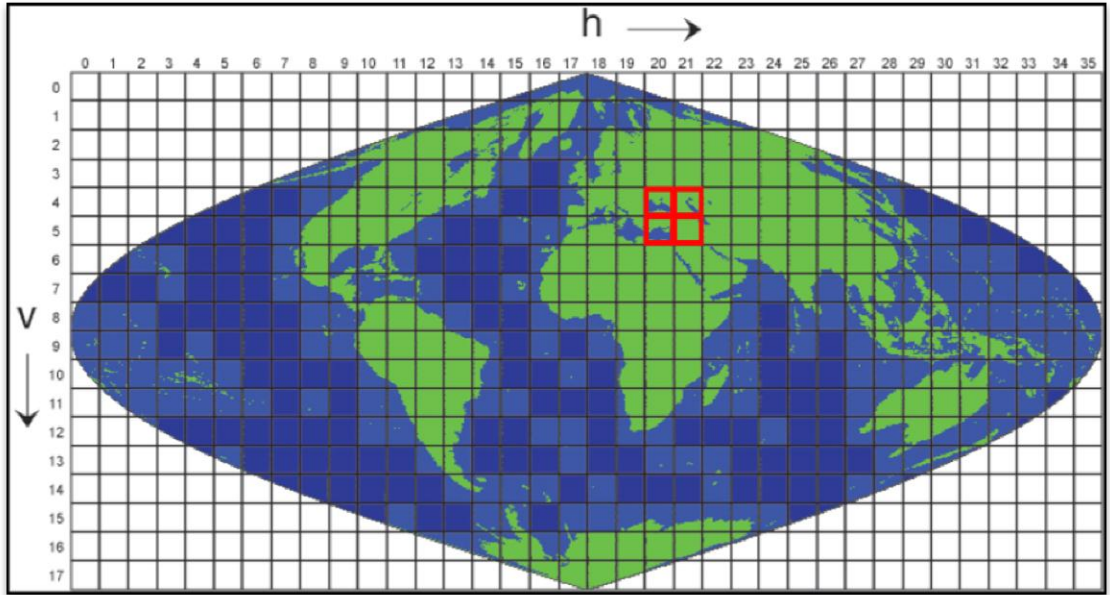
Tablo 3.3 Karla kaplı alanların haritalanmasında uyduların özellikleri (Durum: Haziran 2010),

Uydu	Sensör	Spektral Band (μm)	Mekansal Çöz.(m)	Zamansal Çöz.(gün)	Kurum
Meteosat-7	VIS/IR	3	2.5 km x 2.5 km	0.5 Saat	EUMETSAT (1997)
Meteosat-8	VIS/IR	12	1 km x 1 km	0.25 saat	EUMETSAT (2002)
NOAA-14,-16	AVHRR	5	1 km x 1 km	12 - 24 saat	ABD (2000)
Terra, Aqua	MODIS	2 Spektral Band	250	1-2	ABD (1999, 2002)
		7 Spektral Band	500		
		26 Spektral Band	1000		
ENVISAT	ASAR	0.056 m-5.33 GHz	30-150	35	AB (2002)
Landsat-4,-5	TM	WNIR : 0.45-0.90	30	16	ABD (1972, 1984)
		SWIR : 1.55-2.35	30		
		TIR : 10.42-12.5	120		
Landsat-7	PAN	0.52-0.9	15	16	ABD (1999)
	ETM	WNIR ve SWIR = Landsat5	30		
	ETM	TIR : 10.42-12.5 (Low-High)	60		
SPOT-2,-3,-4	XS	3	20 x 20	26	Fransa (1990, 1993, 1998)
	PAN	1	10 x 10		
SPOT-5	HRS-PAN	0.49-0.69	10-1000	26	Fransa (2002)
	HRG-PAN	0.49-0.69 (Super Mode)			
IRS-1C/D	PAN	0.5-0.75 (S)	5.8	24/25	Hindistan (1995,1997)
	LISS-III	WNIR : 0.52-0.86	23		
	WIFS	0.62-0.86	188		
IRS-P6	LISS-III	0.52-0.86 SWIR : 1.55-1.70	23.5	24	Hindistan (2003)
	LISS-IV	MX : 0.52-0.86	5.8	5	
	AWIFS	0.52-0.77 SWIR : 1.55-1.70	56-70	5	
IKONOS-2	PAN	0.526-0.929 (S)	0.82	3.5-5	ABD (1999)
	Multi	0.445-0.853 (S)	3.2		
QUICKBIRD-2	PAN-Multi	0.445-0.900	0.61-0.73	3.5	ABD (2001)
RASAT	PAN	0.42-0.73	7.5	4	Türkiye
	MS	0.42-0.73	15		
GEOEYE-1	PAN	0.45-0.80	0.41	<3	ABD (2008)
	Multi	0.45-0.92	1.65		

3.2.3. MODIS Harmanlanmış Kar Ürünü

Bu çalışmada Terra ve Aqua uydularından elde edilen karla kaplı alan görüntüleri kullanılmıştır. MODIS uydu görüntüleri tüm dünyayı eşit karelere bölerek (Şekil 3.8) bu alanların internet ortamında(<https://wist.echo.nasa.gov/api/>) indirilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 3.8’de görüleceği üzere çalışma alanı olarak belirlenen Karasu Havzası bu kareler içerisinde h20v04, h20v05, h21v04 ve h21v05 içerisinde kalmaktadır.

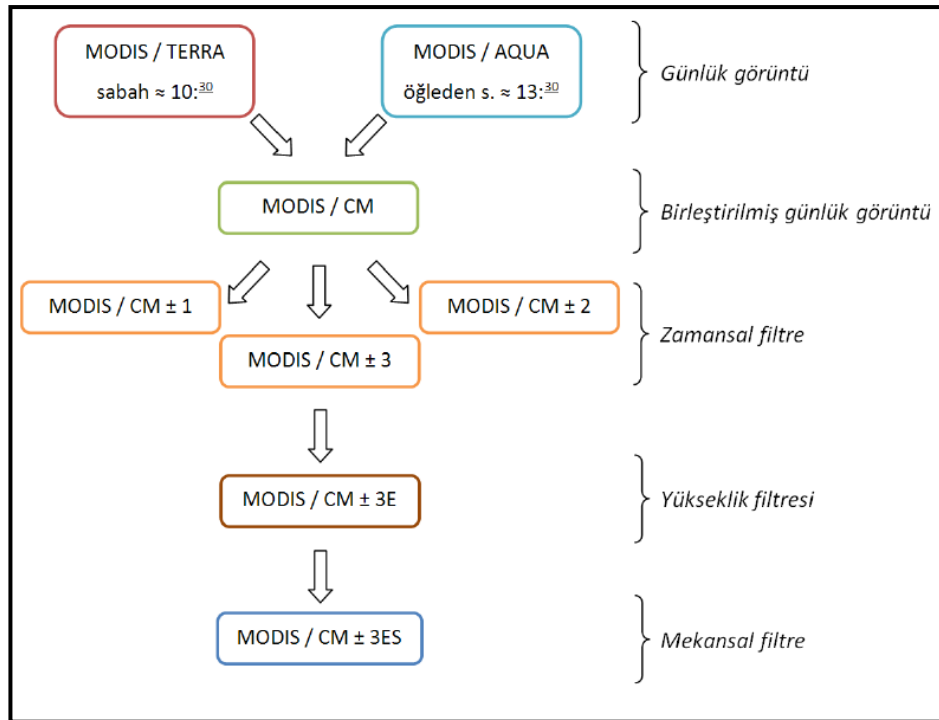
İnternet ortamından indirilen MODIS Terra (MOD10A1) ve MODIS Aqua (MYD10A1) görüntüleri MODIS Reprojection Tool 4.0(MRT-4.0) (https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool) programı tarafından birleştirilerek, çalışma alanı ve çevresini kapsayan alan kesilmekte, yeni bir projeksiyona taşınmakta (UTM, WGS84) ve yeni bir dosya uzantısına (HDF dosya uzantısından GeoTIFF dosyasına) çevrilmektedir. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç, uydu ürünlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında işlenebilmesini sağlamaktır.



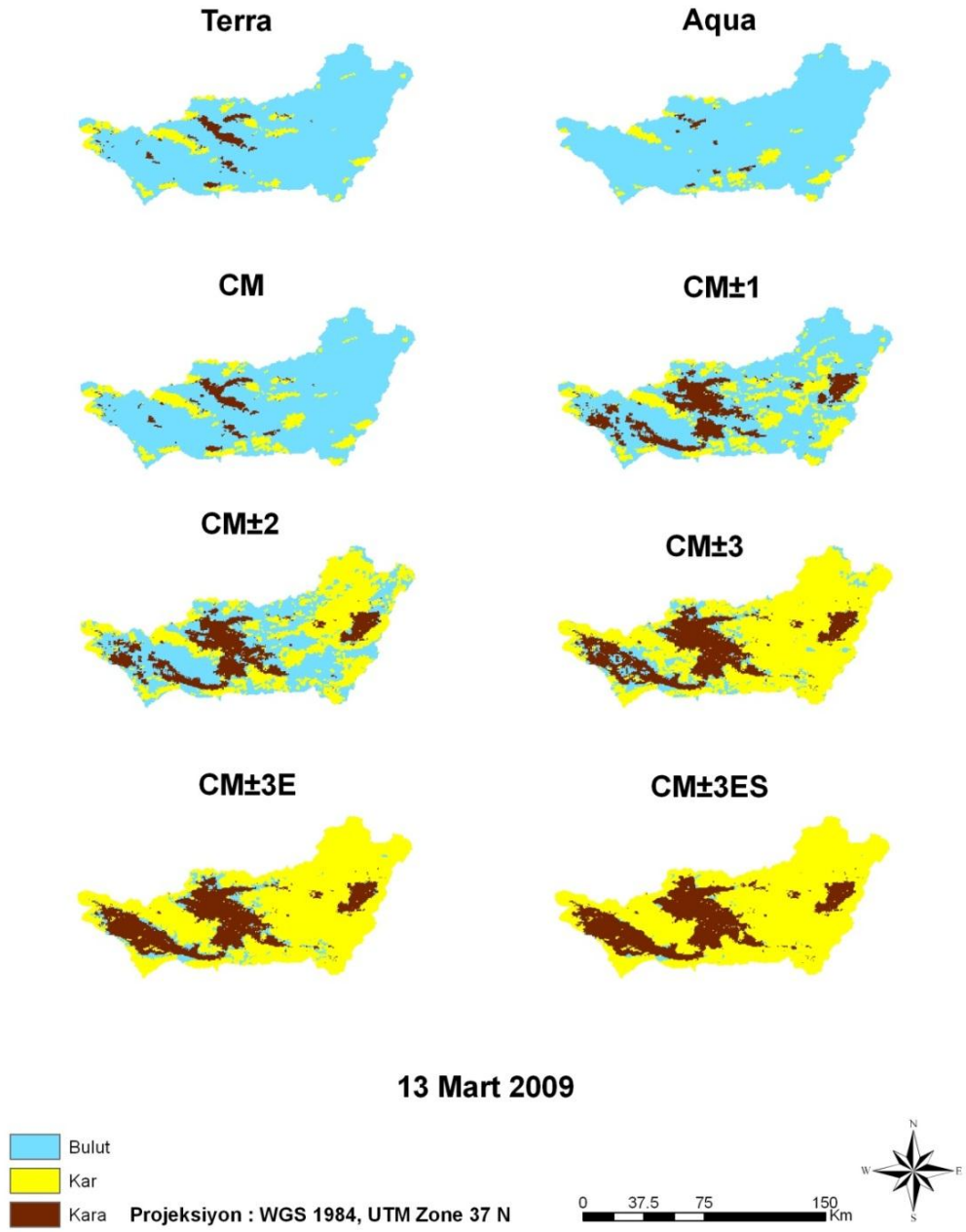
Şekil 3.8 Dünya haritası üzerinde bölünmüş MODIS kareleri

MODIS görüntüleri içerisinde 10 farklı veri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında görüntü içerisinde bulunan 10 ayrı sınıf, çalışmaya kolaylık sağlaması açısından 3 ayrı sınıf (kar, kara, bulut) şeklinde birleştirilmiştir.

Optik MODIS uydusu buluttan etkilenmekte ve bulutluluk oranından dolayı bulut altında kalan bölgeler uydu tarafından görülemediği için o bölgenin verisi tespit edilememektedir. Hidrolojik model uygulamalarında ve hesaplamalarında kullanılacak karla kaplı alan görüntülerinde bulut oranının az olduğu ya da tamamen bulutsuz günlerin olduğu görüntüler seçilmelidir. Bu nedenle, karın yağdığı kış aylarında (kar potansiyeli belirleme dönemi) ve erimeye başladığı ilkbahar aylarında (akım tahmini dönemi) karla kaplı alanların buluttan olabildiğince arındırılmış (bulutsuz, az bulutlu) olması önem kazanmaktadır. Bu amaçla, günlük uydu görüntülerine birleştirme ve filtreleme gibi bir dizi harmanlama işlemi uygulanmıştır. Bu süreçte izlenen yöntem akış şeması Şekil 3.9’de, işlem sonucu üretilen karla kaplı alan görüntüsü Şekil 3.10’de sunulmuştur. Karla kaplı alanlar üzerine uygulanan filtreleme işlemleri Yamankurt,(2010) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında ayrıntısı ile anlatılmıştır.



Şekil 3.9 Günlük MODIS görüntülerini harmanlama süreci akış şeması (Yamankurt, 2010)

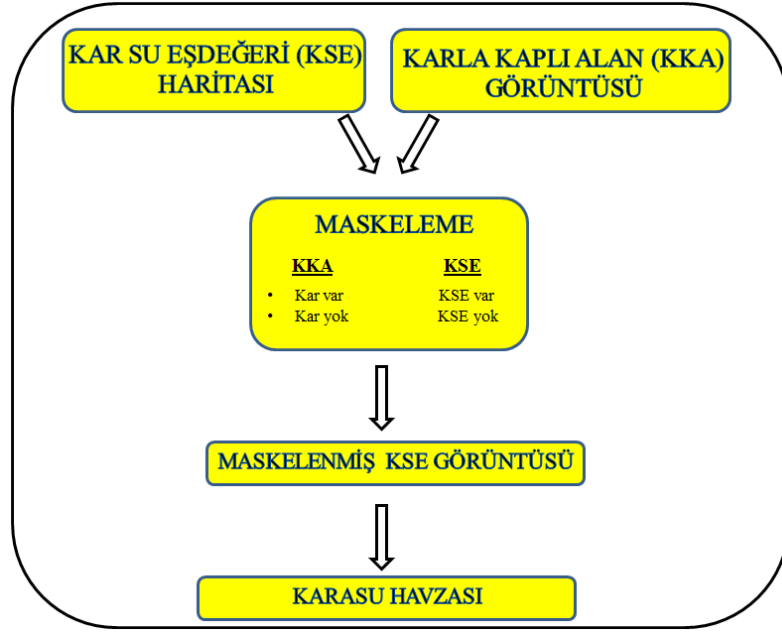


Şekil 3.10 Terra ve Aqua görüntüleri ile dört farklı harmanlama işlemi sonucu üretilen görüntüler (13 Mart 2009 tarihli görüntü), Karasu Havzası, (Yamankurt, 2010)

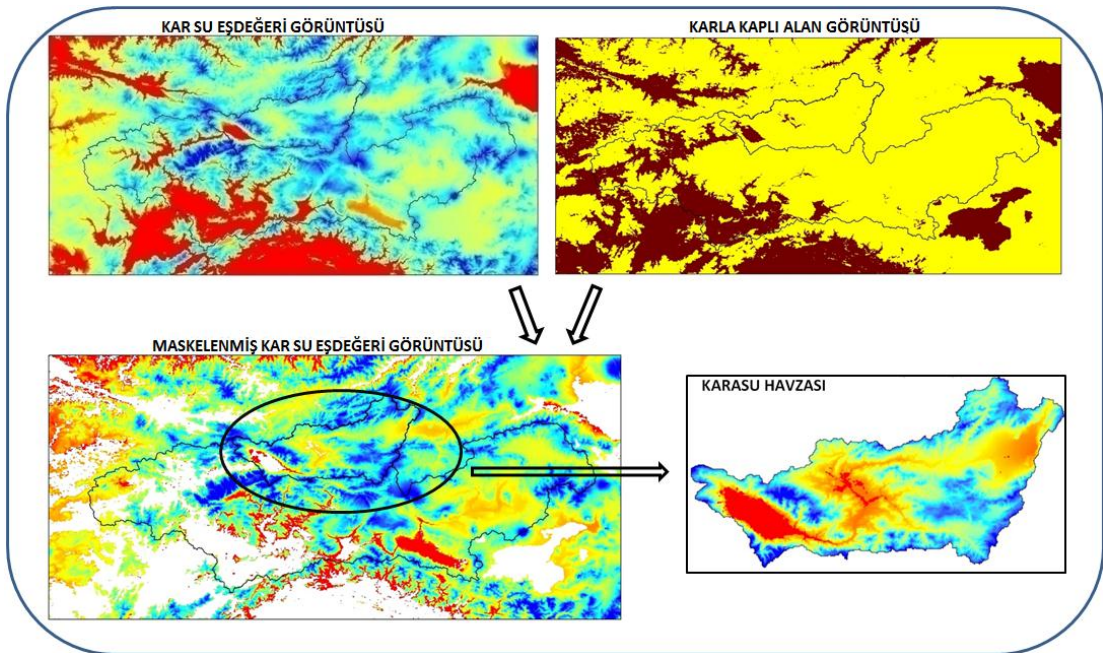
3.2.4. Karla Kaplı Alanların Maske Olarak Kullanılması

Detrended Kriging yöntemi ile üretilen haritalarda yer alan kar sınır çizgisinin ve karla kaplı alan bilgisinin belirlenmesi Bölüm 3.2.3'te anlatılan MODIS harmanlanmış kar ürünleri yapılmaktadır. Kar bilgilerini belirleme işleminde uydu ürünlerinin kullanılmasının sebebi ise; MODIS uydu ürünleri yeryüzü gözlemine dayalı üretilmektedir ve bu ürünlerin doğrulukları birçok farklı çalışmayla kanıtlanmıştır ancak Detrended Kriging yöntemi ise istatistiksel formüllere dayalı bir yöntemdir ve belirlenen bir eğilimde KSE'yi artırmaktadır. Dolayısıyla günlük gözleme dayalı olan KKA görüntüleri DK ile üretilecek haritaların üzerine bir maske şeklinde kullanılmaktadır.

Harmanlanmış karla kaplı alan haritaları ile kar su eşdeğeri haritaları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma işlemine maskeleme işlemi adı verilmektedir. Maskeleme işlemi için kullanılan MODIS uydu görüntüleri, ilgili ayın ilk yarısına (ilk 10-12 günlük kısım) ait ve bulutluluk etkisi en az olan görüntüler arasından seçilmiştir. Maskeleme işlemine göre karla kaplı alan haritaları üzerindeki herhangi bir noktada kar bilgisi yoksa maskelenmiş kar su eşdeğeri haritalarında o noktada kar su eşdeğeri bilgisi bulunmayacaktır. Böylelikle Detrended Kriging yönteminde kullanılan istatistiksel dağılımın kar sınır çizgisi, kar olmayan yerde KSE olmaması durumu sağlamaktadır. Maskeleme işleminden sonra oluşturulan kar su eşdeğeri haritalarından elde edilecek minimum, ortalama ve maksimum kar su eşdeğeri bilgileri ile havza alan bilgileri kullanılarak, havza üzerinde bulunan kar su potansiyeli hesaplanmaktadır.



Şekil 3.11 Maskeleme işlemi akış şeması

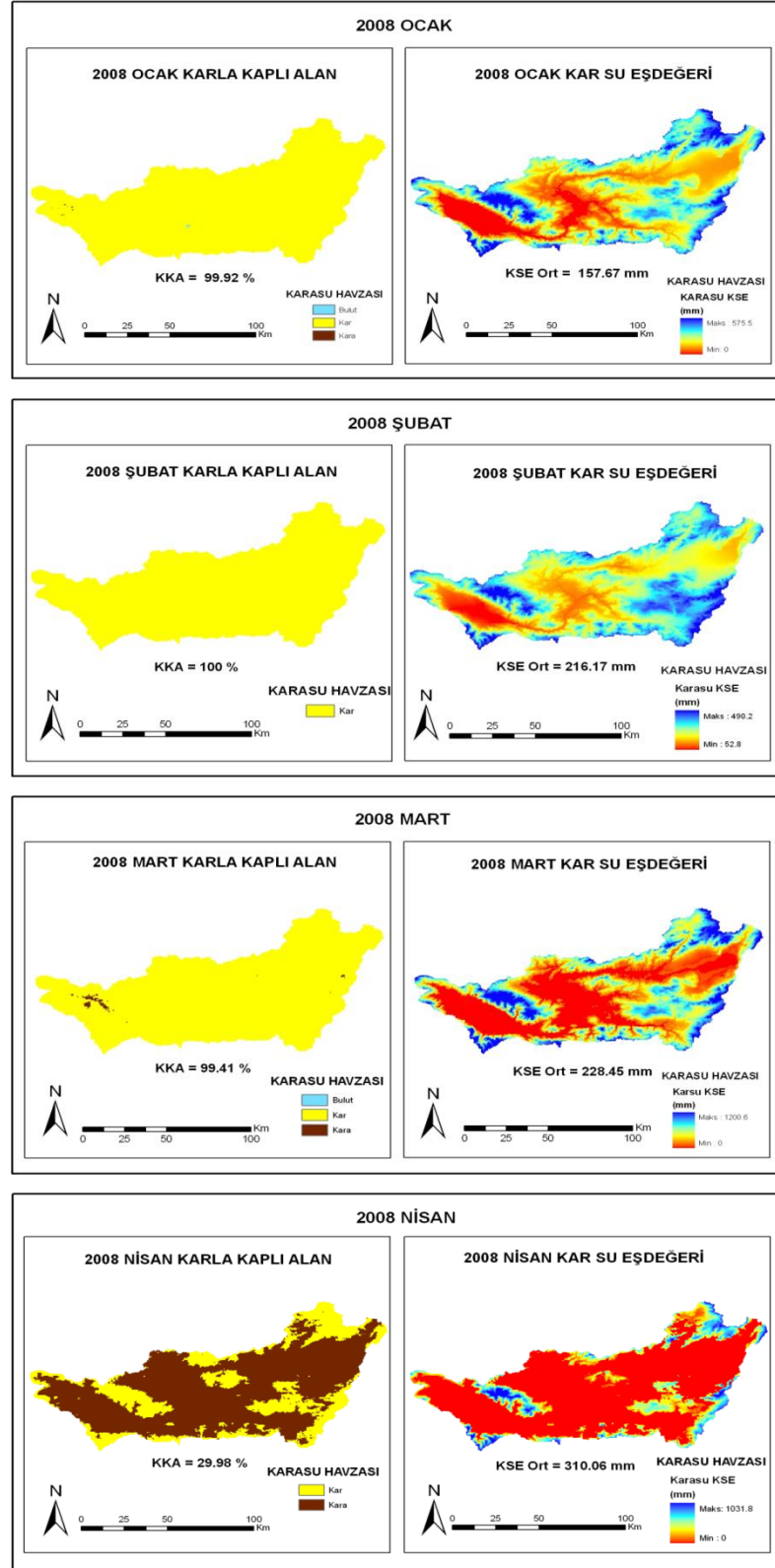


Şekil 3.12 Maskeleme işlemi örneği

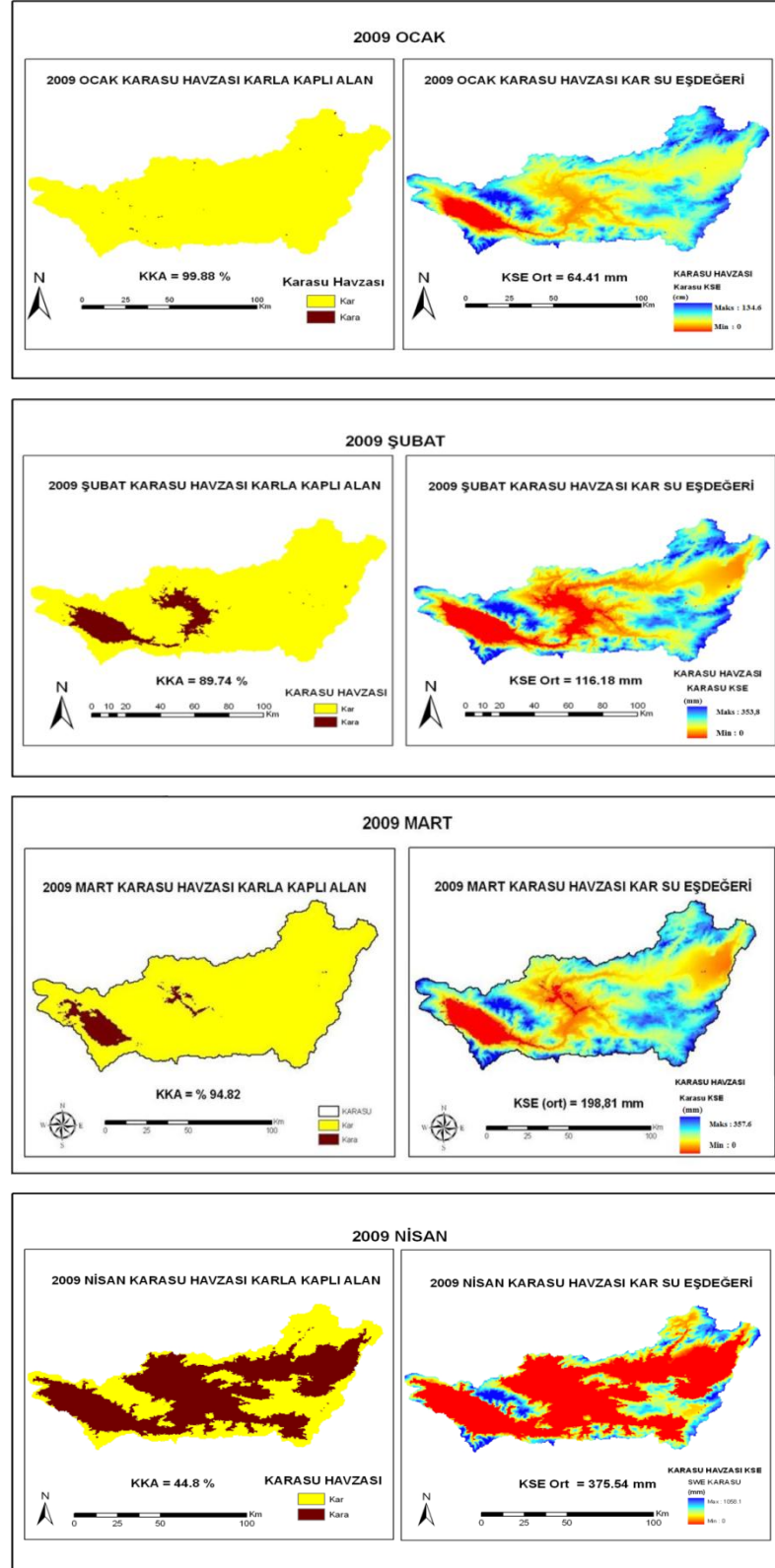
3.3. Kar Su Potansiyel Sonuçları

Detrended Kriging ile üretilen kar su eşdeğeri görüntüleri, MODIS uyodusundan elde edilen kar kaplı alan haritaları ile CBS ortamında maskelendikten sonra sonuç olarak kar su potansiyeli hesabı için hazır hale getirilmektedir. Bu maskeleme işlemi, Karasu Havzası ve çevresini kapsamaktadır. Maskeleme sonucu üretilen kar su eşdeğeri haritalarından kesilen 2008-2011 yılları Ocak-Nisan ayları Karasu Havzası görüntüleri Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Yine her yıl için kar su eşdeğerine ait grafikler Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de gösterilmektedir.

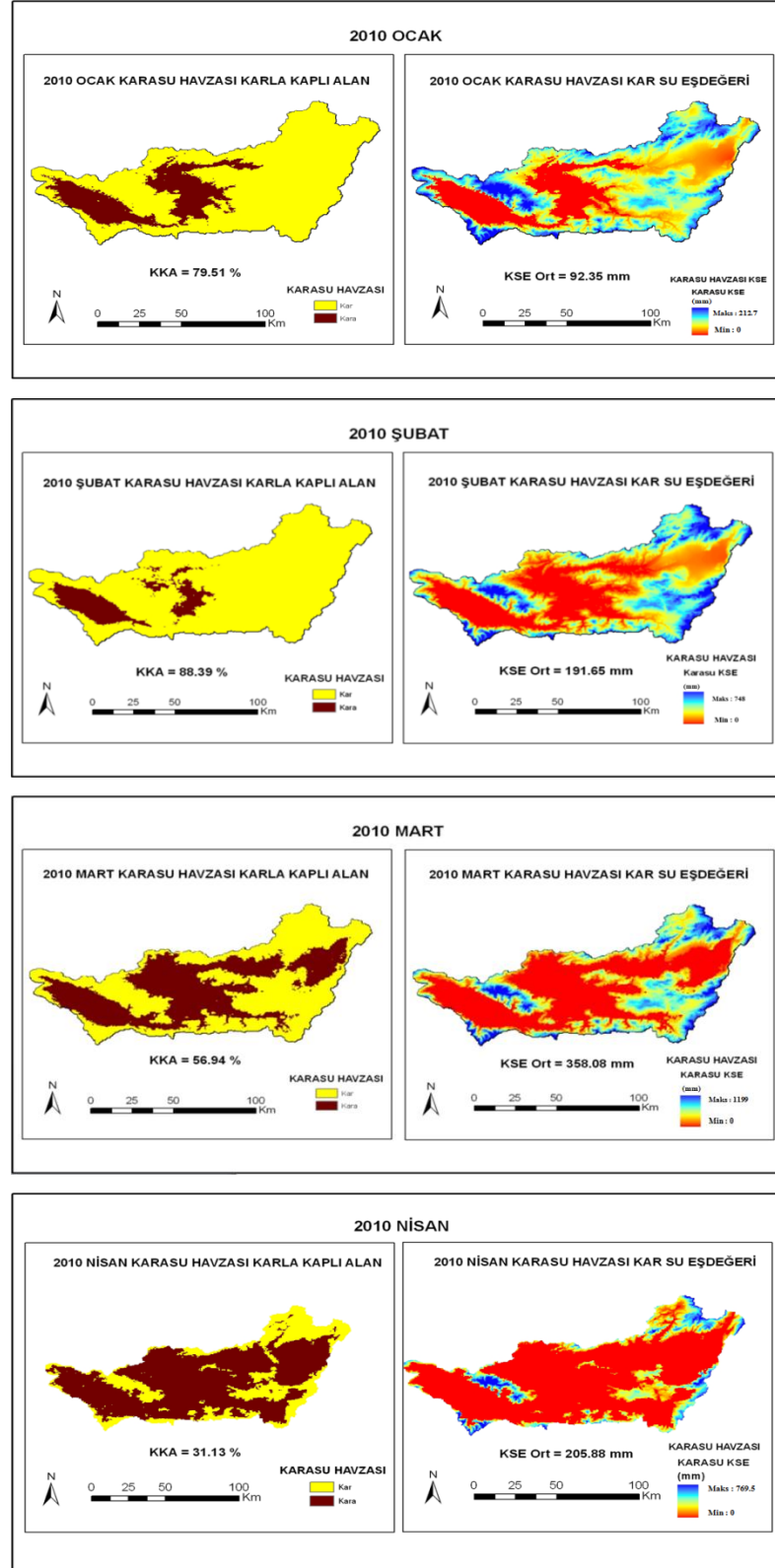
Kar su potansiyeli hesabında Karasu Havzası için ortalama kar su eşdeğeri bilgileri kullanılmaktadır. Bu bilgilerin havza alanı ile çarpılması sonucu Karasu Havzası için dönemsel kar su potansiyeli bilgisi hesaplanmaktadır. Karasu Havzası için hesaplanan dönemsel kar su potansiyel sonuçları Tablo 3.4, Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 ile Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te verilmiştir.



