

**HARMANLANAN UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN
KARLA KAPLI ALANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ
VE TÜRKİYE'NİN YUKARI FIRAT HAVZASI'NDA
DÖNEMSEL KAR POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ**

Egemen YAMANKURT
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Aralık-2010

Bu tez çalışması 108Y161 No'lu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Egemen Yamankurt'un "Harmanlanan Uydu Görüntülerinin Karla Kaplı Alanlar Üzerindeki Etkisi ve Türkiye'nin Yukarı Fırat Havzası'nda Dönemsel Kar Potansiyelinin Modellenmesi" başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 08.11.2010 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	: Prof. Dr. İBRAHİM GÜRER
Üye	: Prof. Dr. ERDEM AHMET ALBEK

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HARMANLANAN UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KARLA KAPLI ALANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE TÜRKİYE’NİN YUKARI FIRAT HAVZASI’NDA DÖNEMSEL KAR POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ

Egemen YAMANKURT

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

2010, 85 sayfa

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

Bu çalışmada, Keban Baraj Gölünü besleyen önemli kollardan birisi olan Yukarı Fırat Havzası’nın Karasu kolu (10,275 km²) uygulama alanı olarak seçilmiştir. Havzada yürütülmekte olan hidrolojik modelleme uygulamalarında karla kaplı alanlar optik MODIS uydu görüntüleriyle belirlenmektedir. Ancak optik uydular buluttan etkilenmekte ve bulutlu olan zamanlarda bulutun altında kalan yerler görülemediği için tespit edilememektedir. Bu nedenle, karın yağdığı kış aylarında (kar potansiyeli belirleme dönemi) ve erimeye başladığı ilkbahar aylarında (akım tahmini dönemi) bulutsuz, az bulutlu veya buluttan olabildiğince arındırılmış karla kaplı alanların tespiti önem kazanmaktadır. Çalışmada, MODIS uydusunun günlük üretilen Terra ve Aqua görüntüleri, bulut etkisini azaltmak için çeşitli harmanlama işlemlerinden geçirilmiştir. Harmanlanan uydu görüntüleri öncelikle doğruluk analizleri için yer gözlemleriyle karşılaştırılmış, daha sonra ise kar çekilme eğrileri 2008, 2009 ve 2010 su yılları için tüm havza bazında hazırlanmıştır. Sonuç olarak, uydu görüntülerindeki harmanlama işleminin havzadaki karla kaplı alan haritalarında bulut etkisini azaltarak önemli bir iyileştirme yarattığı görülmüştür.

2008, 2009 ve 2010 su yılları için Fırat Nehrinin membasına, dünyada yaygın olarak kullanılan kavramsal hidrolojik modellerden HBV modeli uygulanmıştır. Akım değerleri kullanılarak model parametreleri kalibre edilmiş ve diğer bir model çıktısı olan karla kaplı alan verileri, harmanlanmış karla kaplı alan verileriyle karşılaştırılmıştır. Türkiye’nin su kaynakları konusunda Orta Doğu’daki jeopolitik konumu gözönüne alındığında, hidrolojik modelleme çalışmaları rezervuar ve havza yönetimi için önemli bir karar destek aracı olan akım tahmininin operasyonel kullanımı için hazır hale getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler:Karla kaplı alan; MODIS; kar erimesi; HBV; Yukarı Fırat Havzası

ABSTRACT

Master of Science Thesis

IMPACT OF MODIFIED SATELLITE PRODUCTS ON SNOW COVERED AREA AND MODELING THE SEASONAL SNOW POTENTIAL IN THE UPPER EUPHRATES BASIN, TURKEY

Egemen YAMANKURT

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ali Arda ŞORMAN

2010, 85 pages

Snowmelt runoff in the mountainous eastern part of Turkey is of great importance as it constitutes nearly 2/3 in volume of the total yearly runoff during spring and early summer months. Therefore, determining the amount and timing of snowmelt runoff especially in the Euphrates Basin, where large dams are located, is an important task in order to use the water resources of the country in an optimum manner.

In this study, Karasu River in the Upper Euphrates Basin (10,275 km²) which is one of the main branches feeding the Keban Dam Reservoir is selected as the application area. For the hydrologic modeling studies conducted in the basin, snow covered areas are determined using MODIS optical satellite images. But optical satellites are hindered by cloud cover where at times when cloud is present, land cover can not be determined. For this reason, during winter (ablation period) and spring (melting period) it is crucial to determine snow covered areas with little or no cloud. In the study, daily MODIS satellite images on Terra and Aqua platform are combined and modified in order to decrease the cloud cover. Modified satellite images are firstly compared with ground station data for validation purposes and later used to generate basin snow depletion curves for 2008, 2009 and 2010 water years. In the end, it is seen that modifying the satellite products has a significantly positive impact on snow covered area in the basin by decreasing cloud effect.

The well-known conceptual hydrologic model, HBV, is applied to the headwaters of Euphrates River for 2008, 2009 and 2010 water years. Model parameters are calibrated using discharge values and later snow covered area output of model are compared with the modified snow covered areas. Taking into account the geopolitical position of Turkey in terms of water resources in the Middle East, hydrologic modeling studies give promising results indicating the possible operational use of runoff forecasting which can be an important decision support tool for reservoir and basin management.

Keywords: Snow covered area; MODIS; snow melt; HBV; Upper Euphrates Basin

Sevgili Annem'e...

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her tűrlű aőamasında öneri ve eleőtirileriyle bana yol gűsteren, yardımlarını, hoőgűrűlerini esirgemeyen ve bilime olan tutkularıyla ufkumu geniőleten, deęerli hocalarım Yard. Do. Dr. Ali Arda ŐORMAN ve Yard. Doç. Dr. Aynur ŐENSOY ŐORMAN'a,

Çalıőma boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili yardımsever arkadaşlarım Galip Tolga ERDEM, Ersin GűZEL, Gűken UYSAL, Ali Murat KAPLAN ve Yalçın ESKİCİ'ye,

Bu çalıőmayı destekleyen Devlet Su İőleri VIII. Bűlge Műdűrlűęű, Elektrik İőleri Etűt İdaresi II. Hidrometri Bűlge Őeflięi ve Devlet Meteoroloji İőleri Genel Műdűrlűęű alıőanlarına,

Desteklerini sűrekli hissettięim, bilime ve hayata bakıő açılarıyla bana yeni ufuklar kazandıran ve beni motive eden deęerli hocalarım Prof. Dr. Ŭnal ŐORMAN ve Doç. Dr. Műfide BANAR'a,

Yetiőmemde ve hayatımın her karesinde, maddi ve manevi desteęini hiçbir zaman esirgemeyen, varlıęından gű aldıęım biricik anneme çok teőekkűr ederim.

Egemen YAMANKURT

Kasım 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kar Çalışmalarının Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Tez Metninin Ana Hatları	3
2. ÇALIŞMA ALANI VE İSTASYONLAR	4
2.1. Çalışma Alanı	4
2.2. İstasyonlar	11
2.2.1. Kar verisi.....	16
2.2.2. Meteorolojik veriler	18
2.2.3. Hidrometrik veriler	22
3. KAR HİDROLOJİSİNDE UZAKTAN ALGILAMA	23
3.1. Kar Çalışmalarının Uzaktan Algılanma Tarihçesi	23
3.2. Karın Spektral Özelliği	24
3.3. Kar Örtüsünün Uzaktan Algılanması	25
3.4. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	27
3.5. MODIS Veri Formatı	28
3.6. MODIS Kar Ürünü.....	30
3.7. MODIS Kar Algoritması.....	32
3.8. MODIS Harmanlanmış Kar Ürünü	33
3.9. MODIS Kar Ürünü Doğrulama Çalışmaları	45

4. HİDROLOJİK MODELLEME	55
4.1. HBV Modeli	56
4.1.1. Model yapısı	56
4.1.2. Havza tanımlaması	58
4.1.3. Kar modülü	58
4.1.4. Toprak nemi modülü	61
4.1.5. Akım modülü	62
4.2. Model Uygulaması	64
5. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1 Karasu Havzası'nın Konumu	5
2.2(a) EİE 2119 – Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu'nun 2008 su yılı hidrografi	6
2.2(b) EİE 2119 – Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu'nun 2009 su yılı hidrografi	6
2.2(c) EİE 2119 – Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu'nun 2010 su yılı hidrografi	6
2.3 NOAA görüntüsü günlük karla kaplı alan durumu	7
2.4 Karasu Havzası'nın yükseklik bölgeleri.....	8
2.5(a) Tüm havzanın hipsometri eğrisi.....	8
2.5(b) Zonların hipsometri eğrisi.....	9
2.6 Karasu Havzası içinde ve civarında bulunan otomatik kar-meteoroloji ve akım gözlem istasyonları	15
2.7 Güzelyayla meteoroloji gözlem istasyonu kar ölçümü	17
2.8 Manuel ve otomatik kar derinlik ölçümleri, Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı	17
2.9 Ovacık istasyonu radyasyon ve hava sıcaklığı ölçümleri	18
2.10 Günlük ortalama hava sıcaklıkları (°C), Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı	19
2.11 Ovacık meteoroloji gözlem istasyonu yağış ölçer	21
2.12 Günlük yağış ve toplam yağış (mm), Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı.....	21
2.13 EİE 2119 – Kemah Boğazı akım gözlem istasyonunun görünümü.....	22
3.1 Elektromanyetik Spektrum	24
3.2 Karın Spektral Özelliği	25
3.3 Dünya haritası üzerinde bölünmüş MODIS kareleri.....	34
3.4 Çalışma alanının değerlendirilmesi aşamasında kullanılan h20v04, h20v05, h21v04 ve h21v05 kareleri.....	34
3.5 Karasu Havzası ve civarı 31 Mart 2009 günü MODIS/Terra görüntüsü	36
3.6(a) Günlük MODIS görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan haritaları (2009 su yılı birikme dönemi Karasu Havzası).....	37

3.6(b) Günlük MODIS görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan haritaları (2009 su yılı erime dönemi Karasu Havzası).....	38
3.7 Günlük MODIS görüntülerini harmanlama süreci akış şeması.....	39
3.8 Terra ve Aqua görüntüleri ile dört farklı harmanlama işlemi sonucu üretilen görüntüler (13 Mart 2009 tarihli görüntü).....	43
3.9 Uydu görüntülerinin doğrulanması işlemi kullanılan istasyonlar.....	46
3.10 MODIS/Terra bulutluluk oranıyla 2008 su yılı kar çekilme eğrileri	52
3.11 MODIS/CM±3ES bulutluluk oranıyla 2008 su yılı kar çekilme eğrileri	52
3.12 MODIS/Terra bulutluluk oranıyla 2009 su yılı kar çekilme eğrileri	53
3.13 MODIS/CM±3ES bulutluluk oranıyla 2009 su yılı kar çekilme eğrileri	53
3.14 MODIS/Terra bulutluluk oranıyla 2010 su yılı kar çekilme eğrileri	54
3.15 MODIS/CM±3ES bulutluluk oranıyla 2010 su yılı kar çekilme eğrileri	54
4.1 HBV modelinin ana yapısı	57
4.2 HBV modelinin kar modülü	60
4.3 HBV modelinin toprak nemi modülü	61
4.4 HBV modelinin akım modülü	63
4.5 Karasu Havzası, 2008 su yılı, HBV modelleme sonuçları	66
4.6 Karasu Havzası, 2009 su yılı, HBV modelleme sonuçları	67
4.7 Karasu Havzası, 2008 su yılı, Karla Kaplı Alan Eğrileri	69
4.8 Karasu Havzası, 2009 su yılı, Karla Kaplı Alan Eğrileri	69
4.9 2008 ve 2009 su yılları birlikte değerlendirildiğinde, HBV modelleme sonuçları	71
4.10 Karasu Havzası, 2010 su yılı, HBV modelleme sonuçları	73
4.11 Karasu Havzası, 2010 su yılı, Karla Kaplı Alan Eğrileri	74

TABLULAR DİZİNİ

2.1 Tüm havzanın ve her bir yükseklik bölgesinin genel topografik özellikleri.....	10
2.2 Tüm havzanın ve her bir yükseklik bölgesinin bakı yüzdeleri	10
2.3(a) Otomatik kar ve meteoroloji istasyonlarının genel bilgileri ve bu istasyonlardan sağlanabilen veriler	15
2.3(b) Akım gözlem istasyonlarının genel bilgileri ve bu istasyonlardan sağlanabilen veriler	16
2.4 Aylık ortalama hava sıcaklıkları (°C), Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı.....	20
3.1 Karla kaplı alanların haritalanmasında uyduların özellikleri.....	26
3.2 Üretilen MODIS verilerinin özet tablosu	29
3.3 MODIS kar ürünlerinin özeti	30
3.4 MODIS kar ürünlerinin oluşturulmasında kullanılan bantlar	31
3.5 MODIS kar ürünlerinin sınıflandırma tablosu	35
3.6 MODIS/CM görüntüsü oluşturulurken belirlenen kombinasyonlar.....	40
3.7 Harmanlanan ürünlerin Terra görüntüsüne kıyasla aylık bulut iyileştirmesi	44
3.8 Doğrulama işleminde kullanılan istasyonlar	45
3.9 Yer gözlem istasyonlarıyla doğrulama sonuçları (2008 su yılı)	47
3.10 Yer gözlem istasyonlarıyla doğrulama sonuçları (2009 su yılı)	49
3.11 Yer gözlem istasyonlarıyla doğrulama sonuçları (2008 ve 2009 su yılları)	50
4.1 HBV modelinin kullandığı değişken parametreler ve değer aralıkları.....	59
4.2 Karasu Havzası, 2008 ve 2009 su yılı, HBV model kalibrasyon parametreleri	65
4.3 2008 ve 2009 su yılları birlikte değerlendirildiğinde, HBV model parametreleri.....	70
4.4 Karasu Havzası, 2010 su yılı, HBV model parametreleri	74
5.1 HBV model sonuçları özet tablosu	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Q	: Akım
KKA	: Karla Kaplı Alan
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
UA	: Uzaktan Algılama
HBV	: Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
DSİ	: Devlet Su İşleri
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
EOS	: Earth Observation System
HDF – EOS	: Hierarchical Data Format – Earth Observation System
EOSDIS	: EOS – Data Information System
NOAA – AVHRR	: National Oceanic and Atmospheric Administration – Advanced Very High Resolution Radiometer
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDSI	: Normalized Difference Snow Index
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
MRT	: MODIS Reprojection Tool
DK	: Detrended Kriging

1. GİRİŞ

1.1. Kar Çalışmalarının Önemi

Suyun bulunduğumuz yüzyılın en önemli konularından biri olacağı değişik görüşler tarafından daha şimdiden ortaya konulmaya başlanmıştır. Özellikle, kuraklık, çevre kirliliği ve iklim değişikliği nedeniyle gittikçe daralan faydalınabilir su haznelerinin azalması ile su kaynaklarına olan ilgi geçmişte olduğundan daha da önemli bir şekilde artmaktadır.

Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülkenin, sağlıklı ve hızlı bir ekonomik kalkınmaya önemli katkısı olabilecek hidroloji bilimine çok fazla ihtiyacı vardır. Barajların işletilmesi ve taşkın kontrol çalışmaları, rezervuarlarda yağmur ve kar erimesinden dolayı gelecek olan akımların tahminine bağlıdır. Tahmin çalışmalarıyla, barajların taşkından korunması ve azami verimle işletilmesi sağlanabilecektir.

Türkiye'nin ortalama yüksekliği yaklaşık 1130 m olduğundan kış aylarında yağış genelde kar şeklinde düşmektedir. Düşen kar özellikle Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinin yüksek kesimlerinde neredeyse yılın yarısında yerde kalmaktadır. Hava sıcaklıklarının artması ile birlikte kar eriyerek nehirlerde akıma dönüşmekte ve yüksek su potansiyeli oluşturmaktadır.

Uzun yıllar Fırat Havzası akım gözlemleri incelendiğinde, ilkbahar ve yaz aylarının başında kar erimesi ve yağışlardan dolayı akımların arttığı ve yıl içerisinde akımların yirmi kata varan değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Altınbilek, 2004). Hem su potansiyelinin yüksek ve değişken olması, hem de sınır aşan sular kategorisinde yer almasından dolayı Fırat Nehri suyunun kontrol altına alınması önem arz etmektedir. Bu sebeplerden dolayı, Türkiye'nin büyük barajlarının Fırat Nehri üzerinde yer alması kaçınılmaz olmuştur. İlk olarak 1975 yılında Keban, 1987 yılında Karakaya ve 1992 yılında Atatürk barajları faaliyete geçerken bunları 2000 yılında Birecik ve Karkamış barajları izlemiştir. Barajların yapılması kadar önemli bir diğer nokta ise bu barajların verimli şekilde işletilmesidir.

Yüksek kesimlerden eriyen kar suyu Fırat Nehrinde ilk büyük depolama haznesi olan Keban Baraj Gölüne gelmektedir. Daha sonra Keban Barajından kontrollü bir şekilde mansaptaki barajlara iletilmektedir. Dolayısıyla, Keban Baraj Gölüne gelecek akımların miktarının ve zamanının önceden belirlenebilmesi Fırat Nehri'ndeki suyun en verimli şekilde kullanılabilmesi anlamına gelmektedir.

Erzurum ve Erzincan ovalarından geçerek gelen Karasu Nehri, Ağrı'dan doğarak gelen Murat Nehri ve bu iki kolun arasında oluşan Munzur Çayı, Pülümür Çayı ve Peri Suyu, Keban Baraj Gölüne su taşıyan ana kollarıdır. Keban Barajının memba kısmında kalan alan Yukarı ve Orta Fırat Havzası, mansap kısmındaki alan ise Aşağı Fırat Havzası olarak isimlendirilmiştir. 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 oluşturduğu için büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, kış aylarında biriken kar kütlesinin alansal ve zamansal olarak takip edilmesi ve maksimum kar potansiyelinin belirlenerek kar erime sezonu başlamadan işletme planlamasının yapılması gerekmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmadaki amaç, optik uydu görüntülerine çeşitli harmanlama işlemleri uygulayarak Yukarı Fırat Havzası'nda açık karla kaplı görüntüler elde etmektir. Böylece üretilen görüntüler hem dönemsel kar potansiyeli belirlenmesinde hem de hidrolojik modellerle günlük akım tahminleri sırasında kullanılarak Fırat Havzasında bulunan büyük barajların verimli şekilde işletilebilmesi mümkün olacaktır. Bu hedefe ulaşabilmek için çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) gibi modern teknolojilerden faydalanılmıştır. Karın alansal ve zamansal dağılımını yakın gerçek zamanlı gözlemlemek için optik uydu görüntüleri kullanılmıştır. Optik uydu görüntüleri, karla kaplı alanları karın yansıtma özelliğinden dolayı iyi şekilde tespit ederken aynı zamanda buluttan etkilenmekte ve bulutlu olan zamanlarda bulutun altında kalan yerleri tespit edememektedir.

Hidrolojik modelleme uygulamalarında, bulutsuz veya az bulutlu olan karla kaplı alan görüntüleri 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 veya az bulutlu) olması önem kazanmaktadır. Bu amaçla çalışmada, günlük uydu görüntülerine birleştirme ve filtreleme gibi bir dizi harmanlama işlemleri uygulanarak yeni görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen bu görüntülerden 2008, 2009 ve 2010 su yılları kar çekilme eğrileri oluşturulmuş ve bu eğriler hidrolojik modelin kar çekilme eğrileri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmada, dağlık alanlarda derece-gün yöntemini kullanarak yağış-akış ilişkisi kuran HBV kavramsal modeli kullanılmıştır. HBV modelinin kalibrasyonunda 2008 ve 2009 su yılı meteorolojik verileri kullanılırken, 2010 su yılı verileri doğrulama için kullanılmıştır. Bu işlemlerle modelin Yukarı Fırat (Karasu) Havzası için model parametreleri belirlenmiştir.

1.3. Tez Metninin Ana Hatları

Tez metni genel bilgilerin sunulduğu giriş bölümü ile başlamaktadır. Tezin ikinci bölümünde çalışma alanı tanıtılmaktadır. Bu bölümü, istasyon bilgileri ve bu istasyonlarda gerçekleştirilen ölçümlerin detaylı anlatımı takip etmektedir. Tezin üçüncü bölümünde karın uydular aracılığı ile algılanması ve optik uyduların buluttan etkilenme problemlerinin ortadan kaldırılması için yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde, kar erimesi ve yağmurdan kaynaklanan akışın hesaplanmasında kullanılan kavramsal hidrolojik modelin tanıtılması ve model parametreleri hakkında kısa bilgiler takip etmektedir. Yine bu bölümün içerisinde model kalibrasyonu ve doğrulaması sunulmuştur. Sonuçlar bölümünde çalışmanın başlıca sonuçları verilmiş, çalışmanın bundan sonraki araştırmalara sağlayacağı fayda özetlenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE İSTASYONLAR

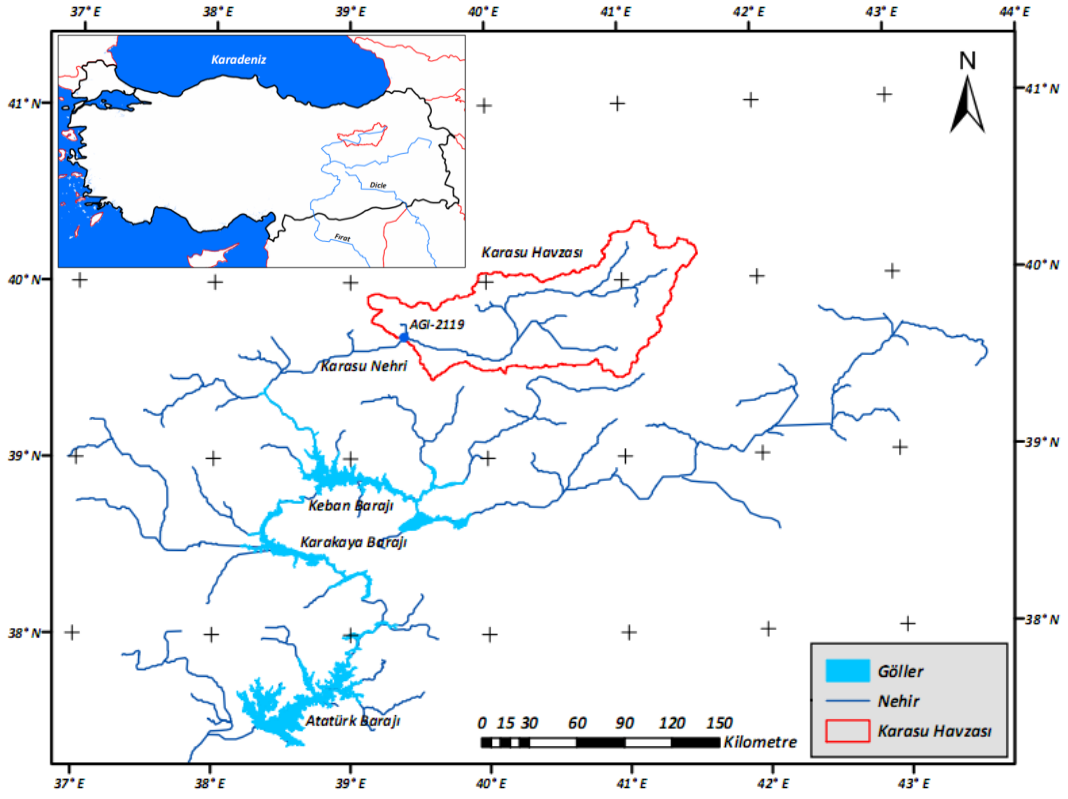
2.1. Çalışma Alanı

Mezopotamya’da kurulmuş birçok uygarlığa temel oluşturan Fırat ve Dicle Nehirleri, bölgenin tarım, sanayi ve enerji sektörleri için büyük önem taşımalarının yanında, ülkenin en büyük su hacmine sahip iki akarsuyudur. Fırat nehrinin en önemli kolları Murat, Karasu, Tohma, Peri, Çaltı ve Munzur çaylarıdır. Dicle nehrinin en önemli kolları ise Batman, Botan, Habur, Büyük Zap ve Küçük Zap’tır (Altürk, 2009).

Fırat ve Dicle Nehirlerinin, hidropolitik değerleri göz önüne alındığında su kaynakları planlanmasının önemi büyüktür. 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). Türkiye’de Fırat Nehri üzerinde kurulmuş olan Keban, Karakaya ve Atatürk gibi büyük hazneli barajların bulunması planlamanın önemini arttırmaktadır.

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

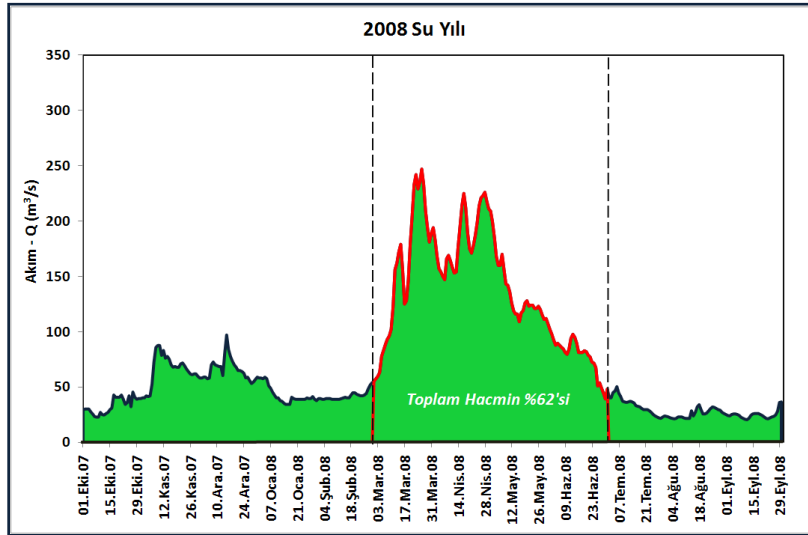
Havza, 39° 50' kuzey enlemleri , 40° 20' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yaklaşık 10,275 km² drenaj alanına sahip olan havzanın yüksekliği 1125 m ile 3500 m arasında değişmektedir. Havzanın ortalama yüksekliği 1983 m olup, ortalama eğimi yaklaşık % 19’dur. Mera, tarım alanı ve çıplak arazi havzanın başlıca arazi kullanımını oluşturmaktadır (Akyürek ve Şorman, 2002).



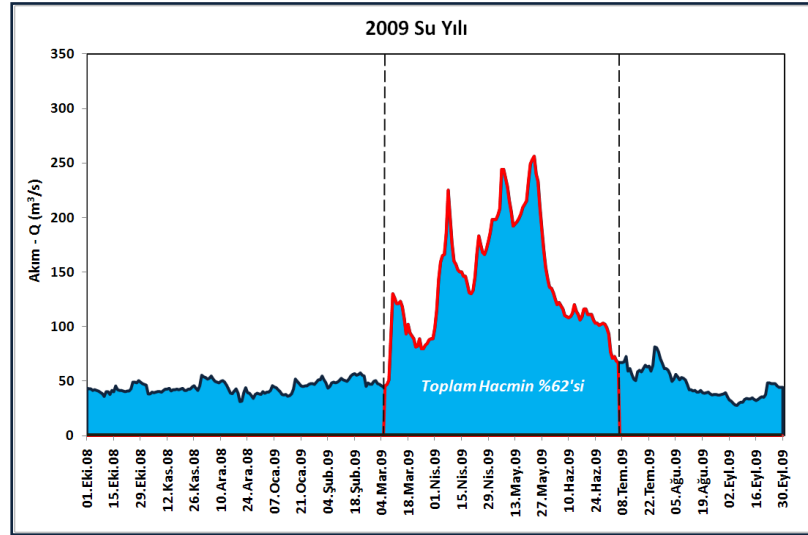
Şekil 2.1 Karasu Havzası'nın konumu

Karasu Havzası'nın çıkışı Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından işletilen bir akım gözlem istasyonu (EİE 2119 – Kemah Boğazı) ile kontrol edilmektedir. Kar erimesi, Karasu Havzası akım değerlerinde önemli bir role sahiptir. Havzada yapılan uzun dönem akım ölçümleri, yıllık toplam akım hacminin yaklaşık %69'unun kar erime dönemi (Mart-Haziran) içinde geldiğini göstermektedir (Kaya, 1999; Tekeli, 2005).

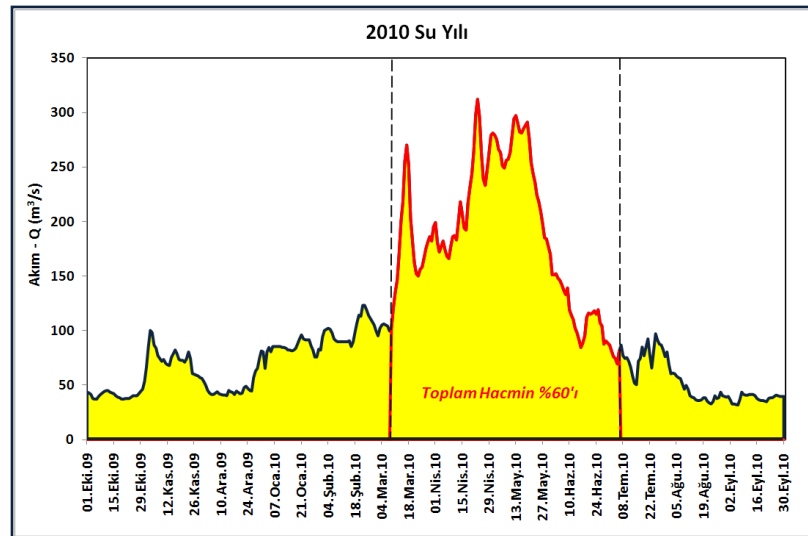
Çalışmanın yapıldığı 2008, 2009 ve 2010 yılları göz önüne alındığında, yıllık toplam akım hacminin Şekil 2.2(a), (b) ve (c)'de gösterildiği gibi yaklaşık %60'ının kar erime dönemi içinde geldiği belirlenmiştir.