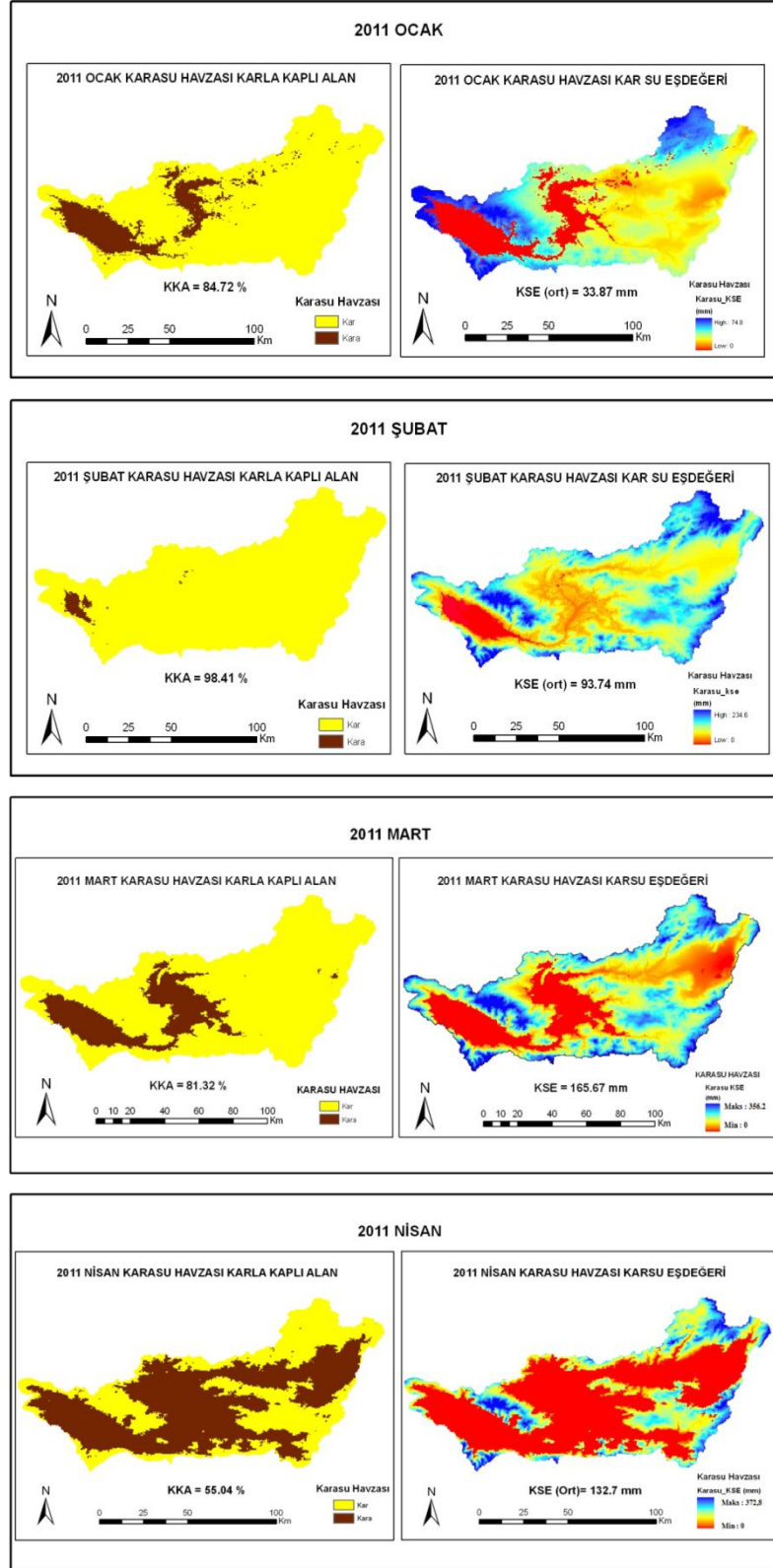
Şekil 3.13 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri , Karasu Havzası, 2008



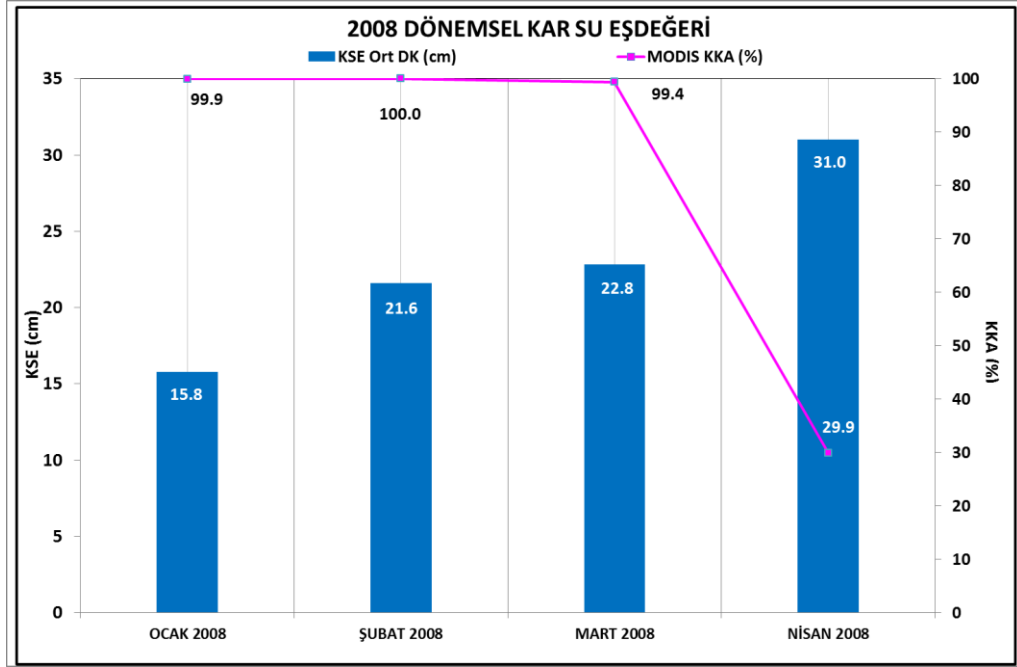
Şekil 3.14 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri, Karasu Havzası, 2009



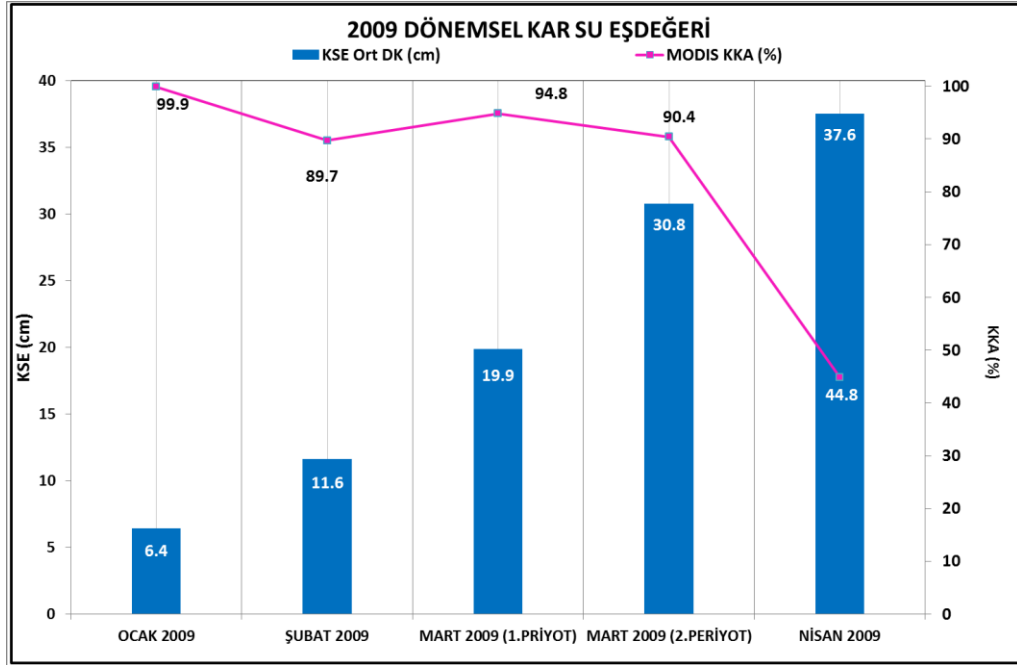
Şekil 3.15 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri, Karasu Havzası, 2010



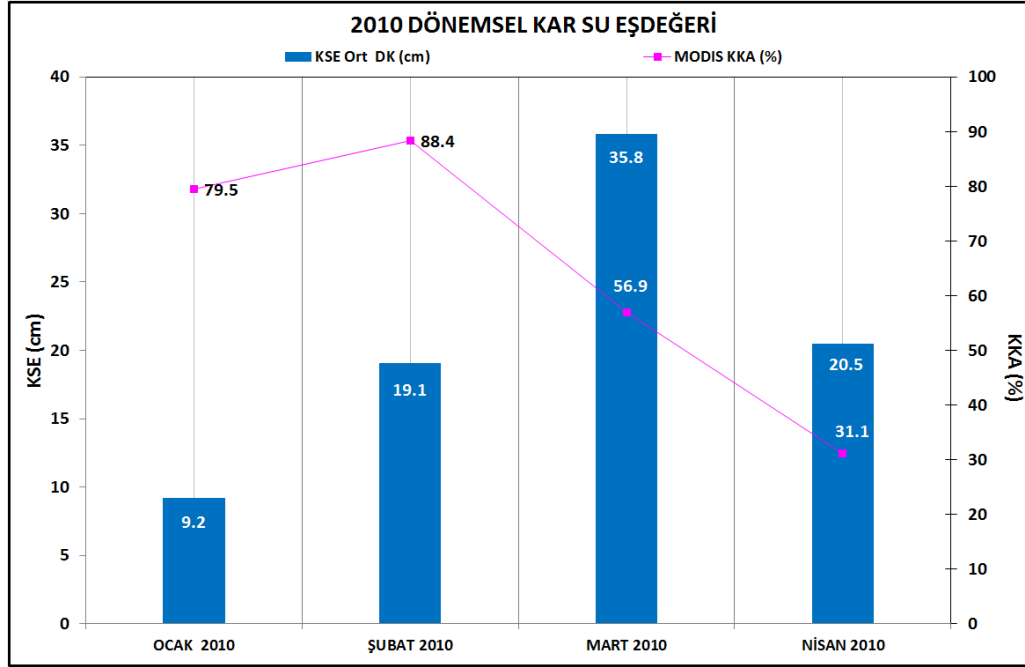
Şekil 3.16 Karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri görüntüleri, Karasu Havzası, 2011



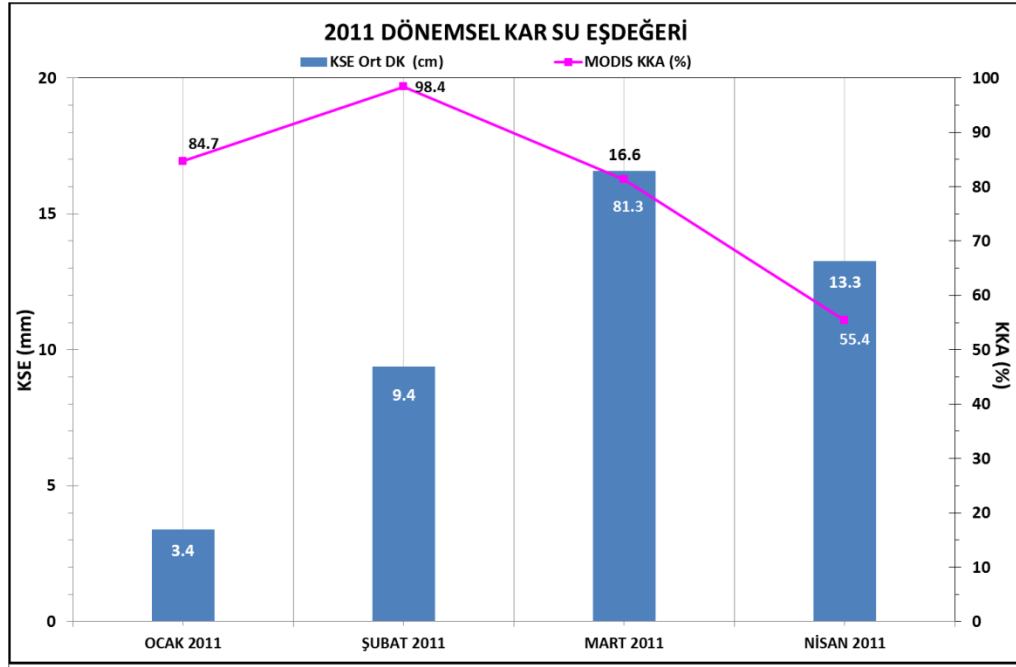
Şekil 3.17 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2008



Şekil 3.18 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2009



Şekil 3.19 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2010



Şekil 3.20 Dönemsel kar su eşdeğeri sonuçları, Karasu Havzası, 2011

Tablo 3.4 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2008

	2008			
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
Karla Kaplı Alan (%)	99.9	100.0	99.4	29.9
Kar Su Eşdeğeri (cm)	15.77	21.61	22.85	31.01
Kar Su Potansiyeli (hm³)	1619	2221	2334	995

Tablo 3.5 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2009

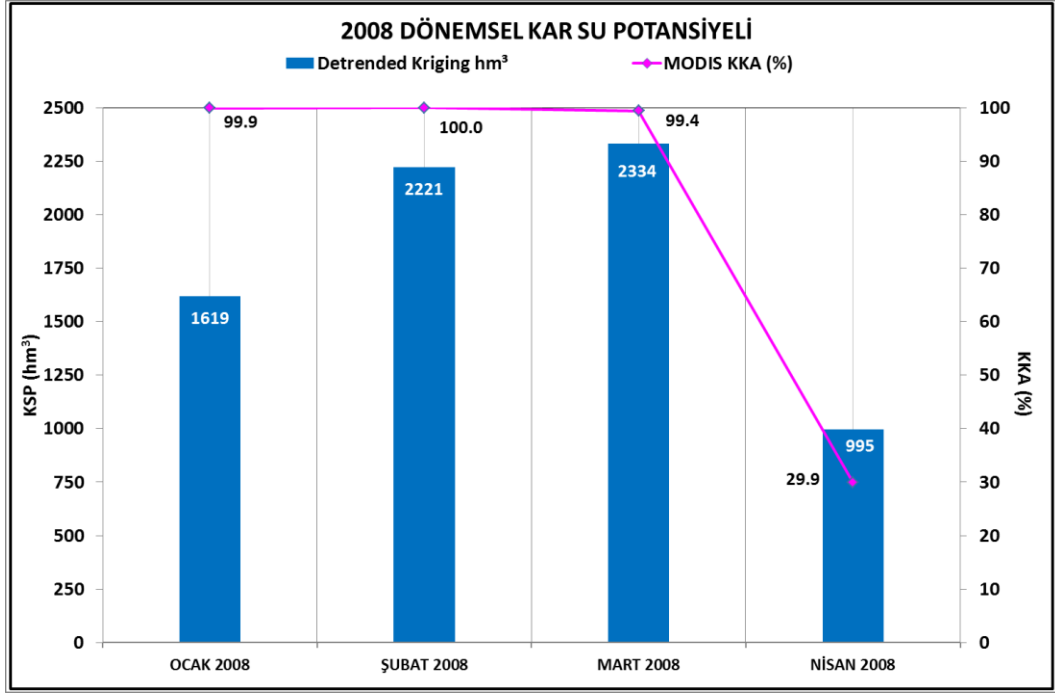
	2009				
	Ocak	Şubat	Mart (İlk yarı)	Mart (ikinci Yarı)	Nisan
Karla Kaplı Alan (%)	99.9	89.7	94.8	90.42	44.8
Kar Su Eşdeğeri (cm)	6.40	11.60	19.80	30.78	37.50
Kar Su Potansiyeli (hm³)	661	1071	1936	2860	1728

Tablo 3.6 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2010

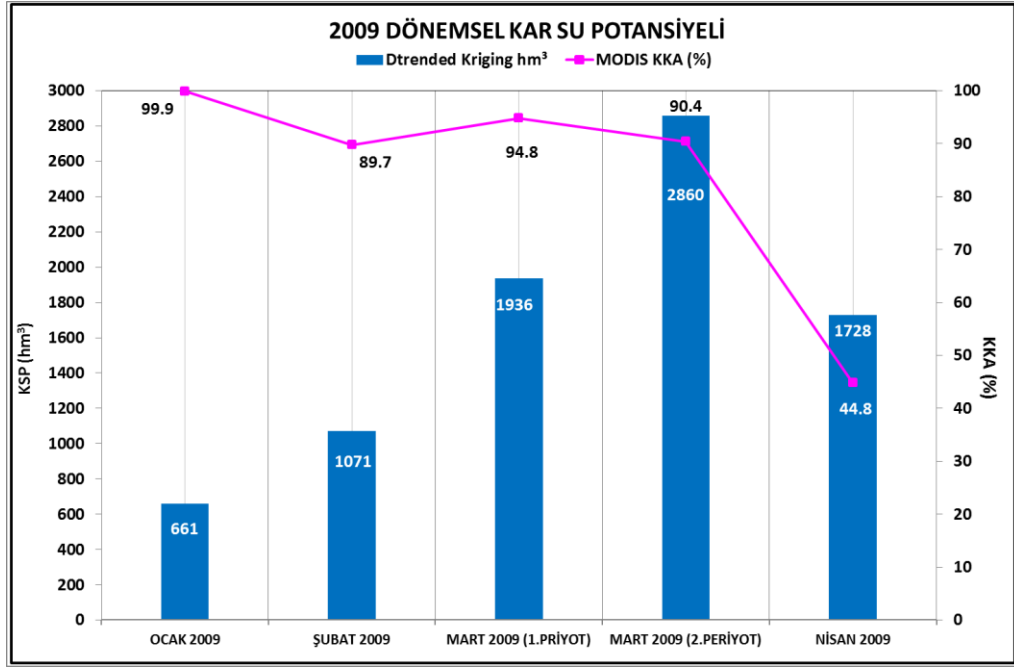
	2010			
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
Karla Kaplı Alan (%)	79.5	88.4	56.9	31.1
Kar Su Eşdeğeri (cm)	9.2	19.1	35.8	20.5
Kar Su Potansiyeli (hm³)	754.5	1740	2094	658

Tablo 3.7 Dönemsel kar su potansiyeli, Karasu Havzası, 2011

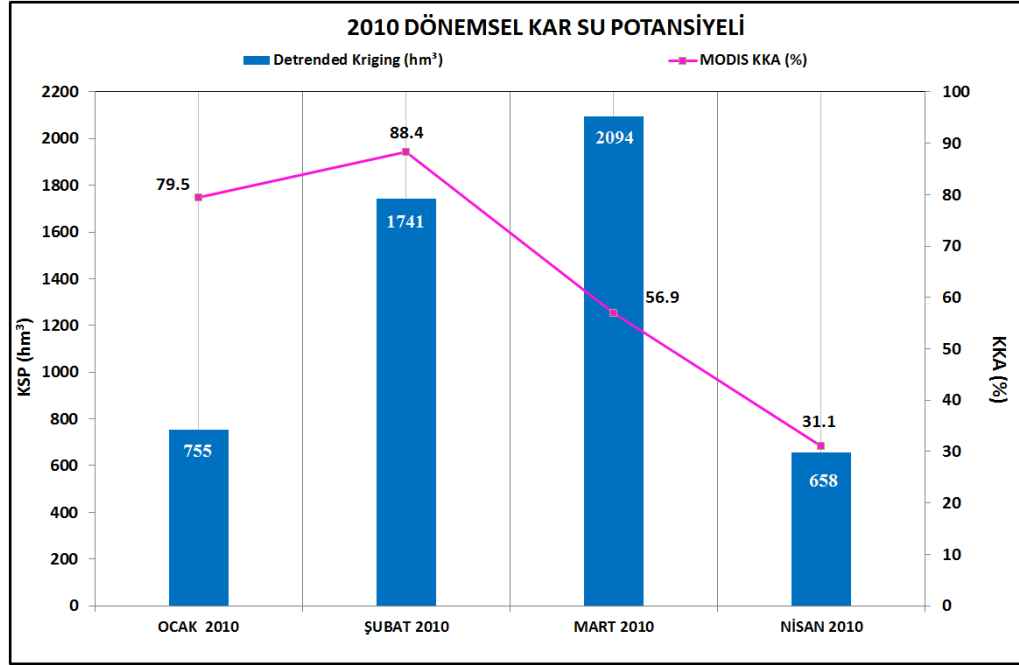
	2011			
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
Karla Kaplı Alan (%)	84.7	98.4	81.3	55.4
Kar Su Eşdeğeri (cm)	3.4	9.4	16.6	13.3
Kar Su Potansiyeli (hm³)	294	947	1384	751



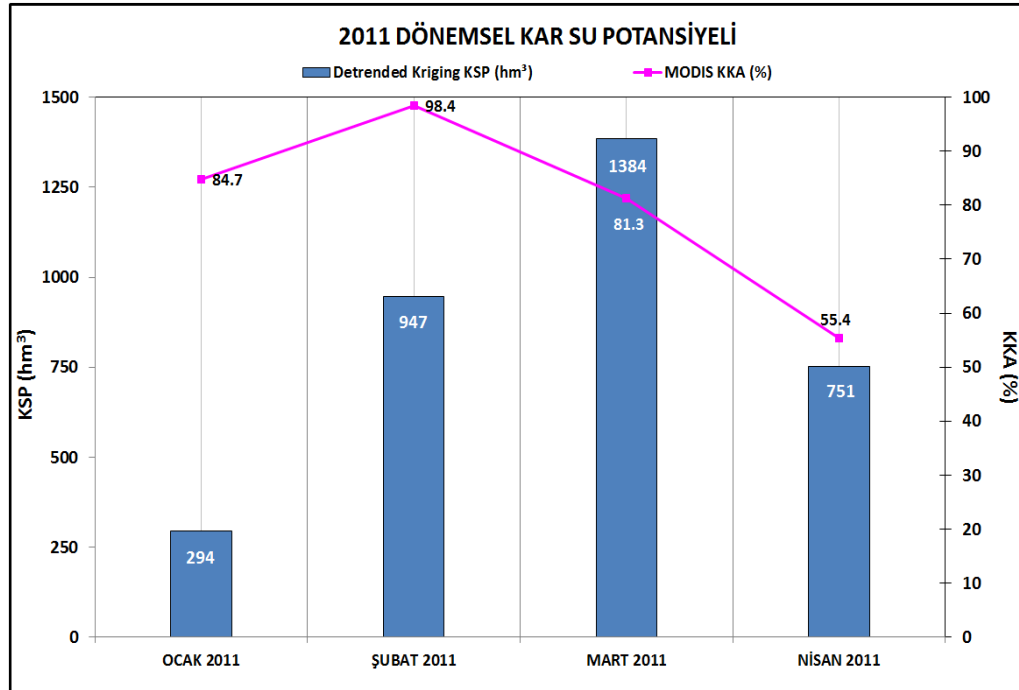
Şekil 3.21 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2008



Şekil 3.22 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2009



Şekil 3.23 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2010



Şekil 3.24 Dönemsel kar su potansiyeli sonuçları, Karasu Havzası, 2011

4. HİDROLOJİK MODELLEME

Hidrolojik modelleme, bir havzada yağış-akış arasındaki ilişkiyi havzanın özelliklerine göre belirlemek için yapılan hesaplardır. Hidrolojik modellemelerde çalışılan alanın yeryüzü olması ve birbirine bağlı olan ve olmayan pek çok etkenin varlığından dolayı bu tür modellemeler; matematiksel modeller olarak oluşturulurlar. Bu sebeple havzada yağış-akış ilişkisini modellemek karmaşık bir işlemdir. 1960'lı yılların başında Crawford ve Linsley (1966) tarafından The Stanford Watershed Model kullanılarak bu karmaşık sistem bilgisayar ortamında basitleştirilmiş matematiksel denklemlerle temsil edilmeye başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda farklı amaçlar için birçok hidrolojik model geliştirilmiştir (Singh 1995; Singh ve Frevert 2002a, 2002b). Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) değişik hidrolojik model kıyaslamalarını 1975 yılında (WMO, 1975), kar modelleri karşılaştırmasını 1986 yılında (WMO, 1986) ve gerçek zamanlı model karşılaştırmasını da 1992 yılında gerçekleştirmiştir (WMO, 1992). Farklı amaçlar, model girdileri ve parametreleri kullanılan hidrolojik modellerin bulunmasından dolayı, bu modeller arasında en iyisini belirlemek kolay değildir.

Derece-gün yöntemi, Dünya Meteoroloji Teşkilatının dağlık havzalardaki kar erimesinden meydana gelen akımın hesaplanmasında kullanımını en çok önerdiği metotlardan biridir (WMO, 1986). Snowmelt Runoff Model, SRM (Martinec, 1975; Martinec ve ark., 1998) ve Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning, HBV (Bergström, 1975; SMHI, 1996) derece-gün yöntemine göre kar erimesi süreçlerini modelleyen iki kavramsal modeldir. Derece-gün yönteminin en büyük avantajı, Karasu Havzası gibi dağlık alanlarda en kolay ve yaygın ölçülebilen değişken olan hava sıcaklığına bağlı çalışmalarıdır. Bu bölümde SRM model yapısı, parametreleri, girdi verileri, modelin kalibrasyon süreci ve çıktı verileri hakkında bilgi verilmektedir.

4.1. Snowmelt Runoff Model (SRM)

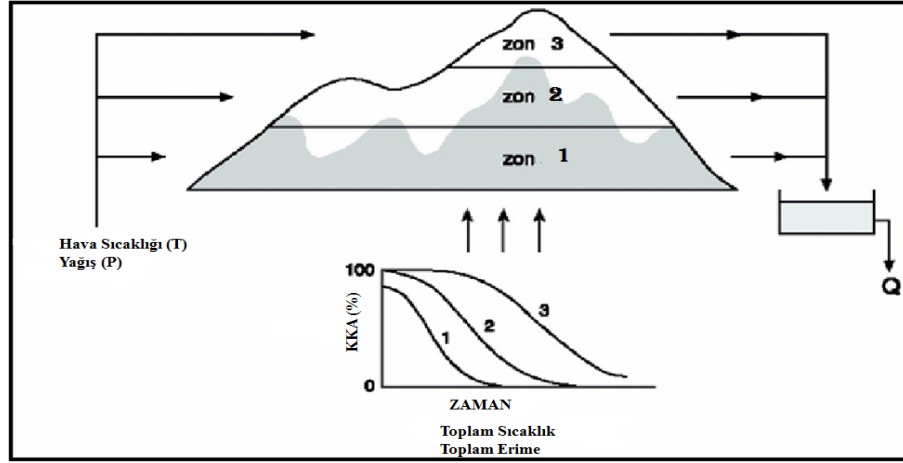
SRM modeli, yağış, hava sıcaklığı ve karla kaplı alan verilerini kullanarak, kar erimesinin önemli olduğu dağlık havzalarda, günlük akım benzeşimi (simülasyon) ve tahmini için kullanılan kavramsal bir yağış-akış modelidir. SRM, Martinec (1975) tarafından öncelikle küçük Avrupa havzaları için geliştirilmiş olsa da karla kaplı alanların uzaktan algılama yöntemleriyle belirlenebilmesi, SRM modelinin günümüzde büyük havzalar için de kullanılabilmesine olanak sağlamıştır. SRM modeli 0,76 km² den 917,444 km² ye kadar değişen alanlarda uygulanmıştır (Martinec, J., ve ark., 1998). SRM modeli, ölçülen ya da tahmin edilmiş bir akım değeri ile modellemeye başlamakta ve gerekli girdi verileri (hava sıcaklığı, yağış, karla kaplı alan) sağlandığı gün boyunca bu modelleme işlemine devam etmektedir. SRM modeli, akım benzetiminin yanı sıra, karla kaplı alana karşılık kar erimelerini de hesaplamaktadır.

4.1.1. Model Yapısı

SRM modelinde bir havzanın modellenmesi için belirli girdi verisi ve parametre değerlerine ihtiyaç vardır. Havzanın her bir zonu için yağış, sıcaklık, alan, yükseklik değerleri ve başlangıç akım değeri modelleme süreci öncesi SRM'e girilmektedir. Yine program çalıştırılmadan önce derece-gün katsayısı (a), yağış ve kar akış katsayıları (C_R , C_S), gecikme zamanı (L), yağmur katkı alanı (RCA), çekilme katsayısı (k), kritik sıcaklık (T_{KRIT}) ve sıcaklık değişme (γ) oranı gibi parametreler modelde belirlenmekte ve kalibrasyon sürecinde akım hidrograflarının benzetimi amacı ile bu parametreler iyileştirilebilmektedir. SRM modeli akım hesaplaması için (4.1)'de gösterilen formül kullanılmaktadır. Bu formüle göre her gün için yağmurdan ve kar erimesinden oluşan akımlar alan değeri ile çarpılarak çekilme katsayısı ile şekillendirilmekte ve havzadan çıkan akıma çevrilmektedir.

Denklem (4.1) içerisinde yağış (P), sıcaklık ($^{\circ}C$), kar kaplı alan değerleri (S), alan (A) ve yükseklik (h) değerleri değişken verilerini oluştururken, erime

katsayısı (α), akış katsayıları (C_R , C_S), sıcaklık değişme oranı (γ), kritik sıcaklık (T_{KRIT}), yağmur katkı alanı (RCA), çekilme katsayısı (k) model parametrelerini oluşturmaktadır. Bu veriler içerisinde yağmur, kar ve sıcaklık verilerinin her gün ölçülmesi veya belirlenmesi gerekirken, parametreler ise havza özelliklerine göre şekillenen değerlerdir.