Şekil 2.2(a) EİE 2119 – Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu'nun 2008 su yılı hidrografı

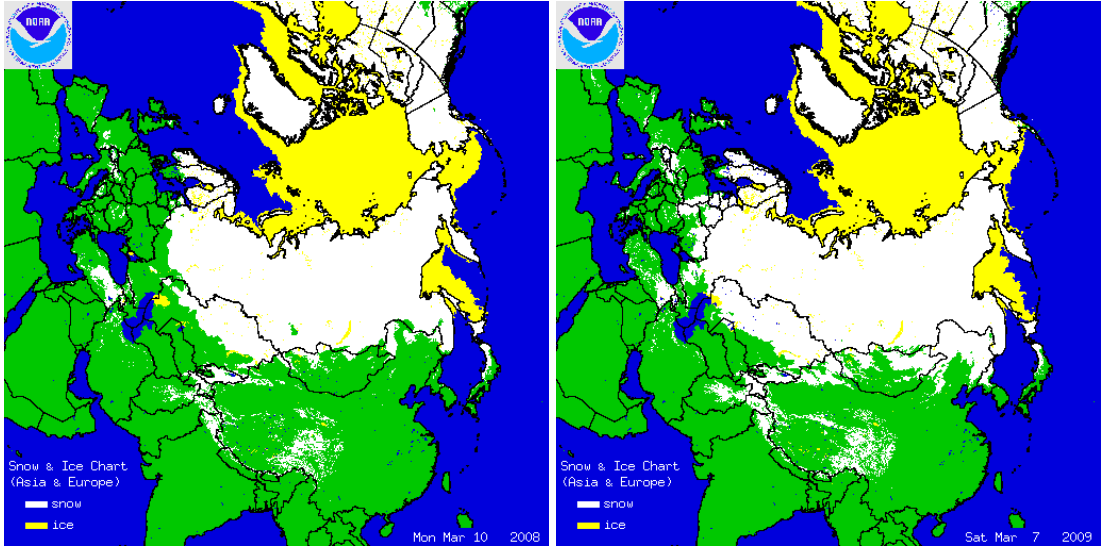


Şekil 2.2(b) EİE 2119 – Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu'nun 2009 su yılı hidrografı



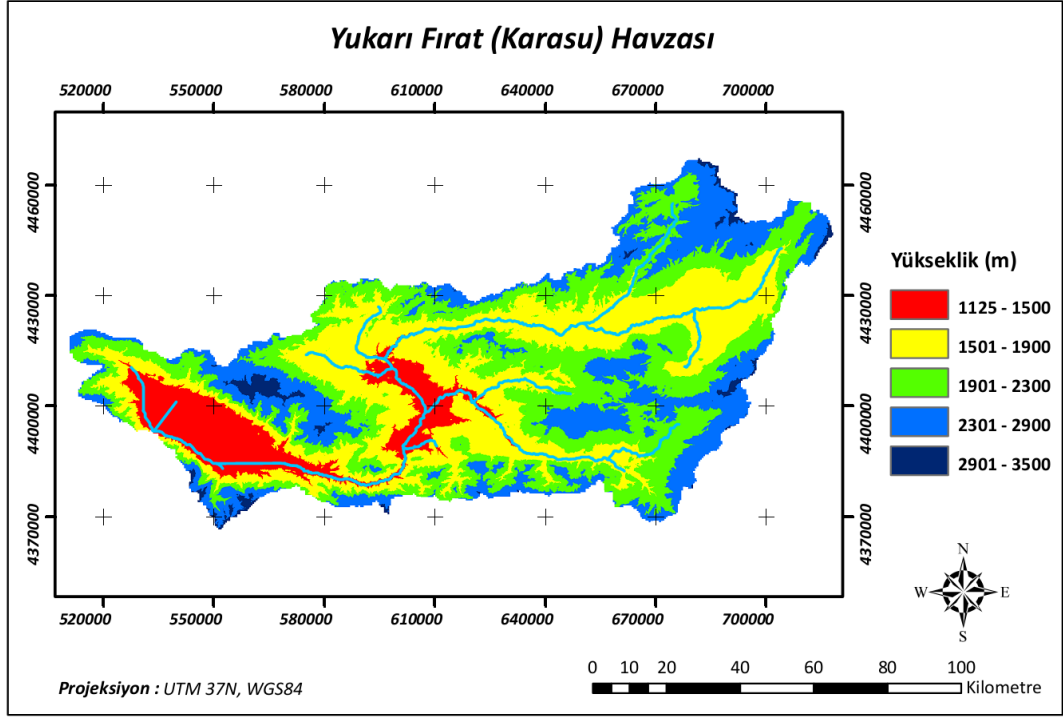
Şekil 2.2(c) EİE 2119 – Kemah Boğazı Akım Gözlem İstasyonu'nun 2010 su yılı hidrografı

Bölgede mevsimsel kar örtüsü genellikle Kasım ayı sonu veya Aralık ayı başında birikmeye başlar. Kış boyunca hemen hemen tüm yağış kar olarak düşer ve havzada kısmi alansal yağış olayları gözlenir. Bahar ve erken yaz aylarında, kar - yağmur karışımı yağış olayları meydana gelir. İklim özellikleri, tipik bir hidrolojik rejime neden olur. Kış ayları boyunca çoğunlukla yağış olayları kar olarak birikirken, düşük akımlar etkili olur. Bahar aylarında ise kış aylarında biriken kar örtüsünün erimesi sebebiyle yüksek akımlar meydana gelir. Erken yaz aylarında, havzadaki karın ortadan kalkmasıyla akımlar genellikle azalır. Türkiye'nin kar kaplı alan görüntüsüne örnekler Şekil 2.3'te sunulmuştur.

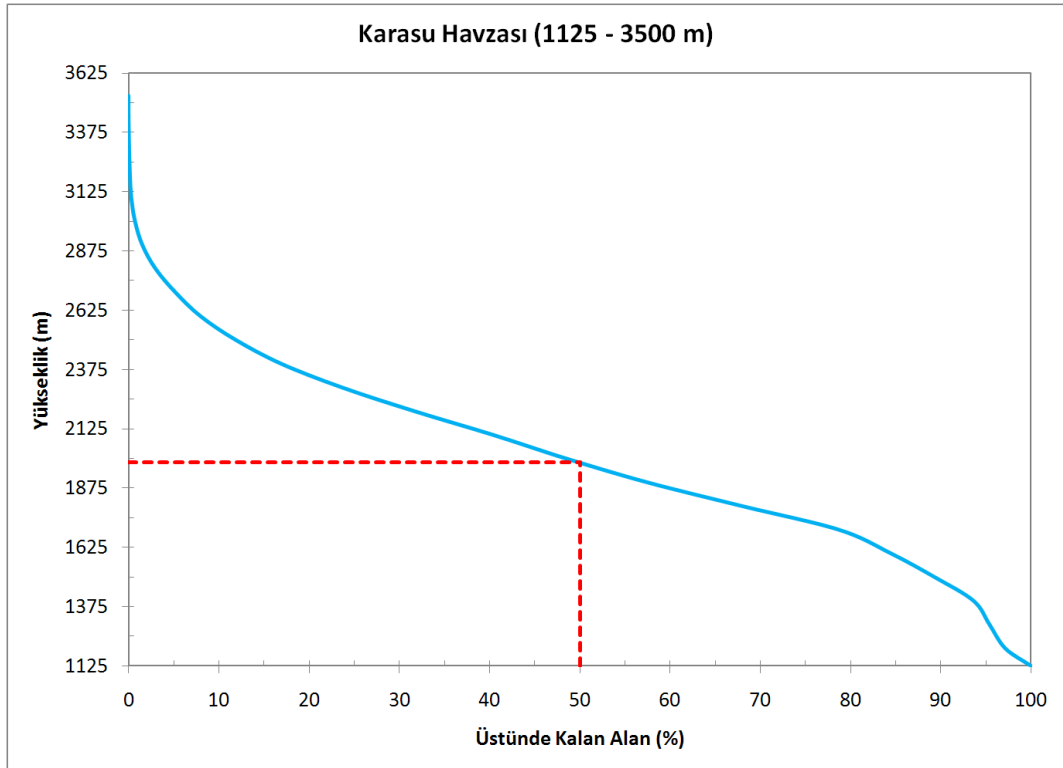


Şekil 2.3 Avrupa ve Asya'da 10 Mart 2008 ve 7 Mart 2009 tarihleri için günlük kar kaplı alan durumu (<http://www.natice.noaa.gov/ims/>).

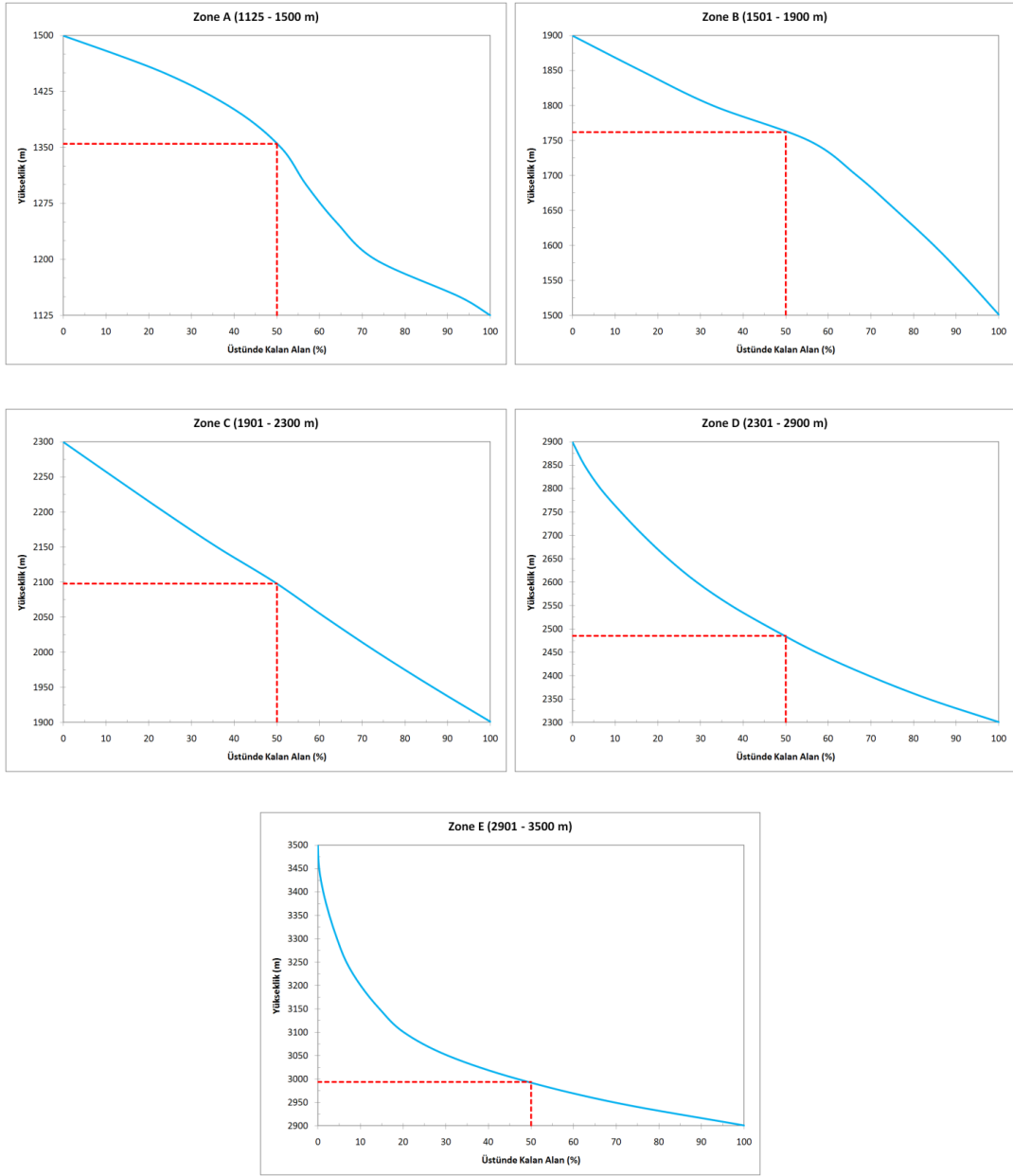
Yağış ve sıcaklığın zamansal ve mekânsal dağılımının, yüksekliğe bağlı olarak daha iyi temsil edilmesi için havza, beş farklı yükseklik bölgesine bölünmüştür (Şekil 2.4). Havzanın yükseklik haritası kullanılarak tüm havza ve her bir yükseklik bölgesi (zon) için yükseklik-alan (hipsometri) eğrileri üretilmiştir (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

Havzanın yükseklik, eğim ve bakı haritaları kullanılarak, tüm havzaya ve her bir yükseklik bölgesine ait topoğrafik veriler belirlenmiştir (Tablo 2.1 ve Tablo 2.2).

Tablo 2.1 Tüm havzanın ve her bir yükseklik bölgesinin genel topoğrafik özellikleri

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

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 veri toplanır, depolanır ve analiz edilir. Sonuç bilgisi, su kaynaklarının taşkın, kuraklık, kirlilik olayları ve benzeri suyla ilgili tehlikelere karşı yönetilmesinde kullanılır. Bu sebeple, doğru, güvenilir ve güncel verinin elde edilmesi önemli bir ön koşuldur (WMO, 1999). Gelişmiş ülkelerde, veri toplanması sorumlu kurumlar tarafından yapılmakta ve toplanan verilere bilgisayar veritabanından ulaşılabilmektedir. Veritabanları veri depolanmasının yanı sıra, veriye erişim, raporlama, istatistiksel analiz, model kalibrasyonu ve model girdi verisinin hazırlanmasına olanak sağlamaktadır. Türkiye’de çeşitli devlet kurumları hidro-meteorolojik veriyi toplar, fakat veri akışı yavaş ve yüksek kotlarda istasyon sayısı yetersizdir. Türkiye’de veri toplayan kurumlar arası düzenli bir ortak veritabanı bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın temel bakış açılarından birisi de Türkiye’nin kar ölçümleri konusunda sürekli bir veritabanının oluşturulmasıdır. Sonuç olarak, grafiksel ve tablosal çıktıların, istatistiksel analizlerin, uzaktan algılamanın ve coğrafi bilgi sistemlerinin en büyük amacı bütünleştirme yeteneği ve raporlama kabiliyetinin devlet kurumlarının desteği ile sağlanmasıdır.

Kar örtüsü enerji dengesinin ve erimenin incelenmesi, yüzey ikliminin detaylı gözlenmesini gerektirmektedir. Karın şekil değiştirmesi, erime ve akım bu süreçleri sürdürmeye elverişli enerjinin miktarı ile kontrol edilir ve bu enerji akıları, meteorolojik girdilerin birleşimiyle belirlenir.

Yüksek kotlarda özellikle olağanüstü iklim koşullarında hidrometeorolojik verinin toplanması zor, tehlikeli ve pahalıdır. Türkiye’nin doğusundaki dağlık alanlarda biriken karın bahar ve erken yaz ayları süresince erimesi, mansabında bulunan büyük barajlar için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu sebeple engebeli topoğrafya üzerinde iklim koşullarının karakterizasyonu oldukça önemlidir.

Dağlık iklimlerde detaylı iklimsel gözlemler sınırlıdır ve bu gözlemlerin pek çoğu düşük kotlardan ve dağlık olmayan bölgelerden elde edilmektedir (Marks ve diğ., 1992). Bu durum Karasu Havzası için de söz konusudur.

Fırat Havzasının yüksek kesimlerinde klasik kar ölçümleri 1960'lı yıllarda EİE ve DSİ'nin girişimleriyle başlatılmıştır. Yıllar geçtikçe bu ölçüm sayıları artmış fakat personel durumu, ekonomik ve güvenlik sebeplerinden dolayı yeterince yüksek kotlarda ve sık zaman aralıklarında yapılamamıştır. Diğer taraftan, kar ölçümleri devlet kurumları tarafından bir kar sezonu boyunca ayda bir veya iki kez yapılmaktadır. Bu gibi durumlarda, önemli birikme ve erime olaylarının zaman ve miktarının tahmini, modellenmesi ve gözlenmesi hemen hemen imkansız olmaktadır.

Araştırma ve geliştirmede en uygun sistemlerin tasarlanması, doğruluğun ve güvenilirliğin artırılması için otomatik veri alma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, bölgede 1996 yılında gerçekleştirilen NATO-Sfs projesi ile ileri teknolojiler kullanılarak kar çalışmaları başlamıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin yönlendirmesi ve EİE, DSİ gibi devlet kurumlarının ortaklaşa çalışmaları ile 1999 yılında çalışma alanının yüksek kotlarına dört otomatik kar ve meteorolojik istasyonu kurulmuştur. İstasyonların yeri erişilebilirlik, güvenlik ve farklı alt havzalarda, yüksekliklerde, eğimlerde ve bakılarda havzanın karakteristik özelliklerini temsil etmesi 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 master çalışmaları tamamlanmıştır.

Önceki çalışmalardan kazanılan deneyim ve varolan altyapı ile, kar hidrolojisi çalışmalarında daha fazla arazi çalışması yapılmasına ve modelleme sürecinin gelişimi için ilave veriye gereksinim olduğuna karar verilmiştir.

Bu kapsamda, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen iki proje gerçekleştirilerek 2001 ve 2003 yıllarında kar çalışmalarına devam edilmiştir.

Bu projelerle birlikte, iki önemli devlet kurumu olan DSİ ve DMİ ile protokoller yapılmış ve işbirliğine geçilmiştir. Bu projeler kapsamında, yeni otomatik kar ve meteoroloji istasyonları kurulmuş, daha önce NATO-Sfs proje desteğiyle kurulmuş olanlar ise yeni sensörler ve ölçüm sistemleri ile geliştirilerek güncellenmiştir. Yeni araçların daha önce kurulan istasyonlara yerleştirilmesiyle, yüksek kaliteli ve zamansal çözünürlüğü daha iyi verinin toplanmasına başlanmıştır.

Kurulan ölçüm sistemleri içinde Türkiye için ilkleri ifade eden yenilikler ve teknolojiler de bulunmaktadır. Kar çalışmalarında önderlik yapan Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, ve Kuzey Avrupa ülkelerinde kullanılan ve ülkemizde daha önce yer almayan, kar su eşdeğerini ölçmeye yarayan kar yastıkları ithal edilmiş ve havzanın çeşitli kotlarına yerleştirilmiştir; güneş radyasyonunun kardan yansımalarını ifade eden albedo; uzun dalga radyasyonu ölçümleri ve karın erime zamanı ile oranını tespit etmeye yarayan kar lizimetresi Türkiye'deki ilk uygulamalardır (Şorman ve diğ., 2004; Şensoy ve diğ., 2004; Tekeli ve diğ., 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 projeler paralelinde 2005 yılında üç adet doktora tezi tamamlanmıştır (Şensoy, 2005; Tekeli, 2005; Şorman, 2005). Yapılan tez çalışmaları, yalnızca model uygulamasını değil, ham verinin toplanması, gerçek zamanlı transferi ve analizini de içeren bir modellemeyi kapsamaktadır. Tez çalışmaları kapsamında kurumlar ve üniversiteler arası ve aynı zamanda disiplinler arası bir çalışma sergilenmiş; gerçek zamanlı gözleme dayanan otomatik hidrometeorolojik bir bilgi ağı kurulmuş; bu bilgilerin girdi oluşturduğu modeller uygulanmış; atmosfer-

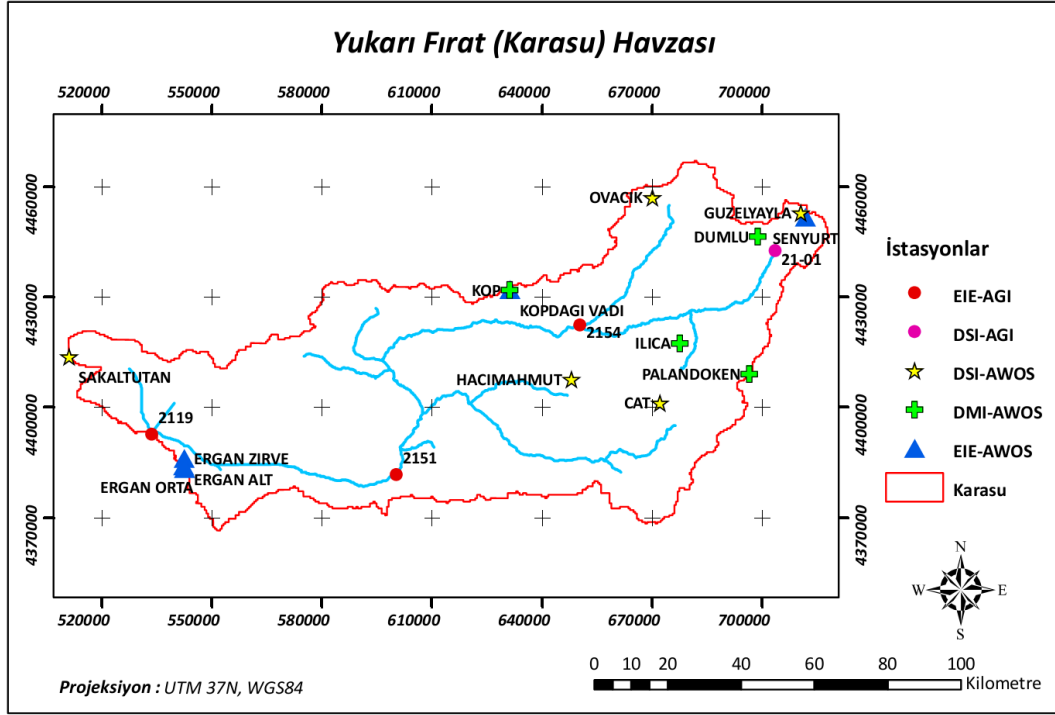
kar-zemin ara yüzünde enerji ve kütle dengesi hesaplanmış; gözlemlerin yanı sıra sayısal hava tahmin model verilerinin de desteğiyle Türkiye'de ilk defa atmosfer-hidrolojik model entegrasyonu sağlanmış ve ileriye dönük tahmin çalışmalarına başlanmıştır.

Projelerden elde edilen birikimleri paylaşabilmek, kazanılan bilgi ve donanımları yeni uygulamalarla ileriye taşıyabilmek ve ülkemizin uluslararası platformda kar ve yağış modelleme çalışmalarını sergileyebilmek için EUMETSAT (Avrupa Meteoroloji Teşkilatı) tarafından desteklenen ve birçok Avrupa ülkesinin de yer aldığı H-SAF (Satellite Facilities in Hydrology) adlı bir Avrupa projesi 2005 yılında başlatılmıştır. Proje, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Anadolu Üniversitesi tarafından yürütülmektedir. Türkiye, Avrupa'nın dağlık alanlarındaki kar parametrelerinin (karla kaplı alan, kar su eşdeğeri) geliştirilmesinden sorumlu ülkedir.

Anadolu Üniversitesi 070212 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi'nde uydu görüntüleri kullanılarak karla kaplı alan çalışmalarına devam edilmiş ve havzada izotop bileşimine dayalı bir çalışma yapılmıştır (Pekkan, 2009).

Ayrıca, tüm bu çalışmaların bir ürünü olarak kar potansiyelinin ve erimenin dönemsel, akımların günlük tahmin edilmesini amaçlayan TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) destekli bir proje 2008 yılında başlatılmıştır (ÇAYDAG 108Y161).

Uzun yıllardır sürdürülen bu çalışmalarla bölgede pek çok istasyon kurulmuş, pek çok istasyonda güncellenerek kaliteli ve sürekli verinin temini sağlanmıştır. Şekil 2.6, Karasu Havzası içinde bulunan otomatik kar-meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarını göstermektedir.



Şekil 2.6 Karasu Havzası içinde ve civarında bulunan otomatik kar-meteoroloji ve akım gözlem istasyonları

Şekil 2.6’de gösterilen kurulu istasyonların genel bilgileri ve bu istasyonlardan sağlanabilen veri tipleri Tablo 2.3(a) ve (b)’de sunulmuştur.

Tablo 2.3(a) Otomatik kar ve meteoroloji istasyonlarının genel bilgileri ve bu istasyonlardan sağlanabilen veriler

<i>İstasyon</i>	<i>Yükseklik (m)</i>	<i>Ait olduğu kurum</i>	<i>Sıcaklık</i>	<i>Yağış</i>	<i>Güneş Radyasyon</i>	<i>Kar Derinlik</i>	<i>Haberleşme</i>
Ergan Alt	1903	EİE	✓	✓		✓	✓
Hacimahmut	1975	DSİ	✓	✓		✓	✓
Güzelyayla	2080	DSİ	✓	✓	✓	✓	✓
Ilıca	2094	DMİ	✓	✓		✓	✓
Sakaltutan	2148	DSİ	✓			✓	✓
Ovacık	2165	DSİ	✓	✓	✓	✓	✓
Şenyurt	2214	EİE	✓			✓	✓
Çat	2343	DSİ	✓		✓	✓	✓
Ergan Orta	2348	EİE	✓			✓	✓
Kop	2416	DMİ	✓	✓		✓	✓
Ergan Zirve	2532	EİE	✓			✓	✓
Dumlu	2666	DMİ	✓	✓		✓	✓
Palandöken	2937	DMİ	✓	✓		✓	✓

Tablo 2.3(b) Akım gözlem istasyonlarının genel bilgileri ve bu istasyonlardan sağlanabilen veriler

<i>İstasyon</i>	<i>Yükseklik (m)</i>	<i>Ait olduğu kurum</i>	<i>Seviye</i>
Kemah (2119)	1142	EİE	✓
Sansa (2151)	1355	EİE	✓
Kağdarcı (2154)	1676	EİE	✓
Kırkgöze (21-01)	1838	DSİ	✓

Şehir merkezinden uzak alanlarda, ölçüm ve kayıt aletlerinin çevre şartlarına bağlı olarak zaman zaman düzensizlikler göstermesi, pek çok meteorolojik parametrenin sürekli ölçülmesini zorlaştırmaktadır. Doğu Anadolu'nun sıradışı iklim koşulları ve engebeli topoğrafyası, sensörlerin ve aletlerin bazen günlerce veya haftalarca arızalanmasına sebep olmaktadır. Bu durum geçmiş yıllarda birkaç kez yaşanmış ve değerli verinin kayıpla sonuçlanmıştır. Fakat yıllar içinde aletler minimum bakımla oldukça iyi çalışmaktadır.

Takip eden bölümlerde, her bir istasyondan toplanan veri tipleri; tablolar, fotoğraflar ve grafiklerle daha detaylı anlatılmıştır.

2.2.1. Kar verisi

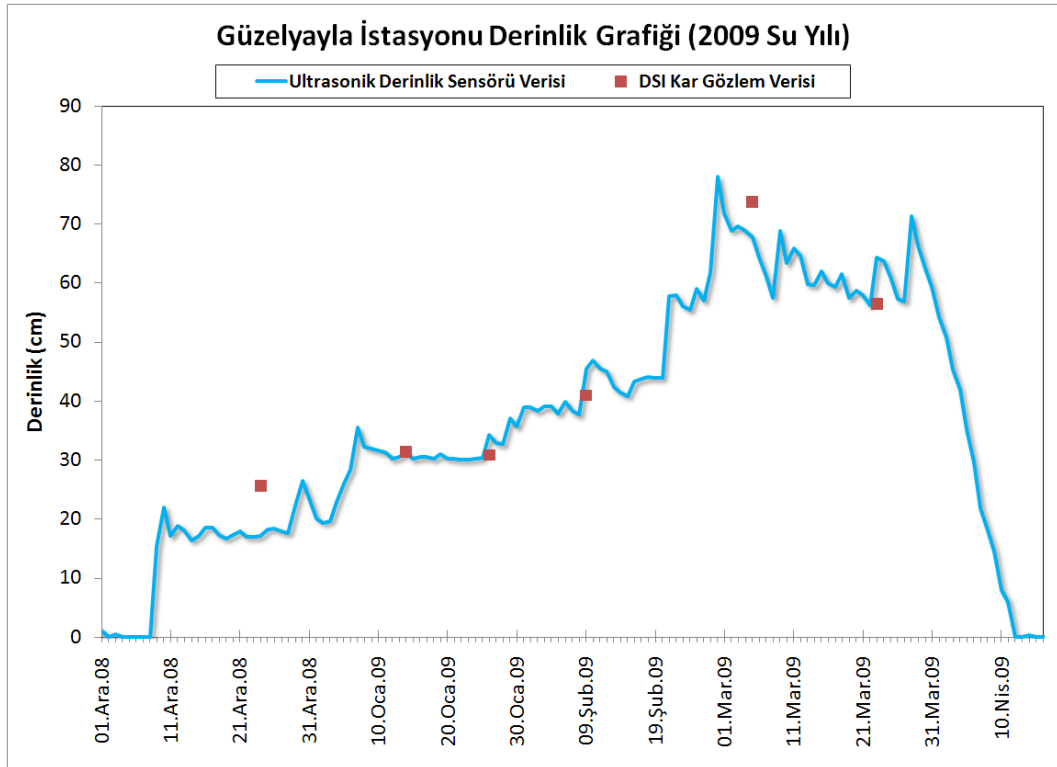
Çalışma alanında, kar tüpleri kullanılarak kar verisi toplanmasına 1960'lı yılların ortalarında devlet kurumları tarafından başlanmıştır. Bir kar sezonu boyunca, genellikle ayda bir yada iki kez kar ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçümler genellikle havzanın kar potansiyeli hakkında fikir vermekte fakat kar modellemesi için yeterli zaman aralığını sağlamamaktadır.

Modellemeye uygun veri elde edebilmek, kar verisini sürekli ve otomatik bir şekilde toplayabilmek amacıyla her bir kar-meteoroloji istasyonuna ultrasonik derinlik sensörü yerleştirilmiştir (Şekil 2.7).

Şekil 2.8'de, Güzelyayla meteoroloji istasyonu 2009 su yılı kar derinlik verileri örnek olarak sunulmuştur. Bu ölçümler, kayıtların alındığı istasyonun yakınlarında kar tüpüyle ölçülen kar verileri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 2.7 Güzelyayla meteoroloji gözlem istasyonu kar ölçümü



Şekil 2.8 Manuel ve otomatik kar derinlik ölçümleri, Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı

2.2.2. Meteorolojik veriler

Radyasyon

Radyasyon, doğal ortamda doğrudan ölçülebilen bir enerji transfer şeklidir. Radyometreler hidrolojide buharlaşma ve kar erimesi ile ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır. Karın yansıtıcılığı yüksek oranda dalga boyuna ve albedoya bağlı olduğundan, kısa dalga ve uzun dalga verilerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bulutsuz günlerde, güneşin etkisiyle oluşan (kısadalga – shortwave) ve termal etkiyle oluşan (uzundalga – longwave) radyasyonun dağılımı topoğrafya üzerinde modellenenbilir. Fakat bulutlu günlerde, direkt ve dağılarak gelen güneş radyasyonu ile atmosfer ve bulutlardan yayılan termal radyasyonun dağılımı farklı katkılardan dolayı kolayca tahmin edilemez ve modellenemez, bu yüzden ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi engebeli bir topoğrafyaya sahiptir ve bulutlar kış ve bahar ayları boyunca bölge üzerinde daha sıkça görülmektedir. Bu sebeple, bölgede güneş ve termal radyasyonun modellenmesinden ziyade, gelen radyasyonun arazide hassas şekilde ölçülmesi gerekmektedir (Şekil 2.9).

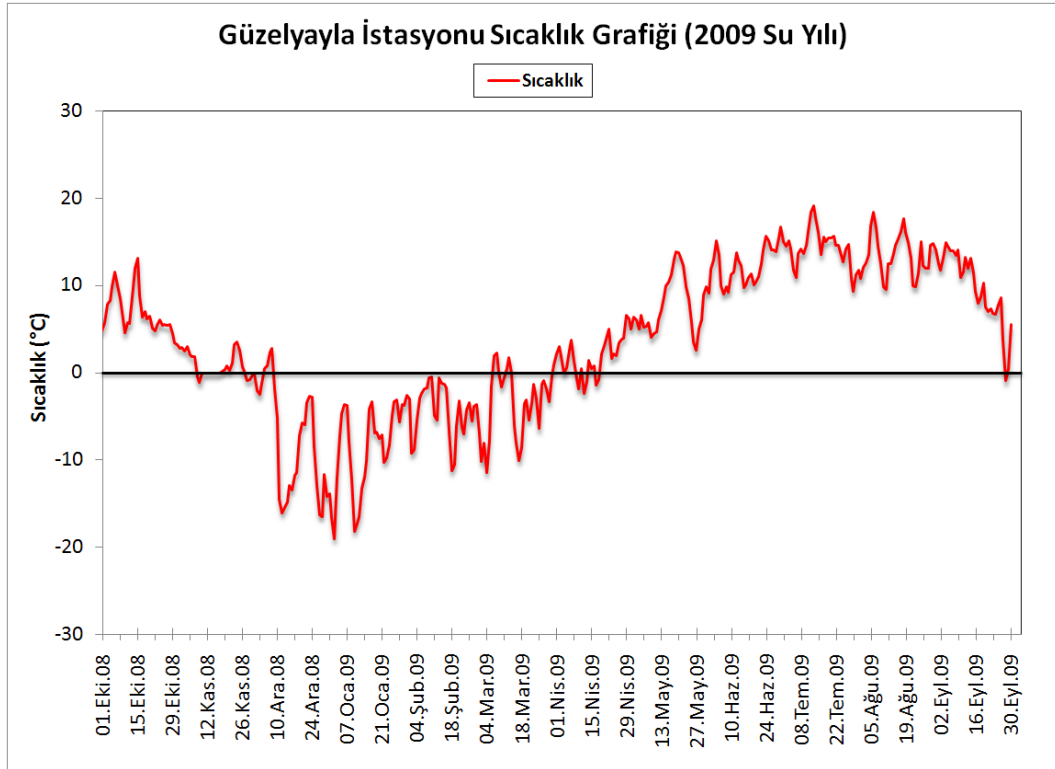


Şekil 2.9 Ovacık istasyonu radyasyon ve hava sıcaklığı ölçümleri

Hava Sıcaklığı

Hava sıcaklığı ölçümleri kar yüzeyinin üstünde, radyasyonun ve ısı iletiminin etkilerinden korunmuş belirli bir yükseklikte yapılmalıdır.

Çalışma alanında, hava sıcaklığı ölçümleri Tablo 2.3(a)'da gösterilen 11 kar-meteoroloji istasyonunda yapılmaktadır. Şekil 2.10'da, Güzelyayla meteoroloji istasyonu 2009 su yılı ortalama sıcaklık değerleri grafiği örnek olarak sunulmuştur. Aynı istasyonun 2009 su yılı için aylık ortalama sıcaklık değerleri Tablo 2.4'te gösterilmiştir. Bu değerler 2080 m kotunda, hava sıcaklığının $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında nasıl değiştiği göstermektedir.



Şekil 2.10 Günlük ortalama hava sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$), Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı

Tablo 2.4 Aylık ve yıllık ortalama hava sıcaklıkları (°C), Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı

Ay	Ortalama (°C)
Ekim	6.9
Kasım	1.2
Aralık	-7.6
Ocak	-8.5
Şubat	-4.3
Mart	-3.4
Nisan	1.8
Mayıs	7.7
Haziran	12.3
Temmuz	14.3
Ağustos	13.6
Eylül	9.7
2009 Su Yılı	3.6

Yağış

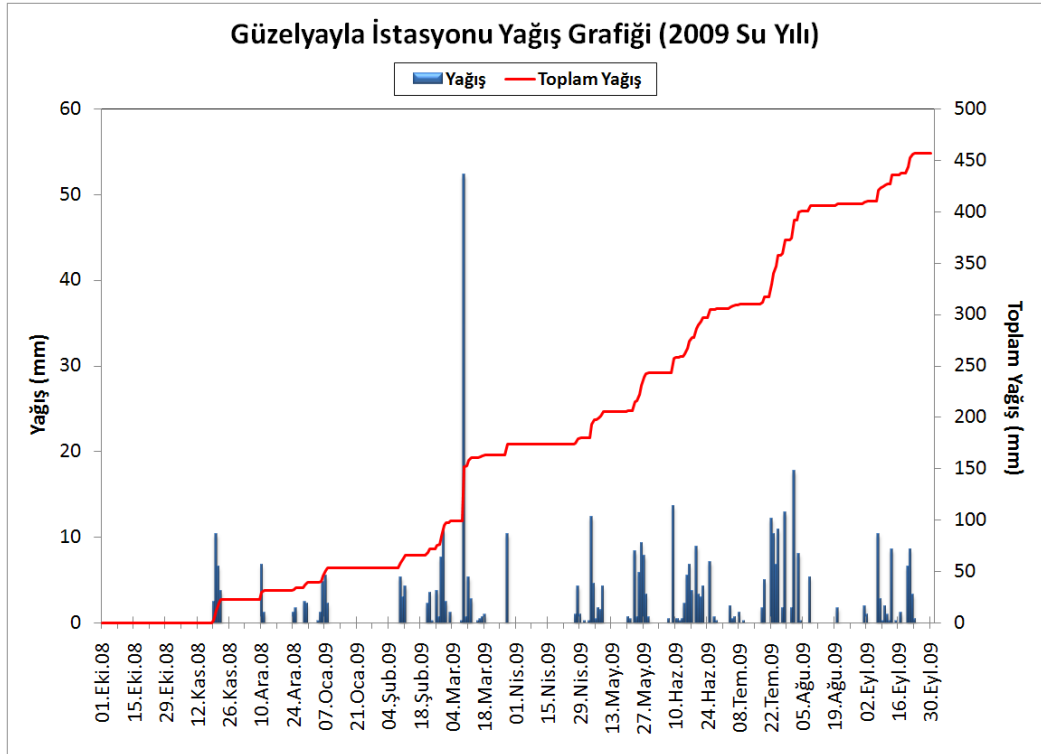
Karasu Havzasında yağış, genellikle Kasım ayından Mart ayının sonuna kadar kar olarak ve diğer zamanlarda yağmur olarak düşer. Fakat özellikle geçiş dönemlerinde hava sıcaklığına bağlı olarak kar ve yağmur karışımı da gözlenmektedir.

Yağış ölçerler (Şekil 2.11), Tablo 2.3(a)'da gösterilen 7 kar-meteoroloji istasyonunda çalıştırılmaktadır. Bu yağış ölçerlerde antifrizli hazneler bulunmaktadır. Zaman zaman uzak yerlerde güç yetersizliği, ölçer donması, antifrizde donma ve ölçerin karla kaplanması gibi problemlerle karşılaşmaktadır.



Şekil 2.11 Ovacık meteoroloji gözlem istasyonu yağış ölçer

Şekil 2.12’de, Güzelyayla meteoroloji istasyonu 2009 su yılı günlük yağış ve toplam yağış değerleri grafiği örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 2.12 Günlük yağış ve toplam yağış (mm), Güzelyayla istasyonu, 2009 su yılı

2.2.3. Hidrolometrik veriler

Akım

Akım verisi, operasyonel hidroloji için temel nitelikte bir veridir; çünkü model kalibrasyonu ve doğrulaması için kullanılmaktadır. Bir havzanın uzun dönem akım verilerinin olması, farklı koşullarda davranışının anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Uzun dönem verilerinin önemli olmasının yanında akım verisinin anlık olarak izlenmesi de gerçek zamanlı tahmin ve işletme için son derece önemlidir.

Çalışma alanında, akım ölçümleri Tablo 2.3(b)'de gösterilen 4 akım gözlem istasyonunda yapılmaktadır. Bu akım gözlem istasyonları mabdan mansaba doğru EİE 2119 (Kemah), EİE 2151 (Sansa), EİE 2154 (Kağdariç) ve DSİ 21-01 (Kırgöze) istasyonlarıdır.

Şekil 2.13'de Karasu Havzasının çıkışında bulunan EİE 2119 – Kemah Boğazı istasyonunun görünümü sunulmuştur.



Şekil 2.13 EİE 2119 – Kemah Boğazı akım gözlem istasyonunun görünümü

3. KAR HİDROLOJİSİNDE UZAKTAN ALGILAMA

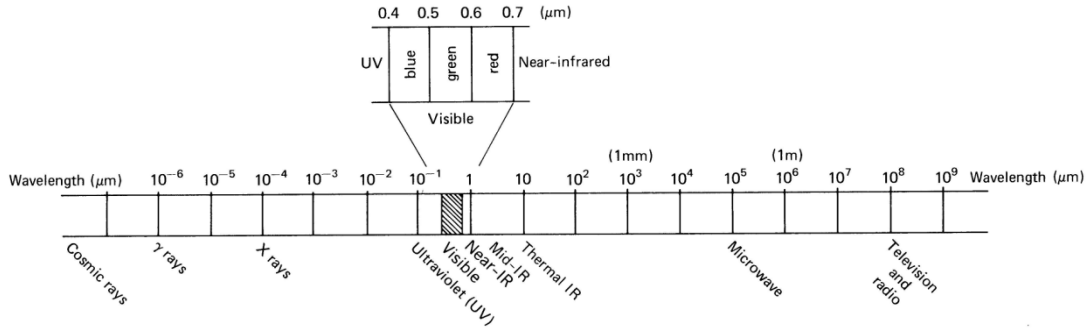
Uzaktan algılama teknolojisi, nokta verisine karşılık gelen mekansal veriyi sağlayabildiği, dünya yüzeyinin geniş ve uzak alanlarının durumunu ölçebildiği için pek çok bilimsel ve mühendislik amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır. Hidroloji alanında da su kaynaklarının modellenmesi, yönetilmesi, işletilmesi ve çeşitli tahmin çalışmalarında mekansal veriye ihtiyaçtan dolayı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle kar hidrolojisi çalışmalarında, kar örtüsünün havza içerisindeki dağılımını ve zamanla değişimini belirlemek amacıyla uydu görüntülerinden faydalanılmaktadır.

3.1. Kar Çalışmalarının Uzaktan Algılanma Tarihçesi

Yeryüzünü Gözleme (Earth Observation – EO) verisi, kar hidrolojisinde 1975’li yıllarda uygulanmaya başlamıştır. Öncü çalışmalar Rango ve diğ. (1977) tarafından EO verisi kullanılarak, kar erimesinden kaynaklı akım tahmini uygulamalarıyla gerçekleştirilmiş 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 diğ. (1987) kar kaplı alanların haritalanması için uzaktan algılama metodlarının önemini vurgulamıştır. Frank ve diğ. (1988), Harrison ve Lucas (1989), Hu ve diğ. (1993), Seidel ve diğ. (1994), Baumgartner ve Rango (1995), Rango (1996), Nagler ve Rott (1997) bireysel olarak sık sık karla kaplı alan izleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Ancak geniş kullanıcı kitlesiyle paylaşılan metod ve uygulama sonuçları özellikle Avrupa’da HydAlp (Rott ve diğ., 2000) ve SnowTools (Gunteriusen ve diğ., 2000) projeleri ile başlamıştır.

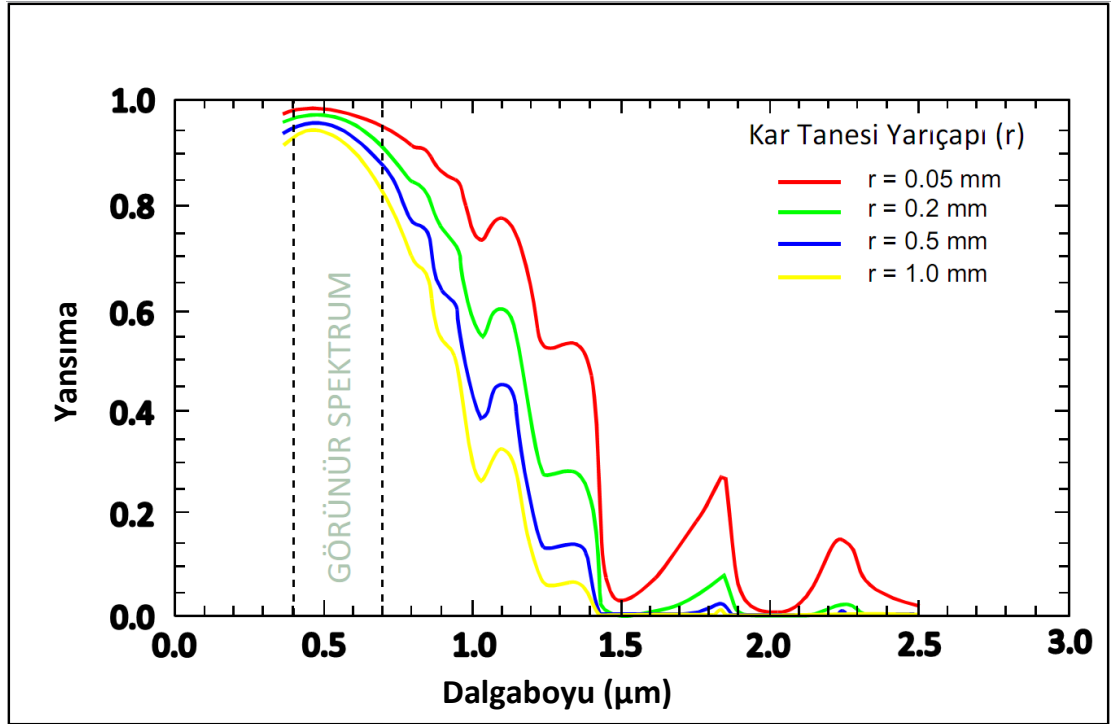
3.2. Karın Spektral Özelliği

Her nesne, elektromanyetik spektrumun tüm dalga boylarında ışımaya yayar (Şekil 3.1). Kar ve buzun uzaktan algılanmasında gama ışını dalga boylarından, mikrodalga bölümünün çok yüksek frekanslı dalga boylarına kadar işletilen sensörler kullanılır.



Şekil 3.1 Elektromanyetik Spektrum (Lillesand ve Kiefer, 1994)

Kar çok ayırt edici bir spektral yansımaya sahiptir ve doğada, optik ve yakın kızıl ötesi bölgede en parlak objelerden biridir. Elektromanyetik spektrumun görünen dalga boylarında ve 0.80 μm 'ye kadar olan yakın kızıl ötesi bölgede, kar yaklaşık %100 civarında yansıtıcı özellik taşımaktadır. 0.80 μm 'den daha uzun dalga boylarında kar yansıtması azalma gösterir ve aniden 1.5 μm 'de sifıra kadar yaklaşmaktadır (Şekil 3.2). 1.5 μm 'den daha büyük dalga boylarında, karın yansıtıcı özelliği ara ara artmakta, fakat genelde çok düşük değerler almaktadır. Islak kar, kuru kara göre daha az yansıtıcı özelliğe sahiptir. Bu yüzden kar örtüsünün olgunlaşma durumunun değerlendirmesini yapmak mümkündür. Kar örtüsünün olgunlaşması, erime ve donma süreçleri ya da kar kirlenmesi ile kar kristal tanecik büyüklüğünün artması anlamına gelir. Örneğin, alt kotlara yakın sınırlardaki erime, kar örtüsünün serbest su içeriğinin artmasına neden olmaktadır. Bu da alt kotlardaki kar örtüsünün, üst kotlara göre daha koyu görünmesine neden olmaktadır.



Şekil 3.2 Karın Spektral Özelliği (Lillesand ve Kiefer, 1994)

3.3. Kar Örtüsünün Uzaktan Algılanması

Araziden gerçek zamanlı izlenecek nokta verilerinin yanı sıra, daha geniş alansal bazda yakın gerçek zamanlı değişimleri de uydu görüntüleri kullanarak takip etmek mümkün olmaktadır. Rango (1994), mevsimsel karla kaplı alan değişimini gözlemlemenin en etkili yolu uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması olduğunu ifade etmektedir. Özellikle kış aylarında biriken karın kapladığı alan ile bahar ve ilk yaz ayları sırasında eriyen karın farklı alan ve kotlarda değişmesinin en kolay takibi uydu görüntüleri kullanılarak yapılabilmektedir. Dünyadaki gelişmeler çeşitli çözünürlüklerde yeni uyduların kullanımına olanak tanımaktadır. Erime ve birikme dönemlerinde kar örtüsü değişiminin izlenmesinde, yüksek zamansal çözünürlükteki uydular oldukça önemlidir. Karla kaplı alan, çeşitli uzaktan algılama araçlarıyla algılanmasına ve izlenmesine rağmen en iyi uygulamanın, elektromanyetik spektrumun görünür (VIS) ve yakın kızıl ötesi (NIR) bölgelerinde olduğu belirlenmiştir (Hall ve diğ., 2002).

Karla kaplı alanın işlevsel olarak izlenmesinde orta ölçekli mekansal çözünürlüklü fakat yüksek tekrarlıma oranı olan görüntülerin kullanılması, bulutsuz görüntü elde edilmesi açısından avantaj sağlar. Mikrodalga verisinin (aktif ya da pasif) kullanılmasıyla bulut problemi ortadan kaldırılabilir ancak mikrodalga verisi yüzey ve yüzey altı özelliklerden fazlasıyla etkilendiği için bu görüntülerin yorumlanması optik uydulara göre oldukça zordur.

Tablo 3.1’de yörüngede bulunan çeşitli sensör sistemleri özetlenmiştir.

Tablo 3.1 Karla kaplı alanların haritalanmasında uyduların özellikleri (Durum: Haziran 2003) (Seidel ve Martinec, 2004)

Uydu	Sensör	Spektral Band	Mekansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Kurum
Meteosat - 7	VIS/IR	3	2.5km x 2.5km	0.5 saat	EUMETSAT (1997)
Meteosat - 8	VIS/IR	12	1km x 1km	0.25 saat	EUMETSAT (2002)
NOAA - 14, - 16	AVHRR	5	1km x 1km	12 - 24 saat	ABD (2000)
TERRA, AQUA	MODIS	36	250m x 250m	1 - 2 gün	ABD (1999, 2002)
			500m x 500m		
			1000m x 1000m		
ENVISAT	MERIS	15	300m x 300m	3 gün	ESA (2002)
Landsat - 4, - 5	MSS	4	59m x 79m	16 gün	ABD (1972, 1984)
	TM	7	30m x 30m		
Landsat - 7	ETM +	7	30m x 30m	16 gün	ABD (1999)
	PAN	1	15m x 15m		
SPOT - 2, - 3, - 4	XS	3	20m x 20m	26 gün	Fransa (1990, 1993, 1998)
	PAN	1	10m x 10m		
SPOT - 5	XS	3	10m x 10m	26 gün	Fransa (2002)
			5m x 5m		
IRS - 1C	PAN	1	5.8m x 5.8m	5 gün	Hindistan (1995)
	LISS - 3	4	23m x 23m		
IRS - P3	WIFS	3	188m x 188m	24 gün	Hindistan (1996)
IKONOS	XS	4	4m x 4m	3 gün	ABD (1999)
	PAN	1	1m x 1m		
QUICKBIRD - 2	XS	4	2.44m x 2.88m	3 gün	ABD (2001)
	PAN	1	0.61m x 0.72m		

Tablo 3.1’de özellikleri verilen uydular, Yüksek ve Orta Çözünürlüklü Optik Görüntüleyiciler (YÇOG ve OÇOG) olarak sınıflandırılabilir. OÇOG sensörlerin en belirgin avantajları yüksek zamansal çözünürlükleri ve yakın gerçek zamanlı veri iletimi sağlayabilme özellikleridir. Bu özellik, OÇOG verilerinin düzenli ve verimli karla kaplı alan haritalanması için oldukça uygun olduğunu göstermektedir.

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalar, orta çözünürlüklü optik görüntülerin etkin kullanıldığını göstermektedir. National Oceanic and Atmospheric Administration – Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA – AVHRR) uydu görüntüsü, karla kaplı alan haritalanması çalışmalarında uzun süredir kullanılan ve pek çok çalışmanın yapıldığı bir üründür. Kuzey Yarımküre’nin karla kaplı alan haritaları NOAA aracılığı ile 1966’dan beri kullanılabilir. NOAA – AVHRR uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan haritaları genellikle küçük ölçekteki alanların analizinde kullanılmaktadır. Geniş ölçekli çalışmalarda daha detaylı haritalar için, Landsat ve SPOT uyduları gibi yüksek çözünürlüklü çok bantlı sensörler sonuç vermektedir. Bu çalışmada, çalışma alanı üzerindeki karla kaplı alan verisi orta çözünürlüklü optik görüntüleyicilerden olan Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydu görüntülerinden elde edilmiştir. Hem veriye ulaşılabilirlik hem de kar haritalanması için zamansal ve mekansal olarak en iyi çözünürlüğün sağlanması açısından MODIS uydusu tercih edilmiştir.

3.4. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

Earth Observing System (EOS), NASA tarafından yürütülen uluslar arası 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 diğ., 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, daha açık kar örtüsü görüntülerinin elde edilme olasılığı artmaktadır (Hall ve Riggs, 2007).

Karada, atmosferde, buzullarda ve okyanuslardaki küresel değişimlerin incelenebilmesi için kullanılan birçok MODIS veri ürünü bulunmaktadır. Bu ürünler okyanus bilim, biyoloji ve atmosfer bilimi gibi birçok disiplin tarafından kullanılmaktadır. MODIS ürünleri kalibrasyon, atmosfer, kara ve okyanus olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Üretilen MODIS verilerinin özet tablosu Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

3.5. MODIS Veri Formatı

Hierarchical Data Format – Earth Observation System (HDF – EOS) veri formatı, EOS – Data Information System (EOSDIS) ürünleri için standart bir formattır. Kar ürünü dosyaları, öznitelikleri içeren tanımlayıcı verilerden ve veri dizilerini içeren bilimsel veri setlerinden oluşmaktadır.

Tablo 3.2 Üretilen MODIS verilerinin özet tablosu

<u>Kalibrasyon</u>
MOD 01 - Level - 1A Radiance Counts (Işınım Sayıları)
MOD 02 - Level - 1B Calibrated Geolocated Radiances (Kalibrasyonu Yapılmış Işınım)
MOD 03 - Geolocation Data Set (Konumu Belirli Veri Seti)

<u>Atmosfer</u>
MOD 04 - Aerosol Product (Aerosol Ürünü)
MOD 05 - Total Precipitable Water (Su Buharı)
MOD 06 - Cloud Product (Bulut Ürünü)
MOD 07 - Atmospheric Profiles (Atmosferik Görünümler)
MOD 08 - Gridded Atmospheric Product (Hücrelere Ayrılmış Atmosferik Ürün)
MOD 35 - Cloud Mask (Bulut Maskesi)

<u>Kara</u>
MOD 09 - Surface Reflectance (Yüzey Yansımaları)
MOD 10 - Snow Cover (Karla Kaplı Alan)
MOD 11 - Land Surface Temperature & Emissivity (Yüzey Sıcaklığı)
MOD 12 - Land Cover / Land Cover Change (Arazi Kullanımı)
MOD 13 - Gridded Vegetation Indices (Hücrelere Ayrılmış Vejetasyon İndeksi)
MOD 14 - Thermal Anomalies, Fires & Biomass Burning (Termal Anomali, Yangın & Biyokütle Yanması)
MOD 15 - Leaf Area Index (Yaprak Alanı İndeksi)
MOD 16 - Evapotranspiration (Terleme ve Buharlaştırma)
MOD 17 - Net Photosynthesis and Primary Productivity (Net Fotosentez ve Öncül Verimlilik)
MOD 29 - Sea Ice Cover (Buz Kaplı Alan)
MOD 43 - Surface Reflectance BRDF/Albedo Parameter (Albedo Parametresi)
MOD 44 - Vegetation Cover Conversion (Vejetasyonla Kaplı Alan Dönüşümü)

<u>Okyanus</u>
MOD 18 - Normalized Water-leaving Radiance (Su Bırakma Işınımı)
MOD 19 - Pigment Concentration (Pigment Konsantrasyonu)
MOD 20 - Chlorophyll Fluorescence (Klorofil Flüoresansı)
MOD 21 - Chlorophyll Concentration (Klorofil Konsantrasyonu)
MOD 22 - Photosynthetically Available Radiation (Fotosentezle Sağlanan Işıma)
MOD 23 - Suspended Solids Concentration (Askıda Katı Konsantrasyonu)
MOD 24 - Organic Matter Concentration (Organik Madde Konsantrasyonu)
MOD 25 - Coccolith Concentration (Kokolit Konsantrasyonu)
MOD 26 - Ocean Water Attenuation Coefficient (Okyanus Suyu Zayıflama Katsayısı)
MOD 27 - Ocean Primary Productivity (Okyanus Öncül Verimlilik)
MOD 28 - Sea Surface Temperature (Deniz Yüzeyi Sıcaklığı)
MOD 31 - Phycoerythrin Concentration (Fikoeritrin Konsantrasyonu)
MOD 36 - Total Absorption Coefficient (Toplam Absorpsiyon Katsayısı)
MOD 37 - Ocean Aerosol Properties (Okyanus Aerosol Özellikleri)
MOD 39 - Clear Water Epsilon (Temiz Su Epsilon)

3.6. MODIS Kar Ürünü

MODIS kar ürünleri, tarama ve işleme ile başlayan, mekansal ve zamansal dönüşümlerini içeren hücelere ayrılmış küresel ürünlerin bir sonucu olarak elde edilir. 7 farklı MODIS kar ürününün özet tablosu Tablo 3.3'te sunulmuştur (Riggs ve diğ., 2006).

Tablo 3.3 MODIS kar ürünlerinin özeti (Hall ve diğ., 2002)

MODIS Kar Ürünleri (MOD/MYD)*	Dizilerin Boyutları	Mekansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Harita Projeksiyon
MOD10_L2 / MYD10_L2	1354 km x 2000 km	500 m	Swath	-
MOD10L2G / MYD10L2G	1200 km x 1200 km	500 m	n. gün	Sinüsoidal
MOD10A1 / MYD10A1	1200 km x 1200 km	500 m	Günlük	Sinüsoidal
MOD10A2 / MYD10A2	1200 km x 1200 km	500 m	8 Günlük	Sinüsoidal
MOD10C1 / MYD10C1	360° x 180°	0.05°	Günlük	Coğrafi
MOD10C2 / MYD10C2	360° x 180°	0.05°	8 Günlük	Coğrafi
MOD10CM / MYD10CM	360° x 180°	0.05°	Aylık	Coğrafi

***MOD**...: EOS Terra uydusundan alınan, **MYD**...: EOS Aqua uydusundan alınan

MODIS kar ürünleri, Seviye 2'den (L2) başlayarak çok sayıda farklı ürün seviyelerine sahiptir. MOD10_L2 ürünü hariç diğer kar ürünleri, bir önceki kar ürününün altlık olarak kullanılmasıyla oluşturulmaktadır.