Şekil 4.1 Snowmelt Runoff Model (SRM) genel yapısı

SRM modelinde kot farkının fazla olduğu bölgelerde (4.2)'ye göre çalışmaktadır. Bu denkleme göre her bir alt bölgeden gelen akım değerinin toplanması ile havza çıkış akım değeri belirlenmektedir. Denklem (4.2) 'de A, B, C, indisleri havzada yükseklik değerlerine göre ayrılan her bir alt bölgeyi ifade etmektedir.

$$Q_{n+1} = [c_{Sn} \cdot \alpha_n (T_n + \Delta T) \cdot S_n + c_{Rn} \cdot P_n] \cdot \frac{A \cdot 100000}{86400} \cdot (1 - k_{n+1}) + Q_n \cdot k_{n+1} \quad (4.1)$$

c = akış katsayısı (C_S kar, C_R yağmur)

Q = Ortalama günlük debi (m^3/s)

α = Derece gün faktörü ($cm/^\circ C.gün$)

S = Karla kaplı alan

T = Derece gün sayısı ($^\circ C.gün$)

ΔT = Yüksekliğe bağlı sıcaklık farkı ($^\circ C$)

P = Akışa katılan yağış (cm)

A = Havza veya zonun alanı (km^2)

k = Çekilme katsayısı

n = gün

$n+1$ = hesap yapılan gün

$$Q_{n+1} = \left\{ [C_{SA_n} \cdot a_{An} (T_{An} + \Delta T_{An}) \cdot S_{An} + C_{RA_n} \cdot P_{An}] \cdot \frac{A(A) \cdot 10000}{86400} + \right. \\
\left. [C_{SB_n} \cdot a_{Bn} (T_{Bn} + \Delta T_{Bn}) \cdot S_{Bn} + C_{RB_n} \cdot P_{Bn}] \cdot \frac{A(B) \cdot 10000}{86400} + \right. \\
\left. [C_{SC_n} \cdot a_{Cn} (T_{Cn} + \Delta T_{Cn}) \cdot S_{Cn} + C_{RC_n} \cdot P_{Cn}] \cdot \frac{A(C) \cdot 10000}{86400} \right\} \cdot (1 - k_{n+1}) + Q_n \cdot k_{n+1} \quad (4.2)$$

SRM, modellenecek havzanın bazı topoğrafik karakteristiklerine ihtiyaç duymaktadır. Bu havza karakteristikleri havzanın yükseklik zonları ile ilgili yükseklik ve alan bilgisidir. SRM simülasyonları için yükseklik farkının 500 metreye yakın olmasını tavsiye etmektedir (Martinec ve ark., 1998). Yükseklik alt bölgeleri belirlendikten sonra ise bu bölgelerin ortalama yükseklikleri ve alanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerler ise havzaya ait yükseklik-alan (hipsometri) eğrisinin yardımıyla belirlenebilir. Karasu Havzasının yükseklik bölgeleri Şekil 2.4'te tüm havza ve alt bölgelere ait hipsometri eğrileri Şekil 2.5 (a) ve (b)'de görülmektedir. Bu eğrilere göre havza veya alt bölgelerin ortalama yükseklikleri, grafiklerin yatay ekseninde yer alan altında veya üstünde kalan alan kısmının % 50'sine denk gelen yükseklik değeridir. Böylelikle tüm havzaya veya alt bölgelere ait alansal ortalama yükseklik belirlenmiş olur. Ortalama kotlar (h_{ort}), yükseklik zonlarına ait derece gün sayılarının ($T + \Delta T$) hesaplanması için kullanılmaktadır. Havzanın alt bölgelere bölünmesi, her bir alt bölge için girdi verileri ve alt bölgelerin karakteristiklerine göre parametre değerlerinin girilmesini gerektirmektedir.

Değişkenler

SRM, kar erimesine bağlı olarak simülasyon yapan bir modeldir. SRM kar erime miktarını her bir alt bölgede hesaplamak için günlük ortalama hava sıcaklığı (T_{ort}) değerini ve kar erime katsayısını kullanmaktadır. SRM modeline günlük ortalama sıcaklık değeri girilmediği durumda günlük minimum (T_{min}) veya günlük maksimum (T_{max}) sıcaklık değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Bu iki değerin girildiği durumlarda SRM modeli bu değerleri kullanarak (4.3)'e göre günlük ortalama sıcaklık değerini hesaplamaktadır.

SRM modeli, sıcaklık değerinin alt bölgeler yerine tüm havza için girildiği durumlarda, sıcaklık-yükseklik ilişkisini göz önüne alarak sıcaklık değişme oranına göre sıcaklık değerlerini alt bölgelere dağıtmaktadır. Model bu işlemi (4.4) 'e göre yapmaktadır. Günlük ortalama sıcaklık değeri ($T_{ort} + \Delta T$), bir alt bölge için pozitif değere sahip olduğu durumlarda SRM kar erimesi hesaplamaktadır ancak bu değer negatif olduğu durumlarda model o güne ait kar erimesini vermemektedir.

$$T_{ort} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad (4.3)$$

$$\Delta T = \gamma (h_{st} - h_{ort}) \frac{1}{100} \quad (4.4)$$

γ = sıcaklık değişme oranı (°C/100 m)

h_{st} = sıcaklık ölçüm istasyon kotu (m)

h_{ort} = yükseklik zonu ortalama kotu (m)

Karasu Havzası için kullanılan sıcaklık değerleri, bölgede bulunan AWOS ve KLİMA istasyon değerlerinin havza üzerinde alansal dağıtılması ile elde edilmektedir. Böylelikle Karasu Havzasının alt bölgeleri için dağıtılmış sıcaklık değerleriyle SRM modeline girdi verisi elde edilmektedir.

Dağlık havzalarda alansal yağış dağılımının ifade edilmesi zordur. Havzanın büyüklüğüne ve topoğrafik durumuna bağlı olarak yağış değerleri çok değişken olabilmektedir. Yağış olayının havza üzerinde daha iyi temsiliyeti için, ölçüm istasyonlarının alan ve yükseklik bakımından yeterli sayıda olması gerekmektedir.

Yağış değerleri modele tüm havza (option 0) olarak ya da her bir alt bölge (option 1) için ayrı ayrı girilebilir. Yağış değerinin alt bölgeler bazında işleneceği durumda, her alt bölge için yağış değerinin modele girilmesi gerekmektedir. Herhangi bir alt bölgeye yağış verisinin girilmemesi durumunda o bölge yağış olarak temsil edilemeyecektir.

SRM'de yağışın türünü belirlemek için kullanılan bir parametre bulunmaktadır. T_{KRIT} parametresi ile yağışın sıcaklığa bağlı olarak yağmur ya da kar olduğu belirlenmektedir. Model, girilen T_{krit} değeri ile o güne ait günlük ortalama sıcaklık değerini kıyaslayarak yağışın ne türde olduğunu belirlemektedir. $T < T_{krit}$ olduğu durumda yağış kar şeklindeyken, $T > T_{krit}$ olduğu durumlarda ise yağış yağmur şeklindedir. Bu şekilde belirlenen yağış türü model tarafından,

yağışın kar örtüsü üstüne ya da karsız alana düşmesi durumuna göre anında veya yeterli derece-gün katsayısı olduğu zaman akıma katılmaktadır. Bu ayrımın yapılmasını sağlayan yağmur katkı alanı (RCA) parametresi ilerleyen konularda anlatılacaktır.

Yağışın aşırı şiddetli olduğu durumlarda SRM, yağışın akış üzerine daha etkili yansımaları için yağış eşik değeri kullanmaktadır. Bu değer programa başlangıç aşamasında girilmektedir. Modelleme sürecinde yağışın bu eşik değerinden fazla olduğu günlerde akım piklerinin daha iyi ifade edilebilmesi için çekilme katsayısı model tarafından azaltılmaktadır.

Karasu Havzası için kullanılan yağış değerleri, bölgede bulunan AWOS ve KLİMA istasyon değerlerinin havza üzerinde alansal dağıtılması ile elde edilmektedir. Böylelikle Karasu Havzasının alt bölgeleri için dağıtılmış yağış değerleri elde edilmektedir.

SRM'e günlük olarak girilen bir diğer değişken ise karla kaplı alan bilgisidir. Karla kaplı alan bilgisi havza üzerindeki kar örtüsünün zamansal ve mekansal olarak değişimini ifade eden bir terimdir. Karla kaplı alan, işlenecek modele göre havza veya havzanın alt bölgeleri için ayrı ayrı girilebilmektedir. Karla kaplı alan bilgisi, kar erimesinden gelen suyun miktarını belirlemek için kullanılmaktadır. Karla kaplı alan bilgisi yer gözlemiyle, hava fotoğraflarıyla veya uydu görüntüleriyle belirlenebilmektedir. Günümüz teknolojisinde uzaktan algılama tekniklerinin gelişimi ile karla kaplı alanlar en etkin olarak uydu görüntüleri ile belirlenebilmektedir. Özellikle mekansal ve zamansal çözünürlükleri yüksek olan karla kaplı alan bilgisi ile modelleme verimi daha da artırılabilir. Karasu Havzasında kullanılan karla kaplı alan bilgisi için MODIS uydusunun Terra ve Aqua platformlarından elde edilen 500 m yersel çözünürlükteki görüntüleri kullanılmıştır. Bu konuyla ilgili açıklama Bölüm 3'te anlatılmıştır.

SRM'de çıktı ürünleri arasında yer alan modifiye kar çekilme eğrileri karla kaplı alanlar baz alınarak üretilmektedir. Modifiye kar çekilme eğrileri model simülasyonu sonucu havza çapında yada her bir alt bölge için kar su eşdeğerinin hesaplanmasında kullanılan eğrilerdir. Modifiye kar çekilme eğrisinin bir ekseninde karla kaplı alan değişimi yer alırken diğer ekseninde ise bu değişime

karşılık gelen toplam kar erimesi yer almaktadır. Bu eğrinin altında kalan alanın hesaplanması ile havza veya alt bölgeler için kar su eşdeğeri hesaplanabilmektedir.

Parametreler

SRM modelinde girdi olarak verilen ve modelin kalibrasyon sürecinde değiştirilebilen 8 model parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler geçmiş yıl verilerine göre kalibre edilmiş ya da optimize edilmiş veriler değillerdir. Parametre değerleri simülasyon sürecinde kalibre edilmektedir. Sekiz ayrı parametre havza karakteristiğine göre kendi sınırları içerisinde değerler alabilen verilerdir. Bu parametreler:

Kar Akış Katsayısı (C_S)	Yağmur Akış Katsayısı (C_R)
Derece Gün Katsayısı (a) [$\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]	Kritik Sıcaklık (T_{krit}) [$^\circ\text{C}$],
Yağış Katkı Alanı (RCA)	Çekilme Katsayısı (k)
Sıcaklık Değişme Oranı (γ)	Gecikme Zamanı (L) [hr]

Akış katsayıları havza çıkış akımı ile kar erimleri ve yağmurdan gelen su arasındaki değişimi (yağış-akış arası kaybı) hesaplamak için kullanılan parametrelerdir. Akış parametresi bir başka ifade ile akışa geçen akım miktarı ile toplam yağış miktarının oranlanması sonucu bulunmaktadır. SRM akış katsayıları için iki farklı parametre uygulamaktadır. Bu parametrelerden C_S kar erimleri sonucu oluşan kayıplar ve C_R ise yağmur yağışlarından dolayı oluşan kayıplar için kullanılmaktadır. Bu parametrelerin formülleri (4.5) ve (4.6)'da görülmektedir.

$$C_S = \frac{\text{Akıma katılan kar erime hacmi}}{\text{Toplam kar hacmi}} \quad (4.5)$$

$$C_R = \frac{\text{Akıma katılan yağmur hacmi}}{\text{Toplam kar hacmi}} \quad (4.6)$$

Akış katsayıları havzanın karakteristiğine göre zaman içerisinde değişiklik gösteren parametrelerdir. Kar erimelerinin yeni başladığı dönemde özellikle de yüksek rakımlı bölgelerde kar yüzeyinde gerçekleşen buharlaşmanın az olmasından dolayı kayıplar da azdır. Bu dönemde kayıpların az olmasına bağlı

olarak akış katsayıları yüksek değer almaktadır. Erime döneminin orta kısımlarında erime miktarının artmasına bağlı olarak yüzeysel toprak nemliliği ve bitki örtüsü gelişimi artmaktadır. Bu durum ise buharlaşma ve sızma miktarının artmasına sebebiyet vererek kayıpların da artmasına yol açmaktadır. Bu dönemde ise akış katsayıları düşük olmaktadır. Akış katsayıları aynı dönem içerisinde yağmur ve kar için de değişiklik gösterebilmektedir. SRM modellemesinde akış katsayıları kontrol edilmesi gereken parametrelerin başında yer almaktadır.

Derece-Gün (Erime) Katsayısı (α)

Derece-gün katsayısı kar erimelerinden oluşan kar suyu miktarının hesaplanmasında kullanılan parametredir. Bu katsayı, derece-gün değerleri ile kullanılarak günlük erime miktarını hesaplamaktadır (4.7).

$$M = \alpha * T \quad (4.7)$$

α = derece-gün katsayısı (cm/°C.gün) T = derece-gün sayısı (°C.d)

Bu parametrenin belirlenmesi ve model sonuçlarının daha tutarlı olması arazi üzerinde kar örtüsünde yapılacak yoğunluk ve derinlik çalışmaları ile sağlanabilir. Arazi üzerinde çalışma yapılamadığı durumlarda veya arazi kar örtüsü ile ilgili detaylı verinin olmadığı durumlarda derece-gün katsayısının belirlenmesi ampirik bir denklemlerle sağlanabilir (Martinec, 1998), (4.8).

$$\alpha = 1.1 \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (4.8)$$

ρ_s = kar yoğunluğu ρ_w = su yoğunluğu

Derece gün katsayısı havzanın karakteristiğine göre zamanla değişim gösteren bir katsayıdır. Kar yoğunluğunun arttığı, kardan yansımayı ifade eden albedonun azaldığı durumlarda kar içerisindeki su miktarı artmaktadır. Bu durumda derece-gün katsayısı da artış göstermektedir. Kar erime sezonunun sonuna doğru kar örtüsü yoğunluğu artacağı için erime sezonunun başında düşük olan derece-gün katsayısı erime sezonu sonuna doğru artma eğiliminde olacaktır. Kar erime dönemlerinin sonunda havzanın fiziksel şartları ve iklimde bölgesel değişikliklere bağlı olarak kar yağışları gerçekleşebilir. Bu gibi durumlarda havza üzerinde albedosu yüksek, yoğunluğu ise düşük olan kar örtüsü bulunacağından

derece-gün katsayısı da düşebilir. SRM ile hidrolojik modelleme yapılacağı zaman bu gibi fiziksel durumlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

SRM modeline derece-gün katsayısı günlük olarak girilmektedir. Modelde derece-gün katsayısının kalibre edilmesinden önce diğer girdi ve parametre setleri kontrol edilmeli veya kalibre edilmelidir. Bunun nedeni derece-gün katsayısının bir havza için belirli aralıklarda değişiklik göstermesidir ve bu değişikliğin havza üzerindeki kar örtüsünün yoğunluğuna göre şekillenmesidir.

Çekilme Katsayısı (k)

Çekilme katsayısı (k), bir güne (n) ait akım değerinin, bir sonraki gün (n+1) akım değeri ile olan ilişkisini belirleyen parametredir. Denklem (4.1)'de görüleceği üzere (1-k), akıma etkisi doğrudan görülen günlük kar erimesi oranı olduğu için çekilme katsayısı SRM için önemli bir parametredir. Çekilme katsayısı bir önceki yıl akım değerleri kullanılarak (4.9), (4.10) ve (4.11)'e göre belirlenebilir.

$$k = \frac{Q_{(n+1)}}{Q_n} \quad (4.9)$$

$$k_{n+1} = x \cdot Q_n^{-y} \quad (4.10)$$

$$k_1 = x \cdot Q_1^{-y}$$

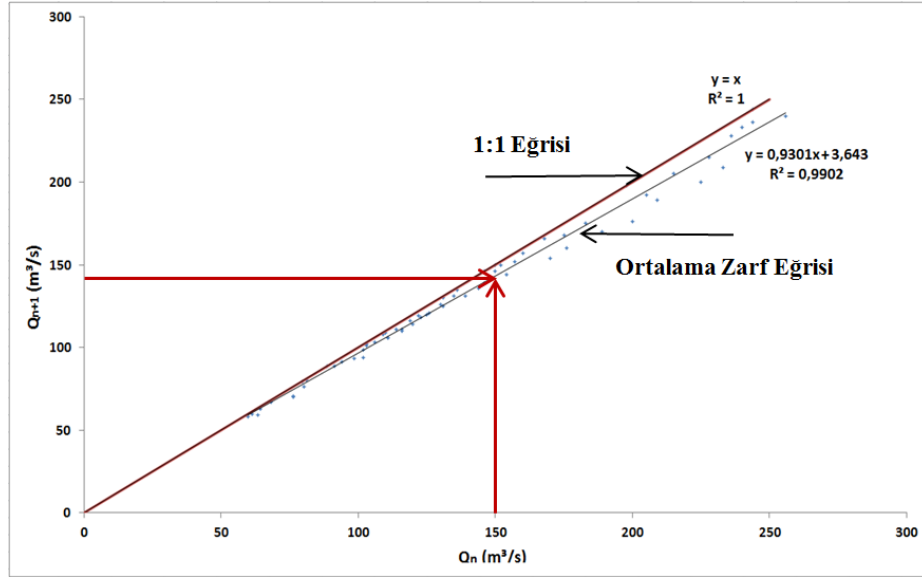
$$k_2 = x \cdot Q_2^{-y}$$

$$\overline{\log k_1} = \log x - \log y \cdot Q_1$$

$$\log k_2 = \log x - \log y \cdot Q_2 \quad (4.11)$$

Çekilme katsayısı belirlenirken kullanılacak olan akım değerleri Q_{n+1} ve Q_n şeklinde grafik üzerine çizdirilmesi gerekmektedir (Şekil 4.2). Bu grafik üzerindeki noktasal akım değerlerini kapsayacak en düşük zarf eğrisi denklemi çekilme katsayısı (k) denkleminde yer alan Q_{n+1} 'in yeni değerini belirleyecek olan denklemdir. Yeni Q_{n+1} değerleri ile Q_n oranından ise çekilme katsayısı (k) bulunmaktadır. Bu işlemin birden çok Q_n değeri için yapılmasıyla birden fazla çekilme katsayısı elde edilecektir. Bu katsayıların ortalama değerinin alınmasıyla

o su yılının akım hidrografı daha iyi temsil edilecektir. Çekilme katsayısı ile SRM'e "x" ve "y" olarak girilen parametreler (4.10)'a göre hesaplanır.



Şekil 4.2 x ve y sabitlerinin bulunması için kullanılan çekilme (k) grafiği, Karasu Havzası, 2009

Bu çalışmada geri çekilme grafikleri oluşturulurken 1997 ile 2010 arası su yıllarının akım hidrografları kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda akım hidrograflarının model kalibrasyon süreci içerisindeki düşüş gösteren kısımları kullanılmıştır. Bu kısımların kullanılması ile oluşturulan tablolarda $\{Q_{(n+1)} - Q_n\}$ işleminin sonucu negatif olan değerler grafik üzerine çizdirilmiştir. Bu grafik üzerine eğimi 1 olan 45° derecelik bir zarf eğrisi çizdirildiğinde $\{Q_{(n+1)} - Q_n\}$ sonucu oluşan her bir değer bu zarf eğrisi altında kalmıştır. Bu noktalara çizdirilecek ortalama zarf eğrisi denklemi yeni Q_{n+1} değerlerinin hesabında kullanılmıştır. Q_{n+1} ve Q_n değerlerinin oranı k değerlerini, k değerleri ile ise "x" ve "y" parametreleri hesaplanmıştır. Çekilme katsayısı yüksek akım değerlerinde küçük iken, küçük akım değerlerinde büyümektedir (Şekil 4.2).

Kritik Sıcaklık (T_{krit})

Kritik sıcaklık (T_{krit}), model uygulamasında havza üzerine düşen yağışın türünü belirlemede kullanılan parametredir. Bu parametreye verilecek olan eşik değeri ile yağışın yağmur ya da kar olduğu belirlenir. Bu parametre, kar örtüsünün

erimesinde ve birikmesinde SRM için oldukça önemli yer tutmaktadır. SRM modeli, ortalama sıcaklık ve T_{krit} arasında bir ilişki kurmaktadır. Bu ilişkiye göre:

- ♠ $T_{ort} > T_{krit}$, yağış yağmur olarak tanımlanmaktadır.
- ♠ $T_{ort} < T_{krit}$, yağış kar olarak tanımlanmaktadır.

Yağışın yağmur olması durumunda, yağış doğrudan akıma etki etmektedir. Yağışın kar olması durumunda yağışın birikmesi ve uygun sıcaklık değerinde eriyerek akıma katılması sağlanır. Kritik sıcaklık değeri, havzadaki meteoroloji istasyonlarının geçmiş yağış ve sıcaklık kayıtlarından belirlenebilir. Meydana gelen yağışlar ile aynı zamandaki sıcaklık değerleri karşılaştırılarak kritik sıcaklık değerinin alabileceği değerler bulunabilmektedir. Kritik sıcaklık kar birikme döneminin başlangıcında daha büyük bir değer alırken, erime dönemi sonlarına doğru 0°C 'ye yakın değerler almaktadır. Bu açıdan da T_{krit} parametresinin uzun dönem modelleme çalışması yapılan havzalar için zamanla değişiminin SRM'ye girilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada T_{krit} değeri tüm su yılları için 0°C olarak alınmıştır. T_{KRIT} parametresinin çalışma üzerine etkisinin incelenmesi için bazı yılların modellenmesinde belirli kısımlarında T_{krit} değeri için 0°C 'dan farklı değerler girilmiştir. Ancak parametrenin değerinin değiştirilmesinin simülasyon üzerinde etkisi az olmuştur.

Sıcaklık Değişme Oranı (γ)

Sıcaklık değişme oranı, yüksekliğe bağlı olarak sıcaklığın değişimini ifade eden bir parametredir. Bu parametre değeri, farklı topoğrafik ve iklim şartlarında farklı değerler almaktadır. Özellikle en çok havanın nem durumuna bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık değişim oranının yaygın olarak kullanılan ortalama değeri $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 'dir.

SRM modelinde sıcaklık değişim oranı yüksekliğin artmasına bağlı olarak sıcaklığın azalma miktarını ifade etmek için kullanılmaktadır. Modellenen havza üzerinde farklı yüksekliklerde yeterli sayıda istasyon bulunması durumunda sıcaklık değişme oranı, geçmiş yılların verilerinden faydalanılarak belirlenebilir. Modellenen havzada ölçüm istasyon verisinin yetersiz olması durumunda ise

sıcaklık değişme oranı, bilinen benzer özellikteki havzalardan benzeştirme yolu ile belirlenebilir. SRM’de sıcaklık değişim oranı için iki farklı seçenek sunulmaktadır. Sıcaklık değişim oranı havza çapında veya yükseklik zonlarına ayrı olarak girilebilmektedir.

Yapılan çalışmada Karasu Havzası modellemesi için zonlar bazında dağıtılmış günlük ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Her bir zonun günlük ortalama sıcaklık değerinin bulunması, modele herhangi bir sıcaklık değişim oranının girilmesi durumunu ortadan kaldırmıştır.

Yağmur Katkı Alanı (RCA)

Havza üzerine düşen yağmurun akıma katılma zamanı, havza üzerinde bulunan kar örtüsünün yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Doygun halde bulunan kar örtüsünün yoğunluğunun fazla olması ve içerisinde bulunan boşlukların su ile dolu olmasından dolayı, böyle bir alan üzerine düşecek yağmurdan gelen su kısa bir süre içerisinde akıma katılacaktır. Yeni oluşmuş kar örtüsünde ise yoğunluğun az olması ve boşlukların hava ile dolu olmasından dolayı yağmurdan gelen suyun akıma katılması biraz daha geç olacaktır. SRM modelinde yağmurlu günlerde, kar örtüsünden suyun akıma katılıp katılmayacağını belirlemek amacı ile yağmur katkı alanı (RCA) parametresine ihtiyaç duyulmaktadır. RCA parametresi, SRM modelinde yağış türü T_{krit} ile yağmur olarak belirlendikten sonra, yağmurun düştüğü alana göre bu yağmurun ya doğrudan akıma katılmasını ya da kar örtüsü üstünde depolanmasını belirlemektedir. SRM modelinde bu uygulama için iki seçenek bulunmaktadır. Bunlar:

- ♠ RCA = 0, yağmurun akıma katkısı yalnızca karsız alanlarla sınırlıdır.
- ♠ RCA = 1, yağmur tüm bir havza üzerinden akıma katılmaktadır.

Yağmur yağışının akıma katılımı yalnızca yağış yüksekliği, yağmur akış katsayısı (c_r) ve yağmur katkı alanına (havza alanı, karla kaplı alan) bağlıdır. Yağmurun kar örtüsünü eritme etkisi, küçük olduğu kabul edildiğinden, SRM hesaplamalarında kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada, her bir su yılı ve beş farklı yükseklik zonu için kar erimelerinin başladığı dönem RCA'nın "0" dan "1" durumuna geçiş dönemi olarak alınmıştır.

Gecikme Zamanı

Gecikme zamanı havza üzerine düşen yağmurun veya kar erimesinden meydana gelen suyun, akım ölçüm noktasına ulaşması gereken süreye verilen isimdir. Parametrenin değeri; modellenen havzada, sıcaklığın yükselmeye başladığı zaman ile hidrografın yükselmeye başladığı zaman arasındaki farktır. Gecikme zamanı parametresi havzaya ait yağış ve akım bilgileri ile belirlenebilir. Havzaya ait hidrografın bulunmaması durumunda veya memba tarafında hidrografi etkileyebilecek bir yapının bulunmasından dolayı gecikme zamanı belirlenemiyor ise, gecikme zamanı havza büyüklüğüne göre, diğer havzalar ile benzeştirilerek, tahmin edilebilir. Karasu Havzası için yapılan bu çalışmada gecikme zamanı havza ile ilgili geçmiş yıl hidrolojik model çalışmaları baz alınarak 14 saat olarak alınmıştır.

Model Doğruluğunun Değerlendirilmesi

SRM programı, ölçülen hidrograf ile hesaplanan hidrografın görsel olarak karşılaştırılmasını sağlayan bir ara yüze sahiptir. Modelin bu özelliği sayesinde akım hidrografları arası sapma daha net belirlenebilmekte ve yapılan simülasyonun başarı durumu gözlenebilmektedir. Böylelikle model girdileri ve parametre değerlerinin simülasyon üzerine etkileri ve havzayı ne derece temsil ettikleri daha net bir şekilde irdelenebilmektedir. SRM'de bu görsel kıyaslamanın haricinde ölçülen ve hesaplanan hidrografların benzerlik derecesini belirleyen bir katsayı (R^2) Nash ve Sutcliffe (1970) ve hidrograflar arası toplam hacim farkını belirten bir yüzdesel oran (D_v) çıktı ürünü olarak verilmektedir. Bu katsayıların denklemleri (4.12) ve (4.13)'te yer almaktadır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^n (Qg - Qh)^2}{\sum_1^n (Qg - \bar{Q})^2} \quad (4.12)$$

R^2 = belirlilik katsayısı Q_h = Hesaplanan akım değeri
 Q_g = Ölçülen akım değeri $\bar{Q}$ = Günlük ortalama akım değeri n = gün sayısı

$$D_v = \frac{Vg - Vh}{Vg} * 100 \quad (4.13)$$

D_v = Ölçülen ve hesaplanan akımın toplam hacim farkı (%)
 Vg = Ölçülen akım hacmi Vh = Hesaplanan akım hacmi

4.1.2. Model Kalibrasyonu

Hidro-meteorolojik çalışmalarda hidrolojik model kullanımının artması, bu konuda çalışan bilim insanlarını karmaşık problemlerin çözümüne teşvik etmekte ve yeni veri kaynaklarının kullanılmasını sağlamaktadır. Hidrolojik model yapıları ancak verilerin ve parametrelerin doğruluğu kadar güvenilir olabilmektedir. Hidrolojik modeller matematiksel formül tabanlı oluşturulmuş olsa da hidrolojik olayların simülasyonunun ve tahminin doğru yapılabilmesi için basit olması gerekmektedir. Model yapılarının genellikle doğru olduğu ve model girdi ve parametre verileri için dikkat ayrılması gerektiği kabul edilmektedir (Yapo, 1996).

Model uygulamalarında hangi parametre değerlerinin kullanılabilir olduğunu anlamak için birçok teknik bulunmaktadır. Bunlar bazıları:

- ♠ Arazi ölçümleri
- ♠ Kalibrasyon

Model uygulamaları için parametre değerlerinin arazi ölçümleri veya geçmiş yıl verileri ile elde edilmesi daha çok istenilen bir durum olmasına rağmen, gerçekte bir çok model parametresi için kalibrasyona ihtiyaç vardır.

Hidrolojik model kalibrasyonu, model çıktıları ile ölçülen verileri birbirine benzetmek amacı ile bazı veya bütün parametrelerin sistemli bir şekilde düzeltilmesi işlemidir. Kalibrasyon işlemindeki temel amaç parametreler

üzerindeki belirsizliği azaltmak ve bu parametreleri havzayı temsil edecek değerlere ulaştırabilmektir. Kalibrasyon çalışmalarında maksimum belirsizlik parametrelerin başlangıç durumlarında olurken, kalibrasyon sonucu oluşturulan parametre setine ulaşıldığında parametreler üzerindeki belirsizlikler azalır. Kalibrasyon işlemi kendi içerisinde manuel ve otomatik kalibrasyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada SRM ile yapılan hidrolojik model simülasyonlarında tüm su yılları için manuel kalibrasyon işlemi yapılmış ve parametre setleri oluşturulmuştur.

Manuel Kalibrasyon

Manuel kalibrasyon, model çıktısı ile ölçülen veriler arasındaki benzerlik durumuna göre parametreler üzerinde çeşitli öznel düzenlemelerin yapıldığı işlemidir. Manuel kalibrasyon işlemi yapılan düzenlemeler ile daha verimli parametre setleri oluşturulabilmektedir. Manuel kalibrasyon işlemi, parametre sayısına ve bu parametrelerin birbiri ile etkileşimine bağlı olarak zaman alıcı ve yorucu bir işlemidir. Buna ek olarak parametrelerin manuel kalibrasyon başarısı kullanıcıya bağlıdır. Manuel kalibrasyonunda iyi bir başarı elde edilmesi için kullanıcının model içindeki parametreler hakkında önemli bir deneyiminin bulunması gerekmektedir. Bu yöntemin öznelliğinin ötesinde, kullanıcı, modelden modele değişen tecrübe seviyesi veya bazı parametrelerin tahmin edilebilmesi durumundan dolayı, kabul edilebilir değerler arasında parametre setleri üretebilmektedir. Bu parametre setleri birbirinden farklı olsalar da, hidrolojik model uygulamalarında benzer sonuçlar üretebilmektedir. Manuel kalibrasyon işleminin öznellik içermesinden dolayı, model simülasyonlarına en iyi parametre setinin oluşturulduğunu söylemek doğru olmayabilir.