Geçerlilik özelliklerine göre MODIS ürünleri üç gruba ayrılırlar. Bunlar beta, geçici ve geçerli ürünlerdir. Beta ürünler, ilk oluşturulan ürünlerdir. Geçerliliğinin düşük olmasından dolayı birçok hata içerebilirler. Geçici ürünler kısmen geçerlidir fakat araştırma ve bilimsel çalışmalar için kullanılabilirlerdir. Geçerli ürünler ise yüksek kaliteye sahiptirler. (<http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/val-df.html>)

MODIS/Terra Günlük Kar Örtüsü L3 Global 500 m Grid (MOD10A1) HDF-EOS formatında karla kaplı alan verilerini içermektedir. MOD10A1 1200 km'ye 1200 km'lik 500 m çözünürlüklü sinüsoidal harita projeksiyonlu paftalardan oluşmaktadır.

MODIS kar örtüsü verisi normalize edilmiş kar indeksi (Normalized Difference Snow Index - NDSI) ve başka kriter testlerine göre oluşturulmuş kar haritalama algoritmasını temel almaktadır. MODIS'in kar örtüsünü görüntüleme kullandığı bantlar Tablo 3.4'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4 MODIS kar ürünlerinin oluşturulmasında kullanılan bantlar (Hall ve Riggs, 2007)

Band Numarası	Band Genişliği (μm)	Terra / Aqua
1	0.620 - 0.670	Terra ve Aqua
2	0.841 - 0.876	Terra ve Aqua
4	0.545 - 0.565	Terra ve Aqua
6	1.628 - 1.672	Terra ve Aqua*
7	2.105 - 2.155	Terra* ve Aqua
31	10.780 - 11.280	Terra ve Aqua
32	11.770 - 12.270	Terra ve Aqua

*Kar örtüsünün haritalanmasında, bant 6, Aqua uydusunda, bant 7 ise Terra uydusunda kullanılmıyor.

Terra ve Aqua platformlarındaki MODIS algılayıcıları, hemen hemen bant 6 (1.628 – 1.672 μm) hariç benzerdir. Aqua, MODIS algılayıcısında bant 6'nın %70'i teknik bir arıza nedeniyle işlevsizdir. MODIS bant 6, kar algılaması için çok önemli olduğundan; Aqua uydusunda bant 6'nın kar haritalama algoritmalarında kullanılmaması sorun yaratmaktadır. Bu sebeple Aqua kar örtüsü ürünlerinin elde edilmesinde, bant 6 değerleri yerine bant 7 değerleri kullanılmaktadır (Hall ve Riggs, 2007).

3.7. MODIS Kar Algoritması

Hall ve diğ. (2002) tarafından karla kaplı alanların 500 metre konumsal çözünürlükte ve günlük bazda oluşturulduğu bir algoritma geliştirilmiştir. Literatürde, MODIS uydusundan elde edilen karla kaplı alan haritalarının doğruluğu üzerine bir çok eser yayınlanmıştır Hall ve diğ. (1998), Klein ve diğ. (1998), Klein ve Barnett (2003) ve Riggs ve diğ. (2006). Geliştirilen uydu algoritmalarının ülkemiz için tutarlılığının araştırılması oldukça önemli bir konudur (Şorman ve diğ., 2007).

Optik ve yakın kızıl ötesi dalga boylarında görüntü alan sensörler karla kaplı alanları diğer alanlardan ayırmak için kullanılmaktadır. Bu durum, karın görünür dalga boylarında (0.5-0.7 µm) diğer doğal arazi tiplerinden oldukça yüksek yansımaya kapasitesine sahip olmasına bağlıdır (Warren, 1982). NASA EOS orta çözünürlüklü görüntüleme uydusu MODIS kullanarak global ölçekte otomatik sayısal karla kaplı alan haritaları sunmaktadır. Karla kaplı alan miktarını sayısal olarak veren bu haritalar, NDSI algoritması ile iki sınıf (kar var/kar yok) olarak oluşturulmaktadır. NDSI, karın görünür dalga boylarındaki yüksek yansımaya değerini kullanarak geliştirilmiş bir indekstir (Hall ve diğ., 2002). NDSI, MODIS'in 4.bandı (0.545-0.565 µm) ve 6. bandı (1.628-1.672 µm) kullanılarak Denklem 3.1'deki eşitliğe göre belirlenmekte ve MODIS Terra veya Aqua sensörlerinden elde edilen 500 m mekansal çözünürlükteki uydu görüntülerine uygulanarak karla kaplı hücreler elde edilmektedir. MODIS/Aqua'daki band 6 sorunundan dolayı MODIS/Aqua için band 6 yerine band 7 kullanılmaktadır.

$$NDSI = \frac{(MODIS) Band 4 - (MODIS) Band 6}{(MODIS) Band 4 + (MODIS) Band 6} \quad \text{Denklem 3.1}$$

Eğer bir pikselde NDSI > 0.4 ise ve MODIS 2. bandındaki (0.841–0.876 µm) yansımaları %11'den büyükse kar olarak tanımlanır. Karanlık bölgelerin, kar olarak tanımlanmaması için MODIS 4.bandının yansımaları %10'dan küçük ise diğer kriteri sağlasa da kar olarak tanımlanmaz.

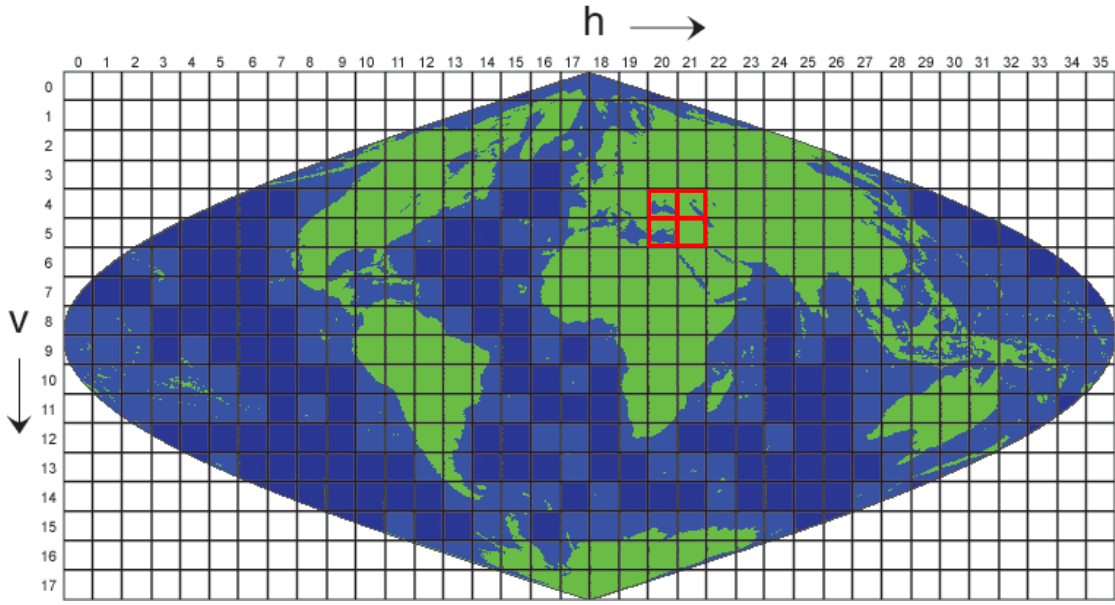
Ormanlık arazinin genelde NDSI değeri 0.4'ten küçüktür ve bu sebeple "Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)" NDSI ile birlikte kullanılmaktadır. NDVI, MODIS 1.bandı (0.620–0.670µm) ile 2.bandı (0.841–0.876µm) reflektansının ölçülmesi ile hesaplanmaktadır (Hall ve diğ., 1998; 2002).

Kar, orta enlemlerde ancak yüksek kotlarda daha uzun süre kalmaktadır. Dağlık bölgeler bu nedenle kar kaplı alanların belirlenmesinde öncelikle çalışılması gerekli alanlardır. Daha heterojen bir yapı göstermesi ve topoğrafyanın görünür dalga boylarında elde edilen görüntülerindeki yansıma değerlerine olan etkisi dağlık alanlarda yapılacak çalışmalarda dikkate alınması gerekli konulardandır.

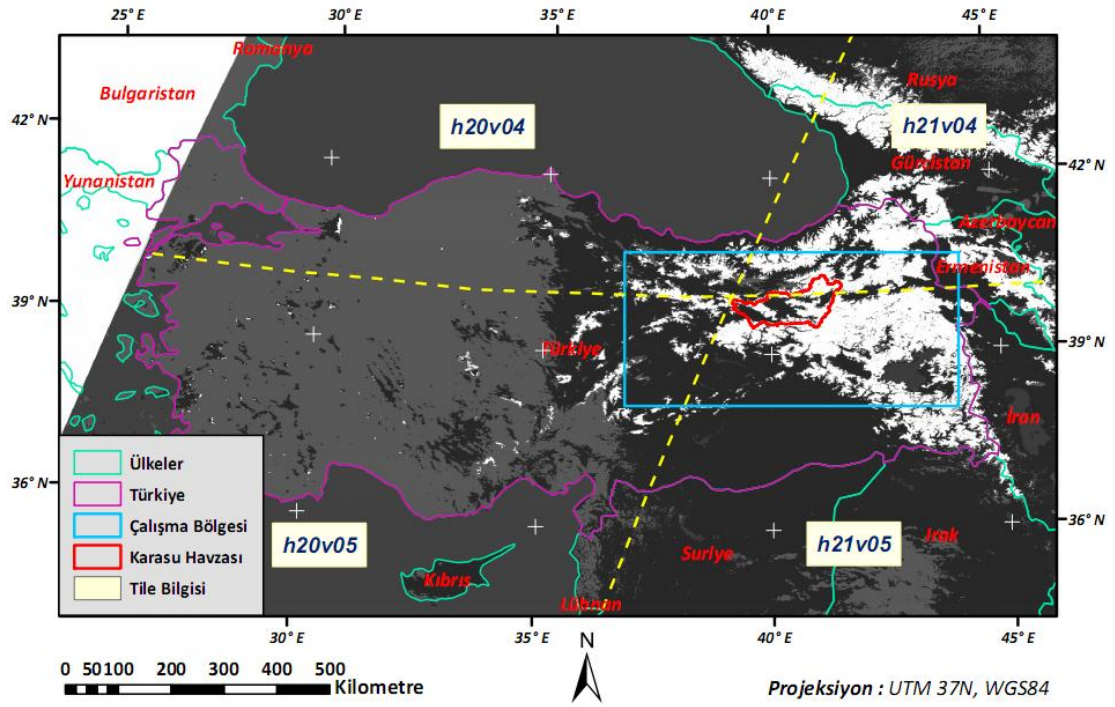
3.8. MODIS Harmanlanmış Kar Ürünü

Bu çalışmada kullanılan uydu görüntüleri, Terra ve Aqua uydularındaki sensörler kullanılarak global ölçekte üretilen karla kaplı alan haritalarının internet ortamından (<https://wist.echo.nasa.gov/api/>) ücretsiz olarak alınmasıyla sağlanmıştır.

MODIS uydu görüntüleri tüm dünyayı eşit karelere bölerek daha küçük alanların internet ortamında indirilerek kullanımına olanak tanımaktadır (Şekil 3.3). Çalışma alanı olarak belirlenen Yukarı Fırat Havzasının Karasu kolu ve civarı h20v04, h20v05, h21v04 ve h21v05 kareleri içerisine düşmektedir (Şekil 3.4). Bu yüzden çalışmada bu dört kare kullanılmıştır. NASA internet sayfasından günleri ve kare numaraları seçilerek sipariş verilen MODIS Terra ve Aqua uydu görüntüleri daha sonra FTP (File Transfer Protokol) yoluyla indirilmektedir. Aynı ayrı indirilen günlük Terra ve Aqua görüntüleri daha sonra MODIS Reprojection Tool 4.0 (MRT- 4.0) (https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool) programı kullanılarak dört karenin birleştirilmesi (mosaic), çalışma alanı ve civarını içerisine alan bölgenin kesilmesi, yeni bir projeksiyona taşınması (UTM, WGS84) ve yeni bir dosya uzantısına (HDF dosya türünden GeoTIFF dosyasına) çevrilmesi işlemlerinden geçirilmektedir.



Şekil 3.3 Dünya haritası üzerinde bölünmüş MODIS kareleri
(https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool)



Şekil 3.4 Çalışma alanının değerlendirilmesi aşamasında kullanılan h20v04, h20v05, h21v04 ve h21v05 MODIS kareleri

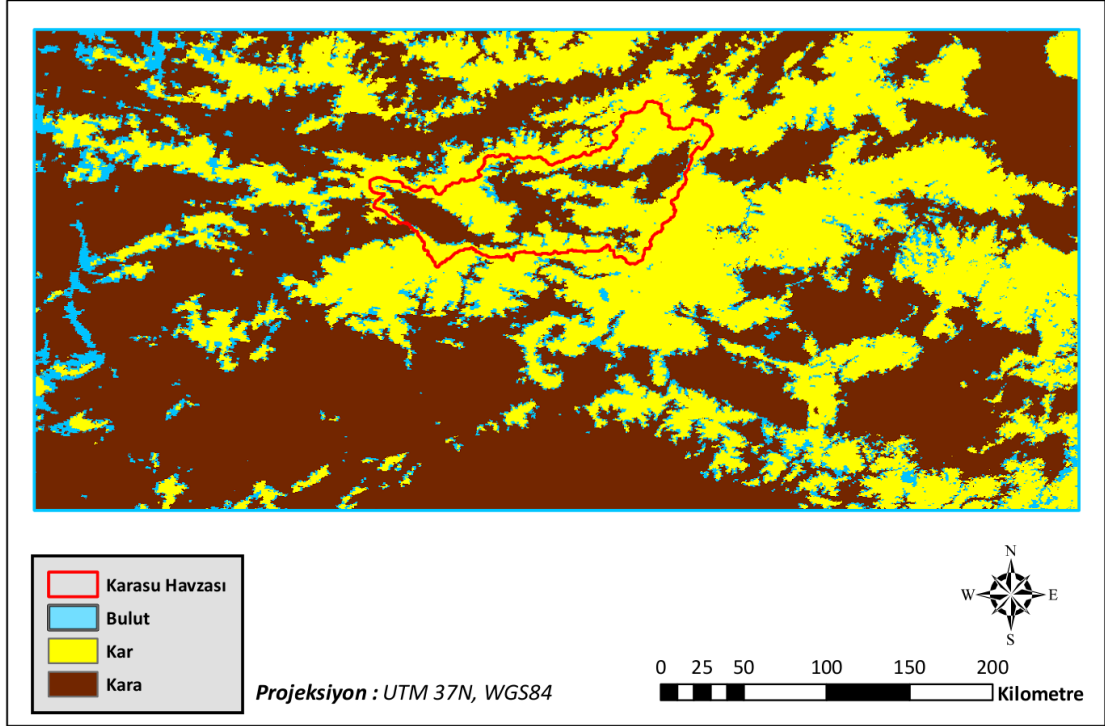
Buradaki amaç, görüntülerin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarının desteklediği format ve projeksiyon haline getirerek bundan sonraki istenen işlemleri rahatça yapabilmektir.

MODIS kar algoritması içerisinde MODIS görüntüleri 10 sınıfa ayrılmaktadır (Tablo 3.5). Bu sınıfların çok detaylı ve fazla olmasından dolayı çalışma için sınıfların birleştirilerek daha az ve kullanışlı sınıflar oluşturulması amaçlanmıştır. Böylece Tablo 3.5’de 10 adet eski sınıf çeşidi, 3 adet yeni sınıfta (Kar, Bulut ve Kara) toplanmıştır.

Tablo 3.5 MODIS kar ürünlerinin sınıflandırma tablosu

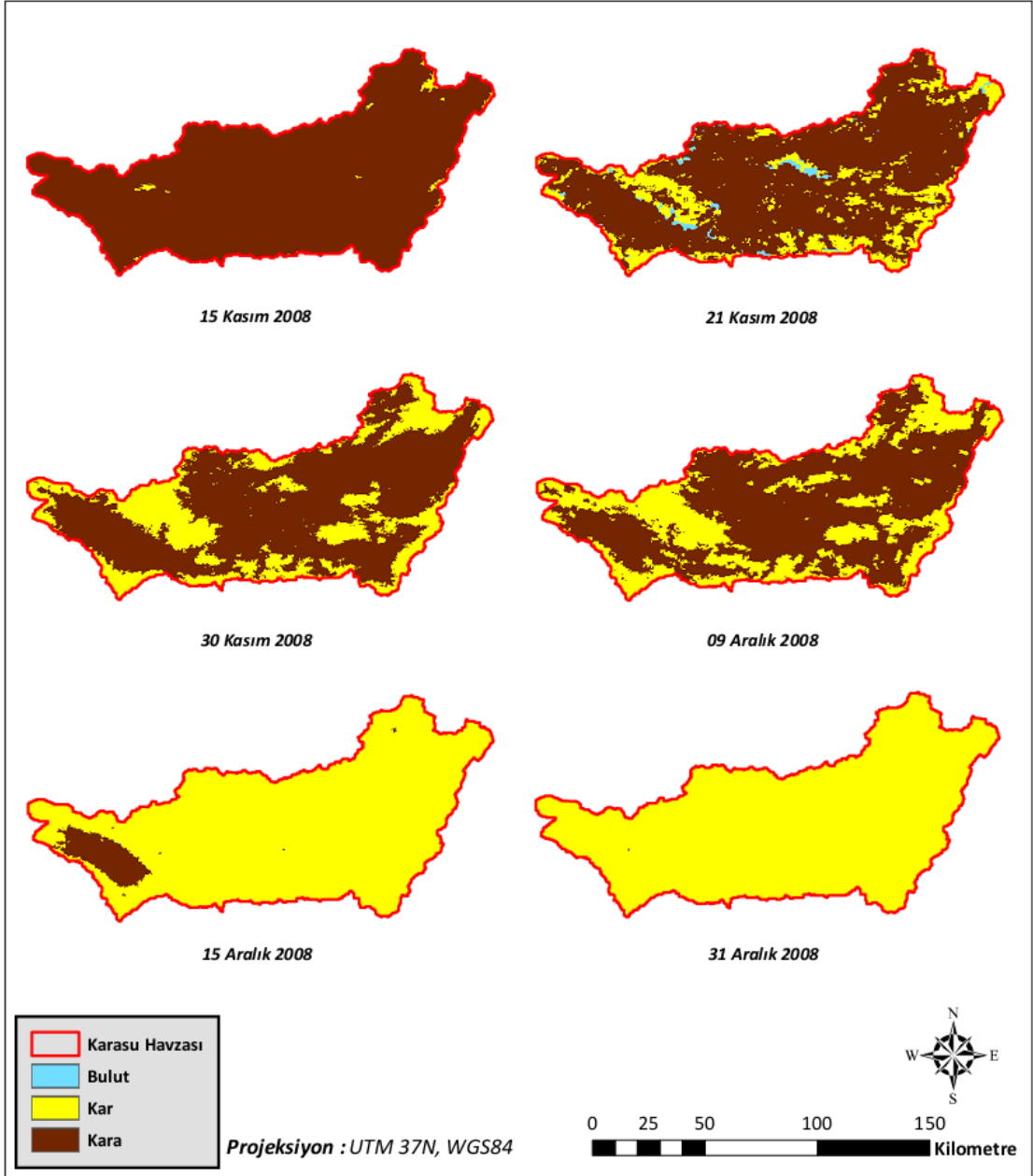
Sınıf Numarası	Sınıf Adı	Yeni Sınıf Numarası	Yeni Sınıf Adı
0	Eksik Veri	0	Bulut
1	Kararsız	0	Bulut
11	Gece	0	Bulut
25	Kara	2	Kara
37	Göl	2	Kara
39	Deniz	0	Bulut
50	Bulut	0	Bulut
100	Buzul	1	Kar
200	Kar	1	Kar
254	Sensör Hatası	0	Bulut

Bu işlemlerden geçirilen görüntüler, Şekil 3.5’deki 31 Mart 2009 günü örneğinde görüldüğü üzere, dört MODIS/Terra karesinin MRT programından geçirilerek birleştirilmiş, çalışma bölgesi tüm görüntüden kesilmiş, yeniden sınıflandırılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiş GeoTIFF dosyası olarak üretilmektedir.

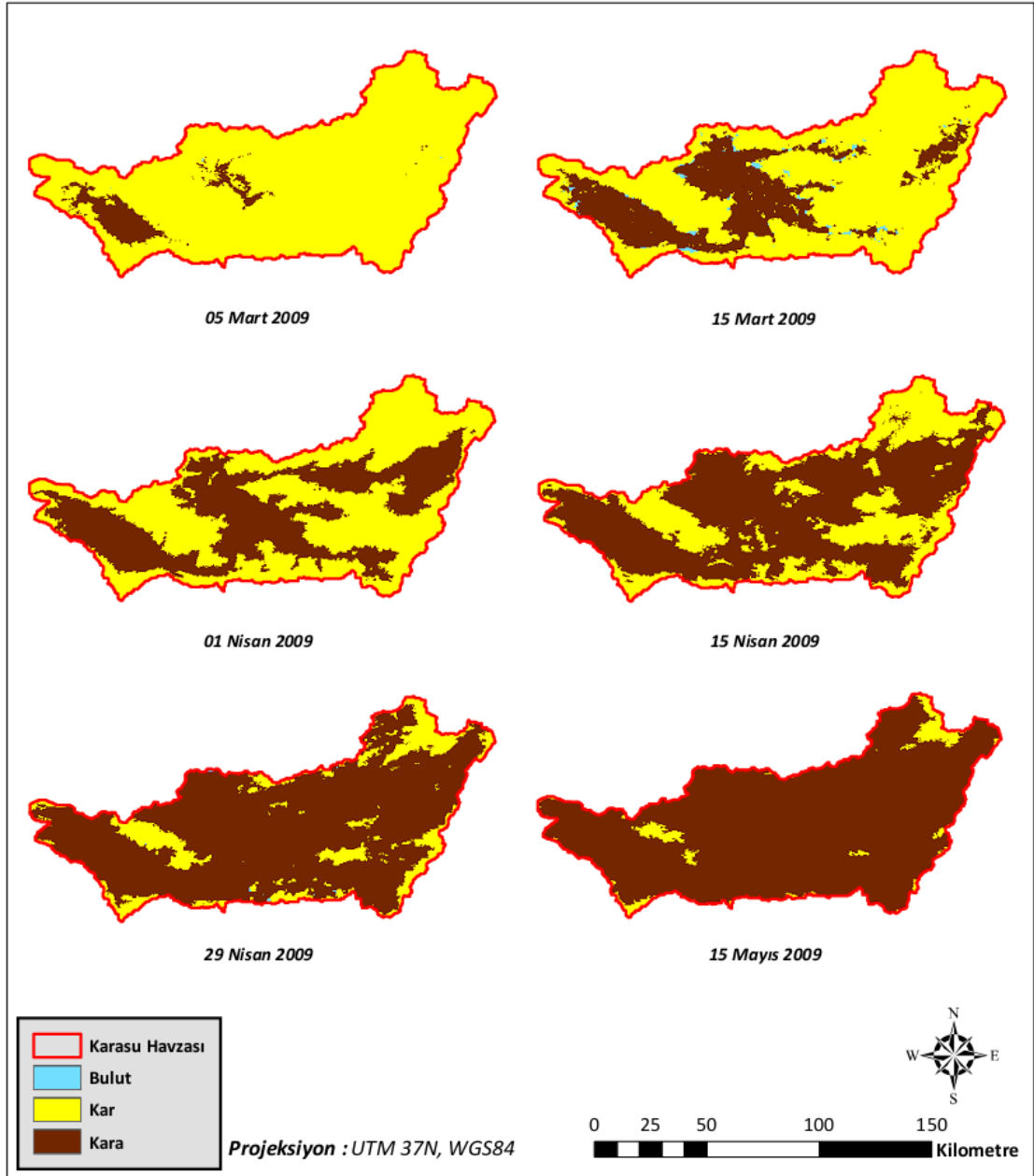


Şekil 3.5 Karasu Havzası ve civarı 31 Mart 2009 günü MODIS/Terra görüntüsü

Karasu Havzası gibi dağlık havzalarda karla kaplı alanlar, kar birikmesi ve kar erimesi dönemlerinde dereceli olarak artmakta ve azalmaktadır. Şekil 3.6(a) ve (b)'de MODIS görüntülerinden elde edilen, 2009 su yılı kar birikmesi ve kar erimesi dönemlerine örnek karla kaplı alan haritaları sunulmuştur.

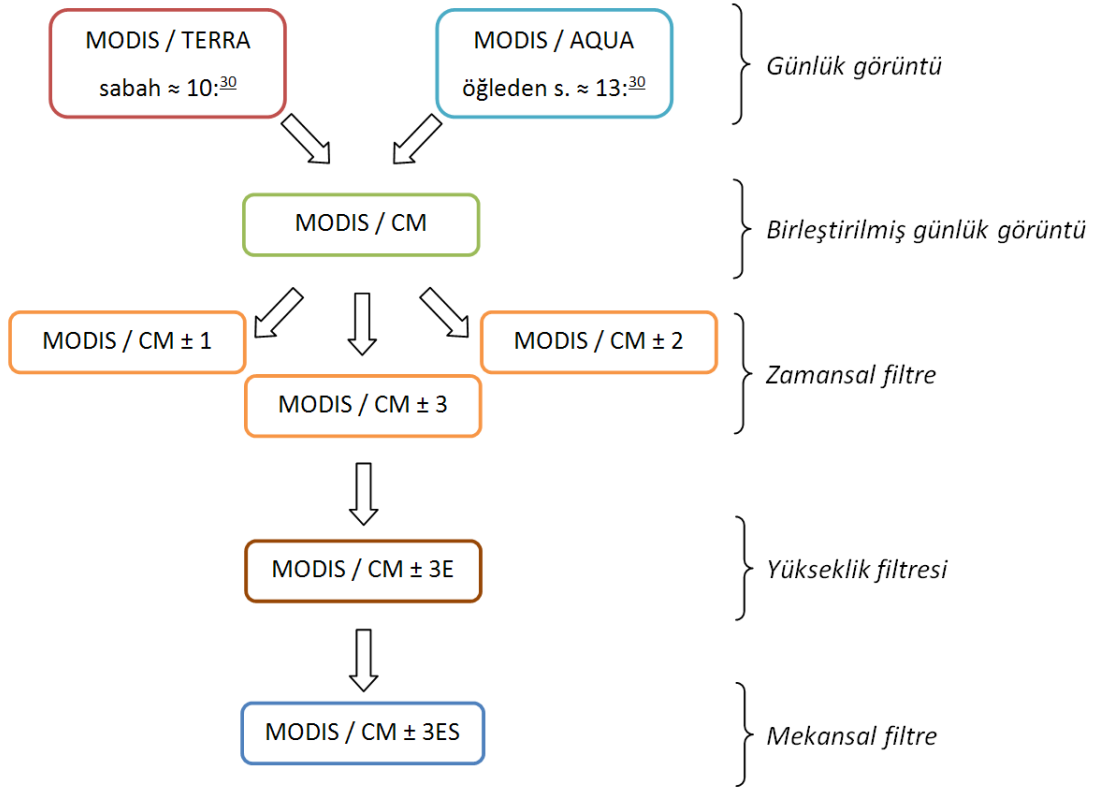


Şekil 3.6(a) Günlük MODIS görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan haritaları (2009 su yılı birikme dönemi Karasu Havzası)



Şekil 3.6(b) Günlük MODIS görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan haritaları (2009 su yılı erime dönemi Karasu Havzası)

Optik MODIS uydusu kullanılarak elde edilen Terra ve Aqua günlük görüntüleri buluttan etkilenmekte ve bulutlu olan zamanlarda bulutun altında kalan yerler görülemediği için tespit edilememektedir. Hidrolojik modelleme uygulamalarında, bulut oranının az olduğu ya da tamamen bulutsuz karla kaplı alan görüntüleri seçilmelidir. Bu nedenle, karın yağdığı kış aylarında (kar potansiyeli belirleme dönemi) ve erimeye başladığı ilkbahar aylarında (akım tahmini dönemi) karla kaplı alanların bulutsuz, az bulutlu veya buluttan olabildiğince arındırılmış olması önem kazanmaktadır. Bu amaçla, günlük uydu görüntülerine birleştirme ve filtreleme gibi bir dizi harmanlama işlemi uygulanmıştır. Bu süreçte izlenen yöntem Şekil 3.7'deki akış şeması ile sunulmuştur.



Şekil 3.7 Günlük MODIS görüntülerini harmanlama süreci akış şeması

Akış şemasında sunulan basamaklara göre öncelikle Bulut, Kar ve Kara sınıfları için, üretilen Terra ve Aqua görüntülerinin 2008, 2009 ve 2010 su yıllarında Yukarı Fırat Havzasındaki oranları çıkartılmıştır. Bu aşamanın ardından Terra ve Aqua görüntüleri harmanlanarak CM (Combined) isimli yeni bir görüntü elde edilmiştir. CM görüntüsü oluşturulurken Terra ve Aqua üzerindeki aynı hücrelerin değerleri göz önüne alınarak bulut oranını azaltacak şekilde Tablo 3.6'da gösterilen kombinasyonlar uygulanmıştır. Tablo 3.6'dan anlaşılacağı üzere her iki görüntüde de bulut mevcut ise CM görüntüsündeki hücre buluttan arındırılmamaktadır. Ayrıca eğer Terra ve Aqua hücre değerleri arasında bulut haricinde fark var ise karar sabah geçen MODIS/Terra tarafında olmaktadır.

Tablo 3.6 MODIS/CM görüntüsü oluşturulurken belirlenen kombinasyonlar

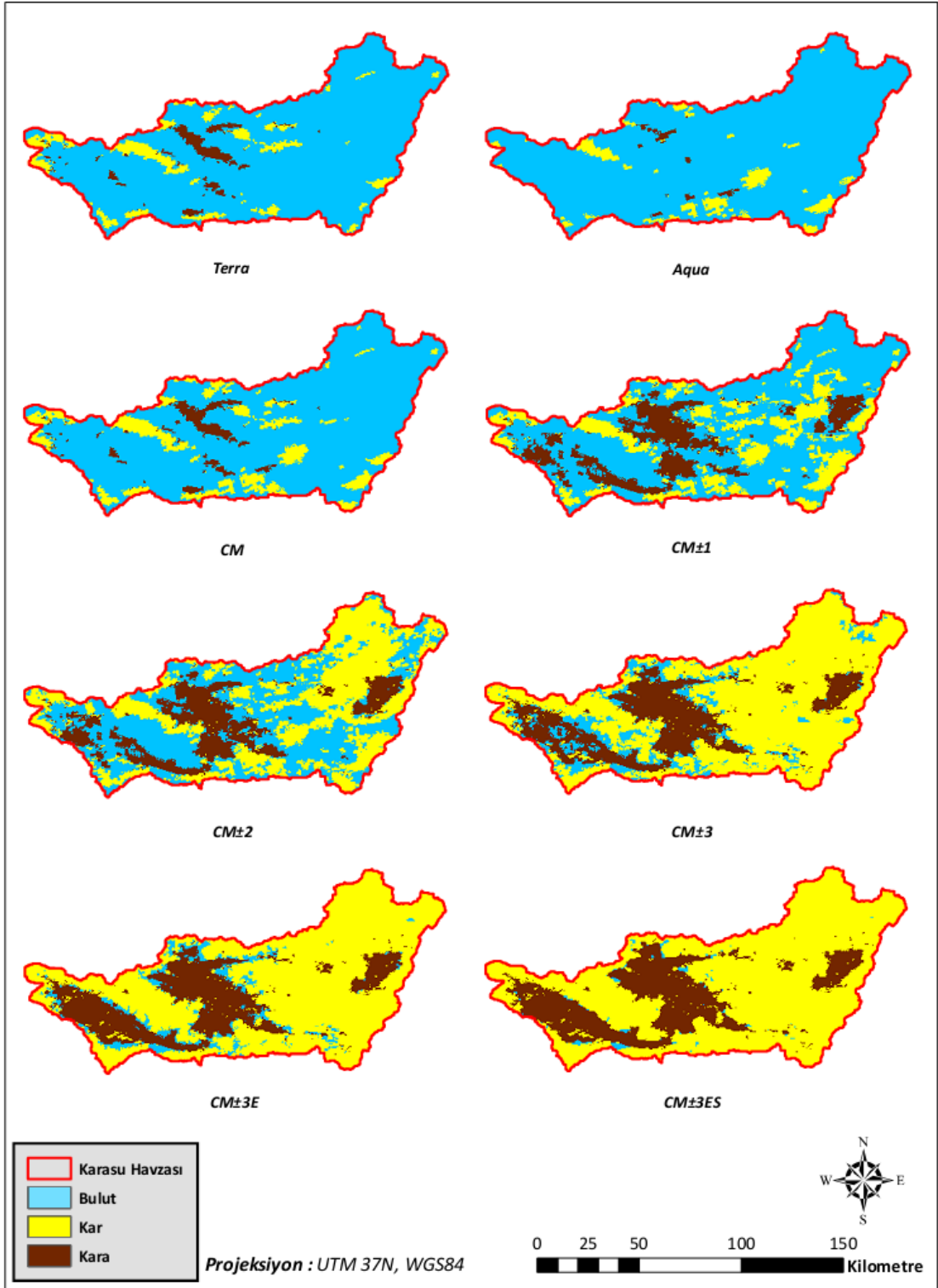
MODIS/Terra	MODIS/Aqua	MODIS/CM
0 (Bulut)	0 (Bulut)	0 (Bulut)
0 (Bulut)	1 (Kar)	1 (Kar)
0 (Bulut)	2 (Kara)	2 (Kara)
1 (Kar)	0 (Bulut)	1 (Kar)
1 (Kar)	1 (Kar)	1 (Kar)
1 (Kar)	2 (Kara)	1 (Kar)
2 (Kara)	0 (Bulut)	2 (Kara)
2 (Kara)	1 (Kar)	2 (Kara)
2 (Kara)	2 (Kara)	2 (Kara)

Aynı günün Terra ve Aqua görüntüleri harmanlanarak oluşturulan CM görüntüsünün ardından bir zamansal filtreleme gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde, herhangi bir gün için elde edilen CM görüntüsünün bir önceki ve bir sonraki günün CM görüntülerinin hücrelerine bakarak sadece bulut kalmış olan hücreler kar veya kara olarak açılmaya çalışılmaktadır. CM'de zaten açık olan hücrenin değeri ise değiştirilmemektedir. Yeni oluşturulan bu görüntüye CM±1 ismi verilmektedir.

Benzer şekilde iki önceki ve iki sonraki günün filtreleme işleminden geçmesine CM±2, üç önceki ve üç sonraki güne bakılarak oluşturulan görüntüye de CM±3 denmektedir. İkinci harmanlama işleminde birincisindeki gibi bulut oranı azaltılmaya çalışılırken, hücrede günlük oluşan sınıflar sayılarak sınıf sayısı yüksek olana ağırlık verilmiştir. Eşitlik durumunda ise kar yönünde tercih yapılmıştır. Örneğin, incelenen günde CM görüntüsündeki (Terra ve Aqua harmanlaması) hücre bulut ise, bu günün iki öncesi (CM-2) ve iki sonrasındaki (CM+2) hücre sınıf sayıları karşılaştırıldığında 2 değer kar ve diğer 2 değer kara ise, bulutlu olan gün kar olarak sınıflandırılmaktadır. Böylece her bir gün için 6 adet görüntü oluşturulmaktadır; Terra, Aqua, CM, CM±1, CM±2 ve CM±3. Oluşturulan bu görüntülerden, CM±3 verileri kullanılarak görüntüdeki bulut oranının azaltılması çalışmalarına devam edilmiştir. CM±3 görüntülerinin kar ve kara sınır çizgilerini belirlemek için çerçeve görüntülerdeki ortalama kar ve kara kotları belirlenmiştir. Ortalama kar ve kara kotu ile görüntülerdeki karla kaplı alan verileri göz önüne alınarak CM±3 görüntülerine bir yükseklik filtresi uygulanmıştır. Bu işlemlerle, bulut kalmış olan hücreler yükseklikleri göz önüne alınarak kar kotunun üstünde (kar sınır çizgisi) ise kar ve kara kotunun altında (kara sınır çizgisi) ise kara olarak açılmıştır. Kar ve kara kotunun arasında kalan yükseklikteki hücreler ise buluttan arındırılmamıştır. Üretilen bu yeni ürün CM±3E (Elevation) olarak adlandırılmıştır. Son olarak, CM±3E ürünü mekansal bir filtreden geçirilmiştir. Bu filtreleme ile amaç, hücrelerin komşularından yararlanılarak hala bulut bulunan hücrelerin kar veya kara olarak açılmasıdır. Ortaya çıkan son ürüne CM±3ES (Spatial) denmektedir. Mekansal filtreleme, merkez hücrede bulut bulunuyor ise etrafında bulunan sekiz komşu hücrenin sayılarak sayısı yüksek olan sınıfa (kar ya da kara) ağırlık verilmesi işlemidir. Sınıfların eşitliği durumunda ise kar yönünde tercih yapılmıştır.

MODIS/Terra ve MODIS/Aqua uydu görüntülerinden karla kaplı alanların tespit edilmesi 2008, 2009 ve 2010 su yılları için gerçekleştirilmiştir. Daha önce bahsedilen dört farklı harmanlama işlemindeki iyileştirmeye örnek olarak 13 Mart 2009 tarihli görüntü Şekil 3.8’de gösterilmektedir. MODIS/Terra görüntüsünde Bulut: 88.25% Kar: 8.24% Kara: 3.52% iken harmanlanmış CM±3 görüntüsünde Bulut: 11.72% Kar: 65.75% Kara: 22.53% oranlarındadır. Son ürün olan CM±3ES görüntüsünde ise Bulut: 1.11% Kar: 73.33% Kara: 25.56% oranlarındadır. Görüldüğü üzere Yukarı Fırat Havzasında bulut oranı önemli bir biçimde azaltılmış ve açık bir görüntü elde edilmiştir. Burada, bulutun kar ve kara sınırlarında kaldığı ve bu durumun eriyen karın kısmi kar (etkili kar) bölgesi oluşturduğu ve bu geçiş bölgesinin 500 m çözünürlüklü MODIS uydu görüntüleriyle ayırt edilmesinin zorlaştığı anlaşılmaktadır. Bu bölgelerde etkili kar sınıfları oluşturulmalıdır. Bu da güncel çalışma konularından birisidir.

Yukarı Fırat Havzasında 2008, 2009 ve 2010 su yıllarında her gün için uygulanan bu işlemler sonucunda aylık bazda her aşamada oluşan bulut iyileştirme oranları Tablo 3.7’de verilmiştir. Görüldüğü üzere yılların ortalamasında MODIS/Terra bulutluluk oranına kıyasla CM harmanlama görüntüleri yaklaşık 20% iyileştirme sağlarken, bu oran 1 günlük harmanlamada yaklaşık 75%, 2 günlük harmanlamada 90% ve 3 günlük harmanlamada 95%’e yükselmektedir. Yükseklik modeli ve mekansal filtrelemenin katılmasıyla iyileştirme oranları 97% ve 99% civarında olmaktadır. Sonuçta uygulanan harmanlama işlemleriyle önemli ölçüde görüntü iyileştirmesi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.8 Terra ve Aqua görüntüleri ile dört farklı harmanlama işlemi sonucu üretilen görüntüler (13 Mart 2009 tarihli görüntü)

Tablo 3.7 Harmanlanan ürünlerin Terra görüntüsüne kıyasla aylık ortalama bulut iyileştirmesi

MODIS/TERRA Uydu Görüntülerindeki Bulut Miktarının, MODIS/HARMANLANMIŞ Ürünlerdeki Yüzsesele Azaltımı 2008						
Tarih	CM	CM ±1	CM ±2	CM ±3	CM ±3E	CM ±3ES
Ekim 07	21.22	89.75	99.25	99.98	99.99	100.00
Kasım 07	12.10	69.95	91.19	98.96	99.14	99.97
Aralık 07	14.42	61.04	77.52	86.11	91.27	96.61
Ocak 08	18.58	89.70	95.76	97.61	98.21	99.82
Şubat 08	24.89	71.94	95.37	99.63	99.93	100.00
Mart 08	11.15	66.59	87.97	96.07	97.65	99.68
Nisan 08	8.94	52.45	75.40	85.03	88.93	95.43
Mayıs 08	24.73	77.95	92.52	96.66	98.30	99.67
Haziran 08	24.92	86.50	98.18	99.58	99.61	99.94
Temmuz 08	46.30	99.80	100.00	100.00	100.00	100.00
Ağustos 08	33.87	96.17	99.99	100.00	100.00	100.00
Eylül 08	17.61	84.37	99.44	100.00	100.00	100.00
08 Su Yılı	21.56	78.85	92.72	96.64	97.75	99.26

MODIS/TERRA Uydu Görüntülerindeki Bulut Miktarının, MODIS/HARMANLANMIŞ Ürünlerdeki Yüzsesele Azaltımı 2009						
Tarih	CM	CM ±1	CM ±2	CM ±3	CM ±3E	CM ±3ES
Ekim 08	31.07	91.44	98.13	99.62	99.96	100.00
Kasım 08	14.24	67.54	85.31	93.65	95.94	98.75
Aralık 08	16.94	72.30	91.13	98.03	98.93	99.76
Ocak 09	17.26	56.75	80.08	91.04	95.11	97.63
Şubat 09	5.69	36.87	57.82	72.40	87.28	93.67
Mart 09	9.31	59.27	83.64	91.60	95.39	98.91
Nisan 09	12.88	66.78	89.40	96.59	97.36	99.69
Mayıs 09	23.48	72.83	88.42	94.71	96.15	99.23
Haziran 09	27.45	90.08	99.26	99.96	99.96	100.00
Temmuz 09	26.43	90.05	98.17	99.62	99.66	99.97
Ağustos 09	36.88	98.53	99.99	100.00	100.00	100.00
Eylül 09	18.43	89.18	99.07	99.99	99.99	100.00
09 Su Yılı	20.01	74.30	89.20	94.77	97.14	98.97

MODIS/TERRA Uydu Görüntülerindeki Bulut Miktarının, MODIS/HARMANLANMIŞ Ürünlerdeki Yüzsesele Azaltımı 2010						
Tarih	CM	CM ±1	CM ±2	CM ±3	CM ±3E	CM ±3ES
Ekim 09	16.86	61.61	75.55	88.87	91.74	94.77
Kasım 09	9.68	60.43	77.57	87.82	91.38	95.40
Aralık 09	6.74	39.30	59.75	71.41	83.34	93.42
Ocak 10	11.11	43.53	62.22	71.74	85.23	91.35
Şubat 10	8.00	44.25	64.44	78.15	85.76	94.40
Mart 10	8.80	45.82	61.24	72.21	85.31	92.54
Nisan 10	10.24	59.18	82.55	93.47	95.30	98.01
Mayıs 10	23.78	74.40	87.69	93.75	94.54	97.26
Haziran 10	30.09	94.77	99.49	99.99	99.99	100.00
Temmuz 10	24.61	90.84	99.58	99.98	99.99	100.00
Ağustos 10	39.68	99.33	100.00	100.00	100.00	100.00
Eylül 10	49.72	98.43	99.96	100.00	100.00	100.00
10 Su Yılı	19.94	67.66	80.84	88.12	92.72	96.43

3.9. MODIS Kar Ürünü Doğrulama Çalışmaları

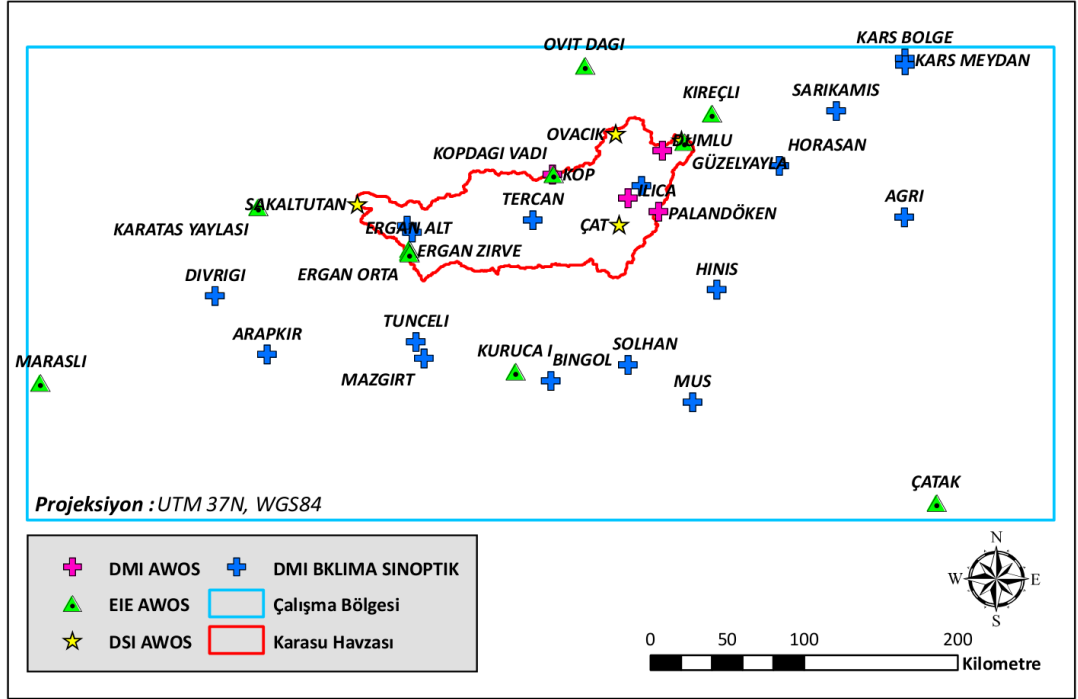
Dünyadaki su kaynaklarının planlanmasında uydu görüntülerinin kullanımı artmış olmasına rağmen, geliştirilen algoritmaların tutarlılığının test edilmesi özellikle dağlık bölgeler için oldukça sınırlıdır.

Hall ve Riggs (2007), global ölçekte üretilen kar kaplı ürünlerin doğrulama çalışmalarını özetlemiştir. MODIS'den elde edilen karla kaplı ürünlerden beklenen doğruluk derecelerinin mekansal ve zamansal çözünürlüğe bağlı olarak değiştiğini ve elde edilen doğruluk değerlerinin arazi örtüsünün değişim gösterdiği alanlar için daha düşük olduğu yönünde saptama yapmışlardır.

Karasu Havzası bazında yapılan harmanlama işlemleri etkili sonuçlar gösterse de doğrulama açısından yer gözlemleriyle karşılaştırılmaları gerekmektedir. Bunun için havza içinde ve yakın civarında işletilen otomatik (AWOS), büyük klima ve sinoptik yer gözlem noktalarından 2008 ve 2009 yıllarında toplanan kar verileri değerlendirilmiştir. Terra, Aqua, harmanlama ürünleri CM, CM±1, CM±2, CM±3, CM±3E ve CM±3ES görüntüleri değerlendirilen kar verileri ile doğrulanmıştır. Belirlenen istasyonların isimleri ve ait oldukları kurumlar Tablo 3.8'de, yerleri ise Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.8 Doğrulama işleminde kullanılan istasyonlar

DMI AWOS	EIE AWOS	DMI BKLIMA
		SİNOPTİK
		Erzurum
		Kars Bölge
		Muş
Dumlu		Mazgirt
Kop		Tercan
Ilica	Şenyurt	Erzincan
Palandöken	Kopdağı Vadi	Solhan
DSI AWOS	Ergan Alt	Arapkir
	Ergan Orta	Divriği
	Ergan Zirve	Tunceli
	Kuruca I	Bingöl
	Maraşlı	Erzincan Meydan
Ovacık	Karataş Yaylası	Horasan
Güzelyayla	Çatak	Ağrı
Sakaltutan	Kireçli	Hinis
Çat	Ovit Dağı	Kars Meydan
		Sarıkamış



Şekil 3.9 Uydu görüntülerinin doğrulanması işleminde kullanılan istasyonlar

2008 su yılında 30 istasyondan toplam 10794 nokta bilgisi elde edilmiştir (186 noktadan bilgi alınamamıştır). Bu sayının 67.23% kara, 3.30% kısmi kar ve 29.47% kar olarak belirlenmiştir. Tablo 3.9'dan takip edileceği üzere adım adım yapılan işlemler yer istasyonlarından alınan verilerle karşılaştırılarak kara veya kar doğrulamasını artırırken bulut oranını da azaltmaktadır. Sonuç olarak kara doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 64.19% iken CM±3 görüntüsünde 98.29%'a ve nihai ürün CM±3ES görüntüsünde 99.19%'a kadar yükseltilmiştir. Aynı şekilde kar doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 43.04% iken CM±3 görüntüsünde 94.31%'e ve nihai ürün CM±3ES görüntüsünde 96.54%'e kadar iyileştirilmiştir. Bulut oranlarında ise MODIS/Terra görüntüsünde kara 35.70%, kar 56.59% iken CM±3ES görüntüsünde kara 0.22%'ye ve kar 1.19%'a kadar azaltılmıştır. Kısmi kar sınıfındaki doğruluk oranı beklendiği gibi aynı seviyelerde artmamıştır; çünkü bu sınıfa düşen yer gözlemleri o nokta ve civarında değişiklik gösterebileceği için uydu görüntüsü tarafından da farklı sınıflarda algılanabilmektedir. Bu yüzden kar ve kara sınıfları arasına ayrıca böyle bir geçiş kategorisi yerleştirilmiştir.

Tablo 3.9 Yer gözlem istasyonlarıyla doğrulama sonuçları (2008 su yılı)

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	Terra			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	Aqua			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7257	4658	8	2591	99,83%	7257	4089	11	3157	99,73%
	67,23%	64,19%	0,11%	35,70%		67,23%	56,35%	0,15%	43,50%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	356	56	32	268	36,36%	356	42	8	306	16,00%
	3,30%	15,73%	8,99%	75,28%		3,30%	11,80%	2,25%	85,96%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3181	12	1369	1800	99,13%	3181	17	1433	1731	98,83%
	29,47%	0,38%	43,04%	56,59%		29,47%	0,53%	45,05%	54,42%	

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 1			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7257	5188	16	2053	99,69%	7257	6682	30	545	99,55%
	67,23%	71,49%	0,22%	28,29%		67,23%	92,08%	0,41%	7,51%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	356	69	33	254	32,35%	356	129	82	145	38,86%
	3,30%	19,38%	9,27%	71,35%		3,30%	36,24%	23,03%	40,73%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3181	21	1712	1448	98,79%	3181	47	2613	521	98,23%
	29,47%	0,66%	53,82%	45,52%		29,47%	1,48%	82,14%	16,38%	

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM ± 2			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 3			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7257	7035	38	184	99,46%	7257	7133	43	81	99,40%
	67,23%	96,94%	0,52%	2,54%		67,23%	98,29%	0,59%	1,12%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	356	158	108	90	40,60%	356	168	119	69	41,46%
	3,30%	44,38%	30,34%	25,28%		3,30%	47,19%	33,43%	19,38%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3181	58	2897	226	98,04%	3181	64	3000	117	97,91%
	29,47%	1,82%	91,07%	7,10%		29,47%	2,01%	94,31%	3,68%	

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM ± 3E			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 3ES			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7257	7177	43	37	99,40%	7257	7198	43	16	99,41%
	67,23%	98,90%	0,59%	0,51%		67,23%	99,19%	0,59%	0,22%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	356	170	122	64	41,78%	356	184	156	16	45,88%
	3,30%	47,75%	34,27%	17,98%		3,30%	51,69%	43,82%	4,49%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3181	66	3029	86	97,87%	3181	72	3071	38	97,71%
	29,47%	2,07%	95,22%	2,70%		29,47%	2,26%	96,54%	1,19%	

2009 su yılında 33 istasyondan toplam 11917 nokta bilgisi elde edilmiştir (128 noktadan bilgi alınamamıştır). Bu sayının 66.59% kara, 3.55% kısmi kar ve 29.86% kar olarak belirlenmiştir. Tablo 3.10'da sunulan doğrulama sonuçları, adım adım yapılan işlemlerin yer istasyonlarından alınan verilerle karşılaştırılmasının kara veya kar doğrulamasını arttırdığını, bulut oranını da azalttığını göstermiştir. Sonuç olarak, kara doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 64.42% iken CM±3 görüntüsünde 98.15%'e ve nihai ürün CM±3ES görüntüsünde 99.00%'a kadar yükseltilmiştir. Aynı şekilde kar doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 28.63% iken CM±3 görüntüsünde 85.42%'ye ve nihai ürün CM±3ES görüntüsünde 92.84%'e kadar iyileştirilmiştir. Bulut oranlarında ise MODIS/Terra görüntüsünde kara 35.44%, kar 70.53% iken CM±3ES görüntüsünde kara 0.20%'ye ve kar 2.73%'e kadar azaltılmıştır.

Uydu görüntüsü ile yer gözlemlerinin birbirini tutmadığı durumlar değerlendirildiğinde (Uydu Kar-Yer Kara, Uydu Kara-Yer Kar) 2008 su yılında MODIS/Terra görüntüsünde toplam hata 0.49% (0.11%+0.38%) iken CM±3ES görüntüsünde 2.85% (0.59%+2.26%) ve 2009 su yılında MODIS/Terra görüntüsünde toplam hata 0.98% (0.14%+0.84%) iken CM±3ES görüntüsünde 5.23% (0.79%+4.44%) yükselmiştir. Beklendiği gibi uydu tarafından kar veya kara sınıflarındaki yanlış algılanma yüzdesi harmanlama işlemleri (birleştirme, zamansal filtreleme, yükseklik filtresi ve mekansal filtre) yapıldıkça artmaktadır. Bu da bulut oranını önemli miktarda azaltırken hata yüzdesinin tolere edilebilir seviyede kaldığını göstermektedir. Tablo 3.11'de 2008 ve 2009 su yılları birlikte değerlendirildiğinde ortaya çıkan doğrulama sonuçları sunulmuştur. İki su yılının birlikte ele alınmasıyla 22711 nokta bilgisi elde edilmiştir (314 noktadan bilgi alınamamıştır). Bulut çıkarıldıktan sonra kara doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 99.81% iken CM±3ES görüntüsünde 99.30%'a düşmüştür. Aynı şekilde bulut çıkarıldıktan sonra kar doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 98.27% iken CM±3ES görüntüsünde 96.52%'ye düşmüştür.