Manuel kalibrasyonun kullanımı ile ilgili en iyi görüş, kullanıcının model ile tecrübe kazanması ve parametre etkileşimleri ve hassasiyetlerini kavrayabilmesidir. Manuel kalibrasyon sıklıkla, parametrelerin başlangıç değerlerini ve aralıklarını düzenlemek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada SRM ile yapılan model uygulamalarında gerekli girdi verileri sağlandıktan sonra, akış katsayıları (C_R , C_S), derece-gün katsayısı (α),

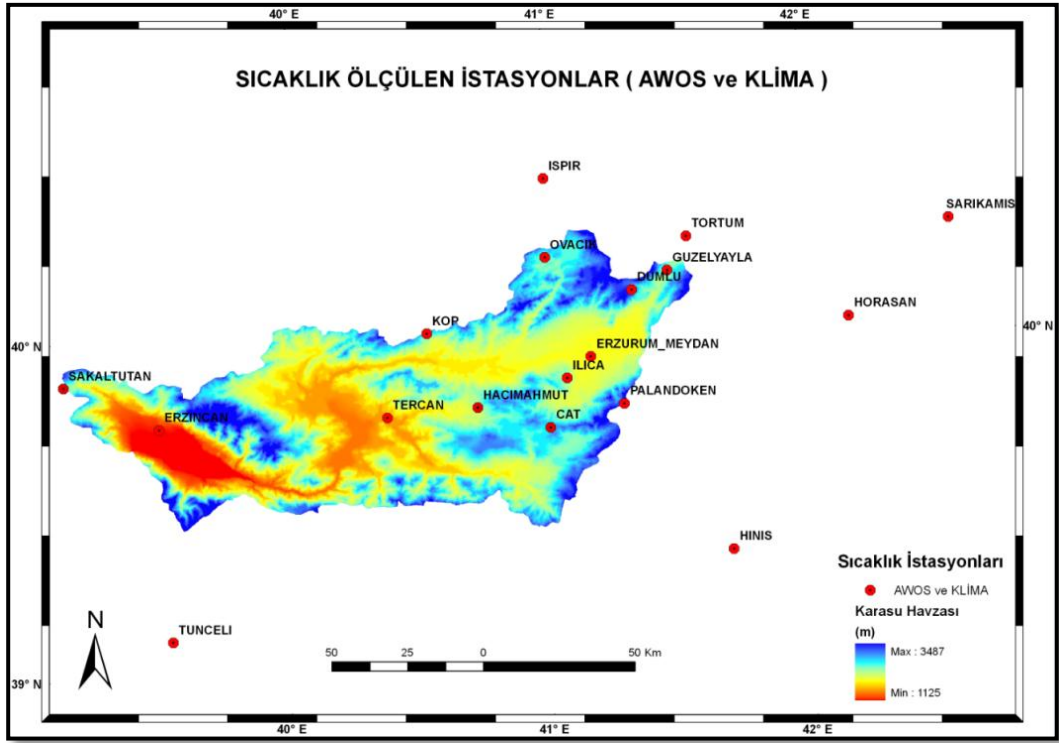
yağış katkı alanı (RCA) üzerinde manuel kalibrasyon işlemi uygulanmış ancak çekilme katsayısının (k) belirlenmesi için hesaplama yapılmıştır

Model Uygulamaları için Girdi Verileri

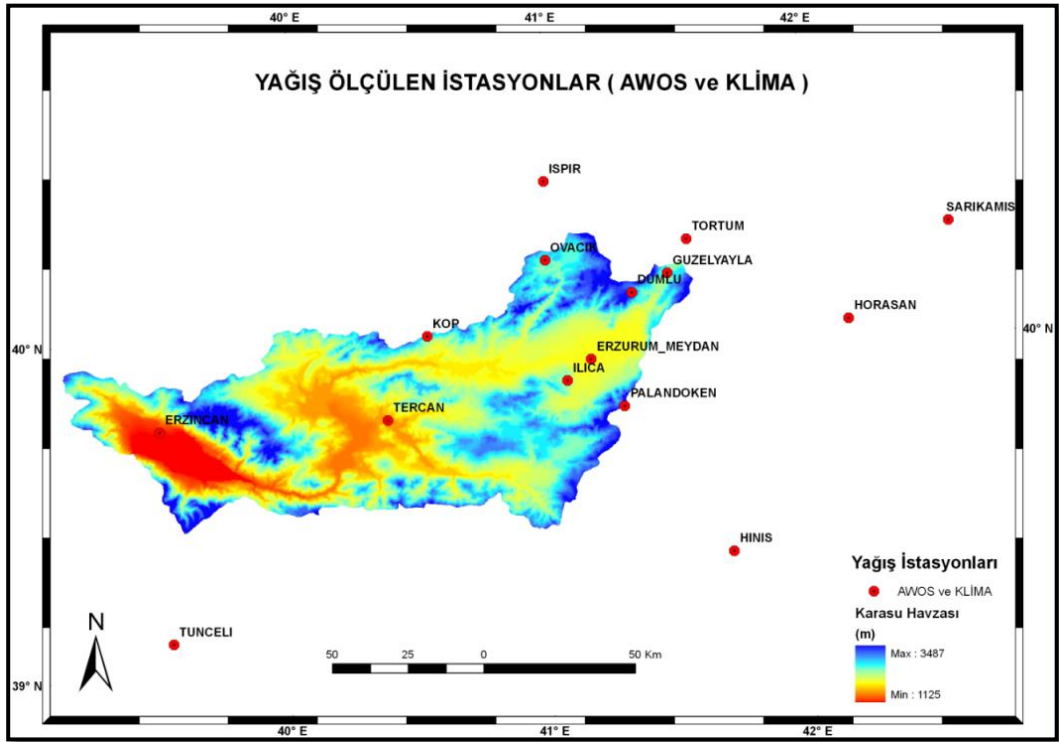
SRM uygulamalarında alan, yükseklik bilgilerinin haricinde kalibrasyon süreci boyunca sabit olan girdi verileri bulunmaktadır. Bu verilerin yükseklik zonları bazında günlük ortalama hava sıcaklığı, günlük ortalama yağış ve karla kaplı alan bilgisi olduğu Bölüm 4.1.1 anlatılmıştır. 2001- 2010 su yıllarında akış katsayıları (C_R , C_S), derece-gün katsayısı (α), yağış katkı alanı (RCA) üzerinde manuel kalibrasyon işlemi uygulanırken çekilme katsayısının (k) belirlenmesi için hesaplama yapılmıştır. Bu veriler yeniden incelenecek olursa :

Günlük ortalama sıcaklık ve yağış

SRM, hidrolojik simülasyonları derece-gün metodundan dolayı hava sıcaklığına bağlı olarak yapmaktadır. Bu nedenle günlük ortalama sıcaklık değerleri SRM için en önemli girdilerden birisini oluşturmaktadır. Karasu Havzası ve çevresinde toplamda 18 istasyonda sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Bu 18 istasyonun 15'inde yağış ölçümü de yer almaktadır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görüldüğü üzere sıcaklık ve yağış ölçümü yapılan AWOS ve KLİMA istasyonlarından en yüksek kotta bulunan Palandöken istasyonu 2937 m'de iken en düşük kotta yer alan istasyon 980 m'de de kurulu olan Tunceli istasyonudur. Bu istasyonlarla Karasu Havzasının her yükseklik zonu alansal bazda en iyi şekilde temsil edilmeye çalışılmıştır. 2001 su yılından 2011 su yılı dahil SRM simülasyonları için kullanılan günlük ortalama sıcaklık değerleri Karasu Havzası ve çevresinde kurulu olan AWOS ve KLİMA istasyonlarının sıcaklık değerlerinin alansal ve yüksekliğe bağlı olarak zonlar bazında dağıtılmasıyla elde edilmektedir. Bu dağıtma işlemi ile yüksekliğe göre ayrılmış olan zonlar, sıcaklık ve yağış dağılımı açısından daha iyi temsil edilmektedir.



Şekil 4.3 Sıcaklık ölçülen AWOS ve KLİMA (18) istasyonları, Karasu Havzası ve çevresi



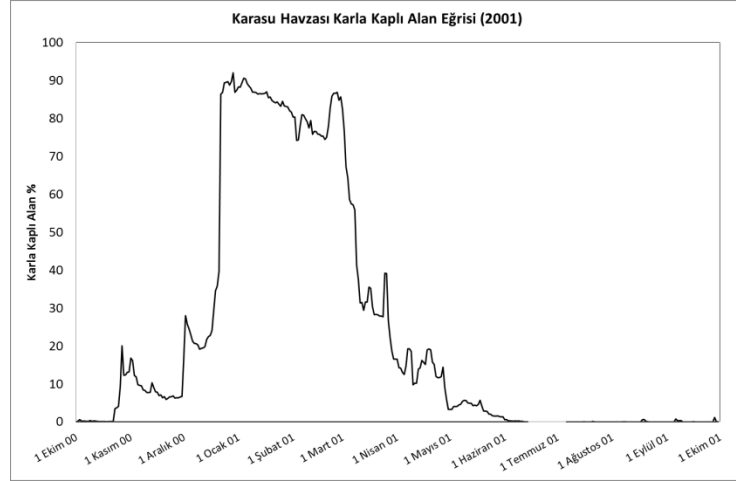
Şekil 4.4 Yağış ölçülen AWOS ve KLİMA (15) istasyonları, Karasu Havzası ve çevresi

Karla Kaplı Alan

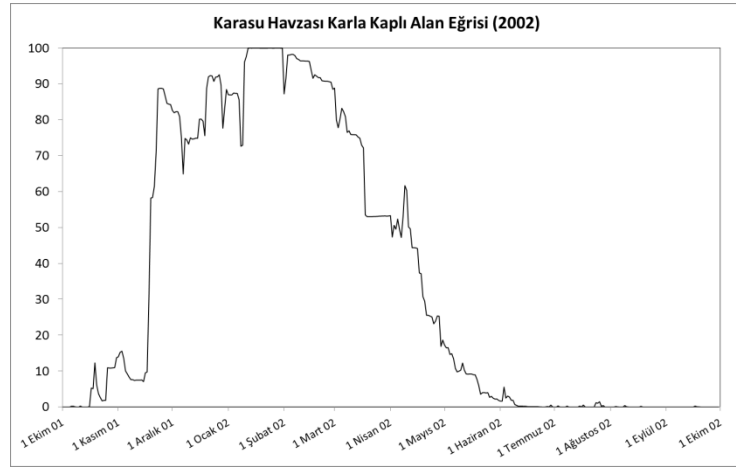
Türkiye'nin doğusunda yer alan Karasu Havzası gibi dağlık alanlarda karla kaplı alanlar Kasım- Aralık ayları gibi artmaya başlarken, Mart-Nisan gibi erken bahar döneminde de azalmaya başlar. SRM uygulamalarında karla kaplı alan bilgisi kar erimesi hesabında doğrudan kullanıldığı için SRM'in en önemli bileşenlerinden birisini oluşturmaktadır. Karla kaplı alanın Karasu Havzası ve yükseklik zonları için nasıl üretildiği Bölüm 3.2 de anlatılmıştır. Bu çalışmada SRM modelinde iki farklı türde karla kaplı alan bilgisi kullanılmıştır. Bunlardan ilki MODIS uydusundan indirilen ve bulutluluk etkisi sadece doğrusal enterpolasyona dayalı olarak azaltılmış olan MODIS/Terra görüntüleridir. İkincisi ise MODIS/Terra ve MODIS/Aqua görüntülerinin harmanlanarak bulutluluk etkisi azaltılmış olan karla kaplı alan görüntüleridir (CM3±ES). Karasu Havzası model simülasyonu için 2001-2011 su yılları bulutluluk etkisi azaltılmış karla kaplı alan eğrileri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Terra görüntüleri üzerine yapılan işlemde, bulut oranı Karasu Havzası için %25 ten az olan günler hesaplama katılmamış ve bulut oranı %25'ten fazla olan günler doğrusal enterpolasyonla birleştirilmiştir.

Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerle kalibre edilmiş SRM model parametre değerleri Terra görüntüleri ile yapılan SRM simülasyonlarında kullanılmıştır. Terra uydu görüntülerinin kullanıldığı SRM simülasyonlarında parametreler üzerine herhangi bir kalibrasyon işlemi uygulanmamıştır. Böylelikle kalibre edilmiş değerler üzerine karla kaplı alan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmanın gözlenen ve hesaplanan akım hidrograf sonuçları manuel kalibrasyon bölümünde sunulmuştur.

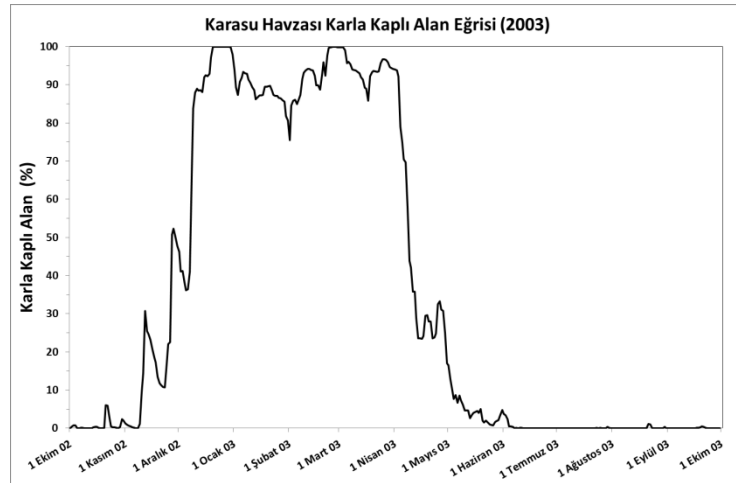
a)



b)

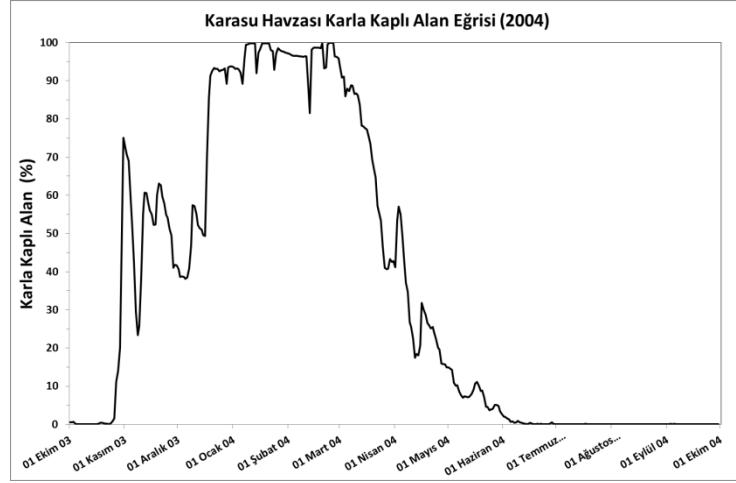


c)

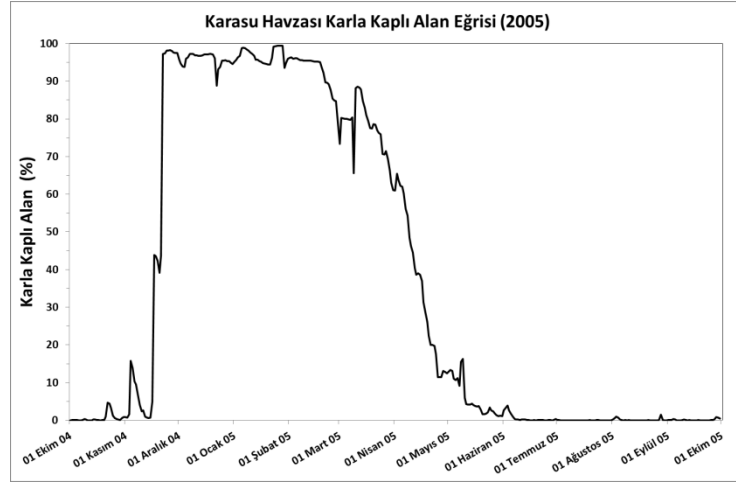


Şekil 4.5 Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3+ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası a) 2001, b) 2002, c) 2003

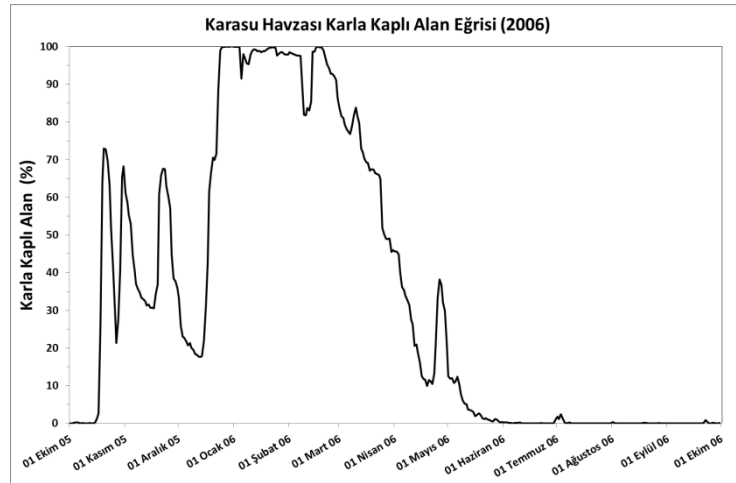
d)



e)

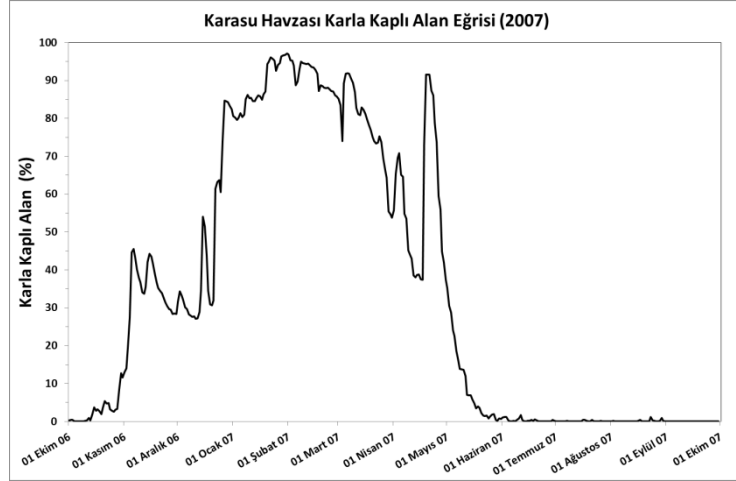


f)

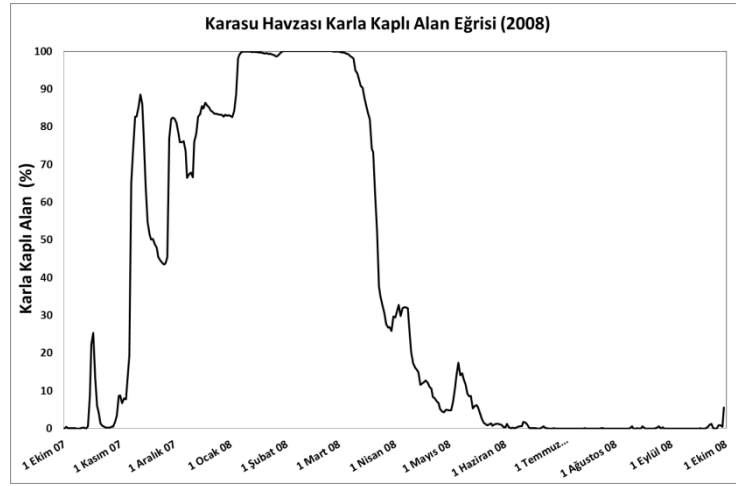


Şekil 4.5 (devamı) Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3+ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası d) 2004, e) 2005, f) 2006

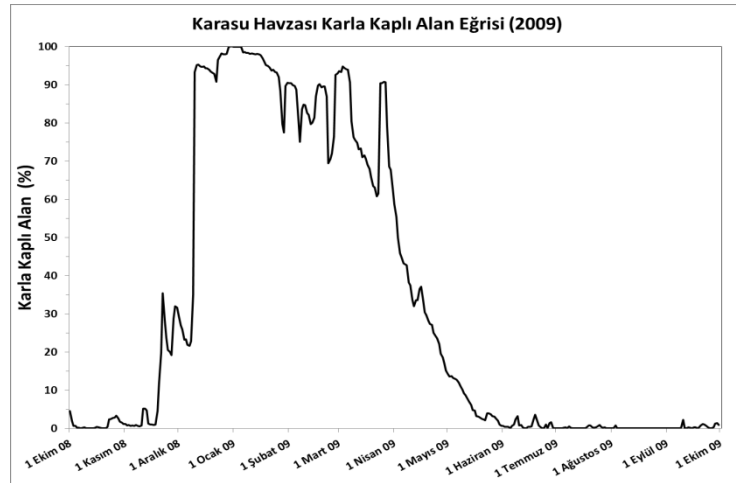
g)



h)

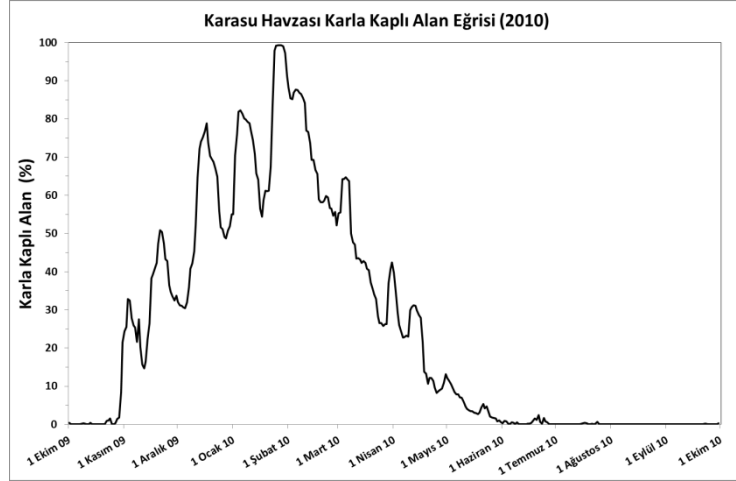


i)

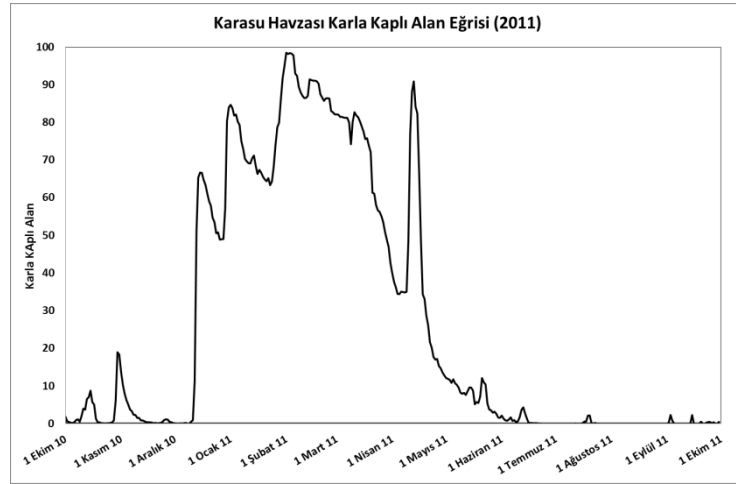


Şekil 4.5 (devamı) Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3±ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası g) 2007, h) 2008, i) 2009

j)



k)



Şekil 4.5 (devamı) Bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerden (CM3+ES) elde edilen karla kaplı alan eğrileri, Karasu Havzası, j) 2010, k) 2011

Model Parametrelerinin Manuel Kalibrasyonu

SRM hidrolojik model simülasyonunda girdi verilerinin sağlanması ile birlikte, verilerin türüne göre 8 parametre için başlangıç değeri girilmektedir. Gözlenen hidrograf ile hesaplanan hidrograf arasındaki benzerliği artırmak ve her iki akım hidrografı arasındaki hacimsel farkı azaltmak için simülasyon sürecinde bu parametreler üzerinde kalibrasyon yapılmaktadır. Karasu Havzası için yapılan geçmiş yılların modelleme çalışmalarında parametrelerin alt ve üst sınırları havza karakteristiğine ve Martinec,1998’de önerilen sınırlara ve geçmiş yılların

modelleme çalışmalarında edinilen tecrübelerle göre belirlenmiş ve bu çalışma kapsamında da kullanılmıştır. Karasu Havzası için 2001 su yılından 2010 su yılına kadar yapılan model simülasyon sürecinde, SRM'in 8 parametresinden en etkin olarak sadece 4 parametresi üzerinde manuel kalibrasyon yapılmıştır. Bu parametreler sırasıyla derece-gün katsayısı (a), yağmur akış katsayısı (C_R), kar akış katsayısı (C_S) ve yağış katkı alanı (RCA) parametreleridir. Çekilme katsayısının (k) belirlenmesi için hesaplama yapılırken diğer 3 parametreden sıcaklık değişim oranı $\gamma = 0.65$ °C/gün, $T_{KRIT} = 0$ °C ve Gecikme zamanı $L = 14$ saat olarak tüm yılların simülasyon süreçlerinde tüm günlere aynı değerde uygulanmıştır.

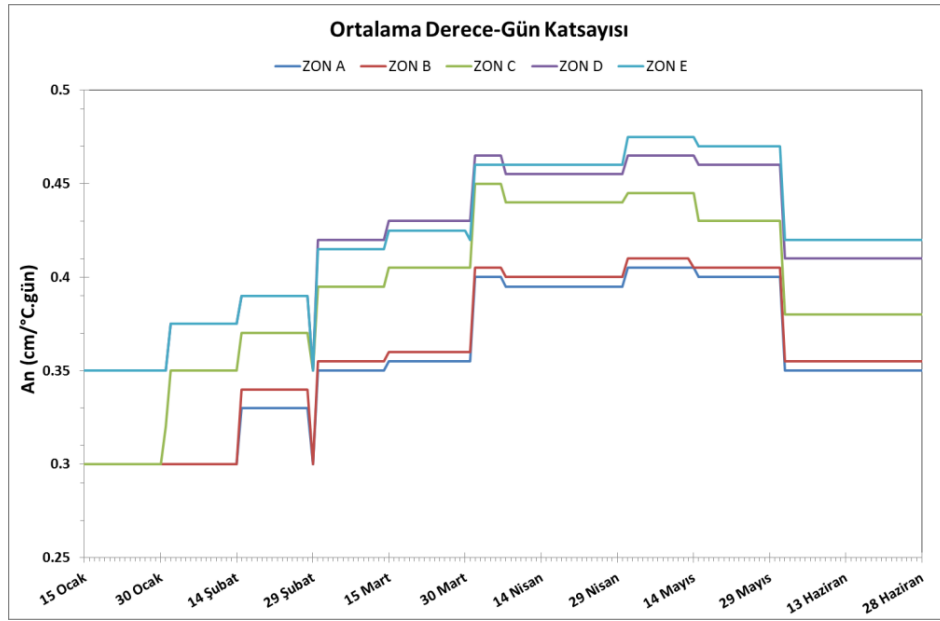
Derece-Gün Katsayısı (a_n) Kalibrasyonu

SRM ile hidrolojik modelleme kar erimesi baz alınarak yapıldığı için derece-gün katsayısı ve bu parametrenin kalibrasyonu modellemenin verimliliği açısından oldukça önemlidir. Karasu için yapılan çalışmalarda, kullanılan derece-gün katsayısının değer aralıkları Tablo 4.1 ve Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda derece-gün katsayısı A ve B zonları için aynı değer aralığında kalibre edilmiştir. C zonu ortalama yüksekliği Karasu Havzası ortalama yüksekliğine yakın değerde olması ve havza içerisinde diğer yükseklik zonlarına göre en fazla alan sahip olmasından dolayı, bu zondaki kar erimeleri SRM modellemelerinde daha fazla etkiye sahiptir. Bu nedenle C zonu derece-gün katsayısı bakımından tek başına değerlendirilmiş ve kalibre edilmiştir. D ve E zonları ise erimelerin diğer zonlara göre daha geç ve birbirine yakın tarihlerde gerçekleşmesinden dolayı derece-gün katsayısı bakımından aynı değer aralıkları içerisinde kalibre edilmiştir.

Şekil 4.6'da görüleceği üzere yükseklik zonları için ortalama derece-gün katsayıları erime dönemi boyunca artmakta, erime döneminin sonunda ise azalmaktadır.

Tablo 4.1 Zonlar bazında Derece-Gün katsayısı değerleri, 2001-2010

	ZON A - ZON B		ZON C		ZON D - ZON E	
	α_n		α_n		α_n	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
2001	0.30-0.35	0.315	0.30-0.40	0.330	0.35-0.40	0.374
2002	0.35-0.40	0.383	0.40-0.45	0.433	0.40-0.50	0.450
2003	0.40-0.45	0.44	0.40-0.45	0.440	0.45-0.50	0.490
2004	0.30-0.40	0.349	0.30-0.50	0.408	0.35-0.50	0.424
2005	0.25-0.35	0.312	0.35-0.45	0.400	0.40-0.50	0.462
2006	0.35-0.45	0.424	0.40-0.50	0.474	0.45-0.50	0.487
2007	0.20-0.45	0.338	0.25-0.45	0.375	0.25-0.50	0.388
2008	0.30-0.40	0.37	0.35-0.45	0.422	0.35-0.45	0.422
2009	0.30-0.50	0.422	0.30-0.50	0.422	0.30-0.50	0.439
2010	0.30-0.40	0.346	0.30-0.45	0.391	0.35-0.50	0.411



Şekil 4.6 Zonlar bazında ortalama Derece-Gün katsayısı değerleri, 2001-2010

Akış Katsayıları (C_R , C_S) Kalibrasyonu

Bu çalışmada, akış katsayılarının kalibrasyonu SRM geçmiş yıllarından çalışmalarından edinilen tecrübeler baz alınarak yapılmıştır. Karasu Havzasının akış karakteristiği göz önüne alındığında; her iki katsayının en düşük ve en yüksek

alabileceği değerler uygulanmış olup, bu değerler Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Akış katsayıları yağmur veya kar yağışlarından gelen suyu doğrudan akıma etki ettirdiği için kalibrasyon aşamasında hassas davranılması gerekmektedir. Akış katsayılarına verilecek değerler için öncelikli olarak havza karakteristiği ve diğer parametrelerin durumları da göz önüne alınmalıdır

Tablo 4.2 Yağmur ve kar akış katsayı değerleri, Karasu Havzası, 2001-2010

	Yağmur Akış (C_R) Katsayısı	Kar Akış (C_s) Katsayısı
	Aralık	Aralık
2001	0.30-0.50	0.20-0.50
2002	0.30-0.50	0.30-0.45
2003	0.30-0.70	0.25-0.60
2004	0.40-0.70	0.35-0.65
2005	0.25-0.65	0.25-0.65
2006	0.45-0.60	0.45-0.60
2007	0.20-0.70	0.25-0.65
2008	0.20-0.70	0.30-0.50
2009	0.20-0.70	0.25-0.55
2010	0.45-0.65	0.50-0.55

Çekilme Katsayısı (k) Kalibrasyonu

1997’den 2010 su yılına kadar olan 14 akım hidrografi Bölüm 4.1.1’de anlatıldığı üzere SRM simülasyon çalışmalarında x ve y katsayılarının belirlenmesi için çekilme katsayısı hesabında kullanılmıştır. Hangi çekilme katsayısının hangi yıl simülasyonunda kullanılacağını belirleyebilmek için, çekilme katsayısı hesabında kullanılan su yıllarının akım hacimleri (Tablo 4.3) 1 Mart – 15 Haziran tarihleri için hesaplanmıştır. Oluşan akım hacimleri göz önüne alınarak hacimsel toplama göre benzerlik gösteren yıllar için aynı çekilme katsayısı kullanılmıştır. Karasu Havzası hidrolojik modellemesi için yapılan çalışmada hesaplanan çekilme katsayıları Tablo 4.4’te gösterilmiştir. Tablo 4.4’te yer alan eğim ifadesi Şekil 4.2’de gösterilen ortalama zarf eğrisinin eğimidir.