Tablo 3.10 Yer gözlem istasyonlarıyla doğrulama sonuçları (2009 su yılı)

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	Terra			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	Aqua			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7935	5112	11	2812	99,79%	7935	4482	7	3446	99,84%
	66,59%	64,42%	0,14%	35,44%		66,59%	56,48%	0,09%	43,43%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	423	92	21	310	18,58%	423	86	23	314	21,10%
	3,55%	21,75%	4,96%	73,29%		3,55%	20,33%	5,44%	74,23%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3559	30	1019	2510	97,14%	3559	31	987	2541	96,95%
	29,86%	0,84%	28,63%	70,53%		29,86%	0,87%	27,73%	71,40%	

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 1			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7935	5728	16	2191	99,72%	7935	7317	42	576	99,43%
	66,59%	72,19%	0,20%	27,61%		66,59%	92,21%	0,53%	7,26%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	423	114	37	272	24,50%	423	203	77	143	27,50%
	3,55%	26,95%	8,75%	64,30%		3,55%	47,99%	18,20%	33,81%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3559	37	1316	2206	97,27%	3559	81	2286	1192	96,58%
	29,86%	1,04%	36,98%	61,98%		29,86%	2,28%	64,23%	33,49%	

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM ± 2			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 3			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7935	7690	53	192	99,32%	7935	7788	56	91	99,29%
	66,59%	96,91%	0,67%	2,42%		66,59%	98,15%	0,71%	1,15%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	423	237	103	83	30,29%	423	259	115	49	30,75%
	3,55%	56,03%	24,35%	19,62%		3,55%	61,23%	27,19%	11,58%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3559	105	2800	654	96,39%	3559	124	3040	395	96,08%
	29,86%	2,95%	78,67%	18,38%		29,86%	3,48%	85,42%	11,10%	

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM ± 3E			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 3ES			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
		Kara	Kar	Bulut			Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	7935	7822	56	57	99,29%	7935	7856	63	16	99,20%
	66,59%	98,58%	0,71%	0,72%		66,59%	99,00%	0,79%	0,20%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	423	270	115	38	29,87%	423	279	139	5	33,25%
	3,55%	63,83%	27,19%	8,98%		3,55%	65,96%	32,86%	1,18%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	3559	143	3179	237	95,70%	3559	158	3304	97	95,44%
	29,86%	4,02%	89,32%	6,66%		29,86%	4,44%	92,84%	2,73%	

Tablo 3.11 Yer gözlem istasyonlarıyla doğrulama sonuçları (2008 ve 2009 su yılları)

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	Terra			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	Aqua			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
	22711	Kara	Kar	Bulut		22711	Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	15192	9770	19	5403	99,81%	15192	8571	18	6603	99,79%
	66,89%	64,31%	0,13%	35,56%		66,89%	56,42%	0,12%	43,46%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	779	148	53	578	26,37%	779	128	31	620	19,50%
	3,43%	19,00%	6,80%	74,20%		3,43%	16,43%	3,98%	79,59%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	6740	42	2388	4310	98,27%	6740	48	2420	4272	98,06%
	29,68%	0,62%	35,43%	63,95%		29,68%	0,71%	35,91%	63,38%	

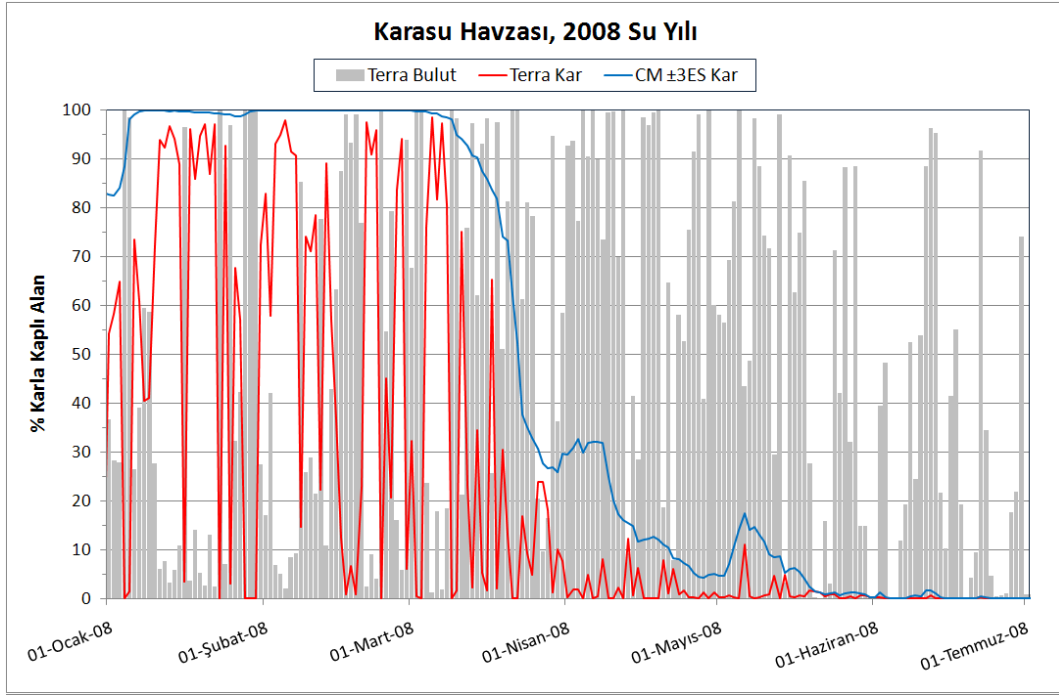
Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 1			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
	22711	Kara	Kar	Bulut		22711	Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	15192	10916	32	4244	99,71%	15192	13999	72	1121	99,49%
	66,89%	71,85%	0,21%	27,94%		66,89%	92,15%	0,47%	7,38%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	779	183	70	526	27,67%	779	332	159	288	32,38%
	3,43%	23,49%	8,99%	67,52%		3,43%	42,62%	20,41%	36,97%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	6740	58	3028	3654	98,12%	6740	128	4899	1713	97,45%
	29,68%	0,86%	44,93%	54,21%		29,68%	1,90%	72,69%	25,42%	

Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM ± 2			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 3			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
	22711	Kara	Kar	Bulut		22711	Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	15192	14725	91	376	99,39%	15192	14921	99	172	99,34%
	66,89%	96,93%	0,60%	2,47%		66,89%	98,22%	0,65%	1,13%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	779	395	211	173	34,82%	779	427	234	118	35,40%
	3,43%	50,71%	27,09%	22,21%		3,43%	54,81%	30,04%	15,15%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	6740	163	5697	880	97,22%	6740	188	6040	512	96,98%
	29,68%	2,42%	84,53%	13,06%		29,68%	2,79%	89,61%	7,60%	

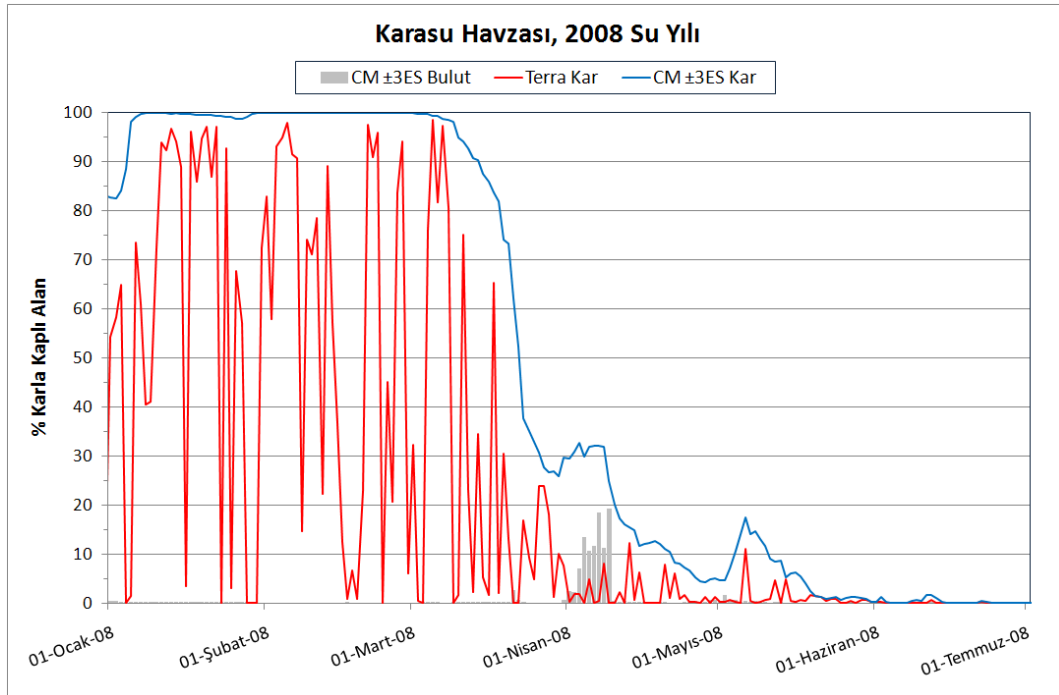
Uydu Görüntüsü \ Yer Gözlemleri	Toplam	CM ± 3E			Bulut Çık. Sonra Doğruluk	Toplam	CM ± 3ES			Bulut Çık. Sonra Doğruluk
	22711	Kara	Kar	Bulut		22711	Kara	Kar	Bulut	
Kara (Kar Derinliği = 0)	15192	14999	99	94	99,34%	15192	15054	106	32	99,30%
	66,89%	98,73%	0,65%	0,62%		66,89%	99,09%	0,70%	0,21%	
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	779	440	237	102	35,01%	779	463	295	21	38,92%
	3,43%	56,48%	30,42%	13,09%		3,43%	59,44%	37,87%	2,70%	
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	6740	209	6208	323	96,74%	6740	230	6375	135	96,52%
	29,68%	3,10%	92,11%	4,79%		29,68%	3,41%	94,58%	2,00%	

Doğrulukta bu azalmalar beklendiği üzere bulut oranının önemli miktarda iyileştirildiği birleştirme ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilirken ortaya çıkmakta ve kabul edilebilir hata yüzdelerinden ileri gelmektedir.

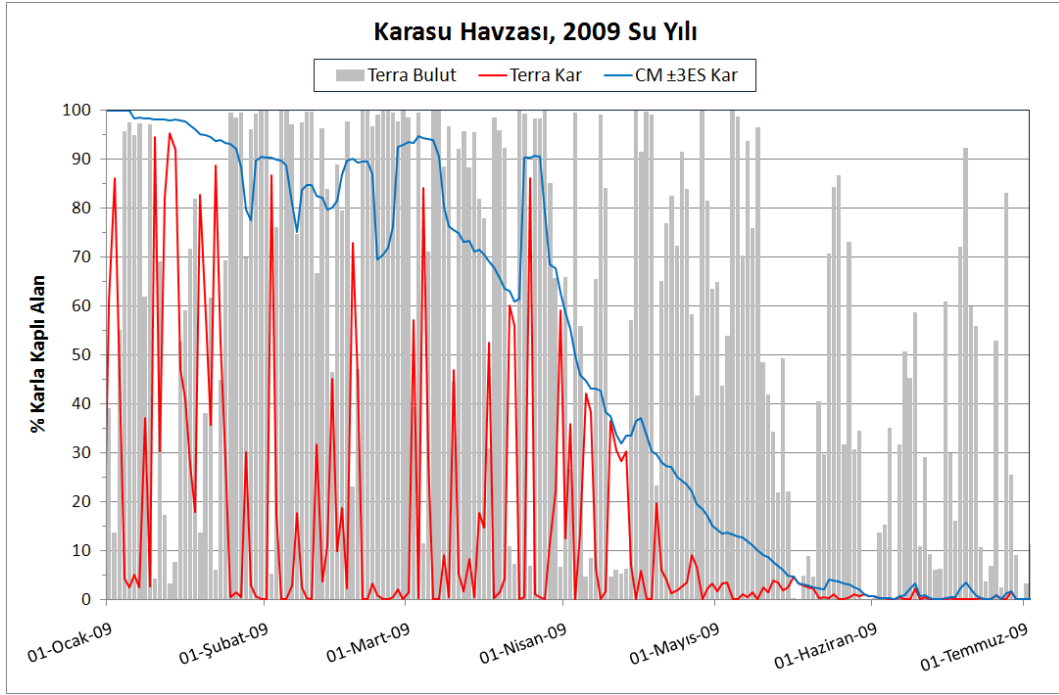
Yapılan görüntü işleme ve doğrulama çalışmaları sonucunda elde edilen iyileştirilmiş karla kaplı alan görüntülerinden 2008, 2009 ve 2010 su yılları için tüm havza bazında kar çekilme eğrileri oluşturulmuştur. 2008 su yılı için Şekil 3.10, MODIS/Terra ve CM±3ES görüntülerinden elde edilen kar çekilme eğrilerinin MODIS/Terra bulutluluk oranlarıyla, Şekil 3.11 ise, aynı görüntülerin CM±3ES bulut iyileştirilmesi yapıldıktan sonraki durumunu göstermektedir. 2009 su yılı için ise Şekil 3.12'de ve Şekil 3.13'de farklı bulutluluk oranlarıyla kar çekilme eğrileri sunulmuştur. 2010 su yılı kar çekilme eğrileri ise Şekil 3.14'de ve Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Kar çekilme eğrilerine bakıldığında tüm harmanlanma işlemleri gerçekleştirilerek oluşturulan CM±3ES görüntülerinin MODIS/Terra görüntülerini oldukça iyileştirerek zamansal olarak süreklilik sağladığı gözlenmektedir. 2008 kar sezonunda sadece Nisan ayı başında, 2009 kar sezonunda ise Şubat ayı başı ve sonundaki belli bölümlerde 2010 kar sezonunda özellikle Ocak ve Mart ayı ortalarında zamansal ve mekansal filtrenin de yetersiz kaldığı görülmektedir. 2010 su yılının diğer yıllara oranla daha bulutlu geçtiği söylenebilir. Bu zamanlar için ilerde ilave metotlar kullanılarak bulut oranları daha da azaltılabilir. 2008 kar sezonundaki kar çekilme eğrileri karın Ocak ayı başında tüm havzayı kapladığını ve Mart ayı başında kesintisiz erimenin başladığını göstermektedir. 2009 kar sezonundaki çekilme eğrileri yine Ocak ayı başında karın tüm havzayı kapladığını göstermekte ve bu oranın Mart ayı başına kadar yaklaşık 90% seviyelerinde seyrettiğini ifade etmektedir. Mart ayı başında erimenin başladığı sinyali verilse de ay sonunda yeni bir yağışla tekrar karla kaplı alanın arttığı ve kesintisiz erimenin ancak Mart ayı sonunda başladığı görülmektedir. 2010 kar sezonu diğer iki yıla kıyasla sıcaklıkların yüksek seyretmesinden dolayı erimenin tüm havza için erken sayılabilecek Şubat ayı başında başladığı görülmektedir. Çalışmada incelenen üç yıl için karın havzada Haziran ayı sonlarına doğru tamamen eridiği tespit edilmiştir.



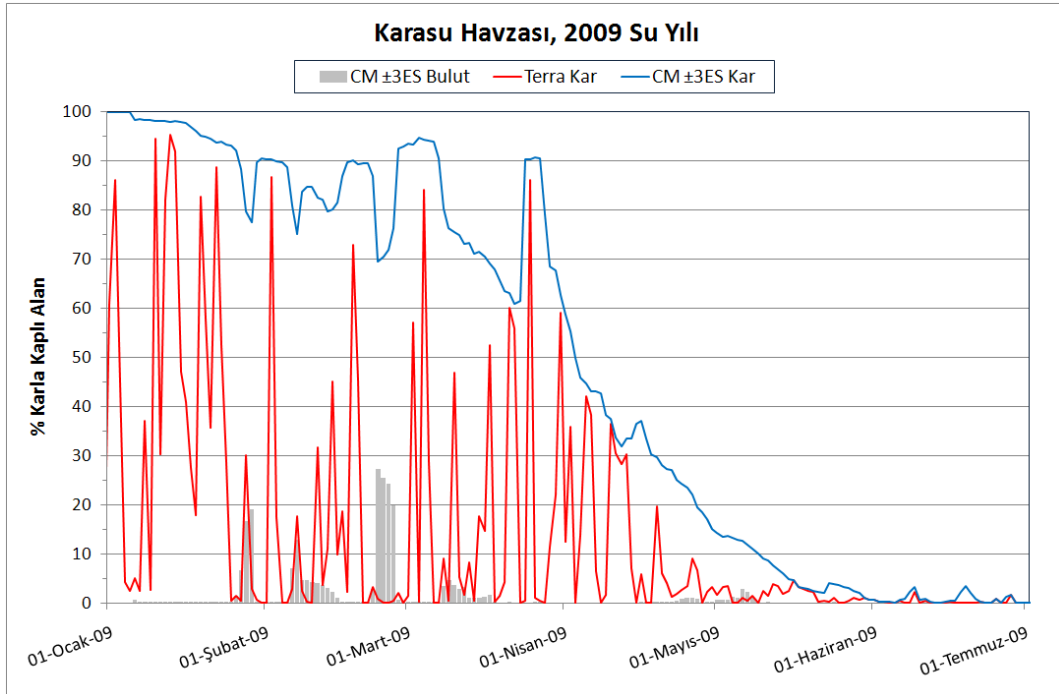
Şekil 3.10 MODIS/Terra bulutluluk oranıyla 2008 su yılı kar çekilme eğrileri



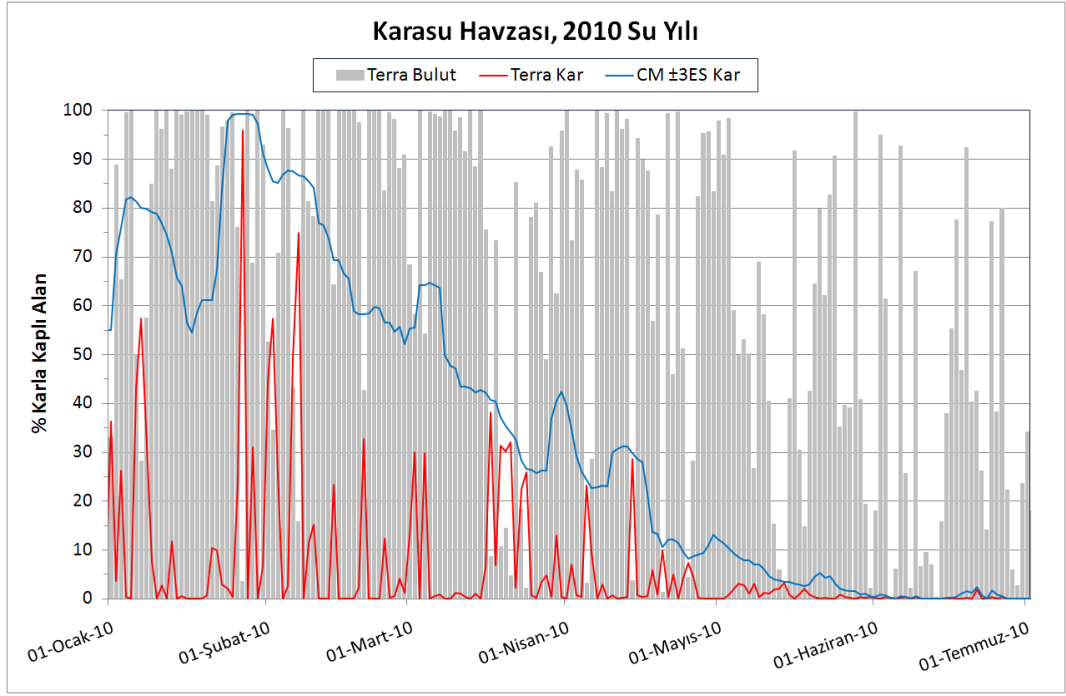
Şekil 3.11 MODIS/CM±3ES bulutluluk oranıyla 2008 su yılı kar çekilme eğrileri



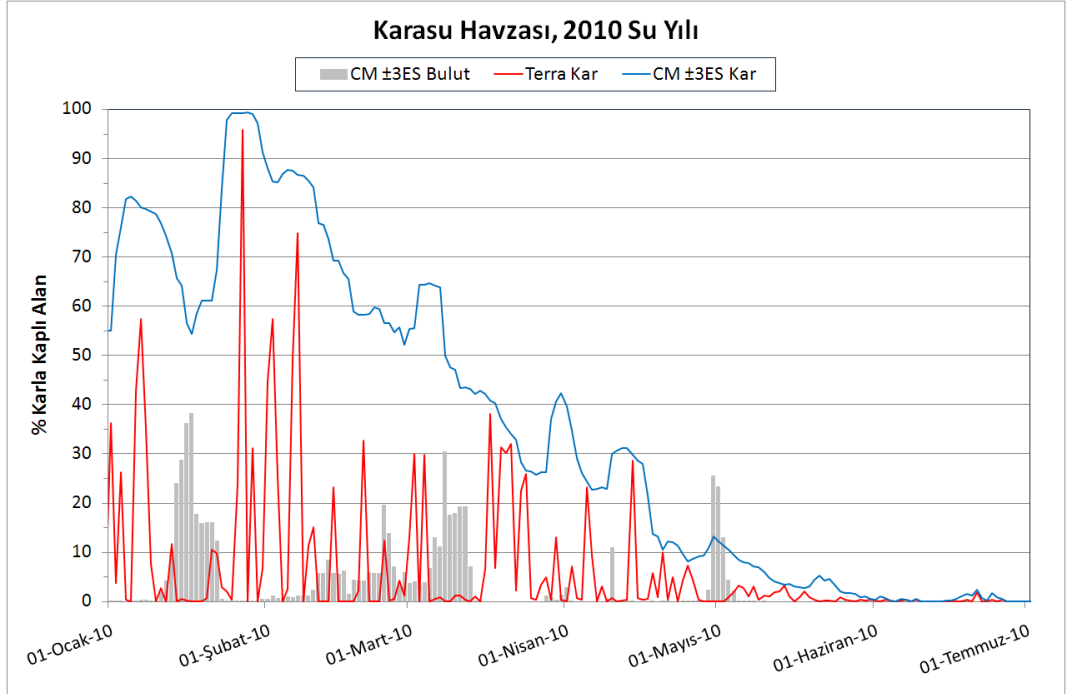
Şekil 3.12 MODIS/Terra bulutluluk oranıyla 2009 su yılı kar çekilme eğrileri



Şekil 3.13 MODIS/CM±3ES bulutluluk oranıyla 2009 su yılı kar çekilme eğrileri



Şekil 3.14 MODIS/Terra bulutluluk oranıyla 2010 su yılı kar çekilme eğrileri



Şekil 3.15 MODIS/CM±3ES bulutluluk oranıyla 2010 su yılı kar çekilme eğrileri

4. HİDROLOJİK MODELLEME

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

Kar erimesinden meydana gelen akımın hesaplanmasında uygulanan derece-gün yöntemi en sık kullanılan metottur. Dağlık alanlarda derece-gün yöntemi ile akımın tahminini yapmak için Snowmelt Runoff Model, SRM (Martinec, 1975; Martinec ve dig., 1998) ve Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning, HBV (Bergström, 1975; SMHI, 1996) modellerini de içeren birçok işlevsel model kullanılmıştır. Bu modellerin en büyük avantajı, dağlık alanlar gözönüne alındığında, en yaygın ve en kolay ölçülebilir meteorolojik değişken olan hava sıcaklığına bağlı olmalarıdır. Derece-gün yöntemi, Dünya Meteoroloji Teşkilatının dağlık havzalardaki akımın hesaplanmasında kullanımını en çok önerdiği metotlardan biridir (WMO, 1986).

Bu çalışmada, iyi bilinen ve yaygın kullanılan hidrolojik modellerden biri olan, HBV modeli tanıtılmış ve kalibrasyon süreci anlatılmıştır.

4.1. HBV Modeli

HBV modeli, bir havzada yağış, hava sıcaklığı ve potansiyel buharlaşma-terleme verileri kullanılarak akım benzetimi gerçekleştirmek 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 diğ., 2002).

HBV modelinin temel prensipleri;

- ☼ Model, bilimsel bir temele dayandırılmalı
- ☼ Pek çok alanda veri ihtiyacını karşılayabilmeli
- ☼ Modelin karmaşıklığı, performansı ile çözülmeli
- ☼ Model, uygun bir şekilde doğrulanmalı
- ☼ Kullanıcı modeli anlayabilmeli

olarak görülmektedir.

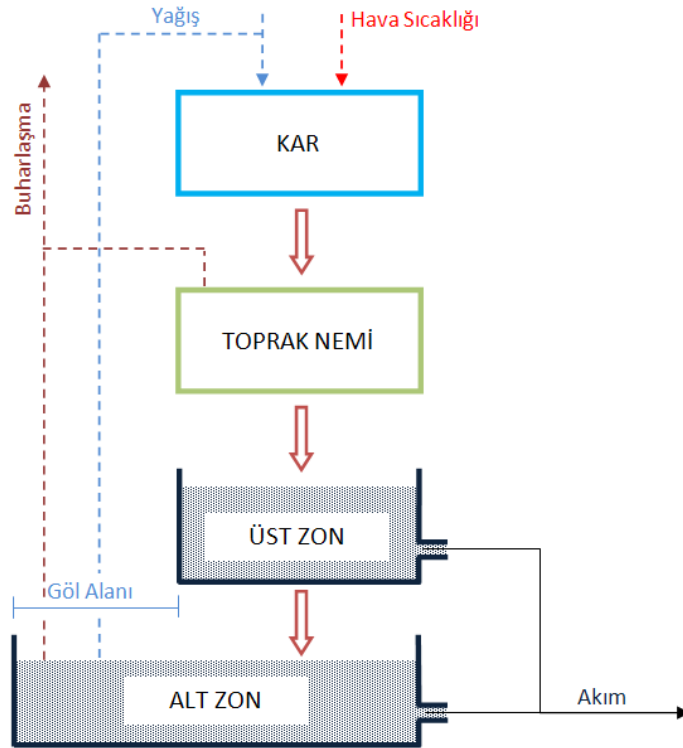
4.1.1. Model yapısı

HBV modeli, hidrolojik döngünün yer fazında birkaç ana bileşeni tanımlamasından dolayı yarı dağılımlı kavramsal bir model olarak sınıflandırılabilir. Model, alt havzaları birincil hidrolojik bileşen olarak kullanır. Bu kapsamda yükseklik-alan dağılımı ve arazi kullanımı sınıflandırması yapılmıştır. Alt havza seçeneği coğrafi ya da iklimsel olarak heterojen havzalarda kullanılır. Akım, yağış, hava sıcaklığı ve potansiyel buharlaşma gibi iklimsel verilerden hesaplanır.

Bu hesabı yaparken model, havzadaki ana depolama şekli için su dengesi hesaplar ve bu depolamanın meteorolojik girdilerin değişmesi etkisinde dinamik olarak nasıl değiştiğini gösterir.

HBV modeli, Şekil 4.1’de sunulan üç ana depolama bileşenini içerir.

- ❄ Kar Modülü
- ❄ Toprak Nemi Modülü
- ❄ Akım Modülü



Şekil 4.1 HBV modelinin ana yapısı (Killingtveit ve Saelthun, 1995)

HBV modeli, sabit ve değişken olmak üzere iki ana kategorideki parametreleri içerir. Sabit parametreler, modele bir kez tanımlanan ve hiç değiştirilmeyen değerlerdir (havza alanı, yükseklik-alan eğrisi, göl alanı vb.). Değişken parametreler ise modelin kalibrasyon süreci ile belirlenmelidir.

HBV modelinin kullandığı değişken parametreler, kısa tanımlamaları ve değer aralıkları ile birlikte Tablo 4.1’de listelenmiştir.

4.1.2. Havza tanımlaması

Havza özellikleri, HBV modelindeki şu parametrelerle tanımlanır.

- ☼ Havza alanı (km^2)
- ☼ Doğal göllerin alanı (km^2)
- ☼ Yapay göllerin alanı (km^2)
- ☼ Yükseklik-alan eğrisi (hipsometrik eğri)

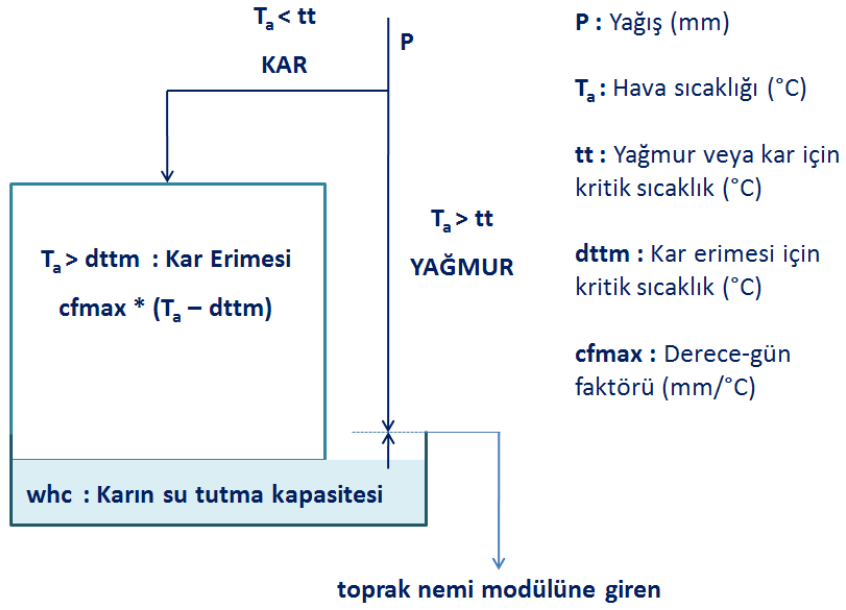
Havza, on yükseklik bölgesine (zonuna) kadar bölünebilir. Her bir yükseklik bölgesinin ortalama yüksekliği ve alanı, yükseklik-alan eğrisinin oluşturulmasında kullanılır.

4.1.3. Kar modülü

Modelin kar modülü, Şekil 4.2, kar birikmesini, erimesini kontrol eder ve her bir yükseklik zonu için ayrı çalışır. Hava sıcaklığı kritik sıcaklık değerinin (t_t) altına düştüğünde yağış, kar olarak kabul edilir. Model, kar birikmesinin hesaplanmasında kar yağışının kar düzeltme faktörüyle düzeltilmesine olanak tanımaktadır. Sıcaklık ve yağış değişme oranı, havza yükseklik değişimine göre belirlenmektedir. Kar erimesi, erime sezonu boyunca sabit kaldığı kabul edilen derece-gün faktörüne (cf_{max}) göre sıcaklık değeri eşik değerinin (dt_{tm}) üzerine çıktığında başlar. Herhangi bir akım oluşmadan önce karın su tutma kapasitesi aşılmak zorundadır (whc).

Tablo 4.1. HBV modelinin kullandığı değişken parametreler ve değer aralıkları

Parametre	Birim	Değer Aralığı	Parametrenin İngilizce Anlamı	Parametrenin Türkçe Anlamı
alfa	-----	0.5 - 1.1	Recession coefficient in $Q = k \cdot UZ^{(alfa+1)}$ formula	$Q = k \cdot UZ^{(alfa+1)}$ formülünde geciktirme katsayısı
athorn	mm/gün °C	0.2 - 0.3	Thornthwaite formula potential evaporation coefficient ($E_{pot} = athorn \cdot TEMP$)	Thornthwaite formülünde ($E_{pot} = athorn \cdot TEMP$) potansiyel buharlaşma katsayısı
beta	-----	1 - 4	Exponent in formula for drainage from soil	Akım modülüne katılım katsayısı
cflux	mm/gün °C	0 - 2	Maximum capillary flow from upper box to soil moisture routine	Üst zondan toprak nemi modülüne maksimum kapılar akım
cfmax	mm/°C gün	2 - 4.5	Degree-day factor	Derece-gün faktörü
cfr	-----	0.0 - 0.1	Refreezing factor in the snow routine	Kar modülünde yeniden donma faktörü
critstep	-----	0 - 1	Number of time steps	Zaman aralığı sayısı
dttm	°C	-2° - 2°	Threshold temperature for snow melt	Kar erimesi için kritik sıcaklık
fc	mm	100 - 1500	Field capacity	Arazi kapasitesi
hq	mm/gün	> 0	Threshold for response function	Akım modülü için limit
k4	gün ⁻¹	0.001 - 0.1	Recession coefficient for lower box	Alt zon için geciktirme katsayısı
khq	gün ⁻¹	0.005 - 0.2	Recession coefficient for the upper box depending on hq	Üst zon için geciktirme katsayısı hq'ya bağlı olarak
lp	-----	0.0 - 1.0	Limit for potential evaporation	Potansiyel buharlaşma limiti
maxbaz	-----	1 - 5	Number of days for transformation in response function	Akım modülünde dönüştürme gün sayısı
pcalt	-----	0.0 - 0.1	Elevation correction factor for precipitation	Yağış için yükseklik düzeltme faktörü
pcorr	-----	0.0 - 1.0	General precipitation correction factor	Genel yağış düzeltme faktörü
perc	mm/gün	0.01 - 6.0	Percolation capacity from upper to lower box	Üst zondan alt zona derin süzülme kapasitesi
rfcf	-----	0.7 - 1.3	Rainfall correction factor	Yağmur düzeltme faktörü
sclass	-----	1 - 5	Number of snow classes	Kar sınıf sayısı
sfcf	-----	0.8 - 1.4	Snowfall correction factor	Kar düzeltme faktörü
sfdistfi	-----	0.0 - 1.0	Distribution of snowfall for zones without forest	Ormansız zonlar için kar dağılımı
stf	-----	0 - 2	A set of seasonal factors by which the parameter "athorn" will be multiplied	Buharlaşma katsayısı "athorn" ile çarpılacak dönemsel faktörler
tcalt	°C/100 m	-1° - 1°	Temperature lapse rate	Sıcaklık değişim oranı
tt	°C	-2° - 2°	Threshold temperature (rain or snow)	Yağış tipi için kritik sıcaklık (yağmur veya kar)
tti	°C	0° - 2.5°	Total length of a temperature interval	Yağış tipi için sıcaklık aralığı
whc	-----	0.0 - 0.1	Water holding capacity of snow	Karın su tutma kapasitesi



Şekil 4.2 HBV modelinin kar modülü (Killingtveit ve Saelthun, 1995)

Havzanın yükseklik bölgelerine (zonlara) bölünmesiyle kar birikmesinde bağımlı değişken olan yüksekliğin benzetimi sağlanmış olur. Örneğin, genellikle havzada yüksek miktarda yağış ve daha fazla kar üst kotlarda gözlenir.

Kar birikmesinde yüksekliğe bağlı değişime ilave olarak, her bir yükseklik bölgesindeki karla kaplı alanın rüzgar etkisiyle düzgün olmayan dağılım göstermesinin de modellenmesi gerekebilir. HBV modelinin Norveç'teki uygulamalarında dağıtılmış kar modülü olarak isimlendirilen ve karın log-normal dağılımına uyan karakteristiğini modelleyen bir kar modülü kullanılmıştır (Killingtveit ve Saelthun, 1995).

Kar modülündeki hesaplamaların temel sonuçları her bir yükseklik bölgesi ve zaman aralığı için hesaplanan üç değişkenle takip edilir.

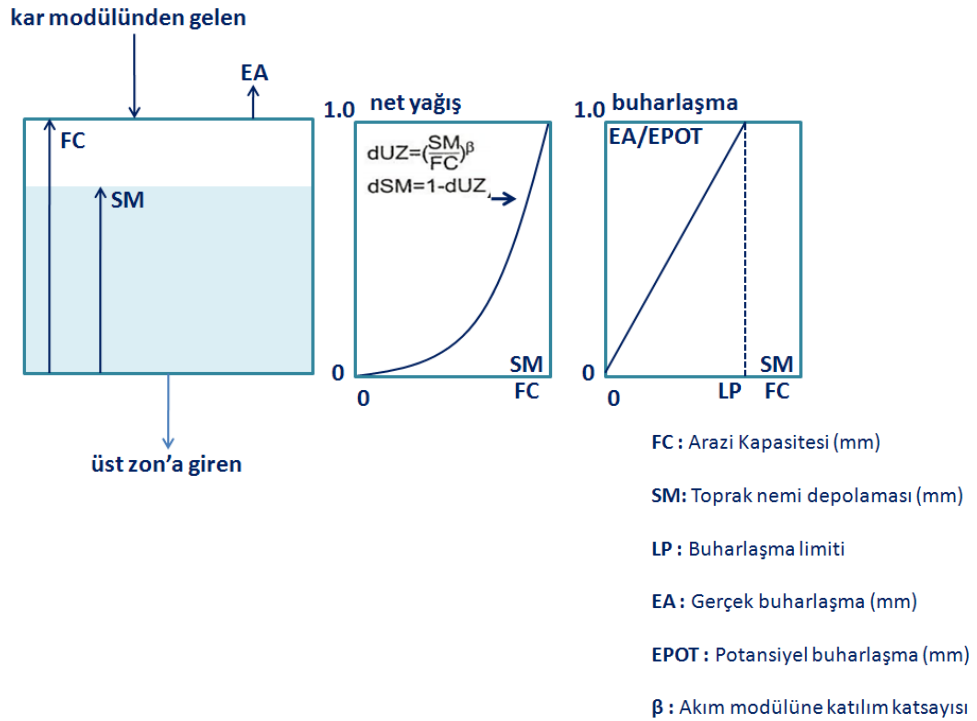
- ☼ Kar derinliği (mm)
- ☼ Kar su eşdeğeri (mm)
- ☼ Kar erimesi (mm/gün)

4.1.4. Toprak nemi modülü

HBV modelinin toprak nemi modülü, bir havzadaki depolama kapasitesi için istatistiksel bir dağılım kabul eden hazne teorisinin değiştirilmesi temeline dayanır.

Toprak nemi modülü, yağışı veya kar erimesini kar modülünden girdi olarak alır ve toprak neminde suyun depolanmasını, gerçek buharlaşma-terlemeyi ve akım modülüne çıktı olarak verilen yağışla gelen net akım miktarını hesaplar.

Toprak nemi modülü iki basit eşitlik ile üç ampirik parametre, β , FC ve LP temelinde çalışmaktadır (Şekil 4.3). β parametresi akım modülüne katılımı (dUZ) ve toprak nemi depolamasına giren 1 mm'lik yağış ve kar erimesi için toprak nemi depolamasındaki (dSM) artışı kontrol eder. Eğer β 1'e eşit değilse, eşitlik doğrusal değildir. Genellikle β eşitliği doğrusal olmayan hale yaklaştırmak için 2-3 arasında bir değer alır.



Şekil 4.3 HBV modelinin toprak nemi modülü (Killingtveit ve Saelthun, 1995)

β parametresi 2-3 arasında bir deęer aldığında eřitlik doęrusal olmayacak ve toprak nemi dūřuk olduęunda akıma katkı dūřuk, toprak nemi yūksek olduęunda akıma katkı yūksek deęerler alacaktır. Arazi Kapasitesi (FC), modeldeki en yūksek toprak nemi depolamasıdır. Eęer toprak nemi depolaması doygunluk oranına kadar doldurulmuřsa, gelen yaęıř veya kar erimesi toprak nemi olarak depolanamayacak ve toprak nemi depolamasına katkı yapan tūm bileřenler doęrudan akıma dōnūřecektir.

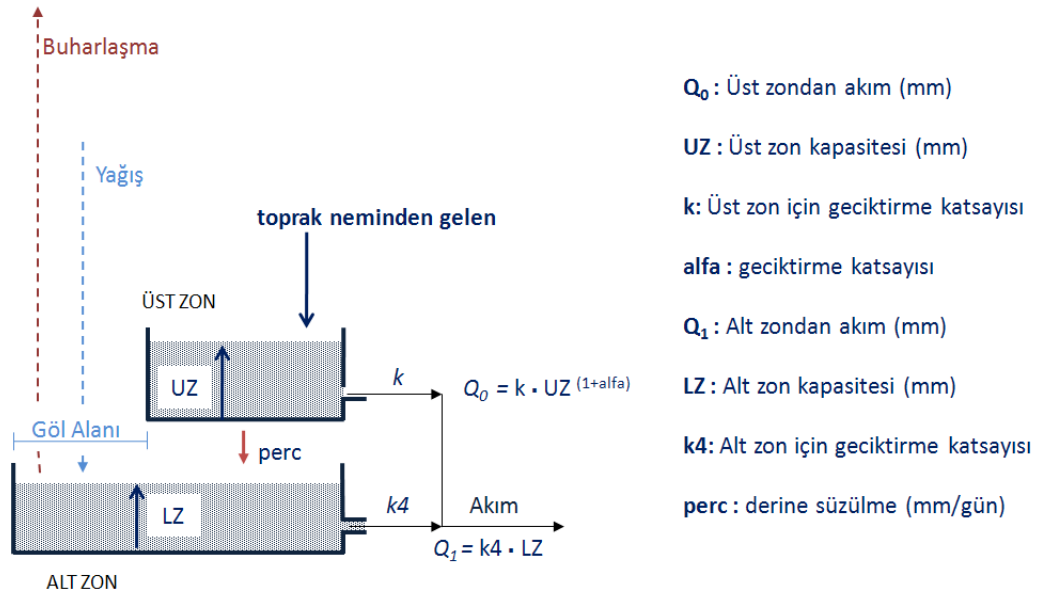
Toprak nemi depolaması buharlaşma-terleme ile tūketilir. Gerçek buharlaşma-terlemenin (EA) hesabı potansiyel buharlaşma-terleme (EPOT) ve bağıl toprak nemi depolamasının (SM/FC) bir fonksiyonudur. Eęer toprak nemi, eřik değerini (LP) aşarsa, gerçek buharlaşma-terleme potansiyel değerine eşittir. Eęer toprak nemi LP'nin altında ise gerçek buharlaşma-terleme, Őekil 4.3'te gōsterildięi gibi depolamadaki azalma ile doğrusal olarak azalacaktır. Modelde buharlaşma-terleme sadece havzadaki karla kaplı olmayan alandan hesaplanır.

β , FC ve LP parametreleri deęiřken parametrelerdir ve model kalibrasyonu ile belirlenmelerinde fayda vardır. Modelin bazı versiyonlarında suyun toprak nemi modūlūne sızmasını ek bir parametre kontrol eder. Eęer yaęıřın veya kar erimesinin Őiddeti sızma kapasitesini ařarsa, fazla su akım modūlūne doęrudan geęer.

4.1.5. Akım modūlū

Akım modūlū, toprak nemi modūlūnde ūretilen net yaęıřı (fazla suyu) akıma dōnūřtūrūr. HBV modelindeki akım modūlū Őekil 4.4'de gōsterildięi gibi dūzenlenen iki doęrusal tank veya rezervuardan oluřur. Modūl aynı zamanda havzadaki doęrudan yaęıř ve nehir veya gōllerden buharlařma etkisini ięermektedir.

Üst bölge (upper zone) ve alt bölge (lower zone) olarak adlandırılan iki doğrusal rezervuar zaman içerisinde akımı geciktirir ve model, parametreler için uygun değerler seçildiğinde hem yüksek akımlar için hızlı etki hem de yavaş akımlar için yavaş etki sağlayabilir. Akım modülünün etkisi bir birim hidrografın kullanımına çok benzerdir. Akım modülü bir dizi net yağış değerini bir akım hidrografına dönüştürür.



Şekil 4.4 HBV modelinin akım modülü (Killingtveit ve Saelthun, 1995)

Üst bölge kavramsal olarak hızlı akım modülünü temsil eder. Toprak nemi bölgesinden gelen yağış girdisi, üst bölgede depolanmaya başlayacak ve alt çıkış noktasına doğru drene edilecektir. Drenaj hızı üst çıkış noktası için geciktirme katsayısı ile belirlenir (k). Eğer depolama eşik değerini (UZ) aşarsa, üst çıkış noktasına doğru hızlı drenaj başlayacaktır. Modelin bazı uygulamalarında daha yukarıdaki depolama ve daha hızlı oluşan akım bileşeni için ek bir eşik değeri ve geciktirme katsayısı kullanılır.

Alt bölge kavramsal olarak havzada taban akışına katılan yeraltı suyu ve göl depolamasını temsil eder. Drenaj hızı geciktirme katsayısı ile kontrol edilir (k4). Alt bölge suyu, üst bölgeden süzülme ve göl yada nehirlere doğrudan yağış düşmesi ile alırken, taban akımı ve göl veya nehirlerden buharlaşma yoluyla tüketir.

4.2. Model Uygulaması

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

HBV modeli kavramsal bir model olduğundan, sağlanan girdilerin çeşitli matematiksel denklemlerden geçerek ürettikleri çıktılarının arazide ölçülen değerlerle tutarlı olması için modelin içinde bulunan bazı parametrelerin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu işleme kalibrasyon adı verilir. Kalibre edilen model parametrelerinin de farklı yılların modellenmesi sürecinde tutarlılıklarının incelenmesi gerekmektedir. Bu işleme de doğrulama adı verilir. Dolayısıyla, kavramsal modeller kullanılmadan önce kalibrasyon ve doğrulama işlemlerinden geçmelidir. Modeller belirli periyotlar arasında ölçülen verileri kalibrasyon için, başka zaman aralıklarında ölçülen verileri ise doğrulama için ayrı ayrı kullanılmalıdır. Bu işlemlerden sonra kullanılacak modelin seçilen havza üzerindeki model parametreleri belirlenmiş olacaktır.

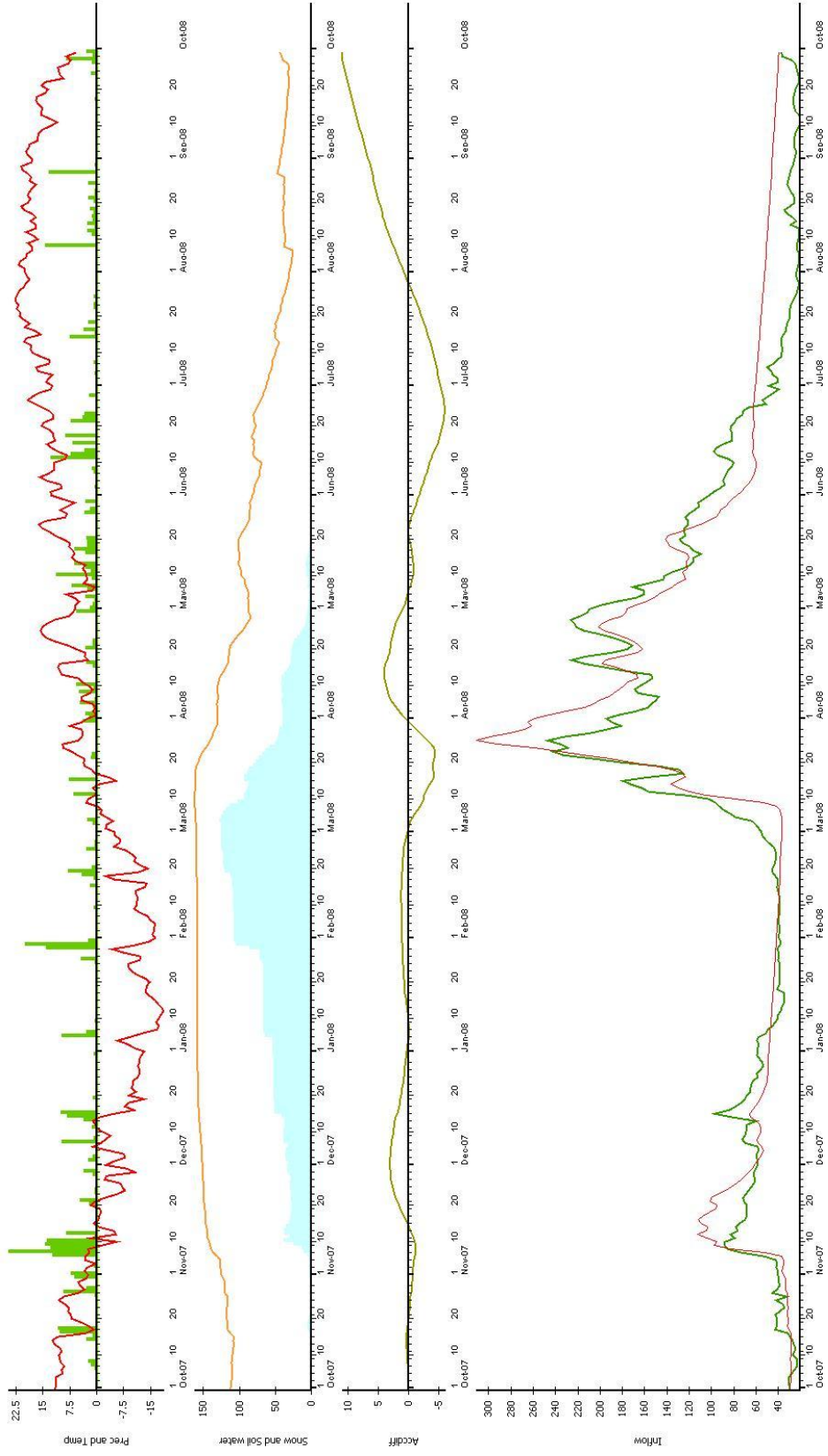
Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, HBV modeli için model girdi değişkenleri, her bir zondaki günlük toplam yağış, ortalama sıcaklık ve aylık ortalama potansiyel buharlaşmadır. Ayrıca, model parametreleri olarak, yağış düzeltme katsayıları, kritik sıcaklık, derece gün katsayısı, toprak doygunluğu, hızlı ve yavaş akım katsayısı bulunmaktadır.

2008, 2009 ve 2010 su yılları hidrolojik modelleme çalışmalarında Karasu Havzası ve civarında bulunan devlet kurumlarına ait büyük klima, sinoptik ve otomatik yer gözlem istasyonlarından alınan sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. İstasyon nokta verileri havzanın 5 yükseklik zonuna göre CBS programında Detrended Kriging (DK) algoritması kullanılarak dağıtılmıştır. Bunun gibi dağlık alanlarda yapılan çalışmalarda özellikle göz önünde bulundurulması gereken husus yüksekliktir. DK algoritmasının özelliği sadece enlem ve boylam olarak değil ayrıca yükseklik bilgisini de göz önüne alarak nokta verisini alansal veriye dağıtmasıdır.

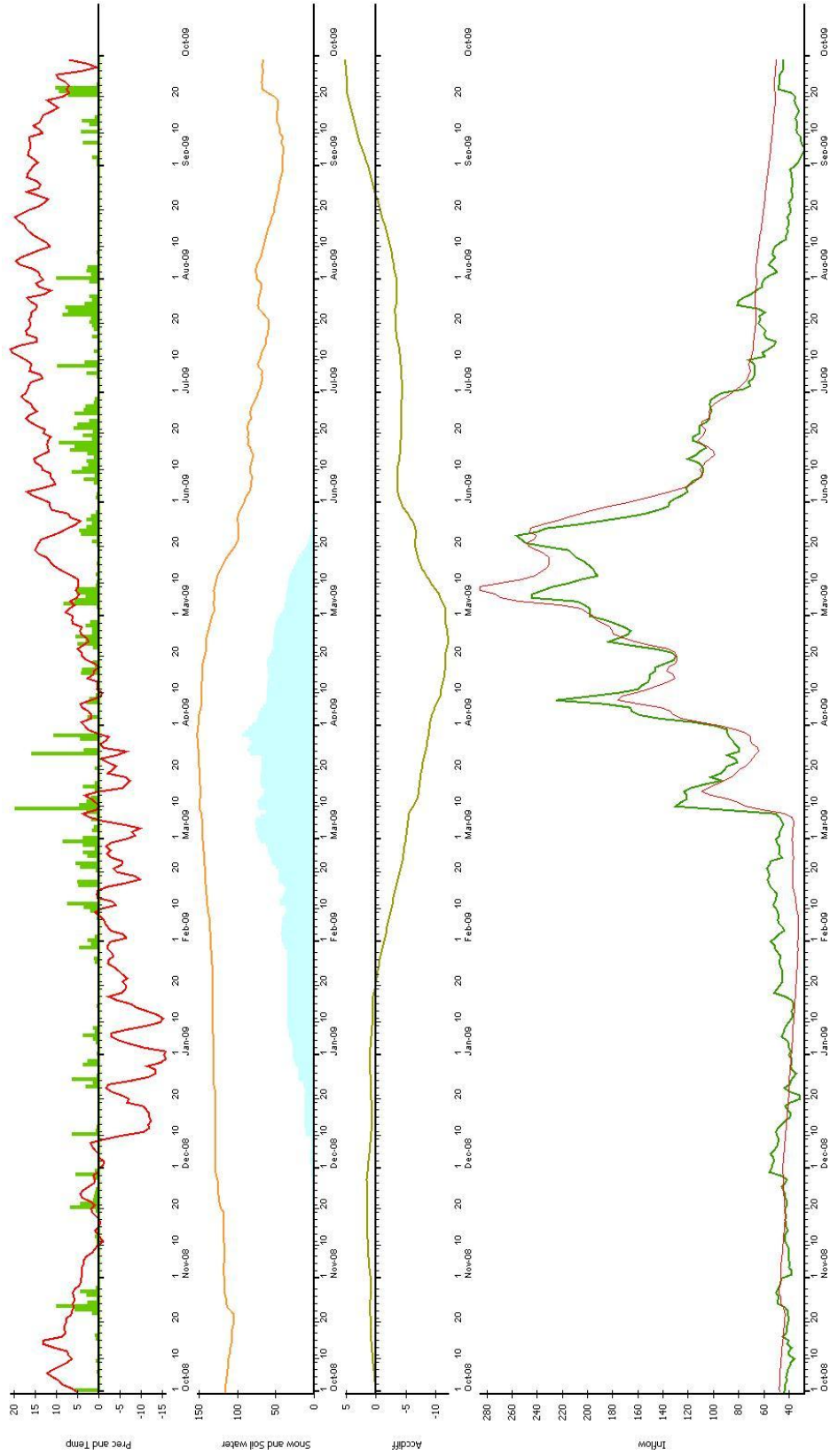
HBV model uygulamasında 2008, 2009 ve 2010 su yılları için her bir zondaki günlük toplam yağış, günlük ortalama sıcaklık ve aylık toplam potansiyel buharlaşma dağılımları kullanılmıştır. Model parametrelerinin kalibrasyon yılları olan 2008 ve 2009 su yıllarında yaklaşık aralıklarda tutulmasına özen gösterilmiştir. 2008 ve 2009 su yılları için modellenen ve gözlenen akım sonuçları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da ve kullanılan kalibrasyon parametreleri Tablo 4.2'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Karasu Havzası, 2008 ve 2009 su yılı, HBV model kalibrasyon parametreleri

Parametre	Birim	Değer Aralığı	2008 Su Yılı	2009 Su Yılı
alfa	-----	0.5 - 1.1	1	1
athorn	mm/gün °C	0.2 - 0.3	0.25	0.25
beta	-----	1.0 - 4.0	1.5	1.5
cflux	mm/gün	0 - 2	1	1
cfmax	mm/°C gün	2.0 - 4.5	4	4
cfr	-----	0.0 - 0.1	0.05	0.05
critstep	-----	0 - 1	1	1
dtm	°C	-2° - 2°	-1	-0.5
fc	mm	100 - 1500	180	180
hq	mm/gün	> 0	3	3
k4	gün ⁻¹	0.001 - 0.1	0.005	0.006
khq	gün ⁻¹	0.005 - 0.2	0.05	0.05
lp	-----	0.0 - 1.0	0.7	0.7
maxbaz	-----	1 - 5	0	0
pcalt	-----	0.0 - 0.1	0.1	0.1
pcorr	-----	0.0 - 1.0	1	1
perc	mm/gün	0.01 - 6.0	0.8	0.8
rfcf	-----	0.7 - 1.3	0.7	1
sclass	-----	1 - 5	3	3
sfcf	-----	0.8 - 1.4	0.85	1
sfdistfi	-----	0.0 - 1.0	0.5	0.5
stf	-----	0 - 2	2	2
tcalt	°C/100 m	-1° - 1°	0.5	0.5
tt	°C	-2° - 2°	-1.5	-1.5
tti	°C	0° - 2.5°	2	2
whc	-----	0.0 - 0.1	0.1	0.1



Şekil 4.5. Karasu Havzası, 2008 su yılı, HBV modelleme sonuçları



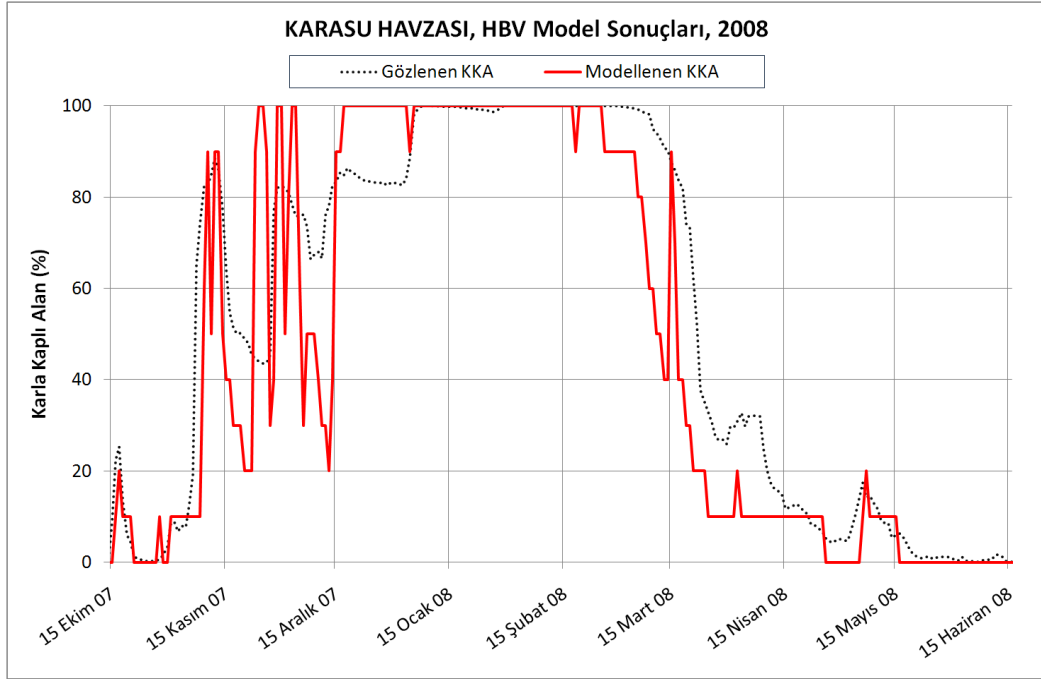
Şekil 4.6. Karasu Havzası, 2009 su yılı, HBV modelleme sonuçları

Modellenen ve gözlenen akım sonuçları gerek zamanlama gerekse pik değerleri bakımından oldukça tutarlı görünmektedir. 2008 su yılı kar erime döneminde, Nisan ve Mayıs ayları içinde, muhtemelen yağmurdan kaynaklı gerçekleşen yağışların yarattığı sivri pikler modelde iyi temsil edilememiştir. Bu zaman aralıklarında, yer gözlem istasyonlarında ölçülen yağış verileri kontrol edilmiş, havza içi ve civarındaki her istasyonda önemli yağış miktarlarına rastlanmamıştır. Sonuçta akımdaki bu artışlara sebep olarak yağış istasyonlarının sık aralıklı olmamasından dolayı kaydedilemeyen bölgesel yağışlar veya ölçüm hataları olarak gösterilebilir. Ayrıca nokta yer gözlem istasyon ölçümleri alansal olarak zonlara dağıtıldığı için noktasal yağış olaylarına kıyasla alansal yağışlar belli oranda sönümlenmiş olabilir. Sonuçta, HBV modeli ile gözlenen ve modellenen akımlar Nash-Sutcliffe (R^2) model uyumluluk kriteri (Denklem 4.1) bakımından 2008 yılı için 0.85, 2009 su yılı için 0.91 olarak hesaplanmıştır. Görsel değerlendirmenin yanı sıra bu değerler matematiksel olarak da uyumun çok iyi olduğunu göstermektedir.

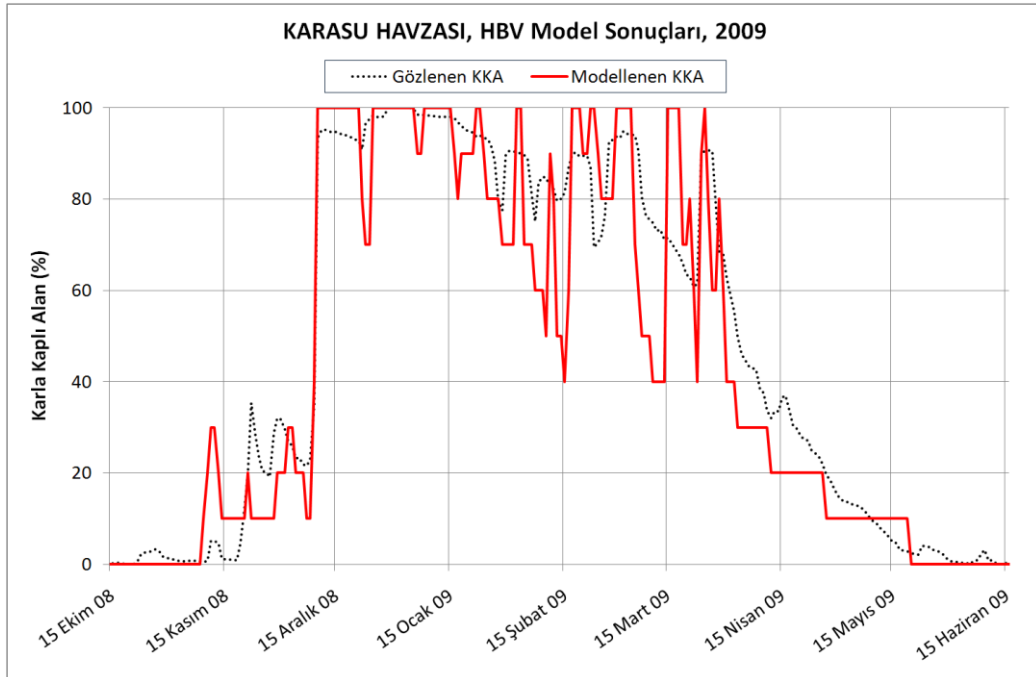
$$R^2 = \frac{\sum(Q_g - \overline{Q_g})^2 - \sum(Q_m - Q_g)^2}{\sum(Q_g - \overline{Q_g})^2} \quad \text{Denklem 4.1}$$

Q_g =Gözlenen akım (m^3/s), $\overline{Q_g}$ =Gözlenen akımların ortalaması (m^3/s), Q_m =Modellenen akım (m^3/s)

HBV modelinin diğer bir çıktısı olan zonlar bazında karla kaplı alan verisi, MODIS (CM±3ES) uydu görüntülerinden elde edilen günlük karla kaplı alan verisi ile kıyaslanmıştır. 2008 ve 2009 su yılları için kıyaslanan karla kaplı alanlar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur. Görsel karşılaştırma sonucunda, karla kaplı alanların oldukça tutarlı olduğu görülmüştür. Harmanlanan MODIS uydu ürünlerin kullanılmasıyla bulut oranı azaltılmaya çalışılmıştır. Az sayıda olmakla birlikte, bulut oranının hala fazla olduğu (bulut oranı > 30%) günlerde doğrusal interpolasyonla hesap yapılmış ve hergün için bir karla kaplı alan değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlardan yorumlanan, 2008 yılında kar havzaya 2009 yılından daha erken düşmüş ve aynı şekilde erken erime (çekilme) göstermiştir.