Çekilme katsayısı (k) ifadesi ise eğimler baz alınarak yılların akım değerleri baz alınarak hesaplanmakta ve bu çekilme katsayısı değerlerine göre de SRM modeline uygulanacak x ve y değerleri belirlenmektedir. Tablo 4.4'te 14 farklı yılın çekilme katsayısının kullanılmasının nedeni, SRM modelinde gerektiğinde kullanılabilen ortalama çekilme katsayısının hassasiyetinin artırılmasıdır. Tablo 4.5'te ise Karasu Havzası 2001-2010 arası su yılları için hesaplanan çekilme katsayıları gösterilmiştir. Tablo 4.5'e göre 2001, 2002, 2003, 2006, 2009, 2010 su yılları için ortalama çekilme katsayısı kullanılırken, 2004, 2005, 2007, 2008 su yılları için kendi yıllarının çekilme katsayıları kullanılmıştır. Çekilme katsayısının bu şekilde kullanılmasının 2001, 2002, 2003, 2006, 2009, 2010 su yıllarında ortalama çekilme katsayısının, yılların kendi çekilme katsayısına veya diğer yıllar çekilme katsayılarına göre daha iyi sonuç vermesidir.

Tablo 4.3 1997-2010 Çekilme katsayıları (k), Karasu Havzası

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Ortalama
Hacim (m³)	20833.4	28569.7	16683.2	14925.2	13165	18531.8	20942	27962.2	24327	25504.9	19840.4	17672.5	17825.9	25486.5	20876.4
Min. Akım (m³/s)	36.20	35.70	42.30	26.50	37.10	22.50	32.00	47.50	36.50	45.60	44.80	34.20	36.50	75.60	39.50
Ort. Akım (m³/s)	137.1	188.0	109.8	97.6	86.6	121.9	137.8	182.8	160.0	167.8	130.5	115.5	117.3	167.7	137.2
Maks. Akım (m³/s)	446.0	719.0	244.0	293.0	211.0	291.0	524.0	456.0	767.0	586.0	497.0	247.0	256.0	312.0	417.8

Tablo 4.4 Çekilme katsayısı (k) hesabında kullanılan su yılları akım hacim değerleri

	Eğim	Çekilme Katsayısı (k)	x	y
1997	0.934x+1.6383	0.9428	1.0351	0.018
1998	0.9149x+3.6694	0.9302	1.1582	0.039
1999	0.9634x+0.3561	0.9661	0.9890	0.005
2000	0.9253x+3.3015	0.9441	1.2255	0.050
2001	0.9278x+0.1522	0.9611	1.0258	0.019
2002	0.9399x+1.5631	0.9507	1.0864	0.026
2003	0.9253x+2.1661	0.9368	1.0847	0.028
2004	0.9086x+4.3204	0.9313	1.1858	0.046
2005	0.9146x+4.3569	0.9311	1.1818	0.042
2006	0.945x+0.3152	0.9464	0.9621	0.003
2007	0.9178x+3.4677	0.9364	1.1707	0.042
2008	0.9361x+0.991	0.9451	1.0240	0.017
2009	0.9325x+3.2147	0.9584	1.1750	0.042
2010	0.9681x+0.467	0.9714	0.9997	0.006
	Ortalama	0.9447	1.0932	0.027
	Standart Sapma	0.0118	0.0871	0.015

Tablo 4.5 SRM’de kullanılan çekilme katsayıları (k), Karasu Havzası,

Yıl	Çekilme Katsayısı (k)
2001	0.9447
2002	0.9447
2003	0.9447
2004	0.9313
2005	0.9311
2006	0.9447
2007	0.9364
2008	0.9451
2009	0.9447
2010	0.9447

Yağış Katkı Alanı (RCA) Kalibrasyonu

Yağış katkı alanı Bölüm 4.1.1’de anlatıldığı üzere yağış türü yağmur olduğu durumlarda, karla kaplı alanın olmadığı bölgelerde yağmuru doğrudan akıma etki ettiren parametredir. Ölçülen ve hesaplanan akım hidrograflarının benzetimi üzerine önemli etkisi olan yağış katkı alanı parametresi kullanıcı karar merkezli bir parametredir. SRM modelinde havza üzerinde kar erimelerinin başlaması ile “0” durumundan “1” durumuna geçilmektedir. Karasu Havzası için yapılan bu çalışmada RCA parametresinin değişimi her su yılında her zon için erimelerin başladığı dönem olarak kabul edilmiştir. SRM simülasyonlarında RCA parametresinin değişim tarihleri Tablo 4.6’te sunulmuştur.

Tablo 4.6 Yağış katkı alanı parametresinin değişimi, 2001-2010

	Yağış Katkı Alanı (RCA)				
	Zon A	Zon B	Zon C	Zon D	Zon E
2001	1 Mart 2001	1 Mart 2001	1 Mart 2001	1 Nisan 2001	1 Nisan 2001
2002	15 Şubat 2002	15 Şubat 2002	1 Mart 2002	15 Mart 2002	15 Nisan 2002
2003	1 Mart 2003	1 Mart 2003	1 Mart 2003	1 Mart 2003	1 Mart 2003
2004	15 Şubat 2004	15 Şubat 2004	15 Şubat 2004	1 Mart 2004	1 Mart 2004
2005	15 Mart 2005	15 Mart 2005	1 Nisan 2005	1 Nisan 2005	1 Nisan 2005
2006	1 Mart 2006	15 Mart 2006	15 Mart 2006	15 Mart 2006	15 Mart 2006
2007	1 Mart 2007	1 Mart 2007	1 Mart 2007	15 Mart 2007	1 Nisan 2007
2008	1 Mart 2008	1 Mart 2008	1 Mart 2008	20 Mart 2008	20 Mart 2008
2009	15 Şubat 2009	1 Mart 2009	15 Mart 2009	15 Nisan 2009	15 Nisan 2009
2010	15 Ocak 2010	15 Ocak 2010	15 Şubat 2010	1 Mart 2010	1 Mart 2010

Diğer Parametrelerin Kalibrasyonu

SRM simülasyonlarında sıcaklık değişim oranı (γ), gecikme zamanı (L) ve kritik sıcaklık (T_{KRIT}) kullanılan diğer 3 parametredir. Sıcaklık değişim oranı (TLR), ortalama sıcaklık değerlerinin zonlar bazında değil de havza bazında SRM modeline girişinin yapıldığı durumlarda, girilen sıcaklık değerinin havza ortalama yüksekliğine göre dağıtılmasını sağlıyordu. Ancak Karasu Havzası için yapılan

çalışmada ortalama günlük sıcaklık değerleri zonlar bazında kullanıldığı için bu parametre modelleme sürecinde kullanılmamıştır. Ancak kullanılmamasına rağmen bu değer 0.65 °C/100m olarak alınmıştır.

Karasu Havzası için geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda kritik sıcaklık (t_{krit}) değerinin 0 °C olduğu havza karakteristiğine göre belirlenmiştir. İklim şartlarının değiştiği durumlarda kritik sıcaklık değeri -1,5 °C değerini alabilmektedir. 2001-2010 su yılları için kritik sıcaklık değeri 0 °C olarak kullanılmıştır.

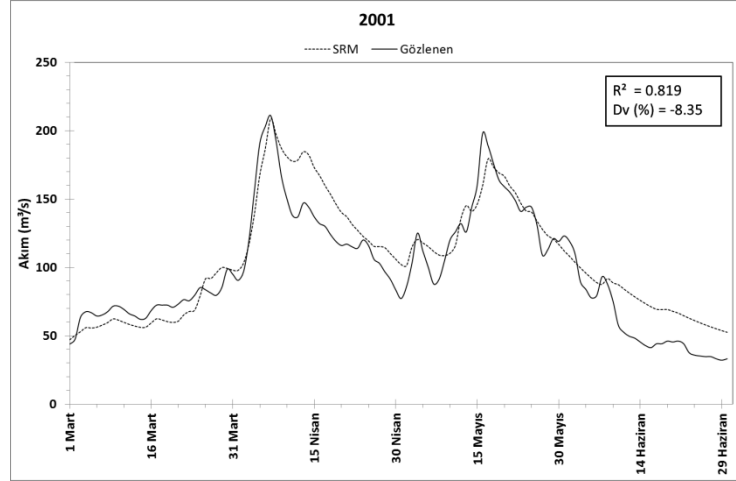
Gecikme zamanı (Lag Time) geçmiş yıl çalışmalarıyla Karasu Havzası için 14 saat olarak belirlenmiştir. Karasu Havzasının SRM ile modellenmesinde gecikme zamanı olarak 14 saat baz alınmıştır.

Akım Hidrografları

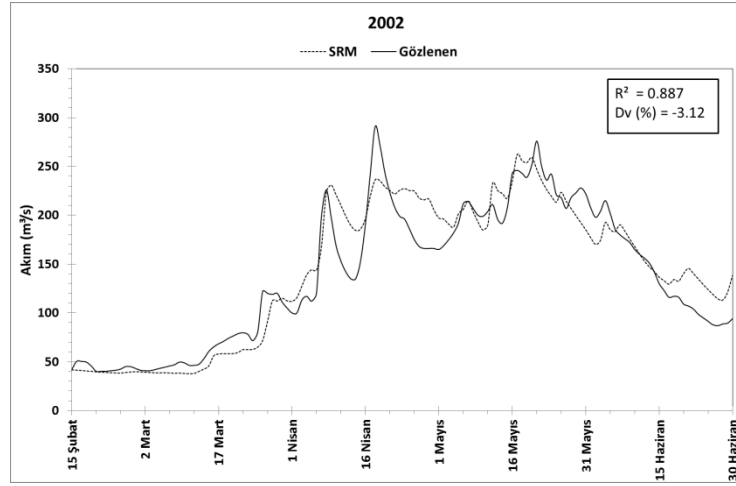
SRM ile 2001-2010 su yılları model kalibrasyonu sonucu yapılan simülasyon çalışması ile ölçülen ve hesaplanan akım hidrografları birbirlerine benzetilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma ile sadece hidrograflarının benzetimi amaçlanmamış ayrıca hidrograflar arası akım hacmi farkı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Modelleme çalışmalarının bulutluluk etkisi azaltılmış görüntülerle (CM±3ES) elde edilen akım hidrograf sonuçları Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında simülasyon başlangıç tarihleri her su yılının gözlenen hidrografında yer alan yükselişin başlama tarihi baz alınarak belirlenmiştir.

Karasu Havzası için modelleme çalışmalarının iki farklı karla kaplı alan bilgisi ile yapılması, CM3±ES görüntülerinden sağlanan karla kaplı alan bilgisi ile kalibre edilmiş parametrelerin Terra görüntüleri ile karşılaştırmasını sağlamaktadır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda belirginlik katsayısı (R^2) ve akım hacimleri toplamı arasındaki fark (D_v) Tablo 4.7’de gösterilmiştir. Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da her iki görüntü (CM3±ES ve Terra) ile hidrolojik modelleme sonucu hesaplanan ve gözlenen akım hidrograflarının pik değerleri, farklarının oranı, ortalama değerleri ve pik akım oluşma tarihlerinin kıyaslaması gösterilmektedir. Bu nedenle her iki tabloda da iki modellenen ve iki gözlenen ifadesi yer almaktadır. Bu çalışmanın sonuçları Bölüm 5’te tartışılacaktır.

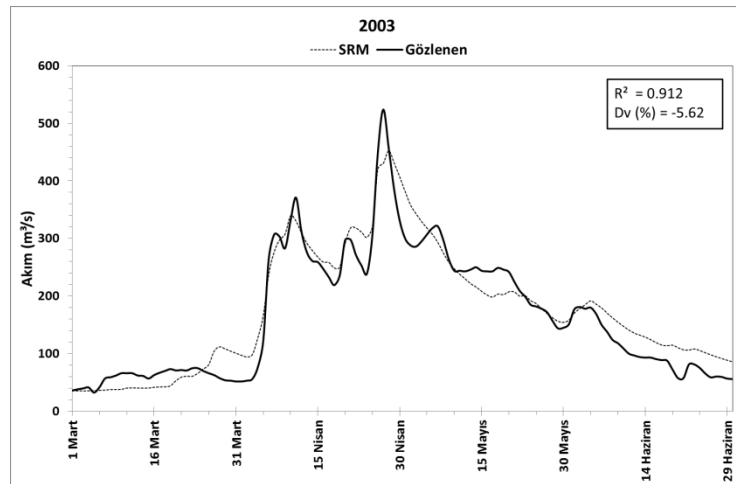
a)



b)

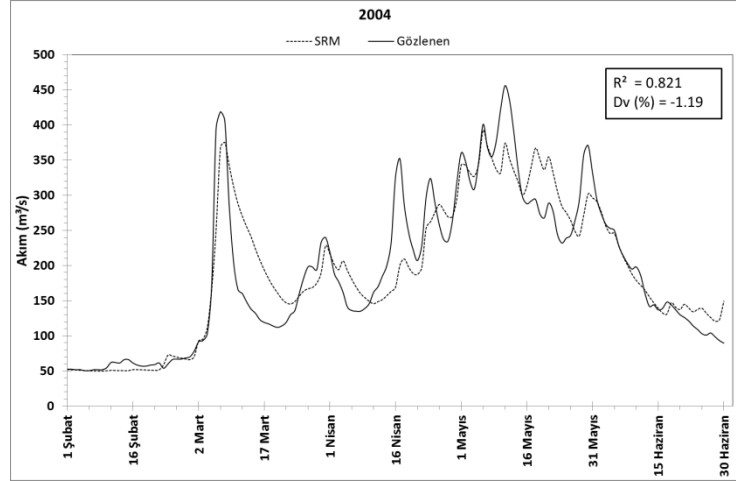


c)

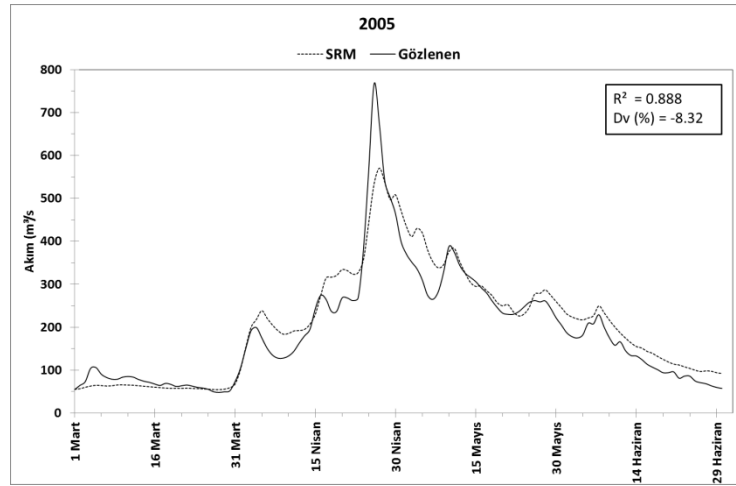


Şekil 4.7 SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası a) 2001, b) 2002, c) 2003

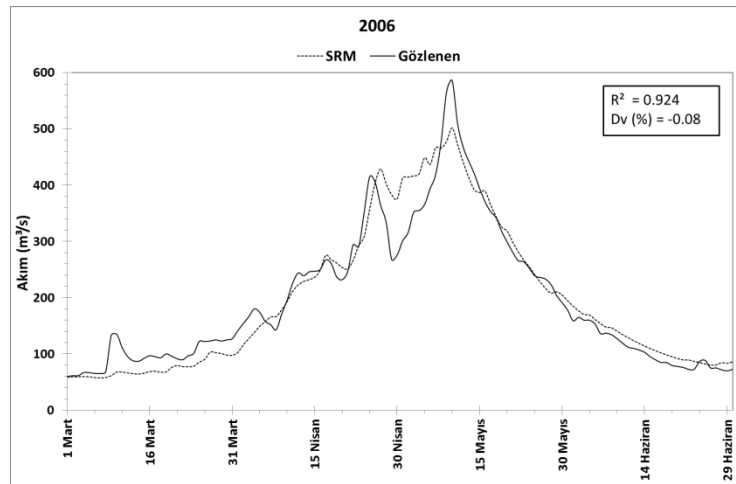
d)



e)

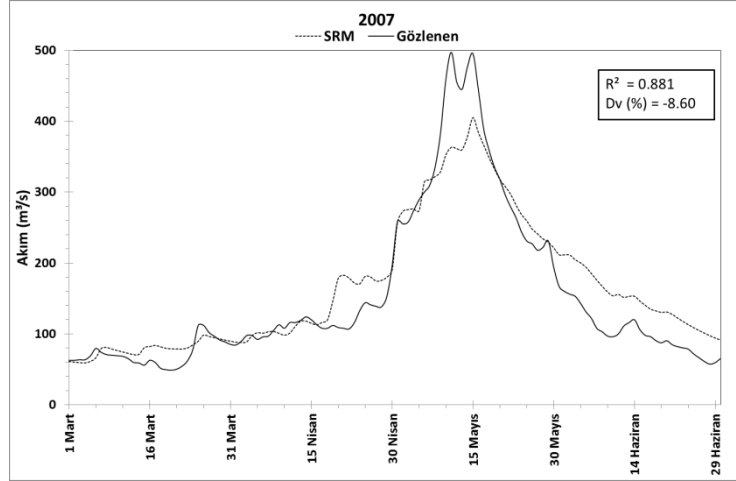


f)

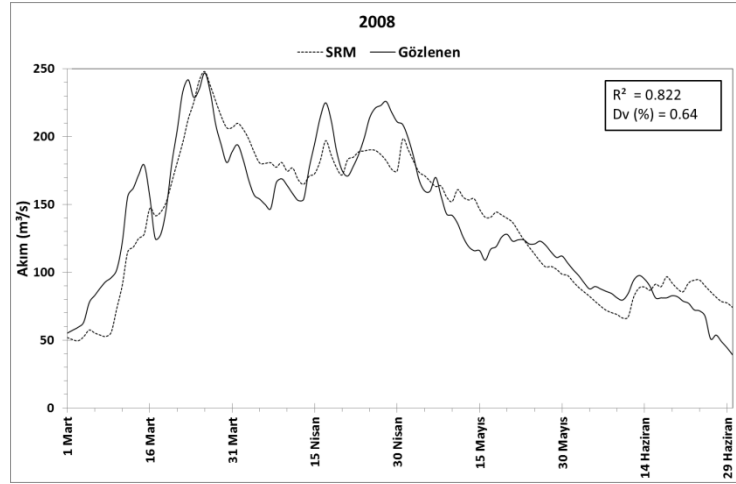


Şekil 4.7 (devamı) SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası, d) 2004, e) 2005, f) 2006

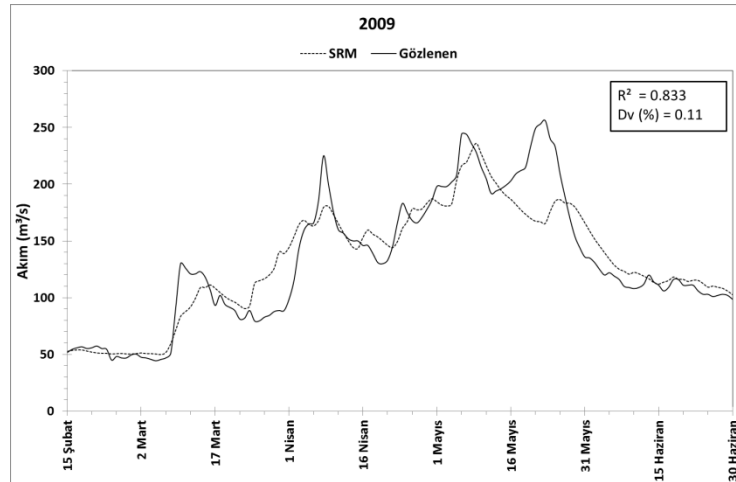
g)



h)

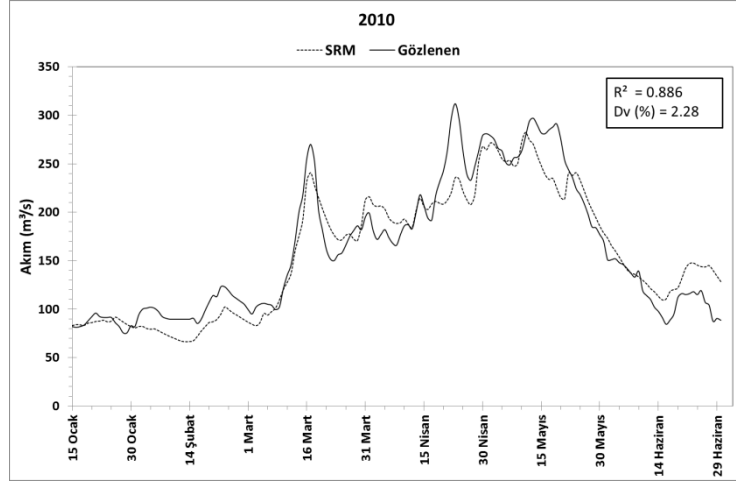


i)

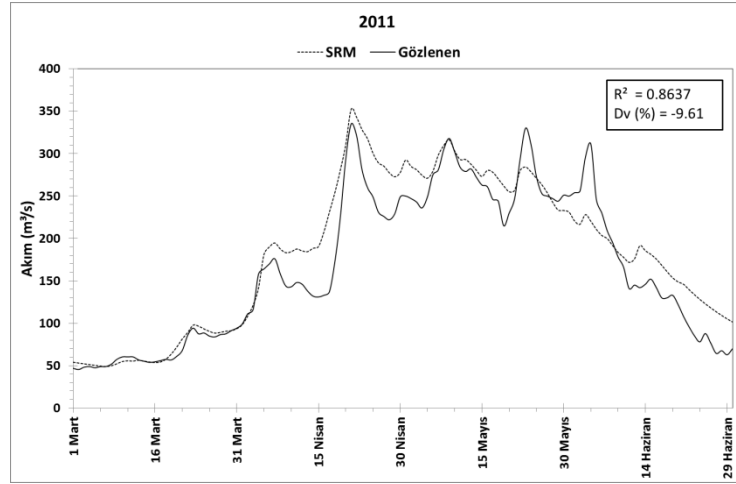


Şekil 4.7 (devamı) SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası, g) 2007, h) 2008, i) 2009

j)



k)



Şekil 4.7 (devamı) SRM simülasyon sonuçları, Karasu Havzası, j) 2010, k) 2011

Tablo 4.7 SRM simülasyon sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası

	R²		Dv (%)	
	SRM (CM+3ES)	SRM (Terra)	SRM (CM+3ES)	SRM (Terra)
2001	0.819	0.801	-8.35	1.65
2002	0.887	0.859	8.18	8.18
2003	0.912	0.907	-5.62	1.34
2004	0.821	0.774	-1.19	4.01
2005	0.888	0.898	-8.32	-6.29
2006	0.924	0.908	-0.08	0.66
2007	0.881	0.874	-8.60	-10.49
2008	0.822	0.779	0.64	7.83
2009	0.833	0.815	0.11	-3.43
2010	0.886	0.841	2.28	1.82
Ort	0.867	0.846	-2.10	0.53

Tablo 4.8 SRM simülasyonu maksimum akım sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası

	Snowmelt Runoff Model (SRM) Simülasyonu Akım Sonuçları (m³/s)											
	CM+3ES						Terra					
	Modelenen	Ölçülen	Fark (%)	Modelenen	Ölçülen	Fark (%)	Modelenen	Ölçülen	Fark(%)	Modelenen	Ölçülen	Fark(%)
2001	208.8	211	-1.07	179.3	198	-10.45	180.7	211	-16.75	171.0	198	-15.79
2002	231.1	226	2.19	259.2	276	-6.47	179.9	226	-25.61	238.4	276	-15.76
2003	339.3	371	-9.34	452.2	524	-15.87	296.8	371	-25.00	420.8	524	-24.53
2004	375.4	419	-11.62	374.0	456	-21.93	387.3	419	-8.18	339.1	456	-34.47
2005	570.5	767	-34.44	570.5	767	-34.44	576.2	767	-33.11	576.2	767	-33.11
2006	428.8	415	3.21	501.9	586	-16.77	454.9	415	8.76	492.1	586	-19.08
2007	363.1	497	-36.89	404.9	495	-22.27	373.3	497	-33.14	416.6	495	-18.82
2008	248.0	247	0.40	198.1	226	-14.11	232.5	247	-6.24	187.8	226	-20.33
2009	180.5	225	-24.65	236.0	244	-3.39	182.5	225	-23.29	252.4	244	3.33
2010	240.8	270	-12.13	282.4	297	-5.17	263.5	270	-2.45	254.5	297	5.39
Ort	318.6	364.8	-12.44	345.8	406.9	-15.09	312.8	364.8	-16.50	334.9	406.9	-17.32

Tablo 4.9 SRM simülasyonu pik akım zamanı sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası

		PIK ZAMANI									
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
		Modelenen	Ölçülen	Modelenen	Ölçülen	Modelenen	Ölçülen	Modelenen	Ölçülen	Modelenen	Ölçülen
CM+3ES	Modelenen	7 Nisan	9 Nisan	10 Nisan	8 Mart	26 Nisan	27 Nisan	11 Mayıs	26 Mart	9 Nisan	17 Mart
	Ölçülen	7 Nisan	8 Nisan	11 Nisan	7 Mart	27 Nisan	25 Nisan	11 Mayıs	26 Mart	8 Nisan	17 Mart
	Modelenen	17 Mayıs	20 Mayıs	28 Nisan	11 Mayıs	26 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	1 Mayıs	9 Mayıs	12 Mayıs
	Ölçülen	16 Mayıs	21 Mayıs	27 Nisan	11 Mayıs	27 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	28 Nisan	7 Mayıs	13 Mayıs
Terra	Modelenen	7 Nisan	9 Nisan	10 Nisan	8 Mart	27 Nisan	27 Nisan	11 Mayıs	26 Mart	8 Nisan	17 Mart
	Ölçülen	7 Nisan	8 Nisan	11 Nisan	8 Mart	27 Nisan	25 Nisan	11 Mayıs	26 Mart	8 Nisan	17 Mart
	Modelenen	17 Mayıs	20 Mayıs	28 Nisan	11 Mayıs	27 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	1 Mayıs	9 Mayıs	11 Mayıs
	Ölçülen	16 Mayıs	21 Mayıs	27 Nisan	11 Mayıs	27 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	28 Nisan	7 Mayıs	13 Mayıs

5. SONUÇLAR

5.1. Kar Su Eşdeğeri ve Kar Su Potansiyel Sonuçları

Detrended Kriging (DK) yöntemi ile Karasu Havzası için 2008, 2009, 2010 ve 2011 su yıllarının Ocak, Şubat, Mart ve Nisan ayları kar su eşdeğeri hesaplaması gerçekleştirilmiştir. DK yöntemi kar su eşdeğeri sonuçları Bölüm 3'te sunulmuştur. Detrended Kriging yöntemi ile ilgili ayın ilk iki haftalık periyodundaki kar ölçümleri baz alınarak üretilen kar su eşdeğeri görüntülerine, CBS ortamında MODIS uydu görüntüleri ile maskeleme işlemi uygulanmaktadır. CBS ortamında üretilen Karasu Havzasına ait maskelenmiş kar su eşdeğeri görüntülerinin minimum, ortalama ve maksimum kar su eşdeğeri bilgilerine ulaşılmaktadır. CBS ortamında hesaplanan kar su eşdeğeri görüntülerinde maskeleme işlemine göre kar bulunmayan bölgelerdeki kar su eşdeğeri "0" olarak alınmakta ve hesaplanan ortalama KSE bilgisine, KSE değeri "0" olan bölgeler dâhil edilmemektedir. Karasu Havzasında hesaplanan aylık ortalama KSE değerleri, uydu görüntülerinden elde edilen KKA bilgisi ile çarpılarak, ayın ilk yarısındaki KSP elde edilmektedir. Bu bilgilerden hareketle:

2008 ve 2009 su yılı sonuçlarında (Şekil 3.12, Şekil 3.13), KSE değerlerinin Ocak ayı ile artmaya başladığı ve en yüksek değerine Nisan ayı başında ulaşıldığı tespit edilmiştir. En yüksek KKA oranı 2008 su yılı için Şubat ayında yer alırken 2009 su yılında bu değer Ocak ayında yer almaktadır. 2008 ve 2009 su yılı Nisan ayı KKA bilgisi, hesaplama yapılan aylar içerisinde en düşük değerde bulunurken her iki su yılı için bu ayda karların bir önceki aylara göre daha fazla sıkışmış olması ve kar erimesine bağlı olarak ölçüm alınan noktalardaki sulanmış kar yoğunluğunun fazla olmasından dolayı Nisan ayında en yüksek ortalama KSE değerine ulaşılmıştır.

Devlet kurumlarının bölge üzerinde genellikle ayda bir veya iki kez KSE ölçümlemelerini alması, 2009 su yılı Mart ayında iki farklı KSE hesabının yapılmasına olanak sağlamıştır. 2009 su yılının Mart ayı ortalarında yeni bir kar yağışı meydana gelmiş ve bu sebeple maksimum KSE Mart ayının ikinci yarısı oluşmuştur.

2010 ve 2011 su yılı sonuçlarında (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15), 2008 ve 2009 su yılından farklı olarak en yüksek KSE değeri Mart ayında hesaplanırken, en yüksek KKA oranı ise Şubat ayında görülmektedir. 2010 Mart ayı KSE değeri 358.08 mm iken bu değer 2011 Mart ayı için 165.67 mm'dir. 2010 ve 2011 su yıllarında hesaplanan kar su eşdeğerinin Mart ayında yüksek olmasının sebebi karla kaplı alan oranın erken çekilmesidir.

2008, 2009, 2010 ve 2011 su yıllarında kar suyu potansiyel değerleri (Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23) Ocak ayı ile artmaya başlarken dört su yılı için de en yüksek değere Mart ayında ulaşılmaktadır. Mart ayı kar su potansiyel değeri 2008 su yılı için 2334 hm³, 2009 su yılı için 2860 hm³, 2010 su yılı için 2094 hm³ ve 2011 su yılı için 1384 hm³'tür. Buna göre en yüksek kar su potansiyel değerine 2009 su yılı Mart ayında ulaşılırken en düşük değere ise 2011 su yılı Ocak ayında ulaşılmaktadır. 2008 ve 2009 su yıllarında en yüksek KSE değerlerine Nisan ayında ulaşılmaktadır. Ancak 2008 ve 2009 su yıllarında Nisan ayı KKA bilgisinin Mart ayına göre çok düşük olması KSP değerlerinin Mart ayında en yüksek olmasını sağlamaktadır. Özellikle 2009 su yılından Mart ayı için yapılan ikinci bir KSE çalışması ile maksimum KSP değerinin Mart ayı sonunda olduğu görülmektedir. 2010 ve 2011 su yıllarında zaten Mart ayında yüksek olan KSE ve KKA bilgileri ile maksimum KSP değerleri Mart ayı başında ulaşılmaktadır.

Yukarıda yer alan sonuçlar göz önüne alındığı zaman, devlet kurumlarının bölge üzerinde daha sıklıkla kar ölçümleri alması bölge üzerinde KSE hesaplamalarının zamansal ve mekansal olarak verimliliğini artıracaktır. KSE hesaplamalarındaki verim artışı, kar suyu potansiyeli hesaplamalarında daha verimli sonuçlar üretilmesini sağlayacaktır. Bu durum bölge üzerinde olası bir kuraklık ya da ani kar erimesi durumlarında Fırat nehri üzerinde yer alan büyük hazneli barajların daha verimli işletilmesini sağlayacaktır.

5.2. SRM Simülasyon Sonuçları

Çalışma kapsamında hedeflenen amaçlardan diğer bir tanesi de kavramsal bir hidrolojik model olan SRM modelinin Karasu Havzası için 2001-2011 arasındaki su yıllarına uygulanmasıdır. 2001-2010 su yıllarının SRM model parametreleri, MODIS uydu görüntülerini harmanlayarak bulutluluk etkisi azaltılmış (CM+3ES) karla kaplı alan görüntüleri ile kalibre edilmiş olup, kalibre edilen parametre değerleri 2011 su yılında doğrulama amacıyla kullanılmıştır. Çalışma kapsamında harmanlanmış KKA görüntüleri ile kalibre edilen parametre setleri, farklı uydu görüntülerinin hidrolojik modellemeye katkısını incelemek amacıyla MODIS uydusunun Terra görüntüleri ile kullanılmış ve yapılan bu ikinci çalışmada halihazırda kalibre edilmiş parametreler üzerine yeniden bir kalibrasyon işlemi uygulanmamıştır.

SRM modelinde MODIS uydusunun harmanlanmış karla kaplı alan görüntülerinin kullanılması ile Karasu Havzası için yapılan simülasyon çalışmaları 2001-2010 arası su yıllarının kar erime dönemlerini kapsamaktadır. SRM modellemesi sonucu oluşan hidrografların R^2 ve D_v sonuçları Bölüm 4'te Şekil 4.7'de, pik akım değerleri ve pik akım oluşma zamanları Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'da sunulmuştur.

Manuel kalibrasyon işlemi sırasında, su yıllarının gözlenen ve hesaplanan akımlarının benzetimi için sadece Nash-Sutcliffe (R^2) model uyumluluk kriterinin yüksek olması değil, ayrıca hacim farkı (D_v) kriteri değerinin olabildiğince az olması şartı aranmıştır. Çalışma kapsamında simülasyonlarda yüksek R^2 (>0.80) düşük D_v ($<15\%$) olması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda zamanlama ve pik değerler göz önüne alındığında hesaplanan ve gözlenen akım sonuçlarının oldukça tutarlı olduğu görülmektedir.

2001 su yılında kar erimesi ve yağmurdan kaynaklı pikler modelde temsil edilirken, hesaplanan akım değerlerinin, gözlenen akım değerleri ile özellikle Nisan ayı boyunca oluşturduğu uyumsuzluktan dolayı hidrograflar arası hacim farkı oluşmaktadır. Nisan ayı boyunca kullanılan parametre değerlerinin Karasu Havzası için kullanılabilecek en düşük değerlerde olmasına rağmen, hesaplanan akım hidrografındaki yükseliş düşürülemediği görülmüştür.

2002 su yılı R^2 ve D_V değerleri, simölasyon yıllarının ortalama değerlerinden daha büyük olmasına rağmen kar erimleri zonlar için farklı tarihlerde geręekleşmesi ve yağış dağılımının mevcut istasyonlar tarafından yeterince temsil edilememesinden dolayı gözlenen akım hidrografındaki piklerin yakalanamamaktadır.

2003 su yılı R^2 sonucu, modelleme yapılan su yılları arasında en iyi ikinci sırada yer almaktadır. Ancak 2003 su yılında B ve C zonlarındaki kar erimelerinin Nisan ayı boyunca hızlı bir şekilde geręekleşmesi % -5.62'lik bir D_V farkının oluşmasını sağlamaktadır.

2004 su yılı Karasu Havzası da dahil olmak üzere Türkiye'nin doğu bölgelerini etkileyen kar yağışlarının yüksek miktarda ve erimelerin ani geręekleşmesinden dolayı taşkın olayların meydana geldiği su yılı olarak bilinmektedir. 2004 su yılında Mart ayı başında geręekleşen yağmur yağışı modellemede iyi temsil edilirken, Mart ayı itibari ile sıcaklığın artmasına bağlı olarak artan kar erimleri sonucu gözlenen akımdaki Mart ayı sonrası piklerin iyi temsil edilememesini sağlamaktadır. 2004 su yılı modelleme sonuçları, simölasyon çalışmaları için konulan sınır koşullarına uymaktadır.

2005 su yılı benzetim sonuçlarında, gözlenen akım hidrografındaki tek pik akım değerinin tutturulmaması haricinde genel görünüşte temsiliyet açısından iyi sonuç vermektedir. Nisan ortasında geręekleşen C zonu kar erimesi havza üzerindeki akıma büyük katkı sağlamaktadır. Kalibrasyon sürecinde parametrelerin alt veya üst sınırlarında zorlanması hacim farkının artmasına ve belirginlik katsayısının düşmesine sebebiyet verdiğinden, simölasyon $R^2 = 0.888$ ve $D_V = \% - 8.32$ şeklinde sonuçlanmıştır.

2006 su yılı, modelleme yılları arasında hem R^2 (0.924) hem D_V (-0.08) değeri olarak en iyi sonucu veren su yılıdır. 2006 su yılında yağmur yağışları ve kar erimleri hesaplanan akım hidrografında en iyi şekilde temsil edilirken uygulanan çekilme katsayısının (k) modellemeye uyumluluğunun tam olmamasından dolayı gözlenen akımda oluşan iki pik akım arasındaki bölüm iyi temsil edilememektedir.

2007 su yılında kar erimleri Nisan ayı ortalarında başlarken, bu tarihten sonra yeniden kar yağışı geręekleşmektedir. Hava sıcaklığının sıfırdan yüksek

olduğu tarihlerde yağmur yağışlarının etkisiyle gözlenen akımda yakın tarihli iki pik akım değeri oluşmaktadır. Ancak çekilme katsayısına bağlı olarak 2007 su yılında bir pik akım yükselirken diğer pik akım yeterince yükselememektedir. Bu durum sonucunda % -8,60'lık bir hacim farkı oluşmaktadır.

2008 su yılı simülasyonu belirginlik katsayısı (R^2) bazında düşük sonuç vermektedir. Bu su yılı için özellikle yağmur akış (C_s) katsayısının Karasu Havzası için sınır koşulları çerçevesinde en yüksek değerlerde uygulanmasına rağmen Haziran ayı haricindeki diğer aylarda düşük değerlerde yağmur yağışlarının gerçekleşmesi ve A, B, C zonlarındaki kar erimelerinin Nisan ayı ortasına kadar bitmiş olması akımlar arası uyumluluk değerini (R^2) düşük seviyede tutmaktadır. Ancak 2008 su yılı hacim farkı (D_v) en iyi sonuçlardan birisidir.

2009 su yılı Mart sonu ve Mayıs ayı başlarında gerçekleşen etkili yağışların ve diğer yıllara göre daha uzun zamanda gerçekleşen kar erimleri gözlenen hidrografta farklı büyüklüklerde pik akımların oluşmasını sağlamaktadır. E zonu haricinde bütün zonlardaki kar erimelerinin Mayıs ayı ortalarına kadar neredeyse bitmiş olması ve SRM'in Mayıs ayı ortasındaki yağışları modele etki ettirememesi sonucu 2009 su yılı Mayıs ayı sonundaki pik akım yakalanamamaktadır. Çekilme katsayısına bağlı olarak hesaplanan akımla gözlenen akım arası temsiliyet $R^2=0.833$ $D_v=\% 0.11$ olarak modellenmiştir.

2010 su yılında C zonu kar erimesinin Mart sonlarına kadar devam ederken, yeniden yağın karın erimesi ve havza üzerinde Mart ve Nisan boyunca etkili yağışların görülmesi gözlenen akım hidrografı üzerinde farklı büyüklüklerde pik akımların oluşmasını sağlamaktadır. Hesaplanan akım hidrografı ile gözlenen akım hidrografı arasındaki benzetim Nisan ayı ortalarına kadar iyi giderken, Nisan ayındaki yağışların ve kar erimleri model tarafında yeterince temsil edilememesi sonucu gözlenen hidrografta Nisan ayında ölçülen en yüksek pik akım değeri tutturulamamıştır.

Sonuç olarak, SRM modeli ile harmanlanmış uydu görüntülerinin ($CM\pm 3ES$) kullanılması sonucu 2001-2010 su yılları birlikte değerlendirildiğinde, hesaplanan akımların gözlenen akımlarla Nash-Sutcliffe (R^2) model belirginlik kriteri ortalama 0.867, akım hidrografları arası hacim farkı (D_v) kriteri ortalama olarak % -2.10 olarak hesaplanmıştır.

SRM modelinde harmanlanmış uydu görüntülerinin (CM+3ES) kullanılması ile gerçekleştirilen tüm uygulamalarda, akım hidrograf benzetimleri oldukça iyi temsil edilmiştir. Bunun yanı sıra model yapısına bağlı olarak parametre uyumsuzluğu ve modelin yağmur yağıışı ve kar erimelerini etkili bir şekilde hidrograflar üzerinde temsil edememesi sonucu su yıllarının benzetiminde kısmi yetersizlikler görülmüştür.

2011 su yılı için SRM model doğrulaması, 2001-2010 su yılları SRM simülasyonları sonucu oluşan parametre setlerinin ortalama değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğrulama işlemi sırasında hiç bir parametre üzerinde kalibrasyon işlemi uygulanmamıştır. Ancak RCA parametresi simülasyon sürecinde kar erimleri baz alınarak belirlenmektedir ve her su yılının her bir zonunda gerçekleşen erimler kendi yıllarına has farklılıklar gösterdiği için 2001-2010 su yılları simülasyonları RCA parametresi tarih olarak düzenlenmiştir. Bu nedenle 2011 su yılında RCA parametresi her bir zonun kar erimleri baz alınarak belirlenmiştir. 2011 su yılı SRM doğrulama işlemi sonucu oluşan hidrograflar Şekil 4.7' gösterilmiştir. 2011 su yılında Nisan ayında gerçekleşen yağışlar ve kar erimleri doğrulama işleminde iyi derecede temsil edilmektedir. Özellikle Nisan ayı ortasında yeniden yağan ve eriyen kar yağışının temsiliyeti hesaplanan hidrograf üzerinde etkili olarak görülmektedir. Ancak D ve E zonunda gerçekleşen yağmur yağışları ve sıcaklığın zonlar üzerinde artmasına bağlı olarak gerçekleşen kar erimleri hesaplanan hidrograf üzerinde iyi bir şekilde temsil edilememektedir. Bu durumu yağışların model tarafından yeterli bir şekilde temsil edilememesi ve aynı zamanda yağış katkı alanı (RCA) ve çekilme katsayısı (k) parametrelerinin 2011 doğrulama işlemi için yeterli temsiliyette olmaması da sağlamaktadır. Doğrulama işlemi sonucu oluşan R^2 değeri 2001-2010 su yılları kalibrasyonu sonucu oluşan ortalama R^2 değerine çok yakınken D_V değerinde ise fark oluşmaktadır.

2001-2010 su yılları SRM modellemesi MODIS harmanlanmış KKA görüntüleri kullanılarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve ayrıca Terra görüntüleri için yapılmıştır. Her iki MODIS KKA ürünü ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Bölüm 4'te Tablo 4.7-Tablo 4.9'da sunulmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde Terra KKA görüntüleri ile gerçekleştirilen simülasyonlarda

Harmanlanmış ($CM_{\pm 3ES}$) KKA görüntüleri ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre R^2 değerlerinin daha düşük D_V değerlerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Terra görüntüleri ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçları 2001-2010 su yılları için $R^2(ort)$ 0.846 ve $D_V(ort)$ olarak % 0.53 olarak hesaplanmaktadır. Terra görüntüleri yapılan modelleme sonuçlarının harmanlanmış ($CM_{\pm 3ES}$) uydu görüntülerine bazı yıllarda düşük bazı yıllarda ise yüksek sonuç vermesi Terra KKA görüntüsündeki bulutlu günleri doğrusal birleştirilmiş olmasından dolayıdır. Bulut oranının havza üzerinde fazla olması hesaplanan karla kaplı alan oranını düşüreceğinden bu durum hidrolojik modelleme işleminde akım temsiliyetini düşürecektir. Bulut oranının az olması ise havza üzerinde yer alan karla kaplı alan yüzdesini artıracığından, özellikle kar erimelerinden oluşacak su hacminin artmasını sağlayacaktır. Ayrıca Terra uydusu ile her günün karla kaplı alan görüntüsü üretilemeyeceğinden dolayı KKA bilgisi sürekliliği modelleme sürecinde olamayacak ve SRM'i kalibrasyon ve tahmin ortamında kullanılırken gerekli KKA bilgisini sağlayamayacaktır.

5.3. SRM ve HBV Model Sonuçları

Hidrolojik modellemenin, hidrolojik bir havzada yağış-akış arasındaki ilişkiyi havzanın özelliklerine göre belirlemek için yapılan hesaplar olarak tanımlandığı Bölüm 4'ün ilk kısmında bahsedilmişti. Hidrolojik modelleme için kullanılan bir çok yöntem bulunmaktadır. Derece-gün yöntemi WMO'nun dağlık havzalarda kar erimesinden meydana gelen akımın hesaplanmasında kullanımını en çok önerdiği metotlardan biridir (WMO, 1986). Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning (HBV), Snowmelt Runoff Model (SRM) gibi kar erimesi hesaplamalarında derece-gün yöntemi metodunun kullanıldığı iki kavramsal modelden biridir. Bu tez çalışması kapsamında Karasu Havzasının hidrolojik model çalışmaları SRM ile gerçekleştirilmiştir. SRM simülasyon sonuçları, çalışma kapsamında Yamankurt (2010) tarafından Yüksek Lisans tezinde sunulmuş olan ve HBV ile üretilen hidrolojik model sonuçları ile kıyaslanmıştır. HBV modeli ile ilgili genel bilgi bir sonraki bölümde verilmiştir.

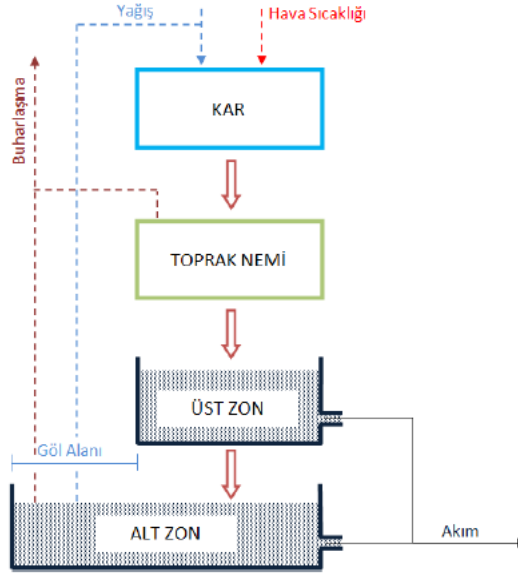
5.3.1. HBV Modeli

HBV modeli, bir havzada yağış, hava sıcaklığı ve potansiyel buharlaşma-terleme verileri kullanılarak akım simülasyonu hesabı için kullanılan kavramsal bir yağış-akış modelidir. Modelde, havzadaki kar birikmesi, kar erimesi, gerçek buharlaşma-terleme, toprak nemi ve yeraltı suyundaki depolama ve akım hesaplanmaktadır.

HBV modeli, 1970'li yılların başında İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü'nde (Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI) Dr. Sten Bergström ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bugün, HBV model kavramı oldukça yaygındır ve HBV modelinin değişik versiyonları farklı iklim koşullarında, küçük araştırma havzalarından kıtasal ölçek boyutlarına kadar 45 ülkede uygulanmıştır (Bergström ve ark., 2002).

5.3.2. Model yapısı

HBV modeli, Şekil 5.1'de görüldüğü üzere hidrolojik döngünün yer fazında birkaç ana bileşeni tanımlamasından dolayı yarı dağılımlı kavramsal bir model olarak sınıflanmaktadır. Modelde, alt havzalar birincil hidrolojik bileşen olarak tanımlanır ve kullanılır. Bu kapsamda hipsometrik dağılım ve arazi kullanımı sınıflandırması yapılmıştır. Akım, yağış, hava sıcaklığı ve potansiyel buharlaşma gibi iklimsel verilerden hesaplanır. Model, su dengesi hesabını havzadaki ana depolama şekli için yapar ve depolamanın, girdilerin değişmesi etkisinde dinamik olarak nasıl değiştiğini gösterir. HBV modelinde, iki farklı kategoride parametre bulunmaktadır. Bunlardan birincisi modele bir kez tanımlanan ve değiştirilmeyen parametreler, ikinci tür parametreler ise modelin kalibrasyon sürecine göre değişiklik gösteren parametrelerdir. HBV modeli ile ilgili daha fazla bilgi Yamankurt (2010) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında bulunmaktadır.



Şekil 5.1 HBV modelinin ana yapısı (Killingtveit ve Saelthun, 1995)

5.3.3. SRM ve HBV Modelleri Akım Sonuçları Kıyaslaması

SRM ve HBV modelleri akım sonuçlarının kıyaslanması 2001-2011 su yılları arasında yapılmıştır. SRM simülasyonlarında kalibrasyon sürecinin başlangıcı, erimenin başladığı Ocak ve Şubat ayları olarak seçilirken, bitiş süresi ise Haziran ayı olarak seçilmiştir. Bunun sebebi SRM'in kar erimelerini baz alarak yağış-akış arası benzetim yapmasıdır. HBV modelin kalibrasyon işlemi ise tüm su yılına uygulanmıştır. Bu bölümde karşılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi açısından HBV modelinin sonuçlarından SRM simülasyon tarihlerini arasında kalan bölümler seçilmiştir. Şekil 5.2 ve Tablo 5.1-Tablo 5.3'te SRM ve HBV kıyaslama sonuçları yer almaktadır.

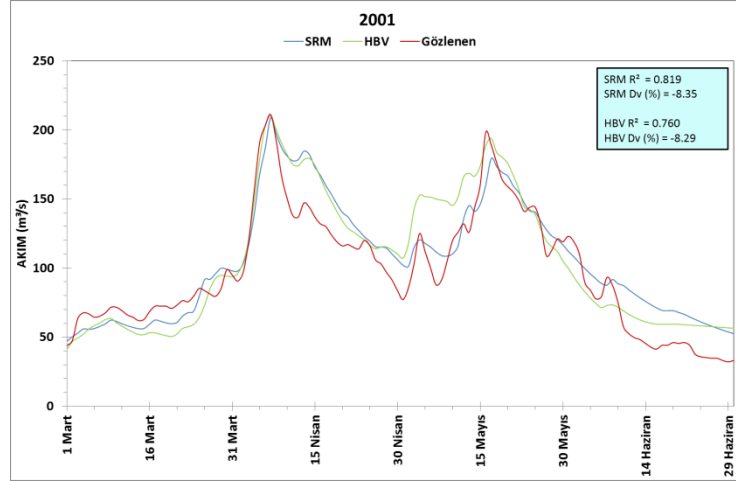
2001 su yılı sonuçlarında SRM ve HBV hesaplanan hidrografları büyük ölçüde benzerlik gösterirken HBV modeli Mayıs ayı başında gerçekleşen yağışlar sonucu SRM modeline göre daha fazla akım hesaplamaktadır. Bu durum HBV modelinde belirginlik katsayısının SRM modeline göre daha düşük olmasını sağlarken hacimsel farkın SRM modeli sonucuna yakın olmasını sağlamaktadır.

2002 su yılında HBV modeli ile hesaplanan hidrograf gözlenen hidrografa SRM modeline göre daha fazla benzerlik sağlamaktadır. Bu durum yağışların ve kar erimelerinin 2002 su yılında HBV modelinde SRM modeline göre daha iyi temsil edildiğini göstermektedir. 2002 su yılında SRM modeline göre pik akım değerlerini daha büyük hesaplayan HBV modelinde hacim farkı SRM modeline göre daha az hesaplanmaktadır. 2003 su yılı SRM ve HBV model sonuçlarında oluşan hidrografları belirginlik katsayısı birbirine büyük ölçüde yakındır. Ancak SRM modelinin HBV modeline göre daha fazla akım değeri hesaplaması sonucu hacim farkı SRM modelinde HBV modeline göre daha fazla olmuştur. 2004 su yılında SRM modeli Mart ayı başlarında gerçekleşen pik akımı HBV modeline göre daha iyi modellemektedir. 2004 su yılı akım hidrografının kalan diğer bölümlerinde ise HBV modeli yüksek akım değerlerini SRM modeline göre daha iyi hesaplamaktadır. 2005 ve 2006 su yıllarında her iki model de birbirine yakın sonuçlar üretmektedir. 2005 ve 2006 su yıllarında her iki model ile pik akımı tutturulamazken, HBV modeli sonuçlarında SRM modeline göre daha fazla oluşan hacim farkı her iki modelin parametre farklılığından kaynaklanmaktadır. 2007 su yılında HBV modeli ve SRM modeli simülasyon sonucu R^2 ve D_V olarak birbirine çok yakın değerler üretirken HBV modeli hesaplanan hidrografi gözlenen akım hidrografındaki pik akım değerini yakalama konusunda SRM modeline göre daha başarılı olmuştur. 2008 su yılı HBV modeli hesaplanan akım hidrografı SRM modeli akım hidrografına göre daha inişli çıkışlı bir yol izlemektedir. 2008 su yılında SRM modeli HBV modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir. 2009 su yılında HBV modeli özellikle Mayıs ayında gerçekleşen pik akım değerleri konusunda SRM modeline göre daha başarısız olmuştur. Ancak HBV ile hesaplanan hidrograf Şubat ayından Mayıs ayı başlarına kadar SRM modeline göre daha fazla benzerlik göstermektedir. HBV modeli özellikle Mayıs ayı tutarsızlığından dolayı SRM modeline göre daha fazla hacim vermektedir. 2010 su yılında HBV modeli hacimsel farklılık kriterinde SRM modeline göre daha başarılı olurken, R^2 kriteri açısından SRM modeli HBV modeline göre daha başarılı durumdadır. 2011 su yılı hem SRM hem de HBV modelin de doğrulama işlemi olarak modellenmiştir. Doğrulama işlemi sonucu her iki model hesaplanan akım hidrografları birbirine büyük ölçüde benzerlik sağlarken her iki modelde

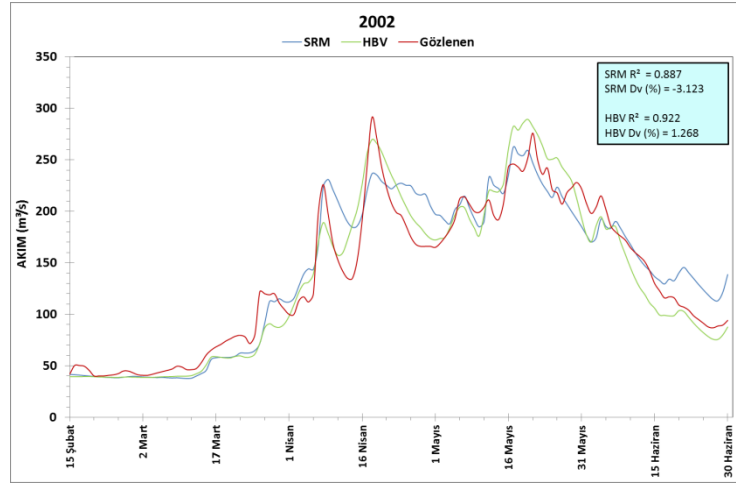
Nisan ayında gerçekleşen yağışlar iyi temsil edilirken, Mayıs ayında gerçekleşen erimeler ve yağışlar yeterli ölçüde temsil edilmemektedir. Doğrulama işlemi sonucu her iki model R^2 ve D_v sonuçları sınır koşullarına uygunluk sağlamaktadır.

Sonuç olarak her iki modelle 2001-2010 su yılları için başarılı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarında R^2 kriteri olarak SRM ile yılların ortalaması 0.867 olarak hesaplanırken, HBV modeli için bu değer 0.859 olarak hesaplanmaktadır. Hacimsel farklılık (D_v) SRM modelinde ortalama -3.22 % olurken, HBV modeli içinse -2.10 % olarak hesaplanmaktadır. Modeller arası bu farklılıkların oluşması, model yapısı ve parametre setlerinin farklılık nedeniyle gerçekleştiği söylenebilir. Ayrıca SRM modeli ile sadece erime dönemi simülasyonu yapılırken, HBV modeli sonuçları tüm su yılı simülasyon sonuçlarından erime dönemi kısmını kapsayan bölümlerinin alınması ile oluşmaktadır.

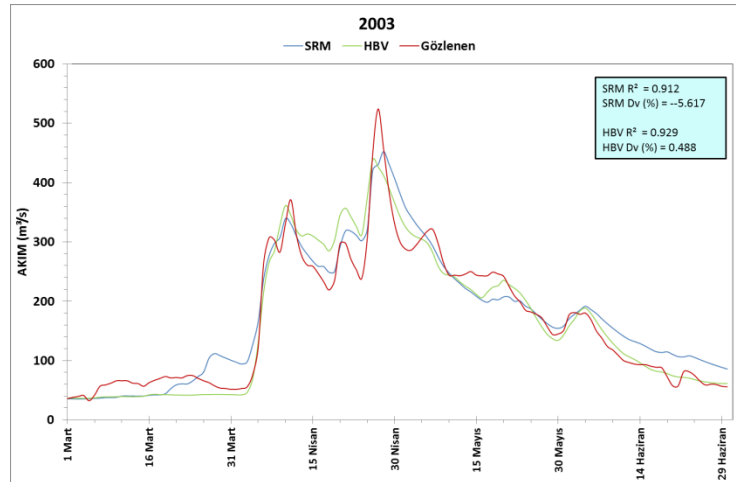
a)



b)

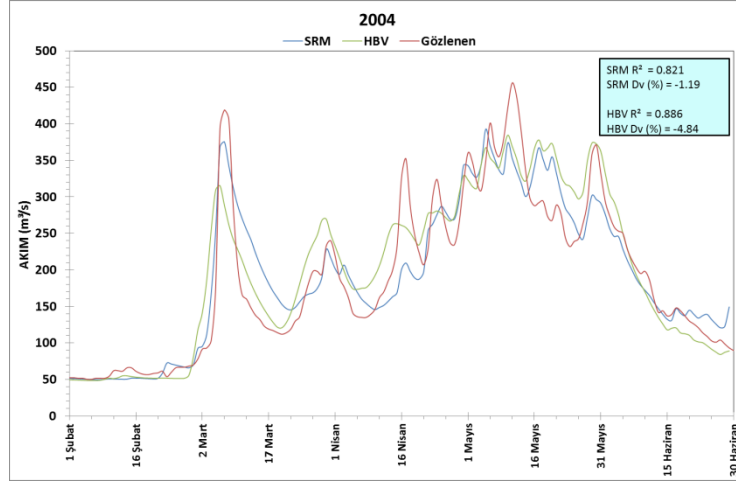


c)

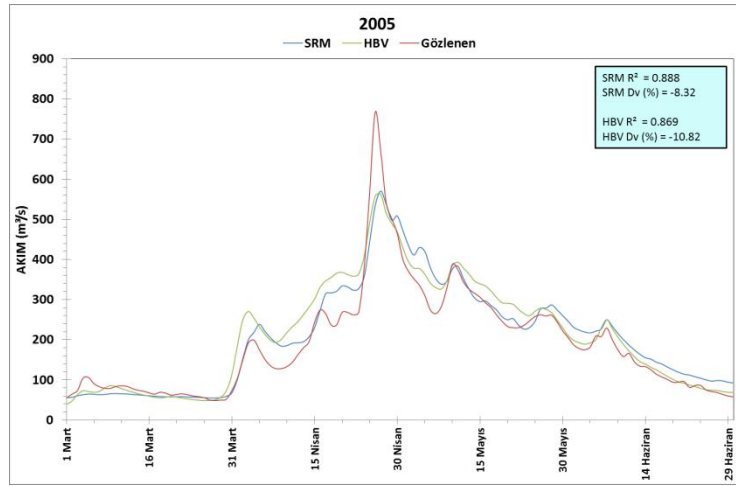


Şekil 5.2 SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası, a) 2001, b) 2002, c) 2003

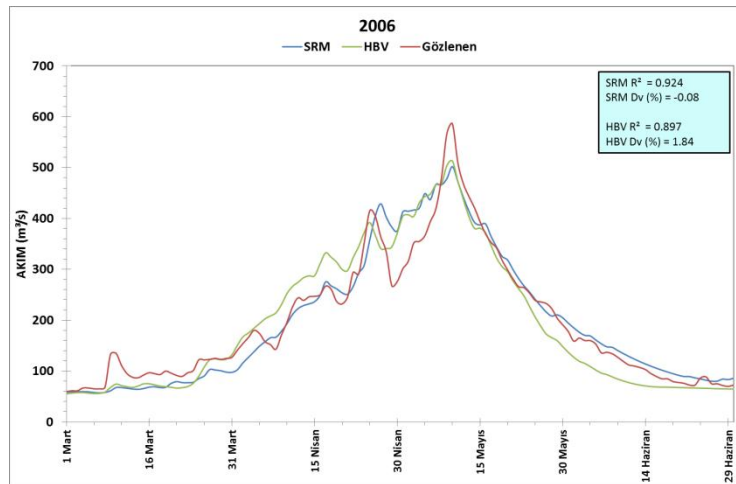
d)



e)

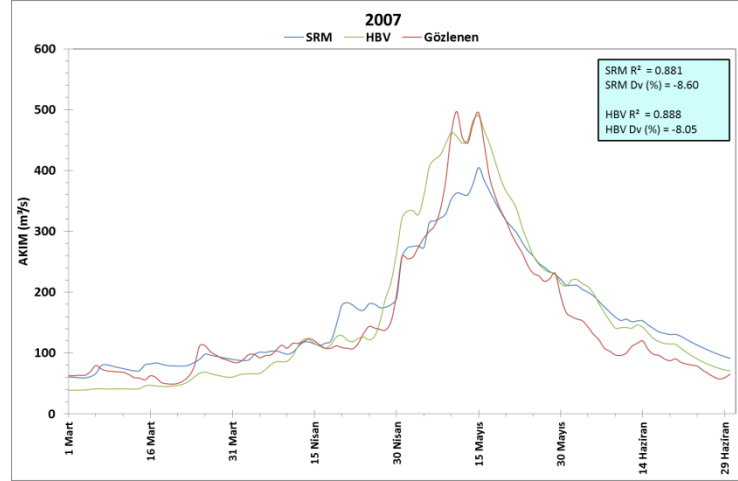


f)

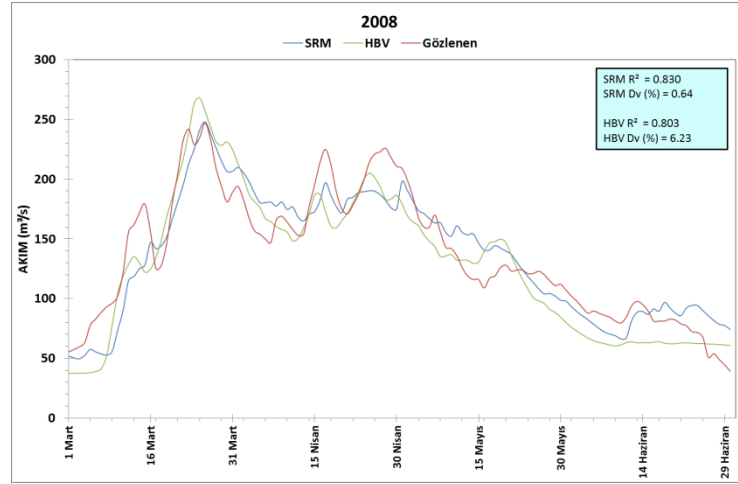


Şekil 5.2 (devamı) SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası, d) 2004, e) 2005, f) 2006

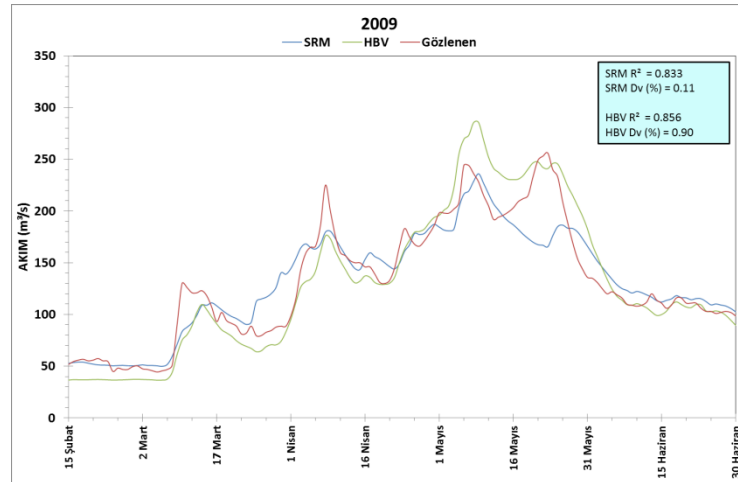
g)



h)

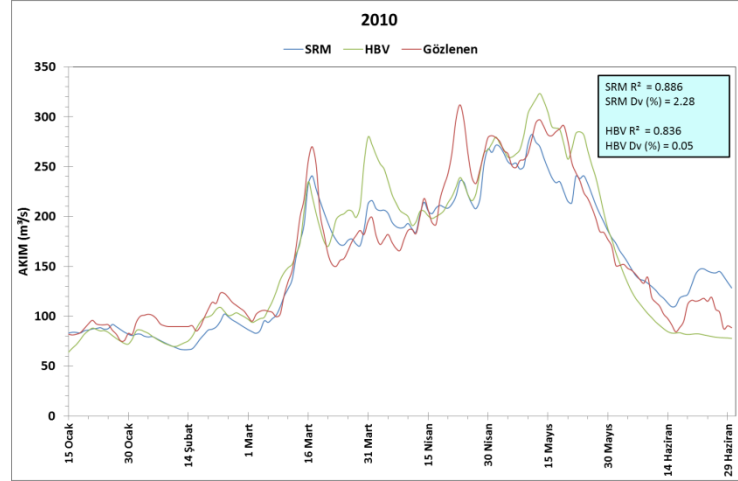


i)

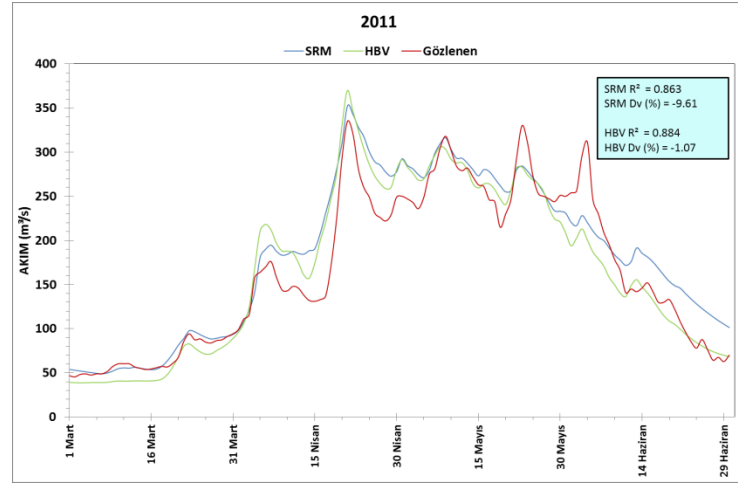


Şekil 5.2 (devamı) SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası, g) 2007, h) 2008, i) 2009

j)



k)



Şekil 5.2 (devamı) SRM ve HBV modelleri akım kıyaslaması, Karasu Havzası, j) 2010, k) 2011

Tablo 5.1 SRM ve HBV model sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası

	R²		Dv (%)	
	SRM	HBV	SRM	HBV
2001	0.819	0.760	-8.35	-8.291
2002	0.887	0.922	-3.12	1.268
2003	0.912	0.929	-5.62	0.488
2004	0.821	0.866	-1.19	-4.84
2005	0.888	0.869	-8.32	-10.82
2006	0.924	0.897	-0.08	1.84
2007	0.881	0.888	-8.60	-8.05
2008	0.822	0.803	0.64	6.23
2009	0.833	0.856	0.11	0.90
2010	0.886	0.836	2.28	0.05
Ort	0.867	0.860	-3.226	-2.99

Tablo 5.2 SRM ve HBV simülasyonları maksimum akım sonuçları, 2001-2010, Karasu Havzası

	SRM ve HBV AKIM KARŞILAŞTIRMASI (m³/s)											
	SRM						HBV					
	Modellenen	Ölçülen	Fark (%)	Modellenen	Ölçülen	Fark (%)	Modellenen	Ölçülen	Fark(%)	Modellenen	Ölçülen	Fark(%)
2001	208.8	211	-1.1	179.3	198	-10.4	210.3	211	-0.3	193.8	198	-2.2
2002	234.4	226	3.6	240.8	276	-14.6	189.0	226	-19.6	289.3	276	4.6
2003	339.3	371	-9.3	452.2	524	-15.9	361.1	371	-15.9	438.7	524	-19.4
2004	375.4	419	-11.6	374.0	456	-21.9	315.3	419	-32.9	384.5	456	-18.6
2005	570.5	767	-34.4	570.5	767	-34.4	562.2	767	-36.4	562.2	767	-36.4
2006	428.8	415	3.2	501.9	586	-16.8	392.1	415	-5.8	512.8	586	-14.3
2007	363.1	497	-36.9	404.9	495	-22.3	461.9	497	-7.6	490.0	495	-1.0
2008	248.0	247	0.4	198.1	226	-14.1	268.2	247	7.9	205.1	226	-10.2
2009	180.5	225	-24.7	236.0	244	-3.4	176.0	225	-27.8	285.6	244	14.6
2010	240.8	270	-12.1	282.4	297	-5.2	234.7	270	-15.0	323.3	297	8.1

Tablo 5.3 SRM ve HBV model simülasyonları pik akım zamanı, 2001-2010, Karasu Havzası

		SRM ve HBV PİK AKIM ZAMAN KİYASLAMASI									
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
		Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı	Pik Zamanı
SRM	Modellenen	7 Nisan	9 Nisan	10 Nisan	8 Mart	26 Nisan	27 Nisan	11 Mayıs	26 Mart	9 Nisan	17 Mart
	Ölçülen	7 Nisan	8 Nisan	11 Nisan	7 Mart	27 Nisan	25 Nisan	11 Mayıs	26 Mart	8 Nisan	17 Mart
	Modellenen	17 Mayıs	20 Mayıs	28 Nisan	11 Mayıs	26 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	1 Mayıs	9 Mayıs	12 Mayıs
	Ölçülen	16 Mayıs	21 Mayıs	27 Nisan	11 Mayıs	27 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	28 Nisan	7 Mayıs	13 Mayıs
HBV	Modellenen	7 Nisan	8 Nisan	10 Nisan	7 Mart	27 Nisan	25 Nisan	10 Mayıs	25 Mart	8 Nisan	16 Mart
	Ölçülen	7 Nisan	8 Nisan	11 Nisan	8 Mart	27 Nisan	25 Nisan	11 Mayıs	26 Mart	8 Nisan	17 Mart
	Modellenen	17 Mayıs	20 Mayıs	26 Nisan	11 Mayıs	27 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	25 Nisan	8 Mayıs	13 Mayıs
	Ölçülen	16 Mayıs	21 Mayıs	27 Nisan	11 Mayıs	27 Nisan	10 Mayıs	15 Mayıs	28 Nisan	7 Mayıs	13 Mayıs

5.4. Kar Erimesi Kıyaslaması

Kar erimesi kıyaslaması 2008- 2011 su yılları SRM ve HBV modelleme sonuçları arasında gerçekleştirilmiştir.

SRM modeli hidrolojik modelleme işleminde akım benzetimi yaparken çıktı ürünleri arasında günlük kar erimesi (4.7) sonucunu da sunmaktadır. HBV modeli ise hidrolojik modelleme sonucu akım benzetiminin yanı sıra günlük bazda kar su eşdeğerini sonuçlar arasında sunmaktadır. Her iki modelin kar ürünleri konusunda kıyaslamasını yapabilmek için model sonuçlarının “kar erimesi” ortak paydasında buluşması gerekmektedir. SRM’in çıktı ürünlerinden biri olan Modifiye Çekilme Eğrisi Bölüm 3’te anlatıldığı üzere karla kaplı alan yüzdesine karşılık kar erime miktarlarının yer aldığı grafiklerdir. Bu grafiklerin altında kalan alanlar ise günlük bazda kar su eşdeğerini ifade etmektedir. Günlük bazda hesaplanan kar su eşdeğerinin ileriye doğru eklenik toplanması ile ilgili simülasyon sürecinin toplam kar su eşdeğeri hesaplanmaktadır. Günlük bazda hesaplanan kar su eşdeğerlerinin geriye doğru eklenik toplanması ile ise kar erimleri ifade edilmektedir.

SRM modeli için kar erimleri bu yöntemle ifade edilirken aynı işlem HBV modeli sonuçlarından olan ve günlük bazda üretilmiş olan kar su eşdeğerleri üzerine de uygulanmıştır. Böylelikle her iki modelin kar ürünü sonuçlarının kar erimesi şeklinde yorumlanması mümkün olmuştur. Kıyaslamanın yer aldığı Şekil 5.3-5.6’da karşılaştırma yıllarının simülasyon tarihleri arasında kalan toplam sıcaklık değerleri, akım değerleri, SRM ve HBV kar erime miktarları ve MODIS başlığı altında kar çekilme eğrileri yer almaktadır. Bu bilgilerden hareketle:

2008, 2010 ve 2011 su yıllarındaki erime olayları birbirine paralellik göstermektedir. Her üç su yılında da sıcaklığın artmasına bağlı olarak karla kaplı alan miktarı azaldıkça kar erime miktarlarında artış görülmektedir. Simülasyon başlangıç tarihinde her iki model yapısının farklılığından dolayı oluşan erime farkı görülmektedir. 2008 su yılında simülasyon başlangıç tarihinde karla kaplı alan değişimin düşük oranda gerçekleşmiş olmasına paralel olarak her iki modelin kar erimesi de düşük miktarda gerçekleşmiştir. Ancak Mart ayı ilk haftasından sonra hızlı bir şekilde azalan karla kaplı alan oranına bağlı olarak erime miktarı da artış

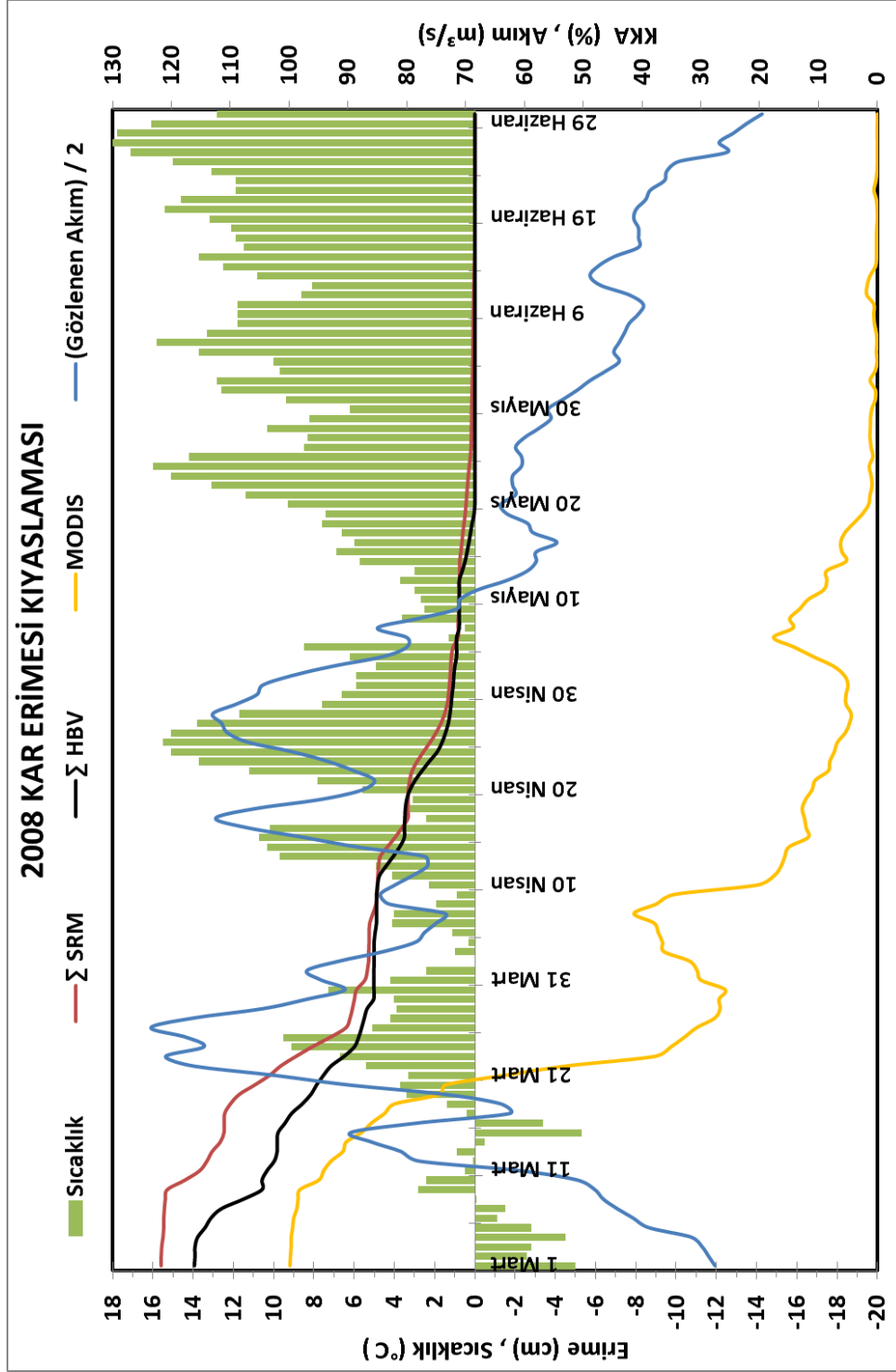
göstermektedir. Bu aşamada hızlı şekilde gerçekleşen karla kaplı alan değişimine SRM modeli HBV modeline göre daha fazla kar erimesi hesaplamaktadır. Kar miktarındaki bu değişime bağlı olarak aynı tarihlerde Karasu Havzası için ölçülen akım miktarında da artış görülmektedir. Sıcaklığın belirli bir seviyeye (kritik sıcaklık) düştüğü durumlarda her iki model de erime hesabı yapmamaktadır. Bu duruma örnek olarak 2008 su yılı Nisan ayı ilk haftası sıcaklığın düşük ve KKA'da birikmenin olmasından dolayı model erime değerleri yatay seyretmektedir. Yine aynı durum 2009 su yılında yaklaşık olarak Şubat ayı ortasından Mart ayı başlarına, 2010 su yılında yaklaşık Ocak ayı ortalarından Şubat ayı ortalarına kadar devam etmektedir. 2011 su yılında Mart ayı ortalarına kadar düşük sıcaklıklardan dolayı erime neredeyse sabit kalmaktadır. Ancak ilerleyen tarihlerde KKA miktarının sürekli olarak azalması ile kar erime miktarında da artış görülmektedir.

2009 su yılında SRM ve HBV modelleri simülasyon başlangıç ve bitiş tarihinde yaklaşık olarak aynı değerleri hesaplamaktadır. Ancak Mart ayı sonları ile Nisan ayı başlarında tekrardan kar yağması ve kar erimesi sonucu SRM modeli HBV modeline göre daha fazla erime değeri hesaplamaktadır. 2008 su yılında da görüldüğü gibi 2009 su yılında da SRM modeli karla kaplı alan değişimine bağlı olarak kar erime miktarını daha fazla hesaplamaktadır. 2009 su yılında 27 Mart tarihi itibari ile KKA gerilerken akım değerleri kar erimeleri görülmekte ve akım değerleri artmaktadır. Burada hızlı yükselen (sivri) akımlar ayrıca yağmur yağışlarından da beslenmektedir.

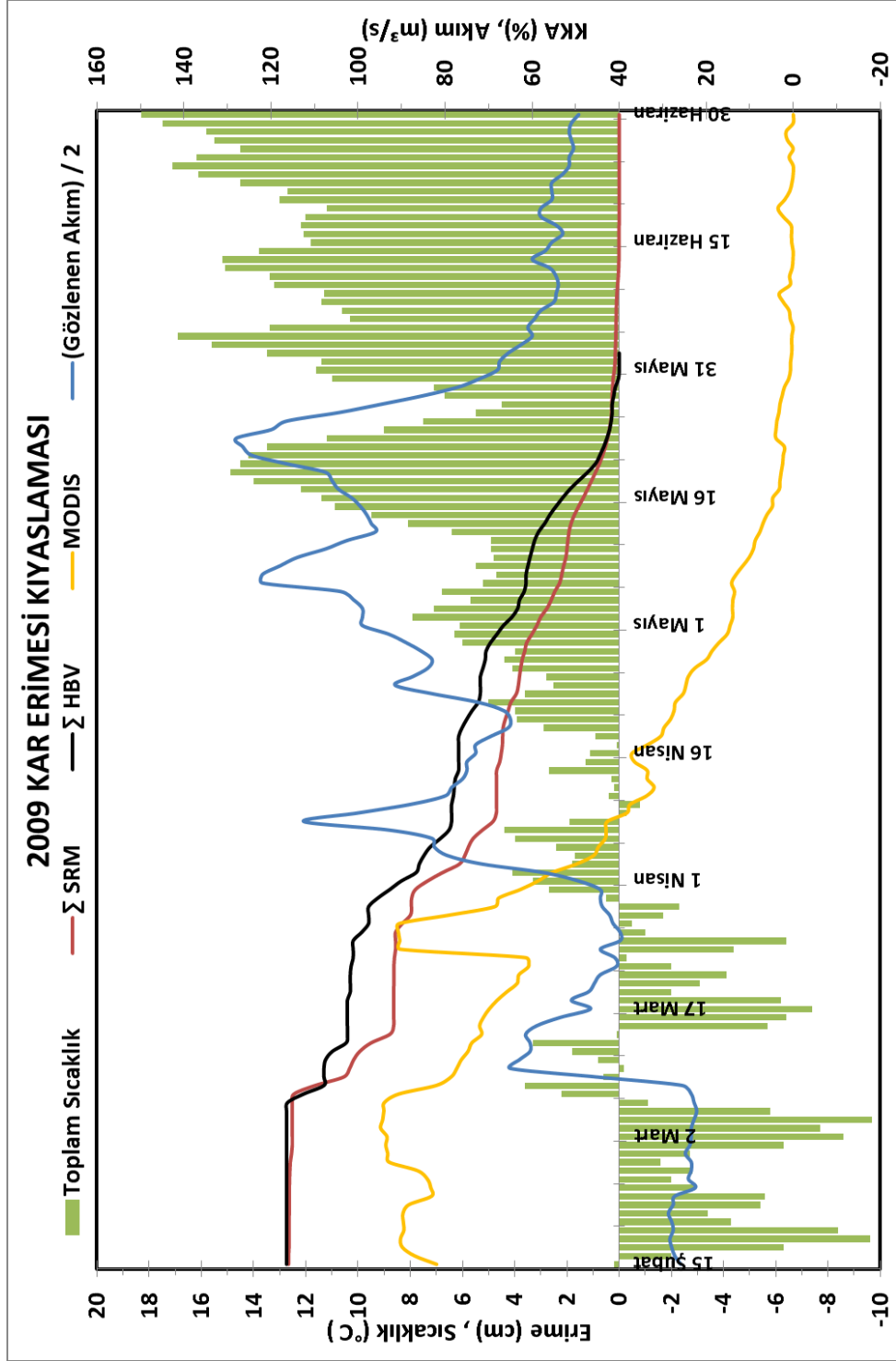
2010 su yılı kıyaslama grafiği genel görünüm olarak 2008 su yılı grafiği ile benzerlik göstermektedir. Simülasyon başlangıç tarihinde birikmenin görülmesi ile erime değeri sabit kalırken, KKA oranının azalması ve sıcaklık değerlerinin artması ile kar erime miktarları da artış göstermektedir. 2010 su yılında SRM modeli 2008 ve 2009 yılında olduğu gibi KKA'nın hızlı bir şekilde azaldığı tarihlerde HBV modeline göre daha fazla erime hesaplamaktadır. SRM modelinin aynı KKA değişiminde HBV modeline göre daha fazla erime hesaplaması, her iki modelde de kar erimesini etkileyen parametre değer farklılığından kaynaklanmaktadır. Burada erime miktarını etkileyecek bir diğer

durum ise erimenin başlayacağı sıcaklık değerin (kritik sıcaklık) her iki modelde farklı uygulanmasıdır.

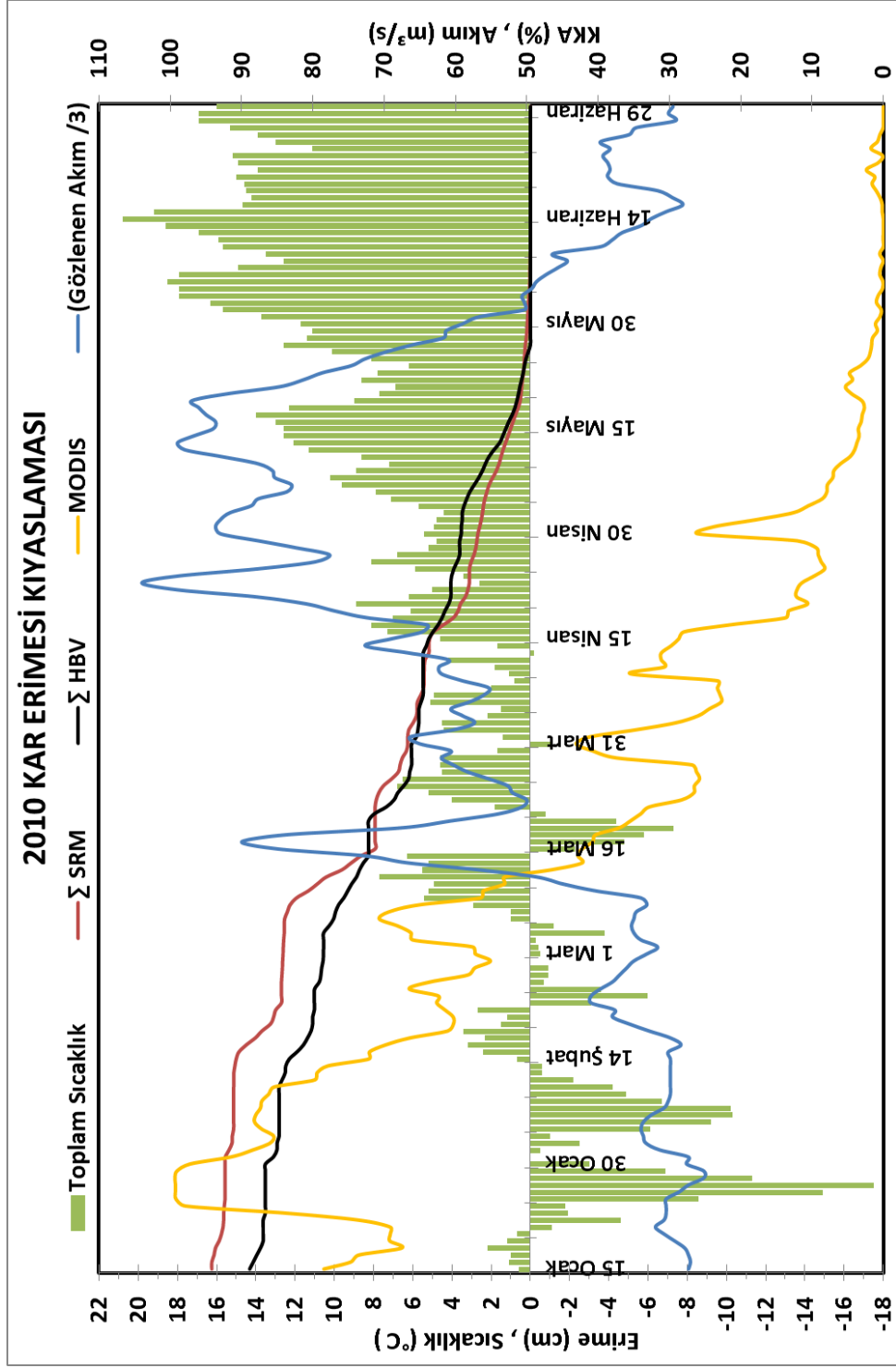
2011 su yılı kıyaslama grafiğı genel görünüm olarak 2008 ve 2010 su yılı grafiğı ile benzerlik göstermektedir. Mart ayı ortalarına kadar hava sıcaklıklarının sıfırın altında olmasına bağılı olarak Nisan ayı ortalarında birikmenin olmasından dolayı erime değeri sabit kalırken, ilerleyen tarihlerde KKA oranının azalması ve sıcaklık değeri artması ile kar erime miktarları da artış göstermektedir. 2011 su yılında SRM modeli 2008 ve 2009 yılında olduğı gibi KKA'nın azaldığı tarihlerde HBV modeline göre daha fazla erime hesaplamaktadırBurada erime miktarını etkileyecek bir diğeri durum ise erimenin başlayacağı sıcaklık değeri (kritik sıcaklık) her iki modelde farklı uygulanmasıdır.



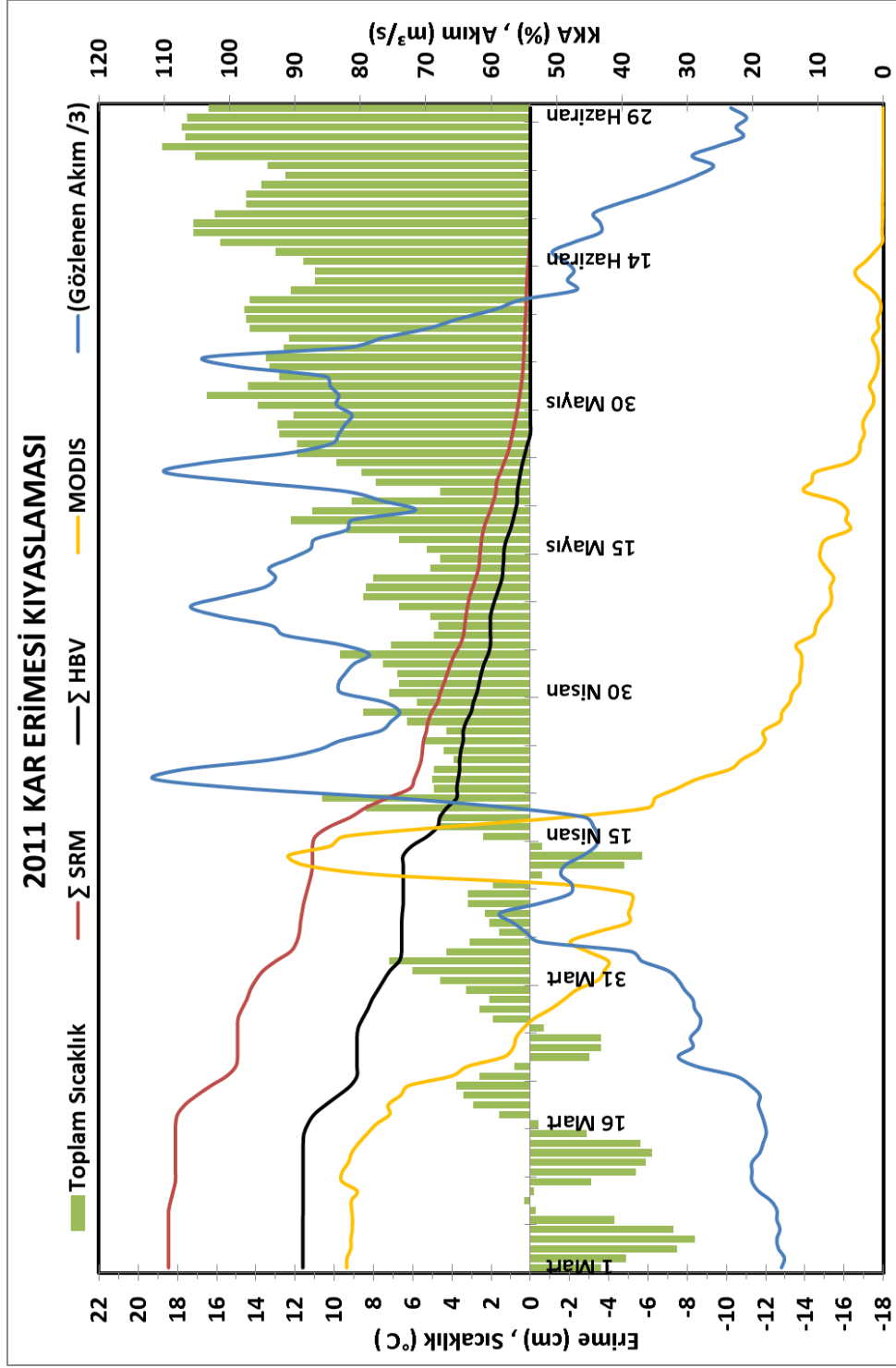
Şekil 5.3 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2008 su yılı



Şekil 5.4 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2009 su yılı



Şekil 5.5 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2010 su yılı



Şekil 5.6 Kar erimesi kıyaslaması, Karasu Havzası, 2011 su yılı

5.5. Kar Su Eşdeğeri Kıyaslaması

Çalışma kapsamında Detrended Kriging yöntemi ve HBV modeli ile üretilen kar su eşdeğeri kıyaslaması yapılmıştır. Bölüm 3'te anlatıldığı üzere Detrended Kriging yöntemi ile 2008, 2009, 2010 ve 2011 su yıllarının Ocak, Şubat, Mart ve Nisan ayları için kar su eşdeğeri Karasu Havzası bazında üretilmiş ve sonuçları yine Bölüm 3'te sunulmuştur.

HBV modeli ile yağış akış ilişkisi kurulurken model çıktıları arasında kar su eşdeğeri sonuçlarını günlük bazda sunmaktadır. Bu amaçla çalışmanın akım kıyaslaması bölümünde kullanılan HBV model simülasyonlarından 2008-2011 su yıllarının kar su eşdeğeri sonuçları Detrended Kriging yöntemi ile üretilen kar su eşdeğeri sonuçları ile kıyaslanmıştır. Böylelikle Yamankurt (2010) tarafından yapılan tez çalışması kapsamında HBV modeli ile üretilen ancak tez kapsamında kullanılmayan model çıktılarından kar su eşdeğeri sonuçları kullanılmış ve kıyaslaması yapılmıştır. Kıyaslamanın yer aldığı Şekil 5.7-Şekil 5.10'da kıyaslama yıllarının simülasyon tarihleri arasında kalan toplam sıcaklık değerleri, akım değerleri, DK ve HBV kar su eşdeğeri bilgileri ve MODIS başlığı altında kar çekilme eğrileri yer almaktadır. Bu bilgilerden hareketle:

Kıyaslama grafikleri incelendiğinde, 2008-2011 su yıllarında Detrended Kriging yöntemiyle üretilen kar su eşdeğeri bilgilerinde Ocak, Şubat ve Mart ayı boyunca artışın gözlemlendiği, Nisan ayı itibari ile ise KSE değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bu durum, Mart ayına kadar birikmeden ötürü karın sıkışması ve ayrıca kar erimelerinin karı sulandırmasının yoğunluğunu artırması ve Nisan ayı itibari ile özellikle karla kaplı alan oranının azalmasından dolayı Detrended Kriging yöntemiyle hesaplanan kar su eşdeğerindeki düşüşü açıklamaktadır. HBV modelinde 2008, 2009 ve 2011 su yılları için KSE artışı Mart ayına kadar görülürken, 2010 su yılı HBV kar su eşdeğerinde Ocak ayında başlayan artış Şubat ayı ve Mart ayı boyunca yaklaşık aynı seviyede kalmaktadır. 2010 su yılında Şubat ve Mart aylarında yüksek KSE değerlerinin hesaplanmasının sebebi ise yaklaşık olarak Şubat ayı sonlarında hızlı bir şekilde başlayan ve Mart ayı sonlarına kadar devam eden kar erimeleridir. Detrended Kriging yöntemi ve HBV

modeli ile üretilen kar su eşdeğerleri arasındaki farklılıklar hesaplamalarda kullanılan farklılıktan kaynaklanmaktadır.

2008 yılında en yüksek KSE değeri Detrended Kriging yöntemi ve HBV modeli ile Mart ayında hesaplanmaktadır. Mart ayı ortasından itibaren karla kaplı alan oranının azalmasına bağlı olarak DK ve HBV sonuçlarında düşüş görülmektedir.

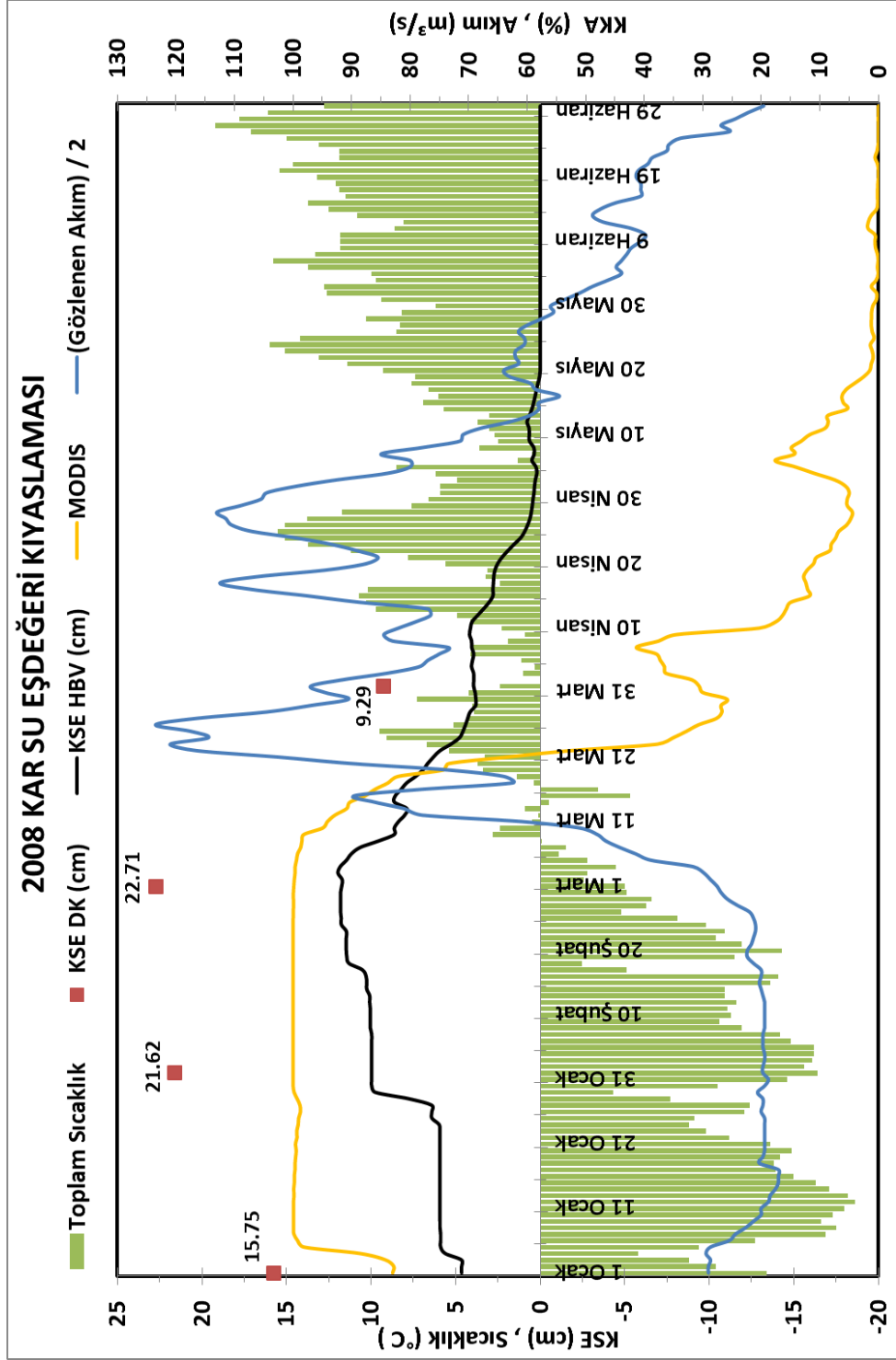
2009 su yılında Detrended Kriging yöntemiyle diğer su yıllarından farklı olarak Mart ayı için iki farklı KSE hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplar, Mart ayının ilk yarısı ve ikinci yarısının kar verilerini ayrı ayrı kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. İki farklı hesaplama yapılmasının sebebi 24 Mart 2009 tarihinde bölge üzerine yeniden düşen kar yağışından kaynaklanmaktadır. Böylelikle 2009 su yılında diğer su yıllarından farklı olarak en yüksek KSE değeri Mart ayının ilk yarısında değil, ikinci yarısında hesaplanmıştır. Nitekim HBV modeli ile de maksimum KSE değerine Mart ayının ikinci yarısında ulaşılmaktadır.

2010 su yılı DK sonuçları Ocak ayı ile artış gösterirken, en yüksek değer Mart ayı ilk yarısında hesaplanmaktadır. Mart ayı ikinci yarısı ile KKA oranının azalmasına bağlı olarak DK'nın KSE sonuçları da azalmaktadır. Ancak kar erimelerinin Şubat ayı ile başlaması ve Mart ayı boyunca devam etmesi sonucu HBV modeli ile Şubat ayında ve Mart ayında olmak üzere iki en yüksek KSE değeri hesaplanmıştır.

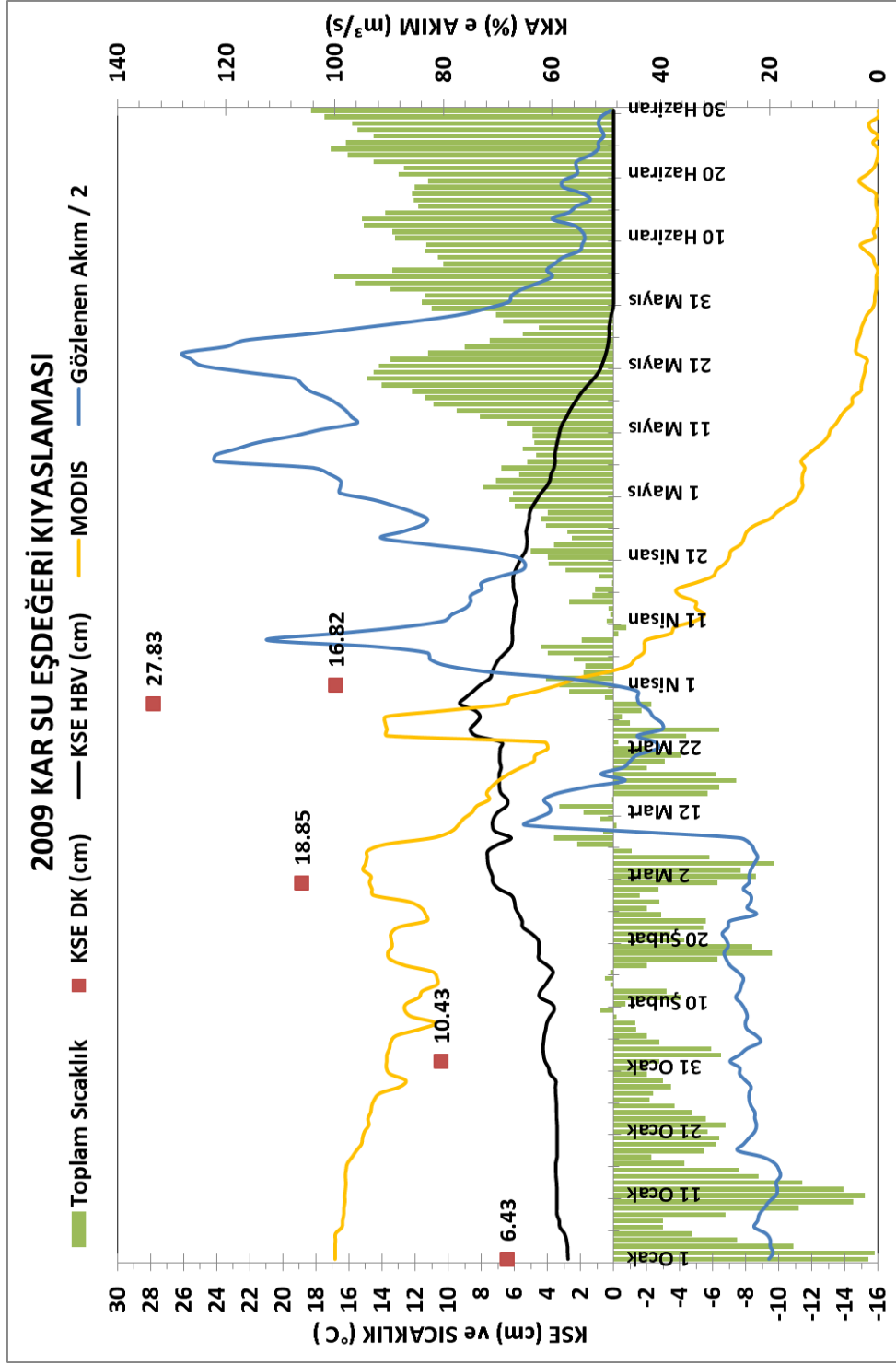
2011 su yılı KSE sonuçlarında diğer su yıllarında olduğu gibi Detrended Kriging yöntemi ve HBV model sonuçları arasında belirgin bir fark bulunmaktadır. 2011 su yılında Detrended Kriging KSE değerleri Ocak ayında en düşük değerde bulunurken en yüksek KSE değerine ise Mart ayında ulaşılmaktadır. 2011 su yılında Mart ayı ortalarına kadar sıcaklık değerlerinin sıfırın altında olması, kar birikmesinin olmayışı ve mevcut karın sıkışması bu döneme kadar olan KSE değerlerinin artmasını sağlarken, Nisan ayı başlarında kar erimelerin ani gerçekleşmesi ve KSE ölçümlerinin Nisan ayı ortasındaki kar yağışından önce alınmasından dolayı Nisan ayı KSE değeri düşük çıkmaktadır. HBV model KSE artışı Detrended Kriging yönteminde olduğu gibi Mart ayına kadar artmakta Nisan ayından itibaren değerler düşmektedir. HBV modeli KSE

sonuçlarının DK modeline göre daha düşük olması, HBV modelinin parametre değerlerine göre KSE hesaplaması, DK'nın ise ölçülen KSE değerlerini belirli bir eğilime göre dağıtmasıdır

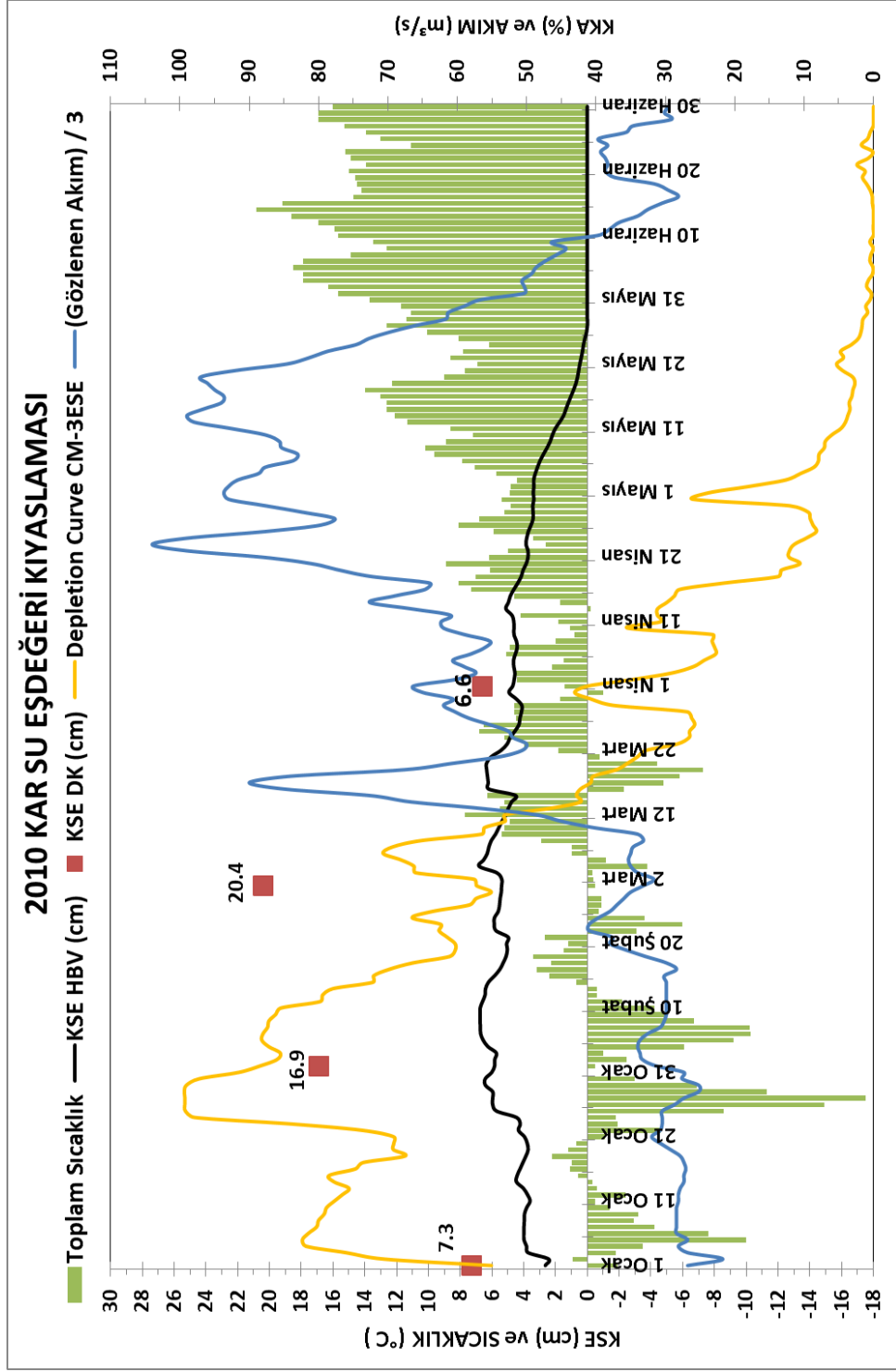
Kar su eşdeğeri kıyaslamasına bakılarak özellikle 2009 su yılı Mart ayı sonuçlarından hareketle kar yağışlarının etkin olduğu bölgelerde kar gözlem istasyon (KGİ) sayısının artırılması ve devlet kurumları tarafından manuel olarak gerçekleştirilen kar gözlemlerinin ayda en az iki veya daha fazla gerçekleştirilerek ölçüm sıklığının artırılması, hem kar su eşdeğeri hesaplamalarında hem de özellikle maksimum kar su potansiyeli hesaplamalarında çok önemli olmaktadır. Hesaplamalardaki verimliliğin artışı, bölgede bulunan su potansiyelinin kontrolünü artıracaktır.



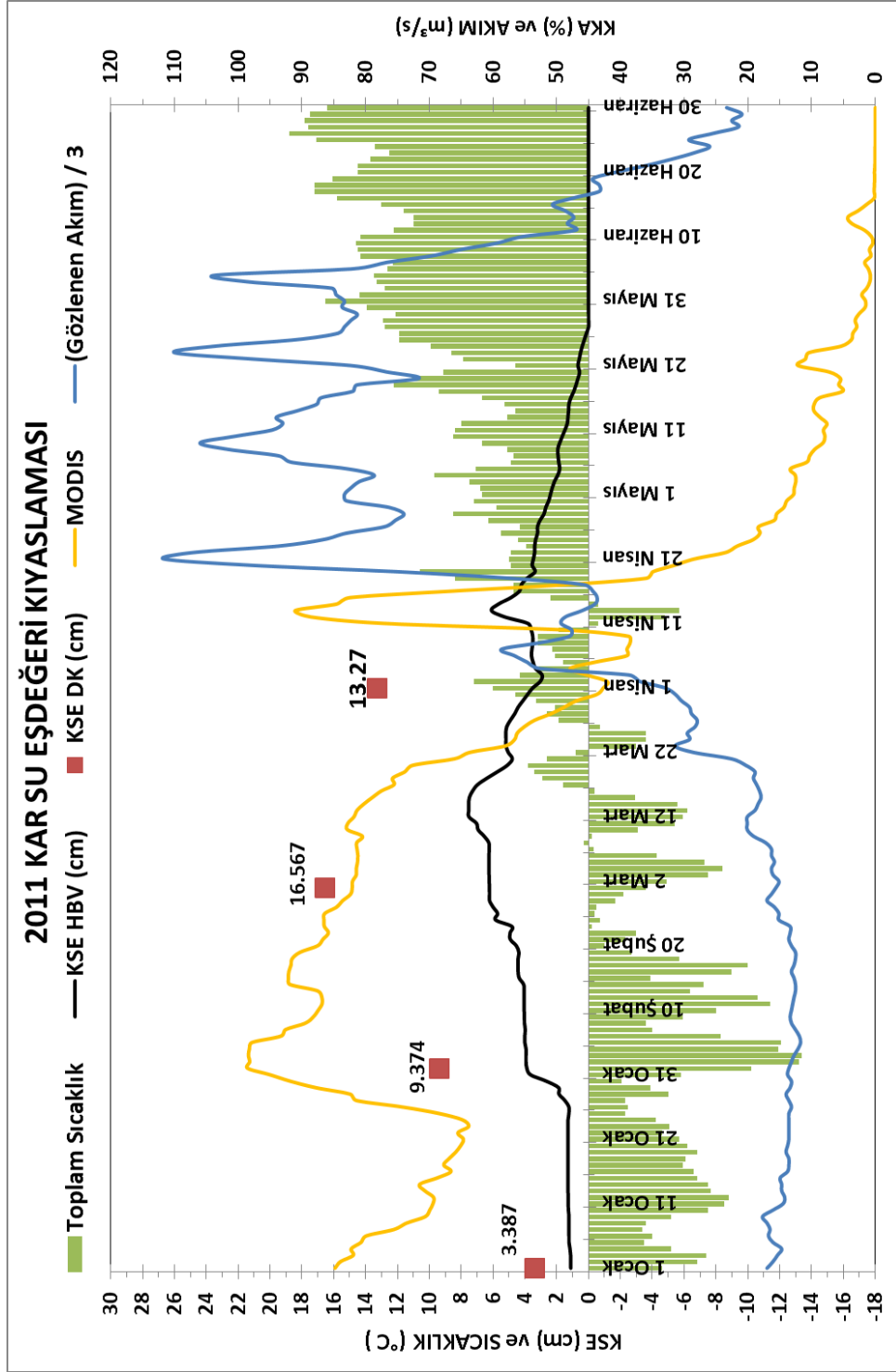
Şekil 5.7 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2008 su yılı



Şekil 5.8 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2009 su yılı



Şekil 5.9 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2010 su yılı



Şekil 5.10 Kar su eşdeğeri kıyaslaması, Karasu Havzası, 2011 su yılı

KAYNAKLAR

- Akyürek, Z. ve Şorman, A.Ü. (2002), Accuracy Assessment of a Landsat Assisted Land-cover Mapping Case Study: City of Erzurum and its Vicinity-Turkey, 3rd International Remote Sensing Symposium of Urban Areas, Istanbul, Turkey, 2, 529-536.
- Altınbilek, D. (2004), Development and Management of Euphrates-Tigris Basin, Water Resources Development, 20, 1, 15-33.
- Altürk, B. (2009), Erken Kar Erimelerinin Fırat ve Dicle Havzasındaki Nehirlerin Akım Zamanına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aytemiz, L. ve Kodaman, T. (2006), Sınır Aşan Sular Kullanımı ve Türkiye – Suriye İlişkileri, TMMOB Su Politikaları Kongresi.
- Baumgartner, M.F. ve Rango, A. (1995), A microcomputer based alpine snowcover analysis system (ASCAS), Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61 (12), 1475-1486.
- Bergström, S. (1975), Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments, Ph.D. Thesis. SMHI Reports RHO No. 7, Norrköping. 79.
- Bergström, S., Lindström, G. ve Pettersson, A. (2002), Multi-variable parameter estimation to increase confidence in hydrological modeling, Hydrological Processes, 16, 413-421.
- Beşer, Ö. (2002), The use of SSM/I for snow mapping over the eastern part of Turkey, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Crawford, N.H. ve Linsley, R.K. (1966), Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV., Department of Civil Engineering Technical Report 39. Palo Alto, CA: Stanford University.

- Frank C., Itten I. K., Staez K. (1988), Improvement in NOAA-AVHRR snow cover determination for runoff prediction, IEEE, IGARSS, 433-435.
- Guneriusson, T., Bjerke, P.L., Hallikainen, M., Hiltbrunner, D., Johnsen, H., Jaaskelainen, V., Kolberg, S.A., Koskinen, J., Maltzer, C., Pullianen, J., Sand, K., Solberg, R. Standley, A. ve Wiesmann, A. (2000), Research and Development of Earth Observation Methods for Snow Hydrology, SnowTools Final Report, NORUT Report, 431/47-00.
- Garen, D. C., G. L. Johnson, C. L. Hanson. (1994), Mean areal precipitation for daily hydrologic modeling in mountainous regions. Water Resources Bulletin 30: 481-491.
- Hall, D.K. ve Martinec, J. (1985), Remote sensing of ice and snow, Chapman and Hall, London, 189.
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E., Bayr, K.J. (2002), MODIS snow cover products, Remote Sensing of Environment, 83, 181-194.
- Hall, D.K. ve Riggs, G.A. (2007), Accuracy assessment of the MODIS snow products, Hydrological Processes 21, 1534-1547.
- Harrison, A.R. ve Lucas, R. M. (1989), Multi-spectral classification using NOAA/AVHRR imagery, International Journal of Remote Sensing, 10, 907-916.
- Harshburger, B.J, Humes, K.S., Walden, V.P., Blandford, T.R., Moore, B.C., Dezzani, R.J. (2010), Spatial interpolation of snow water equivalency using surface observations and remotely sensed images of snow-covered area, Hydrological Processes, 285-1295.
- Hu, X., Bailey, J.O., Barret, E.C. ve Kelly, E.J. (1993), Monitoring snow area and depth with integration of remote sensing and GIS, International Journal of Remote Sensing, 14, No. 17, 3529-3268. 80.

- Kaya, I. (1999), Application of Snowmelt Runoff Model Using Remote Sensing and Geographic Information Systems, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara,.
- Killingtveit, A. ve Saelthun, N.R. (1995), Hydrology, Hydropower Development Volume No. 7, Norwegian Institute of Technology, Division of Hydraulic Engineering, Trondheim, Norway.
- Marks, D., Dozier, J. ve Davis, R. (1992), Climate and energy exchange at the snow surface in the alpine region of the Sierra Nevada 1. Meteorological measurements and monitoring, Water Resources Research, 28, No. 11: 3029-3042.
- Martinec J. (1975), Snowmelt runoff model for streamflow forecasts, Nordic Hydrology, 6, 145- 154. 81.
- Martinec, J. ve Rango, A. (1987), Interpretation and utilization of areal snow cover data from satellites, Annals of Glaciology 19, 166-169.
- Martinec, J., Rango, A. ve Roberts, R. (1998), The Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual, Geographica Bernensia, P29, Department of Geography, University of Berne, Berne, Switzerland.
- Nagler, T. ve Rott H. (1997), The application of ERS-1 SAR for snowmelt runoff modeling. In: M.F. Baumgartner, G.A. Schultz, and A.I. Johnson (eds), 55th Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat, Morocco, IAHS Publication No.242, 119-126.
- Parajka, J. Jansa, J. Blöschl, G. (2009), Bestimmung des Schneevorrates in Einzugsgebieten mittels Fernerkundungsmethoden, Österreichische Wasser-Und Abfallwirtschaft Volume 61, No: 7-8, 125-131, DOI: 10.1007/s00506-009-0115-3.

- Pekkan, E. (2009), Yukarı Fırat Havzası'nda Kar Erimesi Sürecinin Uydu Görüntüsü Analizleri ve İzleyici Teknikleri ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Rango, A., Salomonson, V.V., ve Foster, J.L.(1977), Seasonal streamflow estimation in the Himalayan region employing meteorological snowcover observations, Water Resources Research, 13 (1), 109-112.
- Rango, A. (1996), Spaceborne remote sensing for snow hydrology applications, Hydrological Sciences Journal, 41, 477-494.
- Rott, H. (1978), Zur Schneekartierung in alpinen Einzugsgebieten aus Satellitenbildern, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie, 14(1), 81-93. 82.
- Rott, H., Nagler, T., Glendinning, G., Wright, G., Miller, D., Gauld, J., Caves, R., Ferguson, R., Quegan, S., Turpin, O., Clark, C., Johansson, B., Gyllander, A., Baumgartner, M., Kleindienst, H., Voigt, S. ve Pirker, O. (2000), HYDALP. Hydrology of Alpine and High Latitude Basins. Final Report. Institut für Meteorologie and Geophysik, Universität Innsbruck, Mitteilungen, 4.
- Seidel, K., Brush, W. ve Steinmeier, C. (1994), Experiences from real time runoff forecasts by snow cover remote sensing, IEEEIGARSS.
- Seidel, K., Martinec, J. (2004), Remote Sensing in Snow Hydrology; Runoff Modeling, Effect of Climate Change, Springer, 150.
- Singh, V.P. (1995), Computer models of watershed hydrology, Water Resources Pub., 1130.
- Singh, V.P. ve Frevert, D.K. (2000a), Mathematical models of large watershed hydrology, Water Resources Pub., 891.
- Singh, V.P. ve Frevert, D.K. (2000b), Mathematical models of small watershed hydrology and applications, Water Resources Pub., 950.

- SMHI-IHMS (1996), Integrated hydrological modeling system manual, Version 4.0, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden.
- Şensoy, A. (2000), Spatially distributed hydrologic modeling approach using geographic information systems, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, Ankara.
- Şensoy, A., Şorman, A.A., Tekeli, A.E. ve Şorman, A.Ü. (2004), Yukarı Karasu Havzasında Nokta Bazlı Yüzey İklim ve Enerji Değişimi 2. Enerji Dengesinin Değerlendirilmesi, IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, 21 – 25 Haziran 2004, İstanbul.
- Şensoy, A. (2005), Physically based point snowmelt modeling and its distribution in Upper Euphrates Basin, Doctor of Philosophy Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Şensoy, A. (2008), Doğu Anadolu Bölgesinde uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alanlar ve izotop teknikleri kullanılarak hidrolojik modellemede etki çalışmalarının, (BAP-070212).
- Şorman A.A., Şensoy A., Tekeli A.E., Şorman A.Ü. (2004), Yukarı Karasu Havzasında Nokta Bazlı Yüzey İklim ve Enerji Değişimi 1. Gerçek Zamanlı Meteorolojik ve Kar Ölçümlerinin Gözlenmesi, IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, İstanbul. 83.
- Şorman, A.A. (2005), Use of Satellite Observed Seasonal Snow Cover In Hydrological Modeling And Snowmelt Runoff Prediction In Upper Euphrates Basin, Turkey, Doctor of Philosophy Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.

- Şorman, A.A. (2011), Yukarı Fırat Havzasında, arazi ölçümleri, uydu teknolojileri, hava tahmin verileri ve hidrolojik modeller kullanılarak, kar potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük tahmini, (ÇAYDAG-108Y161).
- Şorman, A.A. (2011), Yukarı Fırat Havzasında kar suyu potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük tahmini (BAP-1103F069).
- Tekeli, A.E. (2000), Integration of remote sensing and geographic information systems on snow hydrology modeling, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, Ankara.
- Tekeli, A.E. (2004), Şorman, A.A., Şensoy, A. ve Şorman, A.Ü., Kar Lizemetresinin Tasarımı, İmalatı, İşletimi ve Ön Bulgular, IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, 21 – 25 Haziran 2004, İstanbul. 84.
- Tekeli, A.E. (2005), Operational hydrological forecasting of snowmelt runoff model by RS-GIS Integration, Doctor of Philosophy Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Uzunoğlu, E. (1999), Application of the SLURP model using remote sensing and geographic information systems, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, Ankara.
- Wiesnet, D.R. (1987), Ropelevski, C.F., Kukla, G.J. ve Robinson, D.A., A discussion of the accuracy of NOAA satellite derived global seasonal snow cover measurements, IAHSpublications, 166, 291-304.
- WMO (1975), Intercomparison of conceptual models used in hydrological forecasting, Operational Hydrology Technical Report No: 7, WMO, Geneva. 85.
- WMO (1986), Intercomparison of models of snowmelt runoff, Publication No. 646, Operational Hydrology Report No. 23, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

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

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

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

Yapo, P.O. (1996), A multi-objective global optimization algorithm with application to calibration of hydrological models, PhD. Thesis, Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona, Tuscan, Az.

<http://www.natice.noaa.gov/ims/>