Şekil 4.7. Karasu Havzası, 2008 su yılı, Karla Kaplı Alan Eğrileri



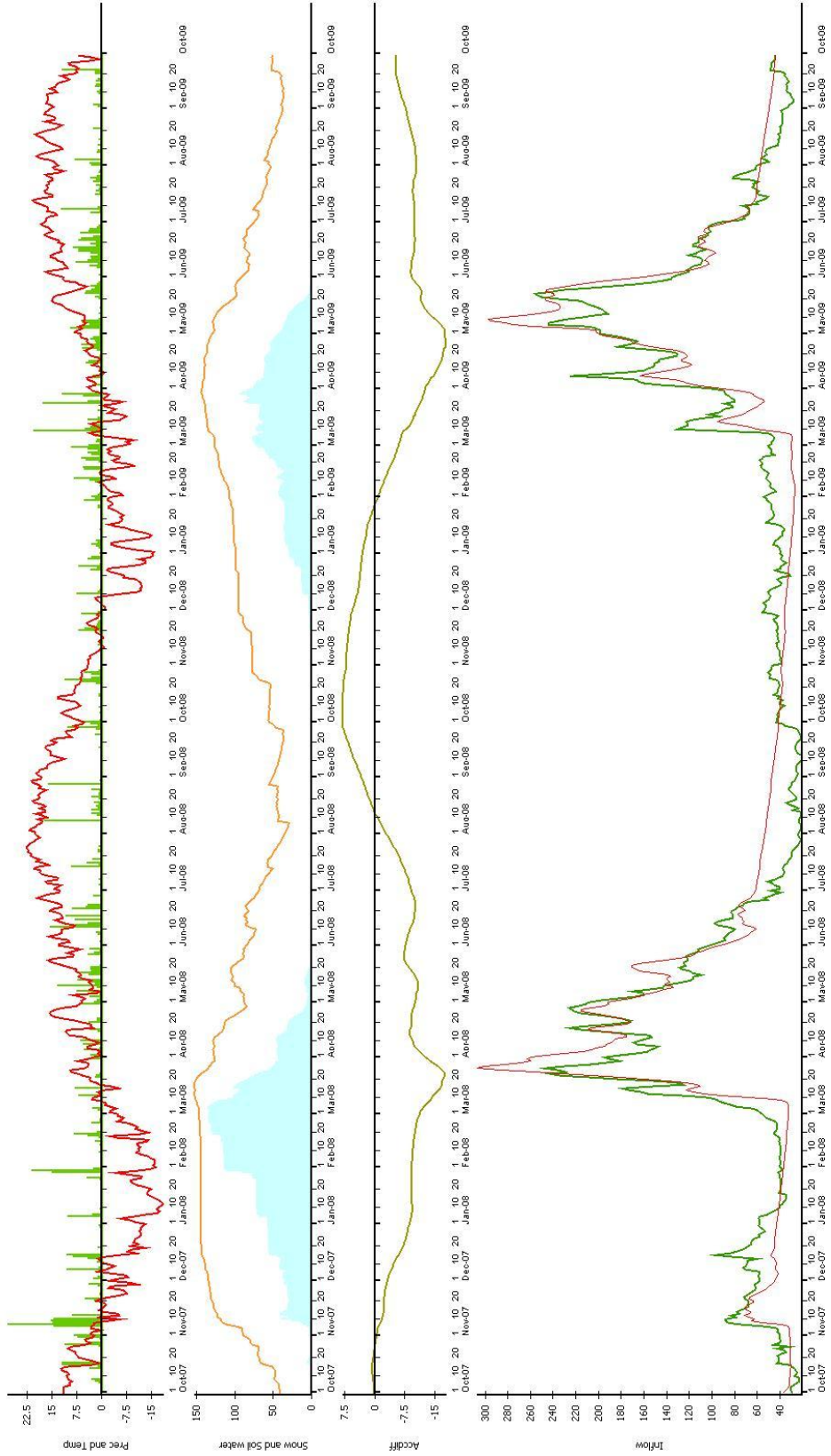
Şekil 4.8. Karasu Havzası, 2009 su yılı, Karla Kaplı Alan Eğrileri

2008 su yılında kar çekilmesi Mart ayı başında başlamış ve sürekli olarak Haziran ayı sonlarına kadar devam etmiştir. 2009 su yılında ise kar Mart ayı başında bir erime göstermiş ancak yeni yağışlarla birlikte sürekli erime Mart ayı sonunda başlayabilmiştir.

Sürekli verinin de değerlendirilmesi amacıyla 2008 ve 2009 su yılları birlikte ele alınarak ayrıca modellenmiş ve model parametrelerinin kalibrasyonu yapılmıştır. 2008 ve 2009 su yılları birlikte değerlendirildiğinde modellenen ve gözlenen akım sonuçları Şekil 4.9'da, kullanılan kalibrasyon parametreleri ise Tablo 4.3'de sunulmuştur.

Tablo 4.3. 2008 ve 2009 su yılları birlikte değerlendirildiğinde, HBV model parametreleri

Parametre	Birim	Değer Aralığı	2008 Su Yılı	2009 Su Yılı	2008-2009 Su Yılı
alfa	-----	0.5 - 1.1	1	1	1
athorn	mm/gün °C	0.2 - 0.3	0.25	0.25	0.25
beta	-----	1.0 - 4.0	1.5	1.5	1.5
cflux	mm/gün	0 - 2	1	1	1
cflux	mm/°C gün	2.0 - 4.5	4	4	4
cfr	-----	0.0 - 0.1	0.05	0.05	0.05
critstep	-----	0 - 1	1	1	1
dtm	°C	-2° - 2°	-1	-0.5	-1
fc	mm	100 - 1500	180	180	180
hq	mm/gün	> 0	3	3	3
k4	gün ⁻¹	0.001 - 0.1	0.005	0.006	0.005
khq	gün ⁻¹	0.005 - 0.2	0.05	0.05	0.05
lp	-----	0.0 - 1.0	0.7	0.7	0.7
maxbaz	-----	1 - 5	0	0	0
pcalt	-----	0.0 - 0.1	0.1	0.1	0.1
pcorr	-----	0.0 - 1.0	1	1	1
perc	mm/gün	0.01 - 6.0	0.8	0.8	0.8
rfcf	-----	0.7 - 1.3	0.7	1	0.85 / 1.1
sclass	-----	1 - 5	3	3	3
sfcf	-----	0.8 - 1.4	0.85	1	0.9 / 1.1
sfdistfi	-----	0.0 - 1.0	0.5	0.5	0.5
stf	-----	0 - 2	2	2	2
talt	°C/100 m	-1° - 1°	0.5	0.5	0.5
tt	°C	-2° - 2°	-1.5	-1.5	-1.5
tti	°C	0° - 2.5°	2	2	2
whc	-----	0.0 - 0.1	0.1	0.1	0.1

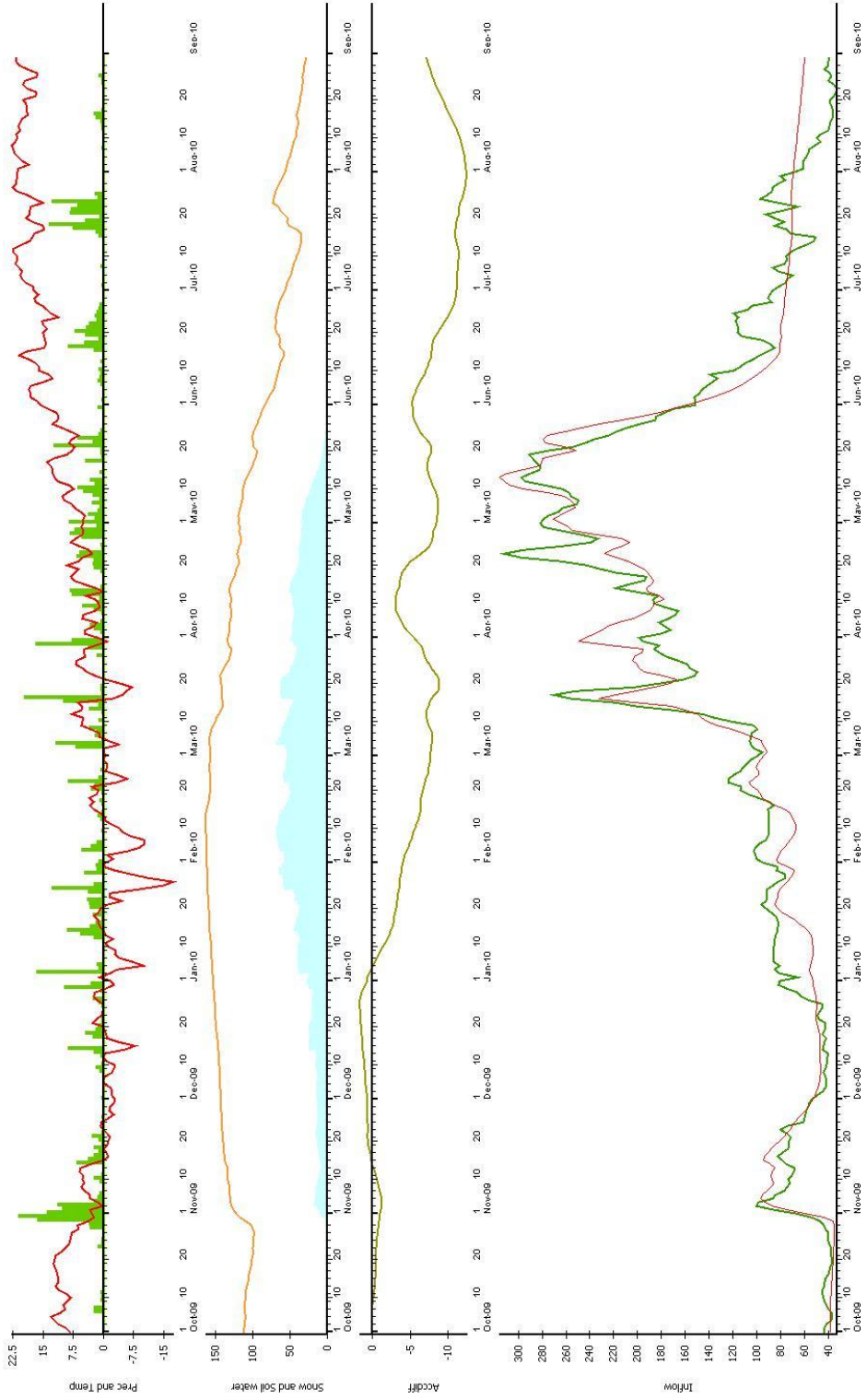


Şekil 4.9. 2008 ve 2009 su yılları birlikte değerlendirildiğinde, HBV modelleme sonuçları

Zamanlama ve pik değerler göz önüne alındığında modellenen ve gözlenen akım sonuçlarının oldukça tutarlı görünmektedir. 2008 su yılında kar erimesi ve yağmurdan kaynaklı sivri pikler modelde iyi temsil edilmeye çalışılırken, 2009 su yılında 2008 su yılına göre kar birikmesi ve yağışlardan kaynaklı sivri piklerin temsiliyeti yeterince gerçekleştirilememiştir. Bunun sebebi bazı parametrelerin iki su yılı arasında farklılık göstermesi olarak yorumlanabilir. Erime faktörü, arazi kapasitesi ve yağış düzeltme katsayıları gibi parametreler dönemsel değişime uğrayabildiği için iki su yılı birlikte kalibre edildiğinde bazı sivri pikler yeterince temsil edilememiştir. Sonuç olarak, HBV modeli ile gözlenen ve modellenen akımlar Nash-Sutcliffe (R^2) model uyumluluk kriteri bakımından 2008 ve 2009 su yılları birlikte değerlendirildiğinde 0.85 olarak hesaplanmıştır. R^2 'nin düşük olması, 2008 su yılı düşük akımlarına bağlanabilir.

2008 ve 2009 su yılları baz alınarak gerçekleştirilen model parametre kalibrasyonunun ardından 2010 su yılı için HBV model doğrulaması yapılmıştır. 2010 su yılı için modellenen ve gözlenen akım sonuçları Şekil 4.8'de ve kullanılan model parametreleri Tablo 4.4'de sunulmuştur.

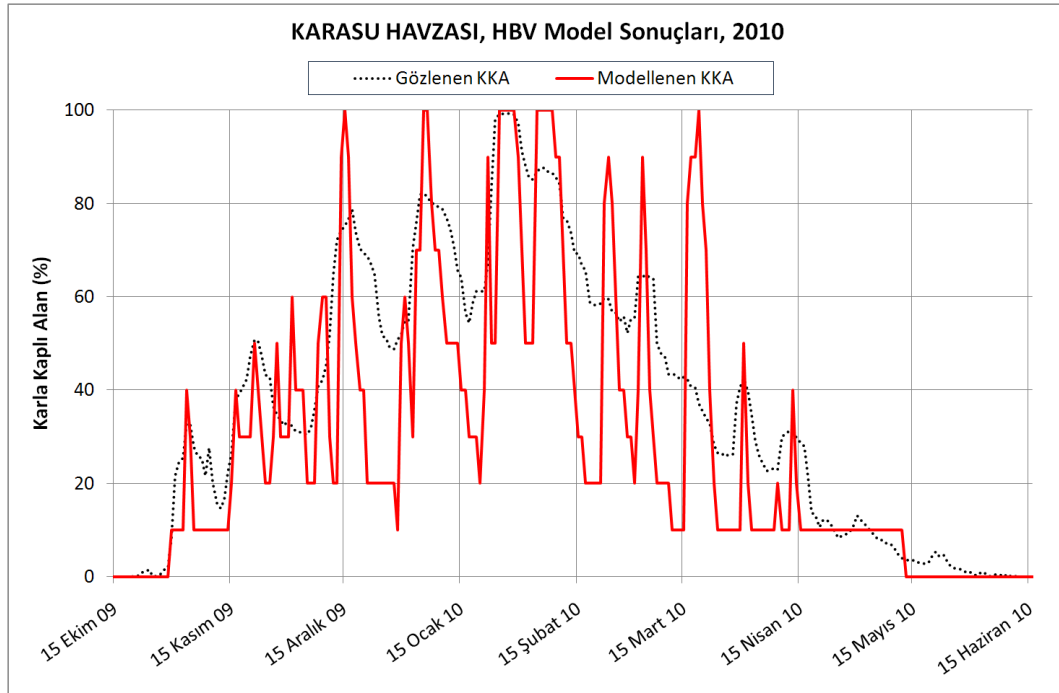
2010 su yılı için modellenen ve gözlenen akım sonuçlarının oldukça tutarlı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, HBV modeli ile gözlenen ve modellenen akımlar Nash-Sutcliffe (R^2) model uyumluluk kriteri bakımından 2010 su yıllı için 0.91 olarak hesaplanmış, Şekil 4.11'de modellenen ve gözlenen karla kaplı alan verileri kıyaslanmıştır. 2010 su yılında, akımlardaki tutarlılık karla kaplı alanlardaki tutarlılığa yansımamıştır. Bunun sebebinin oldukça yüksek seyreden hava sıcaklıklarından ve karla kaplı alanların 2008 ve 2009 su yıllarının (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) kar sezonuna kıyasla düşük ve değişken olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.



Şekil 4.10. Karasu Havzası, 2010 su yılı, HBV modelleme sonuçları

Tablo 4.4. Karasu Havzası, 2010 su yılı, HBV model parametreleri

Parametre	Birim	Değer Aralığı	2008 Su Yılı	2009 Su Yılı	2008-2009 Su Yılı	2010 Su Yılı
alfa	-----	0.5 - 1.1	1	1	1	1
athorn	mm/gün °C	0.2 - 0.3	0.25	0.25	0.25	0.25
beta	-----	1.0 - 4.0	1.5	1.5	1.5	1.5
cflux	mm/gün	0 - 2	1	1	1	1
cfmax	mm/°C gün	2.0 - 4.5	4	4	4	4
cfr	-----	0.0 - 0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
critstep	-----	0 - 1	1	1	1	1
dtm	°C	-2° - 2°	-1	-0.5	-1	-1
fc	mm	100 - 1500	180	180	180	180
hq	mm/gün	> 0	3	3	3	3
k4	gün ⁻¹	0.001 - 0.1	0.005	0.006	0.005	0.005
khq	gün ⁻¹	0.005 - 0.2	0.05	0.05	0.05	0.05
lp	-----	0.0 - 1.0	0.7	0.7	0.7	0.7
maxbaz	-----	1 - 5	0	0	0	0
pcalt	-----	0.0 - 0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
pcorr	-----	0.0 - 1.0	1	1	1	1
perc	mm/gün	0.01 - 6.0	0.8	0.8	0.8	0.8
rfcf	-----	0.7 - 1.3	0.7	1	0.85 / 1.1	0.9
sclass	-----	1 - 5	3	3	3	3
sfcf	-----	0.8 - 1.4	0.85	1	0.9 / 1.1	1
sfdistfi	-----	0.0 - 1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
stf	-----	0 - 2	2	2	2	2
talt	°C/100 m	-1° - 1°	0.5	0.5	0.5	0.5
tt	°C	-2° - 2°	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5
tti	°C	0° - 2.5°	2	2	2	2
whc	-----	0.0 - 0.1	0.1	0.1	0.1	0.1



Şekil 4.11. Karasu Havzası, 2010 su yılı, Karla Kaplı Alan Eğrileri

5. SONUÇLAR

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

Bu çalışmada amaçlanan, Türkiye için büyük önem arz eden Yukarı Fırat (Karasu) Havzasında, buluttan olabildiğince temizlenmiş açık karla kaplı alanları tespit etmektir. Bunun için orta çözünürlüklü optik MODIS uydusu tercih edilerek iki ayrı platformda bulunan MODIS/Terra ve MODIS/Aqua uydularından günde iki kere, 500 m mekansal çözünürlükte sayısal karla kaplı alan haritaları temin edilmektedir. Dört farklı harmanlama işleminden geçirilen görüntüler için 2008, 2009 ve 2010 su yıllarında her gün için 8 ayrı harita üretilmiştir. Üretilen haritalarda MODIS/Terra haritasına kıyasla yıllık ortalama bulut oranı CM'de 20%, CM+3ES'de 99% oranında azaltılmıştır. Bu oranlar çok önemli sayılabilecek iyileştirmeler göstermektedir. Bu iyileştirme metotları ayrıca 2008 su yılında 30, 2009 su yılında ise 32 yer gözlem istasyonunda ölçülen verilerle kıyaslanarak doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Doğrulamadaki bulut oranları da, 2008 su yılında kar sınıfında 56.59%'dan 1.19%'a, kara sınıfında 35.7%'den 0.22%'ye ve benzer şekilde 2009 su yılında kar sınıfında 70.53%'den 2.73%'e, kara sınıfında 35.44%'den 0.20%'ye iyileşme olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla harmanlama işlemlerinin faydalı olduğu göz önüne alınarak Karasu Havzasında 2008, 2009 ve 2010 su yılı için kar çekilme eğrileri çıkartılmıştır. Bu eğrilerde MODIS/Terra değerleri zaman zaman CM±3ES değerlerine yaklaşırsa da bulut nedeni yüzünden süreklilik sağlayamamaktadır. Bu sebeple CM±3ES kar çekilme eğrilerinin daha sürekli ve güvenilir sonuçlar verdiği söylenebilir. Bu çalışma ile havzada her kar sezonu sırasında oluşturulacak günlük açık karla kaplı alan haritaları gerek güncel kar potansiyel tahminleri yaparken gerekse hidrolojik

modellere etkili girdi sağlarken daha faydalı sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmanın diğer amacı ise kavramsal bir hidrolojik model olan HBV modelinin 2008, 2009 ve 2010 su yıllarında Karasu Havzası'na uygulanmasıdır. 2008 ve 2009 su yılları göz önüne alınarak kalibre edilen model parametreleri 2010 su yılında doğrulama amacıyla kullanılmıştır. Tüm uygulamalarda, akım değerleri oldukça iyi temsil edilmiştir. Akım ve karla kaplı alan uyumluluk sonuçları Tablo 5.1'de özetlenmiştir.

Tablo 5.1. HBV model sonuçları özet tablosu

Sonuçlar	2008 Su Yılı	2009 Su Yılı	2008-2009 Su Yılı	2010 Su Yılı
Akım - R^2	0.85	0.91	0.85	0.91
Hacimsel Farklılık (%)	4.59	2.11	-1.19	-2.35
Akım - Log R^2	0.72	0.84	0.71	0.87
Karla Kaplı Alan - R^2	0.80	0.90	0.85	0.46

Hidrolojik modellerin verimi ve gözlenen akımları en iyi şekilde temsil edebilmeleri ancak yağış ve sıcaklık verilerinin olabildiğince doğru ve sürekli şekilde ölçülmüş olmasına bağlıdır. Model uygulamalarında zaman zaman bazı istasyonlarda yağış verilerinin yeterince ölçülemediği, yetersiz istasyon sayısı ya da ölçüm aletlerindeki sorunlardan ötürü (donma, antifriz buharlaşması) hatalarla karşılaşmış, bu sorunlar gözlenen istasyonların yağış ve sıcaklık dağılımlarından çıkarılması ile sorun çözülmüş, veri kaybına sebep olsa da, modele hatalı veri girilmesi önlenmiştir.

Tez çalışmasının sonucu olarak buluttan olabildiğince arındırılmış günlük karla kaplı alan haritaları elde edilmektedir. Bir sonraki adım olarak başka metodlar geliştirilip doğrulanarak bulut etkisinin tamamen ortadan kaldırılması için çalışılabilir.

Modelleme için kullanılan üç su yılı (2008, 2009 ve 2010) ile bulunan model parametreleri oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Bu parametreler daha uzun ve farklı davranış gösteren yıllar için de uygulanarak Karasu Havzası'nda güvenilir model parametreleri bulunmalıdır.

Türkiye'nin su konusunda Orta Doğu'daki jeopolitik konumu gözönüne alındığında, hidrolojik modelleme çalışmaları rezervuar ve havza yönetimi için önemli bir karar destek aracı olan akım tahmininin operasyonel kullanımına imkan sağlayacaktır.

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, 11-13 June 2002, Vol. 2, pp. 529-536.
- Altınbilek, D. (2004), *Development and Management of Euphrates-Tigris Basin*, Water Resources Development, Vol. 20, No. 1, pp. 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.
- 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.
- Bergström, S., Lindström, G. ve Pettersson, A. (2002), *Multi-variable parameter estimation to increase confidence in hydrological modeling*, Hydrological Processes, 16, 413-421.
- Bergström, S. (1975), *Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments*, Ph.D. Thesis. SMHI Reports RHO No. 7, Norrköping.

- 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, pp.433-435.
- Guneriusen, 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.
- Hall, D.K. ve Riggs, G.A. (2007), *Accuracy assessment of the MODIS snow products*, Hydrological Processes 21, 1534-1547.
- 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, pp. 181-194.
- Hall, D.K., Foster, J.L., Verbyla, D.L., Klein, A.G. ve Benson, C.S. (1998), *Assessment of snow-cover mapping accuracy in a variety of vegetation-cover densities in central Alaska*, Remote Sensing of Environment, 66:129-137.
- Hall, D.K. ve Martinec, J. (1985), *Remote sensing of ice and snow*, Chapman and Hall, London, pp189.
- Harrison, A.R. ve Lucas, R. M. (1989), *Multi-spectral classification using NOAA/AVHRR imagery*, International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, 907-916.
- 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, Vol. 14, No. 17, 3529-3268.

- 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.
- Klein, A.G., Hall, D.K. ve Riggs, G.A. (1998), *Improving snow cover mapping in forests through use of a canopy reflectance model*, *Hydrological Processes*, 12, 1723-1744.
- Klein, A.G. ve Barnett, A. (2003), *Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the year 2000-2001 snow year*, *Remote Sensing of Environment*, 86, 162- 176.
- Lillesand, T.M. ve Kiefer, R.W. (1994), *Remote sensing and image interpretation*, J. Wiley, 3rd edition, New York.
- 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*, Vol.28, No. 11: 3029-3042.
- 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.
- Martinec, J. ve Rango, A. (1987), *Interpretation and utilization of areal snow cover data from satellites*, *Annals of Glaciology* Vol. 19, pp. 166-169.
- Martinec J. (1975), *Snowmelt runoff model for streamflow forecasts*, *Nordic Hydrology*, 6, 145- 154.

- 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, 28-30 April, 1997 (IAHS Publication No.242, pp. 119-126)
- 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. (1996), *Spaceborne remote sensing for snow hydrology applications*, Hydrological Sciences Journal, Vol. 41, 477-494.
- Rango, A. (1994), *Application of remote sensing methods to hydrology and water resources*, Hydrological Sciences Journal, 34 (4), 309-320.
- Rango, A., Salomonson, V.V., ve Foster, J.L. (1977), *Seasonal streamflow estimation in the Himalayan region employing meteorological snowcover observations*, Water Resources Research, Vol. 13 (1), 109-112.
- Riggs, G.A., Hall, D.K. ve Salomonson, V.V. (2006), *MODIS Snow Products User Guide to Collection 5*, November 2006, http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/sug_c5.pdf.
- 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.
- Rott, H. (1978), *Zur Schneekartierung in alpinen Einzugsgebieten aus Satellitenbildern*, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie, Vol 14(1), 81-93.

- Seidel, K. ve J. Martinec (2004), *Remote Sensing in Snow Hydrology; Runoff Modeling, Effect of Climate Change*, Springer, 150pp.
- Seidel, K., Brush, W. ve Steinmeier, C. (1994), *Experiences from real time runoff forecasts by snow cover remote sensing*, IEEEIGARSS.
- Şensoy, A. (2005), *Physically based point snowmelt modeling and its distribution in Upper Euprates Basin*, Doctor of Philosophy Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 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. (2000), *Spatially distributed hydrologic modeling approach using geographic information systems*, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, Ankara.
- Singh, V.P. ve Frevert, D.K. (2000a), *Mathematical models of large watershed hydrology*, Water Resources Pub., 891pp.
- Singh, V.P. ve Frevert, D.K. (2000b), *Mathematical models of small watershed hydrology and applications*, Water Resources Pub., 950pp.
- Singh, V.P. (1995), *Computer models of watershed hydrology*, Water Resources Pub., 1130pp.
- 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, 21 – 25 Haziran 2004, İstanbul.

- 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.Ü., Akyürek, Z., Şensoy, A., Şorman, A.A. ve Tekeli, A.E. (2007), *Commentary on comparison of MODIS snow cover and albedo products with ground observations over the mountainous terrain of Turkey*, Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1353-1360.
- SMHI-IHMS (1996), *Integrated hydrological modeling system manual, Version 4.0.*, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden.
- Taşdemir, G. (2009), *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Birlikte Kullanılması ile Kar Erimesi Akış Hidrografının Benzetimi (Sarız Çayı Havzası Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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.
- Tekeli, A.E., Akyürek, Z., Şensoy, A., Şorman, A.A. ve Şorman, A.Ü. (2005), *Modelling the temporal variation in snow-covered area derived from satellite images for simulating/forecasting of snowmelt runoff in Turkey*, Hydrological Sciences Journal, 50 (4), 669-682.
- Tekeli, A.E., Şorman, A.A., Şensoy, A. ve Şorman, A.Ü. (2004), *Kar Lizemetresinin Tasarımı, İmalatı, İşletimi ve Ön Bulgular*, IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, 21 – 25 Haziran 2004, İstanbul.

- 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.
- 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.
- Warren, S.G. (1982), *Optical properties of snow. Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20(1), 2 -52.
- Wiesnet, D.R., Ropelevski, C.F., Kukla, G.J. ve Robinson, D.A. (1987), *A discussion of the accuracy of NOAA satellite derived global seasonal snow cover measurements*, IAHSpublications, Vol. 166, 291-304.
- 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.
- WMO (1992), *Simulated real-time intercomparison of hydrological models*, Publication No. 779, Operational Hydrology Report No. 38, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- WMO (1986), *Intercomparison of models of snowmelt runoff*, Publication No. 646, Operational Hydrology Report No. 23, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- WMO (1975), *Intercomparison of conceptual models used in hydrological forecasting*, Operational Hydrology Technical Report No: 7, WMO, Geneva.

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

<http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/val-df.html>

<https://wist.echo.nasa.gov/api/>

https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool