

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE UZAKTAN ALGILAMA YARDIMIYLA
HİDROLOJİK VE TAŞKIN MODELLEMESİ KARAR DESTEK SİSTEMİ**

DOKTORA TEZİ

Emin TAŞ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

Bu tez çalışması 2211-C Yurt İçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı kapsamında
TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE UZAKTAN ALGILAMA
YARDIMIYLA HİDROLOJİK VE TAŞKIN MODELLEMESİ
KARAR DESTEK SİSTEMİ

Emin TAŞ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

ÖZET

Doktora Tezi

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ VE UZAKTAN ALGILAMA YARDIMIYLA HİDROLOJİK VE TAŞKIN MODELLEMESİ KARAR DESTEK SİSTEMİ

Emin TAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

Medeniyet gelişimi için su kaynakları planlama ve yönetimi çok değerli bir konudur. Sürdürülebilirliği hızla tehlikeye girmekte olan sınırlı su kaynakları, iklim-arazi kullanım değişimi dikkate alınarak niceliksel ve niteliksel olarak koruma-kullanma dengesi içerisinde ele alınmalıdır. Bu bağlamda su kaynakları planlama ve yönetimi çalışmaları büyük önem kazanmaktadır.

Tez çalışması ana hatlarıyla hidrolojik, hidrolik ve taşkın modellemesi kısımlarını içermektedir. Bu araştırmada, US Army Hydrologic Engineering Center tarafından geliştirilen HEC-HMS ve HEC-RAS yazılımları kullanılmış, HEC-HMS günlük zaman ölçeğinde dağılımlı olarak hidrolojik modelleme-tahmin ve HEC-RAS 2D hidrolik modelleme çalışmalarının bir dizi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)-Uzaktan Algılama (UA) teknikleri kullanılarak yapılması ile entegre taşkın modellemesinin gerçekleştirilmesi çalışmanın kapsamını meydana getirmektedir. Yapılan tespitlere göre ülkemizde dağılımlı hidrolojik modelleme uygulaması içeren az sayıda çalışma bulunması ve bu çalışmada kullanılan sayısal hava tahmin verisinin hidrolojik tahmin uygulamalarında pek kullanılmaması çalışmayı daha değerli kılmaktadır. Grid tabanlı toprak nemi hesaplama algoritmasını kullanması bakımından da çalışma öncü bir hidrolojik modelleme uygulamasıdır. Bu bağlamda entegre hidrolojik ve taşkın modellemesini içeren çalışmanın çıktıları su kaynakları planlama ve yönetimi uygulamalarında su otoriteleri ve karar vericiler tarafından kullanılabilir.

CBS ve UA teknikleri kullanılarak, günlük akımların deterministik modellenmesi ve erken uyarı sistemi olarak kullanılabilir olan akım tahmininin sayısal hava tahmin verisi kullanılarak yapılması, hidrolojik modellemenin ardından hidrolik modelleme yapılarak taşkın risk ve zarar haritalamasının yapılması bu çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmaktadır. Hidrolojik modelleme aşamasında tümsel ve dağılımlı kavramsal modellerin karşılaştırılması, uydu ürünlerinin yer gözlemleri ile doğrulanması, akım performansının yanında kar ve toprak nemi çıktıları kullanılarak model içsel tutarlılığının uydu ürünleriyle değerlendirilmesi; hidrolik modelleme aşamasında uydu referans taşkın görüntüsü ile model doğrulamasının yapılması da çalışmanın ikincil amaçlarını teşkil etmektedir.

2022, xvi + 244 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dağılımlı hidrolojik modelleme, Coğrafi bilgi sistemleri, Uzaktan algılama, Taşkın modelleme.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR HYDROLOGICAL AND FLOOD MODELING BY USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING

Emin TAŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Murat KİLİT

Water resources planning and management is a very valuable issue for civilization development. Taking into account the climate-land use change, the limited water resources should be handled with quantitatively and qualitatively in a balance between protection and use, whose sustainability is rapidly endangered. In this context, water resources planning and management studies are of great importance.

The thesis study mainly includes hydrological, hydraulic and flood modeling parts. In this study, HEC-HMS and HEC-RAS software developed by US Army Hydrologic Engineering Center are used. The scope of the study consists of performing integrated flood modeling by carrying out HEC-HMS gridded hydrological modeling-forecasting on a daily time scale and HEC-RAS 2D hydraulic modeling studies using a series of Geographical Information Systems (GIS)-Remote Sensing (RS) techniques. According to the literature research, in our country, there are a few studies that include distributed hydrological modeling, and numerical weather prediction data used in this study is not considered much in hydrological forecasting implementations, which makes the study more valuable. The study is a pioneering hydrological modeling application in terms of using a grid-based soil moisture accounting algorithm. In this sense, the outputs of the study, which includes integrated hydrological and flood modeling, can be used by water authorities and decision makers in water resources planning and management

applications.

The main motivation of this study is to implement deterministic modeling of daily flows and to make flow forecasting using numerical weather prediction data, which can be used as an early warning system, and to practice flood risk and loss mapping by hydraulic modeling after hydrological modeling, using GIS and RS techniques. In hydrological modeling, comparison of lumped and distributed conceptual models, verification of satellite products with ground observations, evaluation of model internal consistency with satellite products by using snow and soil moisture outputs as well as flow performance; in hydraulic modeling, performing model validation with satellite reference flood image are also the secondary aims of the study.

2022, xvi + 244 pages

Keywords: Distributed hydrological modeling, Geographical information systems, Remote sensing, Flood modeling.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma süresince öneri ve görüşleriyle danışmanlığımı üstlenen Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT'e, araştırma ve yazım aşamasında yapmış olduğu katkılar ile yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN'a, değerli eleştirileri ile teze katkı sağlayan kıymetli tez jürisine, 2211-C Yurt İçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı kapsamında desteğinden dolayı TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı'na, çalışma kapsamında kullanılan modeller için Hidrolojik Mühendislik Merkezi'ne (USACE), veri paylaşımlarından dolayı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, Harita Genel Müdürlüğü'ne ve Tekman Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Emin TAŞ
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
RESİMLER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 CBS ve UA'nın Hidrolojide Kullanımı.....	4
2.2 Dağılımlı Hidrolojik Modelleme ve Tahmin	4
2.3 Hidrolik ve Taşkın Modelleme	7
2.4 Hidrolojik ve Hidrolik Model Entegrasyonu	7
3. MATERYAL ve METOT	8
3.1 Uygulama Havzası	8
3.2 Kullanılan Veriler	10
3.3 Kullanılan Yazılımlar	16
3.4 CBS ve UA	17
3.5 Dağılımlı Hidrolojik Modelleme ve Tahmin	23
3.6 Hidrolik Modelleme.....	26
3.7 Taşkın Modelleme	26
4. BULGULAR VE İRDELEME.....	27
4.1 Dağılımlı HEC-HMS Hidrolojik Modellemesi.....	27
4.1.1 HEC GeoHMS ile Model Altlığının Oluşturulması.....	27
4.1.2 GageInterp ile Grid Tabanlı Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Oluşturulması..	29
4.1.3 Grid Tabanlı HEC-HMS Hidrolojik Modelleri.....	34
4.1.3.1 Grid Tabanlı HEC-HMS SCS CN Hidrolojik Modeli.....	40
4.1.3.2 Grid Tabanlı HEC-HMS SMA Hidrolojik Modeli.....	48
4.1.4 Uydu Verilerinin Dağılımlı Hidrolojik Modellemeye Dahil Edilmesi	56

4.1.4.1 Uydu Kar Ürünleri.....	57
4.1.4.2 Uydu Toprak Nemi Ürünleri	69
4.1.4.3 Uydu Yağış ve Sıcaklık Ürünleri	75
4.1.5 HEC-HMS SMA Dağılımlı Hidrolojik Modeli ile Akım Tahmini.....	82
4.1.6 Dağılımlı HEC-HMS SMA ile Saatlik Hidrolojik Modelleme.....	84
4.2 HEC-RAS 2D Hidrolik Modellemesi	86
4.2.1 Hidrolik Modelleme için Yükseklik ve Bina Verilerinin Düzenlenmesi.....	86
4.2.2 Hidrolik Modelleme için Akım Verilerinin Düzenlenmesi	89
4.2.2.1 Akım Gözlem İstasyonlarının Karşılaştırılması	89
4.2.2.2 Olasılık Dağılımlarının Belirlenmesi	91
4.2.2.3 Sentetik Birim Hidrografların Belirlenmesi	91
4.2.2.4 Fuller Ampirik Taşkın Tahmin Yöntemi.....	92
4.2.2.5 Taşkın Tekerrür Debileri	95
4.2.3 Hidrolik Modelleme (HEC-RAS 2D)	97
4.2.4 Hidrolik Modelin Uydu Görüntüleriyle Doğrulaması	109
4.3 Taşkın Modelleme	121
4.3.1 Taşkın Risk ve Tehlike Analizi.....	131
4.3.2 Taşkın Zarar Analizi	142
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	152
6. KAYNAKLAR.....	156
ÖZGEÇMİŞ.....	172
EKLER	175

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

R^2	Determinasyon Katsayısı
-------	-------------------------

Kısaltmalar

AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS
APHRODITE	Asian Precipitation -Highly- Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CHIRPS	Climate Hazards group InfraRed Precipitation with Station data
CHRS	Center for Hydrometeorology and Remote Sensing-University of California
CK	Co-Kriging
CMORPH	Climate Prediction Center Morphing Technique
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DEM	Digital Elevation Model
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
ECMWF	European Centre for Medium-range Weather Forecasts
EEA	European Environment Agency
EOS	Earth Observing System
ESA	European Space Agency
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
GLDAS	Global Land Data Assimilation Systems
GPM	Global Precipitation Measurement
HEC DSS	Hydrologic Engineering Center Data Storage System
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modelling System
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center River Analysis System
HEC SSP	Hydrologic Engineering Center Statistical Software Package
HRAP	Hydrologic Rainfall Analysis Project
H-SAF	EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management
HydroSHEDS	Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales
IBM	International Business Machines
IDW	Inverse Distance Weighting
IMERG	Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM
IMS	Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System
Kal-Val	Kalibrasyon ve Validasyon
MAE	Mean Absolute Error
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MPEG	Multi-Sensor Precipitation Estimate-Geostationary

Kısaltmalar (Devam)

MSG-SEVIRI	Meteosat Second Generation-Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NSE	Nash-Sutcliffe Efficiency
NWP	Numerical Weather Prediction
PERSIANN	Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks
RMSE	Root Mean Square Error
SCA	Snow Cover Area
SCS CN	Soil Conservation Service Curve Number
SERVIR	NASA Regional Visualization and Monitoring System
SHG	Standard Hydrologic Grid
SI	International System of Units
SMA	Soil Moisture Accounting
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWE	Snow Water Equivalent
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UA	Uzaktan Algılama
USACE	United States Army Corps of Engineers
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
WRF	Weather Research and Forecasting

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yardımıyla hidrolojik-hidrolik modelleme entegrasyonu taşkın karar destek sistemi akış şeması.	8
Şekil 3.2 Kayabaşı Havzası coğrafi konumu.	9
Şekil 3.3 Kayabaşı Havzası coğrafi konumu ve hidrometeoroloji gözlem istasyonları yerleri.....	11
Şekil 3.4 Kayabaşı Havzası yıllık toplam yağış-akım ve ortalama sıcaklık değerleri. ..	12
Şekil 3.5 Kayabaşı Havzası aylık yağış-akım değerleri.	12
Şekil 3.6 Kayabaşı Havzası günlük yağış, sıcaklık ve akım değerleri.	13
Şekil 3.7 Kayabaşı Havzası düşey sıcaklık gradyanı grafiği.	15
Şekil 3.8 Kayabaşı Havzası akarsu ağı, alt havzaları, en uzun akış yolu ve ağırlık merkezi.	19
Şekil 3.9 Kayabaşı Havzası eğim, bakı ve arzi örtüsü haritası.....	20
Şekil 3.10 Kayabaşı Havzası yükselti sınıflandırması ve hipsometrik eğrisi.....	21
Şekil 3.11 Kayabaşı Havzası zemin porozite ve ortalama toprak nemi haritası.	22
Şekil 3.12 Kayabaşı Havzası IMS uydu KKA görüntüsü (23.04.2016).	23
Şekil 4.1 HEC GeoHMS işlemleri akış şeması.	28
Şekil 4.2 GagaInterp ile oluşturulan DSS uzantılı grid tabanlı yağış verisi ve DSS2ASC ile ASCII uzantılı veriye dönüştürülmesi (14 Aralık 2014).	31
Şekil 4.3 2007-2015 su yılları arası eklenik IDW ve düzeltilmiş IDW yağışları.....	32
Şekil 4.4 Örnek sıcaklık verisinin düzeltilmesi işlemi (1 Nisan 2007).	33
Şekil 4.5 ModClark kavramsal model yapısı (Kull ve Feldman 1998).....	36
Şekil 4.6 Kayabaşı Havzası ModClark grid yapısı ve HEC-HMS modeli arayüzü.	36
Şekil 4.7 CN grid verisi elde etme aşamaları.	43
Şekil 4.8 HEC-HMS SCS CN kalibrasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.	46
Şekil 4.9 HEC-HMS SCS CN validasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.	47
Şekil 4.10 HEC-HMS SMA modeli kavramsal şeması (Bennett 1998).	49
Şekil 4.11 HEC-HMS SMA kalibrasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.	53
Şekil 4.12 HEC-HMS SMA validasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.	54
Şekil 4.13 2008-2015 su yılları arası HMS SMA tümsel-dağılımlı model KSE çıktıları.	55

Şekil 4.14 HEC-HMS SCS CN ve SMA modelleri kalibrasyon ve validasyon periyotları KSE çıktıları.....	58
Şekil 4.15 EUMETSAT H-SAF H13 uydusu KSE ürünü (15 Mart 2018).	60
Şekil 4.16 IMS uydusu KKA ürünü (5 Nisan 2011).	60
Şekil 4.17 2007-2015 su yılları arası KSE-KKA grafiği.....	61
Şekil 4.18 HEC-HMS SMA (IDW ve düzeltilmiş IDW) grid yapılı KSE karşılaştırması (27 Şubat 2008).....	62
Şekil 4.19 HEC-HMS SMA-kar gözlem istasyonları karşılaştırması.	63
Şekil 4.20 MODIS KKA-SMA KSE karşılaştırması (5 Nisan 2011).	65
Şekil 4.21 Uydu ve model kar ürünleri karşılaştırmaları (1 Ekim-30 Haziran).	66
Şekil 4.22 AMSRE uydusu toprak nemi ürünleri (5 Nisan 2011).	70
Şekil 4.23 EUMETSAT H-SAF H14 uydusu toprak nemi ürünü (28 Ekim 2019).....	71
Şekil 4.24 Kalibrasyon periyodu toprak nemi grafiği.	71
Şekil 4.25 Validasyon periyodu toprak nemi grafiği.	72
Şekil 4.26 Uydu ve model toprak nemi ürünleri karşılaştırmaları (1 Nisan-30 Kasım). 73	
Şekil 4.27 Uydu yağış ve sıcaklık ürünleri (5 Nisan 2011).	75
Şekil 4.28 2007-2015 su yılları arası eklenik uydu ve IDW yağışları.	78
Şekil 4.29 2007-2015 su yılları arası uydu ve IDW sıcaklıkları.	79
Şekil 4.30 Uydu verileri girdi verilen HEC-HMS SMA modeli hidrografları (kalibrasyon periyodu).	81
Şekil 4.31 Uydu verileri girdi verilen HEC-HMS SMA modeli hidrografları (validasyon periyodu).	81
Şekil 4.32 Kayabaşı Havzası WRF yağış ve sıcaklık tahminleri.	83
Şekil 4.33 2015 su yılı akım tahmin hidrografları.	84
Şekil 4.34 2010 su yılı HEC-HMS SMA saatlik hidrografi.....	85
Şekil 4.35 2015 su yılı HEC-HMS SMA saatlik hidrografi.....	86
Şekil 4.36 Tekman ilçesi taşkın çalışma alanı bina-yol sayısallaştırılması ile DSM (0.5 m) elde edilmesi.	88
Şekil 4.37 Akım gözlem istasyonları konumları, yağış alanları ve Tekman taşkın çalışma alanı.....	90
Şekil 4.38 Akım gözlem istasyonlarının yıllık maksimum akımlarının karşılaştırılması.	90

Şekil 4.39 Kayabaşı Havzası ve Tekman çalışma alanı taşkın tekerrür debileri.....	96
Şekil 4.40 HEC-RAS model, geometrik veri ve RAS haritalayıcısı arayüzü.	97
Şekil 4.41 DEM/DSM verileri tabanında DSİ Q100 taşkın derinlik haritaları.	100
Şekil 4.42 DSM RBF tabanında Q500 taşkın derinlik haritaları.....	101
Şekil 4.43 DSM RBF tabanında Q2 taşkın derinlik haritaları.....	102
Şekil 4.44 DSM RBF tabanında LP Tip III Q500 taşkın yayılım simülasyonu.....	103
Şekil 4.45 Tekman ilçesi üç boyutlu modeli ve DSM RBF tabanında DSİ Q500 taşkın derinlik haritası.	104
Şekil 4.46 DSM RBF tabanında DSİ Q500 taşkın yayılım, hız ve su yüzeyi yükseklikleri çıktıları.	106
Şekil 4.47 Tekman çalışma alanı taşkın tekerrür debilerinin karşılaştırılması.....	109
Şekil 4.48 Kayabaşı Havzası taşkınlarından görüntüler.....	112
Şekil 4.49 Kayabaşı Havzası 16.03.2010 taşkını ve 24.03.2010 tarihli normal su seviyesini gösterir uydu görüntüleri.....	113
Şekil 4.50 Kayabaşı Havzası taşkın çalışma alanları ve 16.03.2010 taşkını uydu-model karşılaştırması.	114
Şekil 4.51 Kayabaşı Havzası taşkın çalışma alanı HMS RAS entegrasyonu-uydu karşılaştırması (16.03.2010 taşkını).	120
Şekil 4.52 DSM RBF tabanında LP Tip III taşkın derinlik haritaları.	123
Şekil 4.53 Tekman ilçe merkezi ve Hürriyet Mahallesi 3D modeli ve DSM RBF tabanında LP Tip III Q100 taşkın derinlik haritası.	124
Şekil 4.54 Tekman taşkın çalışma alanı LP Tip III ve AHTYP taşkın derinlik haritalarının karşılaştırılması.....	126
Şekil 4.55 Tekman taşkın çalışma alanı DSM RBF tabanında LP Tip III Q100 taşkın yayılımı.	127
Şekil 4.56 DSM RBF tabanında LP Tip III taşkın olasılık haritası.....	128
Şekil 4.57 HEC-RAS hidrolik modelleme hesaplama aralığının taşkın çıktılarına etkisi (DSM LP Tip III Q100).	131
Şekil 4.58 Riskin grafiksel temsiliyeti (AS/NZS 2004).	132
Şekil 4.59 Gerçekleşme olasılıkları ile ağırlıklandırılmış taşkın derinlik haritasının Q100 ile görsel olarak karşılaştırılması (DSM RBF LP Tip III).	135
Şekil 4.60 Taşkın su hızı ve süresi haritaları (DSM LP TipIII Q100).	136

Şekil 4.61 NSW SES-FEMA taşkın tehlike (DSM LP TipIII Q100) ve ağırlıklı taşkın şiddeti haritaları.....	138
Şekil 4.62 FRMG taşkın derinlik sınıfları, arazi örtüsü dereceleri ve risk haritaları (DSM LP TipIII Q100).	140
Şekil 4.63 DEFRA taşkın süprüntü faktörü ve tehlike dereceleri haritaları (DSM LP TipIII Q100).....	142
Şekil 4.64 Taşkından etkilenen tarım alanları ve binalar (DSM LP TipIII).....	144
Şekil 4.65 Taşkın zarar haritaları (DSM LP TipIII Q100).	149
Şekil 4.66 Yavaş yükselen taşkın sularında derinlik-ölüm oranı ilişkisi (Jonkman vd. 2008b).	150



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Aylık ET değerleri.	14
Çizelge 3.2 Düşey sıcaklık gradyanı hesabı için sıcaklık gözlem istasyon bilgileri.....	14
Çizelge 4.1 Sıcaklık indeks yöntemi parametreleri (USACE 2018).	38
Çizelge 4.2 NSE performans derecelendirmesi (Moriasi vd. 2007).	40
Çizelge 4.3 HEC-HMS SCS CN model parametre aralıkları.	44
Çizelge 4.4 HEC-HMS SCS CN model performans sonuçları.	45
Çizelge 4.5 HEC-HMS SMA model parametre aralıkları.	51
Çizelge 4.6 HEC-HMS SMA model performans sonuçları.	53
Çizelge 4.7 Kayabaşı Havzası tümsel ve dağılımlı hidrolojik modellerin performans sonuçları.	55
Çizelge 4.8 HEC-HMS SCS CN ve SMA KSE çıktısı performans karşılaştırması.	61
Çizelge 4.9 HEC-HMS SMA kar istasyonları karşılaştırması.	64
Çizelge 4.10 HEC-HMS SMA KSE-uydu KKA tutarlılık analizi (KSE eşik değeri: 0 mm-KKA eşik değeri: %0).	68
Çizelge 4.11 HEC-HMS SMA KSE-uydu KKA tutarlılık analizi (KSE eşik değeri: 1 mm-KKA eşik değeri: %5).	68
Çizelge 4.12 HEC-HMS SMA toprak nemi çıktısı performans karşılaştırması.	72
Çizelge 4.13 MERRA ve SMI uydu tabanlı model ile HEC-HMS SMA ortalama toprak nemi.	72
Çizelge 4.14 Uydu ve IDW yağışlarının ilişkisi (2007-2015 su yılları).	78
Çizelge 4.15 Düzeltilmiş IDW ve uydu eklenik yağışlarının oranları.	80
Çizelge 4.16 Uydu verileri girdi verilen HEC-HMS SMA model performans sonuçları.	80
Çizelge 4.17 HEC-HMS SMA 2015 su yılı akım tahmini performans sonuçları.	83
Çizelge 4.18 HEC-HMS SMA 2010 ve 2015 su yılları günlük ve saatlik model performans sonuçları.	85
Çizelge 4.19 DEM enterpolasyon yöntemleri performans sonuçları (Çapraz-Doğrulama Testi).	87
Çizelge 4.20 Akım gözlem istasyonları bilgileri.	89
Çizelge 4.21 Olasılık dağılımları uygunluk test sonuçları.	91

Çizelge 4.22 Kayabaşı Havzası Sentetik BH Taşkın Tekerrür Debileri (m ³ /s).....	93
Çizelge 4.23 Tekman Deresi Çalışma Alanı Sentetik BH Taşkın Tekerrür Debileri (m ³ /s).	94
Çizelge 4.24 Kayabaşı Havzası Taşkın Tekerrür Debileri (m ³ /s)	95
Çizelge 4.25 Tekman Deresi Çalışma Alanı Taşkın Tekerrür Debileri (m ³ /s)	95
Çizelge 4.26 Taşkın yayılım alanları (km ²).	105
Çizelge 4.27 Tekman Deresi çalışma alanı taşkın tekerrür debilerinin (m ³ /s) karşılaştırılması.	108
Çizelge 4.28 Taşkın çalışma alanları HEC-RAS-Landsat tutarlılık analizi (16.03.2010).	117
Çizelge 4.29 Kayabaşı Havzası 2010 ve 2015 taşkınlarının hidro-meteorolojik bilgileri (D24A096).	118
Çizelge 4.30 Kayabaşı taşkın çalışma alanı HMS RAS entegrasyonu-Landsat tutarlılık analizi (16.03.2010).	121
Çizelge 4.31 Tekman çalışma alanı taşkın bilgileri (DSM LP Tip III).	122
Çizelge 4.32 Tekman taşkın çalışma alanında yapıların ve insanların ortalama ömür periyotlarında tekerrür taşkınlarının gerçekleşme olasılıkları.	130
Çizelge 4.33 Tekerrür aralıkları-risk dereceleri ilişkisi (AS/NZS 2004).	133
Çizelge 4.34 Tekman taşkın çalışma alanı CORINE 2018 arazi örtüsü kodları ve taşkın risk dereceleri (FRMG 2014).	139
Çizelge 4.35 Süprüntü faktörü (DEFRA 2006).	141
Çizelge 4.36 Taşkından etkilenen tarım alanları ve binalar (DSM LP Tip III).	143
Çizelge 4.37 Taşkın derinliği-hasar faktörü değerleri (JRC 2007, 2017).	145
Çizelge 4.38 Tekman taşkın çalışma alanı için taşkın maksimum hasar değerleri.	147
Çizelge 4.39 Tekman taşkın çalışma alanı için 2021 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2021).	147
Çizelge 4.40 Arazi kullanım kategorilerine göre taşkın ekonomik zarar maliyeti.	149
Çizelge 4.41 Taşkından etkilenen nüfus ve can kaybı tahminleri (DSM LP Tip III). .	151

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Havza çıkışı görüntüsü (İnt. Kyn. 2).....	10
Resim 3.2 Tekman ilçe merkezi nehir köprü memba (sol) ve mansap (sağ) kısımları görünümü (15.04.2021).	10



1. GİRİŞ

Medeniyet gelişimi için su kaynakları planlama ve yönetimi çok değerli bir konudur. Su kaynakları insanoğlu için hayati öneme sahiptir; hem hayatını devam ettirebilmesi için kısıtlı su kaynaklarını optimum amaçlar için kullanmalı, hem de can ve mal varlığını su kaynaklı afetlerden korumalıdır. Hızlı nüfus artışına paralel olarak çarpık yapılaşma ve sanayinin kontrolsüz büyümesi, aşırı karbon salınımı sonucu oluşan sera gazı etkisi, su tüketim miktarının nüfus artışına oranla daha fazla artması, su kaynaklarının kirletilmesi, ekstrem hidro-meteorolojik olaylar sonucu sürdürülebilirliği hızla tehlikeye girmekte olan sınırlı su kaynakları, iklim-arazi kullanım değişimi dikkate alınarak niceliksel ve niteliksel olarak koruma-kullanma dengesi içerisinde ele alınmalıdır. Bu bağlamda akım ölçümü olmayan alanlarda tahmin yapılması, su arz-talep modelleme, hazne işletimi, hidroelektrik enerji üretimi, sulama, ekolojik akış, su kalitesi modelleme, iklim ve arazi kullanım değişikliği etkisi, taşkın ve kuraklık modelleme gibi su kaynakları planlama ve yönetimi çalışmaları büyük önem kazanmaktadır.

Hidrolojik tasarım ve tahmin uygulamalarının bir çoğunda arazi kullanımı ve iklim değişiminin su kaynakları üzerindeki nicel ve nitel etkisini belirlemek ve/veya tahmin etmek için hidrolojik modellerin kullanımına gerek vardır (Dingman 2002). Gelişen teknoloji yardımıyla hidroloji çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) tekniklerinin kullanımı oldukça artmıştır. Bilgisayar işlem kapasitesinin artmasıyla da su kaynaklarının nicelik ve nitelik olarak modelleme çalışmaları yaygınlaşmıştır.

Hidrolojik modeller hesaplama yöntemleri, fiziksel süreçleri temsil etme, modelleme ara süreçleri, konumsal dağılım gibi çeşitli yönlerden ele alınarak sınıflandırılmaktadır. Girdi ve çıktı verilerinin konumsal olarak yayılmış olup olmamasına göre tümsel (lumped), yarı dağılımlı (semi distributed) ve dağılımlı (distributed/gridded) olarak sınıflandırılır.

Kar erimesi su arzı için çok önemli olduğundan dağlık havzalarda hidrolojik modelleme su yönetimi çalışmalarında büyük ilgi görmektedir. Dağlık alanlarda sulama,

hidroelektrik enerji üretimi ve ekosistemin sürdürülebilirliği için hayati öneme sahip nehir akımı büyük oranda kar erimesinden etkilenmektedir (Duethmann vd. 2014). Kar hidrolojisinin etkin olduğu dağlık havzalarda kar erime modellemesi oldukça önem arz etmektedir. Dağlık bölgelerde ölçüm yapmak coğrafi, ekonomik ve güvenlik sebeplerinden dolayı oldukça zor olduğundan hidroloji çalışmalarında uydu ürünlerinden yararlanmak büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca dağılımlı modeller için uydu ürünlerinin doğrudan girdi olabilmesi ve/veya model çıktılarının uydu ürünleriyle grid bazlı karşılaştırılması da önemli bir husustur.

İklim değişikliğinden dolayı taşkın ve kuraklık gibi hidro-meteorolojik doğal afetlerin sayısında ve şiddetinde büyük artışlar gözlenmektedir. Çarpık yapılaşma faaliyetlerinin de yaşanan afetlerin boyutunu büyük oranda arttırdığı rahatlıkla söylenebilir. Bu bağlamda taşkın yönetiminin ne kadar önemli olduğu açıktır. Taşkınlar, büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olabilen doğal afetlerdir. Taşkın yönetimi de su kaynakları yönetiminin çok önemli bir unsurudur. Taşkın zararlarının önlenmesinin yanında optimum hazne işletimi ile depolanarak büyük miktarlardaki suyun boşa gitmemesinin sağlanması da çok önemlidir. Bu bağlamda operasyonel akım tahmini ile hidrolik ve taşkın modelleme çalışmaları yapılması gerekmektedir.

İstatistiksel ve/veya stokastik analizlerle akım tahmini yapılabileceği gibi kalibre edilmiş ve model performansı iyi olan deterministik bir hidrolojik model de geçmiş/gelecek akımları tahmin etmek için kullanılabilir. Girdi elemanları olarak tahmin verileri kullanan hidrolojik modeller erken uyarı sistemi olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda Sayısal Hava Tahmin (Numerical Weather Prediction-NWP) verileri hidrolojik modellere girdi yapılabilmektedir. NWP verisi olarak yağış ve sıcaklık tahmin ürünleri erken uyarı için çok değerlidir. Bunun yanında iklim modellerinin çıktıları, iklim değişiminin akım üzerindeki etkilerini incelemek için tahmin çalışmalarında kullanılabilir.

Bu çalışmada US Army Hydrologic Engineering Center tarafından geliştirilen HEC-HMS ve HEC-RAS 2D yazılımları kullanılmış, HEC-HMS günlük zaman ölçeğinde dağılımlı olarak hidrolojik modelleme-tahmin ve HEC-RAS 2D hidrolik modelleme

alışmalarının bir dizi CBS-UA teknikleri kullanılarak yapılması ile entegre taşkın modellemesinin gerçekleştirilmesi çalışmanın kapsamını meydana getirmektedir. Yukarıda belirtilen hususlar açısından bu çalışmanın önemli bir yeri bulunmaktadır. Ayrıca yapılan tespitlere göre ülkemizde dağılımlı hidrolojik modelleme uygulaması içeren az sayıda çalışma bulunması ve NWP verisinin hidrolojik tahmin çalışmalarında pek kullanılmaması çalışmayı daha değerli kılmaktadır. Grid tabanlı toprak nemi hesaplama algoritmasını kullanması bakımından da çalışma öncü bir hidrolojik modelleme uygulamasıdır. Bu bağlamda entegre hidrolojik ve taşkın modellemesini içeren çalışmanın çıktıları su kaynakları planlama ve yönetimi çalışmalarında su otoriteleri ve karar vericiler tarafından kullanılabilir.

CBS ve UA teknikleri kullanılarak, günlük akımların deterministik modellenmesi ve erken uyarı sistemi olarak kullanılabilir olan akım tahmininin NWP verisi ile yapılması, hidrolojik modellemenin ardından hidrolik modelleme yapılarak taşkın risk ve zarar haritalamasının gerçekleştirilmesi bu çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmaktadır. Hidrolojik modelleme aşamasında tümsel ve dağılımlı kavramsal modellerin karşılaştırılması, uydu ürünlerinin yer gözlemleri ile doğrulanması, akım performansının yanında kar ve toprak nemi çıktıları kullanılarak model içsel tutarlılığının uydu ürünleriyle değerlendirilmesi; hidrolik modelleme aşamasında uydu referans taşkın görüntüsü ile model doğrulamasının yapılması da çalışmanın ikincil amaçlarını teşkil etmektedir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 CBS ve UA'nın Hidrolojide Kullanımı

CBS hidrolojik değerlendirme, parametre belirleme, model kurma ve modelleme uygulamalarında kullanılmaktadır (Maidment 1991). CBS kullanımı, hidrolojik model kurma aşamasını büyük oranda kolaylaştırmakta ve model performansını arttırmaktadır (Savabi vd. 1995). Risk ve hassaslık değerlendirmesi amacıyla çeşitli hidrolojik faktörlerin analizinde ve hidrolojik model parametre tahmininde kullanılabilen CBS'nin doğrudan içerisinde de hidrolojik modelleme yapmak mümkündür (Ogden vd. 2001).

UA tekniklerindeki ve konumsal veritabanlarındaki gelişmeler, belirsizliği azaltarak hidro-klimatik değişkenlerin tahmin edilmesini ve hidrolojik rejimin daha iyi tanımlanmasını mümkün kılmaktadır (Ogden vd. 2001, Hoblit vd. 2002 ve Emerson vd. 2005). UA elektromanyetik spektrumlar kullanarak araziye karakterize eder, hidrolojik durum değişkenlerini ölçer. UA verisinin genelde raster formatta olması CBS içine dahil edilmesini kolaylaştırmaktadır. Hidroloji çalışmaları için yağış, arazi örtüsü, bitki örtüsü indisleri, drenaj şekli, yüzey sıcaklığı, toprak nemi ve kar gibi değişkenlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Garbrecht vd. 2001).

2.2 Dağılımlı Hidrolojik Modelleme ve Tahmin

Dağılımlı modelleme gitgide hidrolojide daha yaygın bir yaklaşım haline gelmektedir. Uzayda ve zamanda dağılmış hidrolojik süreçleri modelleme ilkelerini barındıran dağılımlı hidrolojik modelleme, büyük çoğunlukla bir mekansal veri yönetim aracı olan CBS kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Herhangi bir hidrolojik model, doğal bir sürecin bir bileşeninin soyut bir temsidir. Hidrolojinin bilim ve mühendislik yönleri, uzun süredir büyük basitleştirmelerle gölgelenmiştir. Tek bir eğim veya hidrolik pürüzlülük değerinin havza tepkisini kontrol edecek şekilde nehir havzası ölçeğinde parametrelerin tümselleştirilmesiyle temsil edilmesi, bilgisayar kaynakları sınırlı olduğunda ve toprak, topografya, arazi kullanımı ve yağışa ilişkin konumsal veri kümeleri mevcut olmadığında iyi hizmet etmiş olabilir. Ancak dağılımlı akışın

karmaşıklığını temsil etmek için ampirik ilişkilere dayalı basit tümsel modelleri zorlamaya devam edersek, gerçek bir ilerleme kaydedilmeyecektir. Dağılımlı modelleme çalışmaları şüphesiz hidroloji bilimini ilerletecektir. Karmaşık hidrolojik süreçlerin ayrıntılı matematiksel modellemesini destekleyen hesaplama gücü ve mekansal veri yönetim sistemleri açısından on yıl önce düşünülemez olan şey, artık olağan hale gelmiştir. Radar ve uydu gibi yeni sensör sistemlerin, yüksek performanslı hesaplamanın ve veri depolama hacminde büyük artışların ortaya çıkmasıyla birlikte, teknoloji hidrolojik modellemenin tümsel gösterimden dağılımlı temsillere dönüşümünü sağlamıştır. Uydu ve veri asimilasyonundan elde edilen küresel dijital veri kümeleri, ekstrem hava olayları, kuraklık ve taşkın ile ilgili daha iyi tahminler veya tahminler yapmak için kullanılabilecek çarpıcı ayrıntılar sunmaktadır. Mekansal bilginin CBS kullanılarak yönetilmesi coğrafi projeksiyonların özelliklerine gereksinim duyar ki, modelde ihtiyaç duyulan parametreler-girdiler haritalanabilsin ve üst üste bindirilerek analiz edilebilsin. Parametrelerin konumsal karakteri ve yağışı kontrol eden hidrolojik süreçler göz önüne alındığında, CBS'nin hidrolojik çalışmaların ayrılmaz bir parçası haline gelmesi şaşırtıcı değildir. Dünya çapındaki birçok coğrafi veri, CBS formatında hazır hale gelmiştir. Bu verileri hidroloji için kullanabilen bir modelleme yaklaşımının birçok imkanlar sunacağı açıktır. Son zamanlardaki yazılım geliştirme uygulamaları, dağılımlı hidrolojik analiz-tahminin nasıl gerçekleştirileceğine dair daha derin bir anlayış yaratmıştır (Vieux 2004).

Havza karakteristiklerinin konumsal dağılımını tanımlamak için büyük veri setleri gerektiğinden 1970 ve 1980'lerde tam manasıyla uygulanamayan dağılımlı havza modellerine, elektronik formatta konumsal verinin ve CBS yazılımlarının artmasıyla yeniden ilgi duyulmaya başlanmıştır (Garbrecht vd. 2001). Girdi ve çıktı verilerinin konumsal dağılımını temsil etmesi, uzaktan algılama ürünlerinin doğrudan modele dahil edilme imkanı dağılımlı modellerin tümsel modellere kıyasla avantajlarını oluştururken (Jajarmizadeh vd. 2012); daha fazla veri türüne ihtiyaç duyması ve model kurma-bilgisayar işlem süresi dezavantajlarını oluşturmaktadır (Ghaffari 2011).

Uluslararası çalışmalarda son zamanlarda birçok konumsal dağılımlı hidrolojik model uygulanmaktadır: SWATgrid modeli (Pignotti vd. 2017), MIKE (Gupta vd. 2008, Vo

vd. 2016), VIC (Wang vd. 2017) ve HBV (Hailegeorgis vd. 2015, Worqlul vd. 2018). Bu çalışmada kar birikim-erime hesaplama algoritması içeren, HEC-HMS SCS CN (Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System Soil Conservation Service Curve Number) (Geetha vd. 2007, Geetha vd. 2008, Grimaldi vd. 2012, Bora ve Onuşluel Gül 2019, Tassew vd. 2019) ile HEC-HMS SMA (Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System Soil Moisture Accounting) sürekli-kavramsal grid yapılı hidrolojik modelleri uygulanacaktır. Dünyanın çeşitli yerlerinde akımı simule etmek için birçok araştırmacı (Garcia vd. 2008, Rahimi vd. 2010, Roy vd. 2013, Koch ve Bene 2013, Singh ve Jain 2015, Gebre 2015) tarafından uygulanan toprak nemi hesaplama algoritması içeren SMA tümsel modeli; MIKE SHE (Meselhe vd. 2009), LBRM (Gyawali ve Watkins 2013), yapay sinir ağları (Rezaeianzadeh vd. 2013) ve HBV (Sorman vd. 2020) gibi çeşitli modellerle de karşılaştırılmış ve iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. HEC-HMS grid yapılı modelleriyle ilgili son zamanlarda yapılan çalışmalar da artmaktadır. Paudel vd. 2009 yılında yaptıkları çalışmada SCS CN yöntemini kullanan tümsel ve dağılımlı HEC-HMS hidrolojik modelleri iki Amerikan nehir havzasında karşılaştırmış ve modellerin benzer sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Zhang vd. 2013 yılında güneybatı Çin'de dağlık bir havzada yarı ve tam dağılımlı hidrolojik modellerin performansını araştırmış ve tam dağılımlı modelin konumsal değişkenliği daha iyi yansıttığından model performansının daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Amarnath vd. 2016 yılında uydu bazlı yağış tahminlerini kullanan dağılımlı HEC-HMS modeli yardımıyla Sudan'da bir havza için taşkın tahmin modeli geliştirmiş ve model sonuçlarının gözlenen taşkın değerleriyle iyi uyum gösterdiğini belirterek taşkın tahmininin geleneksel yöntemlere kıyasla 12 saat erken yapılabildiğine işaret etmişlerdir.

Dünyanın birçok ülkesinde, kalibre edilmiş hidrolojik modeller operasyonel akış tahmininde kullanılmıştır. Taşkın uyarı amaçları için gerekli olan tahminler, hazne işletimi ve hidroelektrik enerji üretimi çalışmalarında da kullanılmaktadır. Fakat atmosferik ve hidrolojik modellerin entegrasyonu nispeten yeni bir hidrolojik araştırma alanıdır (Sorman vd. 2009). Bu alanda yapılmış bazı öncü çalışmalar şunlardır: Anderson vd. (2002), Jasper vd. (2002), Westrick vd. (2002), Jónsdóttir ve Þórarinnsson (2004), Kunstmann ve Stadler (2005), Yoshitani vd. (2009), Zhao vd. (2009), Yucel vd.

(2015).

2.3 Hidrolik ve Taşkın Modelleme

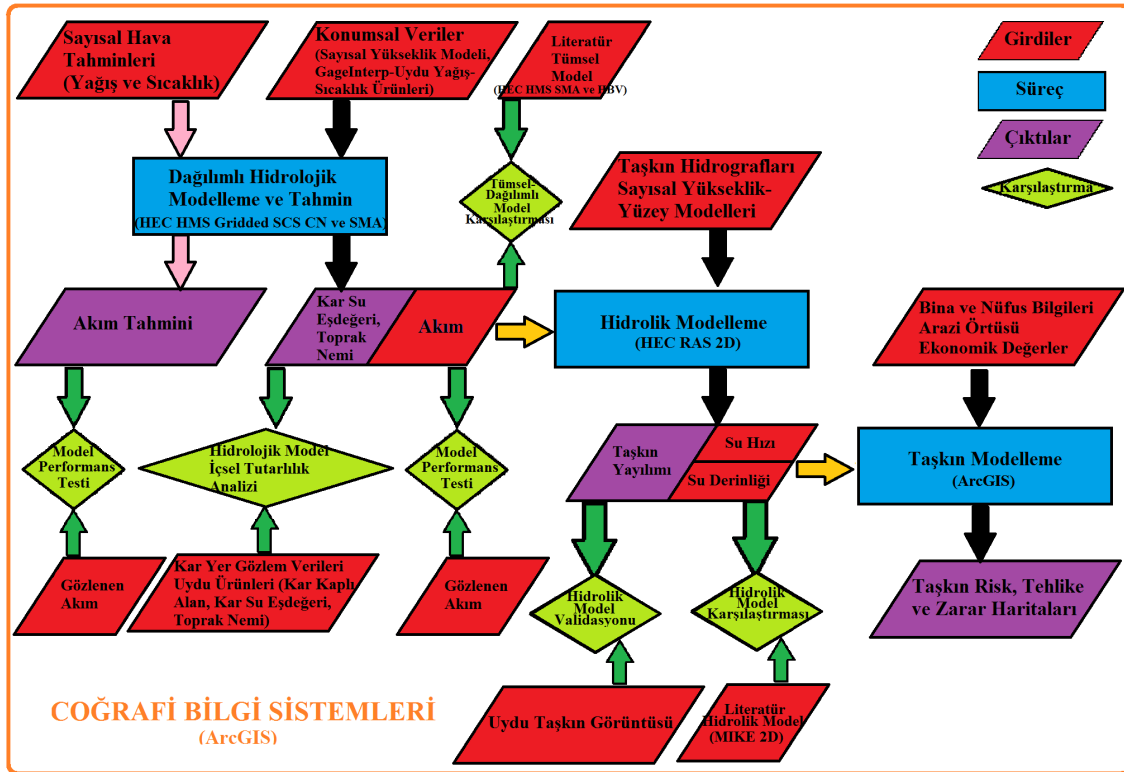
Literatürde HEC-RAS kullanılarak yapılmış birçok hidrolik modelleme çalışması bulunmaktadır (Horritt ve Bates 2002, Saksena ve Merwade 2015) ve hidrolik modelleme sonucu elde edilen taşkın derinlik-hız haritalarından CBS teknikleri kullanılarak taşkın risk ve zarar modellemesi yapılması da son zamanlarda ilgi duyulan konulardandır (Moel vd. 2009, Keskin 2012).

2.4 Hidrolojik ve Hidrolik Model Entegrasyonu

Hong vd. 2009 yılında HEC-HMS ve HEC-RAS modellemesiyle olası maksimum yağışla baraj göçme durumunu simüle etmişlerdir. Patel 2009 yılında yaptığı doktora tezinde Amerika Birleşik Devletleri'nde bir nehir havzasında CBS temelinde HEC-HMS ve HEC-RAS modellerini kullanarak tarihi bir taşkını modellemiş ve modelin gözlenen taşkın alanına göre kabul edilebilir doğrulukta olduğunu açıklamıştır. Panagoulia vd. 2013 yılında yaptıkları çalışmada Avrupa Birliği Taşkın Direktifi Çerçevesinde Yunanistan'da taşkına yatkın birkaç havzada feyezan yayılımının benzerlik ve farklılıklarını ortaya koymuşlardır. HEC-HMS ile hidrolojik süreci simüle edip taşkın tasarım hidrograflarını çeşitli tekerrür aralıkları için belirlemişler ve HEC-RAS ile açık kanal akışını modelleyerek taşkın yayılım haritalarını elde etmişlerdir. Sensoy vd. 2016 yılında Türkiye'de bir baraj havzasında SCADA ile gerçek zamanlı gözlem, HEC-HMS ile hidrolojik modelleme, HEC ResSim ile hazne işletimi ve HEC-RAS ile iki boyutlu kararsız akış analizi ve taşkın yayılma haritalaması içeren bir karar destek sistemi ile taşkın yönetimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre karar destek sisteminin akım tahmini, hazne işletimi ve erken uyarı sistemi açısından kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışma kapsamında Yukarı Aras havzasında çok kriterli değerlendirme temelinde hidrolojik ve hidrolik model entegrasyonu ile taşkın karar destek sistemi oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Ana hatlarıyla hidrolojik, hidrolik ve taşkın modelleme kısımlarından oluşan çalışma kapsamında birçok karşılaştırma gerçekleştirilerek çalışmanın zengin bir çalışma olması sağlanmıştır.



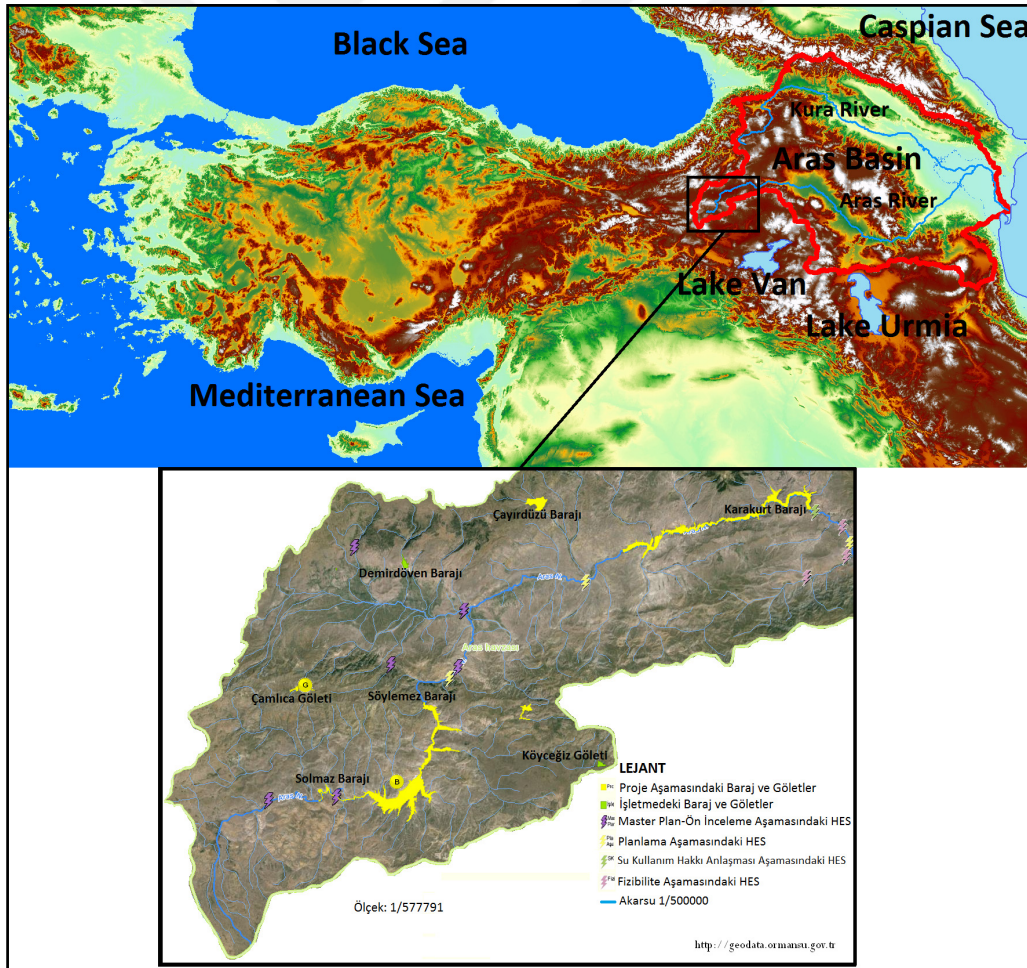
Şekil 3.1 Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yardımıyla hidrolojik-hidrolik modelleme entegrasyonu taşkın karar destek sistemi akış şeması.

3.1 Uygulama Havzası

Çalışma alanı olarak su potansiyeli yüksek, mansabında önemli depolama-hidroelektrik enerji üretim yapıları ve taşkın riski altında yerleşim yeri bulunan, UA'nın etkin kullanımına imkan veren kar hidrolojisi etkisinde dağlık bir nehir havzası (Yukarı Aras havzası) seçilmiştir. Yukarı Aras havzası sınıraşan Aras nehrinin memba kısımlarını kapsamaktadır. Uygulama havzası Aras Nehri üzerindeki ortalama akım değeri 24.8

m³/s olan D24A096 nolu Kayabaşı akım gözlem istasyonunun (39:50:16K-41:50:19D) yağış alanıdır (Şekil 3.2). Şekil 3.2 düzenlenirken Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın GeoData uygulamasından yararlanılmıştır. Havzanın yükselti aralığı 3187 m ile 1659 m (havza çıkışı, Resim 3.1, Haziran 2015) aralığında değişmekte olup oldukça dağlık bir havzadır. Bu nedenle kar hidrolojisinin etkin olduğu havzanın alanı yaklaşık 2772 km² olup ortalama yüksekliği 2218 m'dir. Havzanın ana akarsu kolu eğimi % 1; havzanın ortalama eğimi ise % 14.4'dür.

Havzada yapılması planlanan hidroelektrik santrallerin yanı sıra Söylemez ve Solmaz Barajları'nın yapılacak olması sebebiyle, havzada hidrolojik modelleme çalışmaları yapılması su kaynaklarının yönetimi (hazne işletimi, enerji üretimi, sulama, taşkın tahmini vb.) açısından oldukça önemlidir.



Şekil 3.2 Kayabaşı Havzası coğrafi konumu.



Resim 3.1 Havza çıkışı görüntüsü (İnt. Kyn. 2).

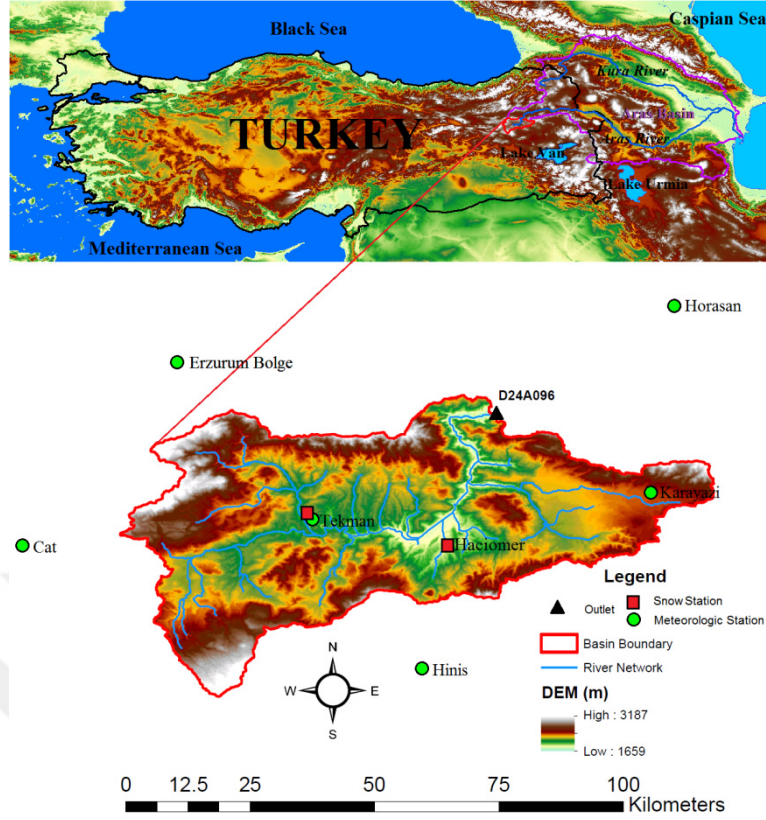
Hidrolojik modellemenin ardından, Kayabaşı havzasında bulunan önemli bir yerleşim yeri olan Tekman ilçe merkezi (Resim 3.2) için hidrolik-taşkın modellemesi gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.2 Tekman ilçe merkezi nehir köprü memba (sol) ve mansap (sağ) kısımları görünümü (15.04.2021).

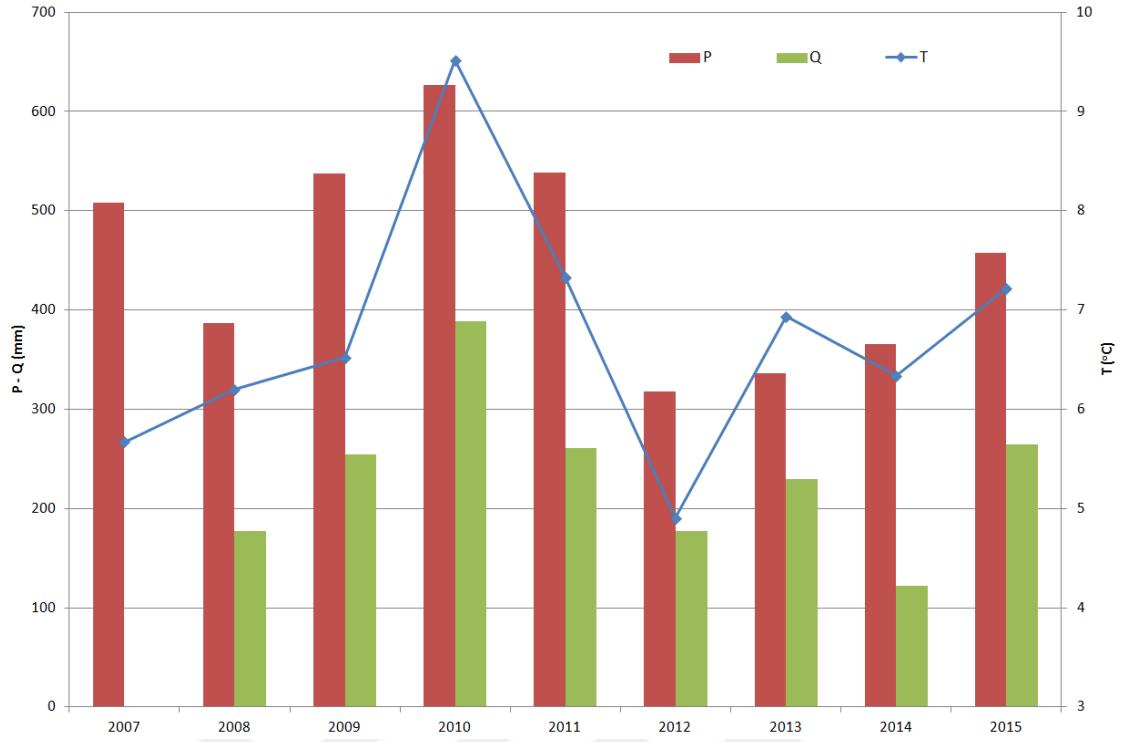
3.2 Kullanılan Veriler

Hidrolojik modelleme için havzanın içinde ve yakınında bulunan 6 meteoroloji gözlem istasyonu ve havza çıkışında bulunan akım gözlem istasyonu kullanılmıştır (Şekil 3.3).

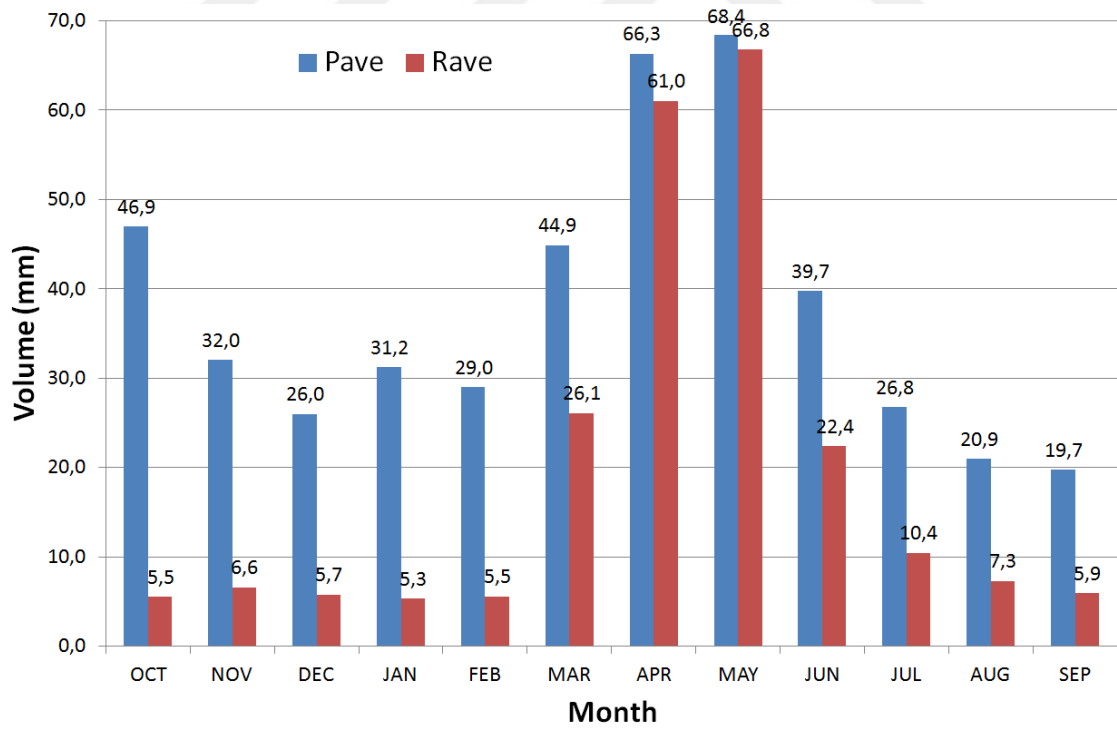


Şekil 3.3 Kayabaşı Havzası coğrafi konumu ve hidrometeoroloji gözlem istasyonları yerleri.

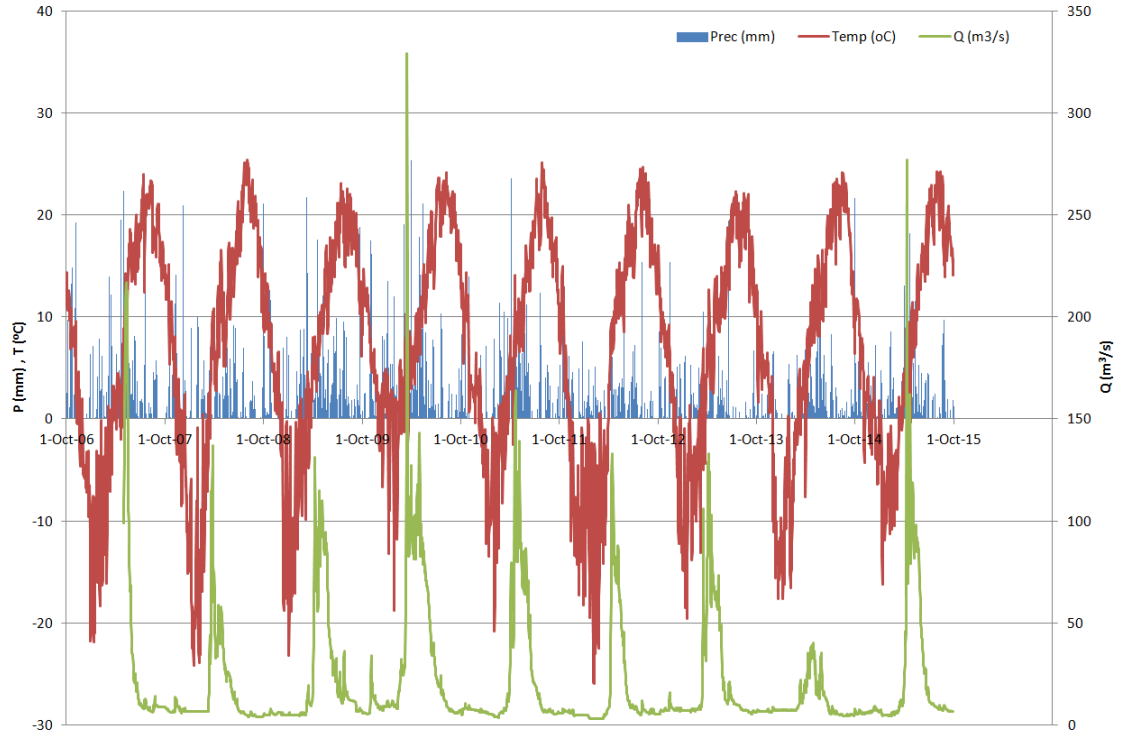
Hidrolojik modelin ana unsurları olan yağış, sıcaklık ve akım gözlem istasyonları verileri çeşitli zaman ölçeklerinde ele alınarak, havza hidrolojik döngü açısından anlaşılmaya çalışılmıştır (Şekil 3.4, 3.5, 3.6, EK 1 ve EK 2)



Şekil 3.4 Kayabaşı Havzası yıllık toplam yağış (P)-akım (Q) ve ortalama sıcaklık (T) değerleri.



Şekil 3.5 Kayabaşı Havzası aylık yağış (P)-akış (R) değerleri.



Şekil 3.6 Kayabaşı Havzası günlük yağış, sıcaklık ve akım değerleri.

Hidrolojik modelin ana girdileri olan yağış ve sıcaklık verilerinin yanında aylık potansiyel evapotranspirasyon (ET) verisi de kullanılmıştır. ET zaman serisi, International Water Management Institute (IWMI 2019) küresel iklim modeli, CGIAR-CSI Konumsal Bilgi Konsorsiyumu (EK 3) ve gözlenmiş buharlaşma verilerinden (Meteoroloji Genel Müdürlüğü-MGM) yararlanılarak oluşturulmuştur (Çizelge 3.1).

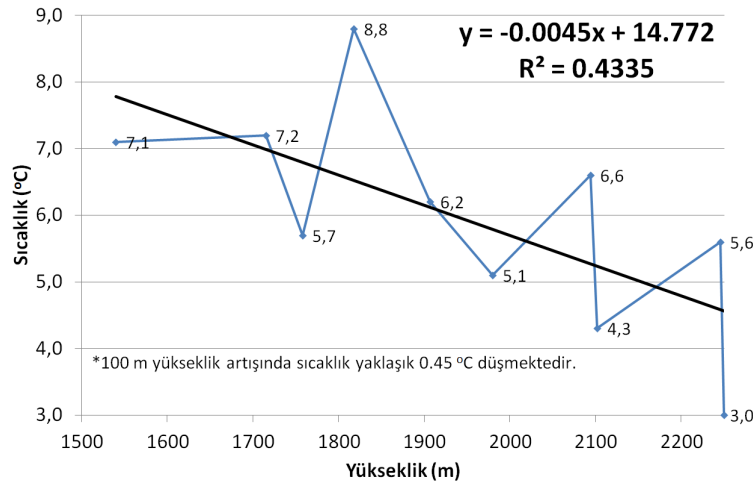
Çizelge 3.1 Aylık ET değerleri.

Ay	ET (mm)-	ET (mm)-	MGM			
	Penman	Hargreaves	Tava Buharlaşması			Buharlaşma (mm)
	Monteith (IWMI	(CGIAR-CSI	(mm)			(0.7xOrt. Tava
	2019)	2019)	Min.	Ort.	Mak.	Buharlaşması)
Ekim	56.4	55.5	-	-	-	-
Kasım	26.4	25.0	-	-	-	-
Aralık	15.8	13.0	-	-	-	-
Ocak	14.9	11.0	-	-	-	-
Şubat	19.0	15.5	-	-	-	-
Mart	36.6	32.5	-	-	-	-
Nisan	66.6	63.5	-	-	-	-
Mayıs	101.4	100.5	110.0	130.0	180.0	91.0
Haziran	130.5	129.0	150.0	180.0	260.0	126.0
Temmuz	168.0	156.5	195.0	240.0	315.0	168.0
Ağustos	153.5	144.0	170.0	250.0	340.0	175.0
Eylül	107.7	101.5	130.0	180.0	220.0	126.0

Ayrıca dağlık havzalarda kar erimesinin iyi simüle edilebilmesi için oldukça önemli olan düşey sıcaklık gradyanı (lapse rate) hesaplanmıştır (Çizelge 3.2 ve Şekil 3.7).

Çizelge 3.2 Düşey sıcaklık gradyanı hesabı için sıcaklık gözlem istasyon bilgileri.

Sıcaklık Gözlem İstasyonları (MGM)										
	Horasan (17690)	Hınıs (17740)	Erzurum (17096)	Eleşkirt (18194)	Çat (18203)	Tekman (18370)	Ilıca (17687)	Sarıkamış (17692)	Karayazı (18204)	Çat (AWOS)
Rakım (m)	1540	1715	1758	1818	1907	1980	2094	2102	2246	2250
Ort. Sıcaklık (°C)	7.1	7.2	5.7	8.8	6.2	5.1	6.6	4.3	5.6	3.0



Şekil 3.7 Kayabaşı Havzası düşey sıcaklık gradyanı grafiği.

Tez çalışmasında yağış, sıcaklık, evapotranspirasyon, akım, kar kaplı alan (KKA), kar su eşdeğeri (KSE), toprak nemi, NWP verisi olarak WRF, Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM), arazi örtüsü katmanları verileri kullanılmıştır. Dağılımlı model için grid yapılı yağış verisi uydu bazlı TRMM, GPM IMERG ve PERSIANN ürünleri, konumsal enterpolasyon yöntemi ile MGM'nden temin edilen verilerden elde edilmiştir. Sıcaklık grid veri seti de MERRA-2 uydu ürününden ve konumsal enterpolasyon yöntemi ile MGM'nden temin edilen verilerden derlenmiştir. Akım verisi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden (DSİ) temin edilmiş, KKA verisi MODIS, MSG-SEVIRI ve IMS uydu ürünlerinden; KSE verisi EUMETSAT H-SAF H13 ve AMSR-E uydu ürünlerinden elde edilmiştir. Toprak nemi verisi olarak EUMETSAT H-SAF H14, AMSR-E ve AMSR2 uydu ürünleri kullanılmıştır. Hidrolojik modelleme aşamasında DEM verisi olarak HydroSHEDS (Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales) verisiyle iyileştirilmiş SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) veri tabanından temin edilen konumsal çözünürlüğü (3 ark-saniye) yaklaşık olarak 90 m olan yükseklik verisi kullanılmıştır. Arazi örtüsü katmanı Avrupa Çevre Ajansı (EEA-European Environment Agency) CORINE (Coordination of Information on the Environment) veri tabanından alınıp uygun şekilde sınıflandırılmıştır.

3.3 Kullanılan Yazılımlar

Tez kapsamında kullanılan yazılımlar aşağıda sunulmuştur:

- ArcGIS: ESRI (Environmental Systems Research Institute, California) tarafından geliştirilen CBS yazılımı.
- HEC GeoHMS: USACE (US Army Corps of Engineers) Hidroloji Mühendisliği Merkezi (Hydrologic Engineering Center-HEC) tarafından geliştirilen HEC-HMS modelinin CBS altlığının oluşturulmasını sağlayan ArcGIS içinde bir ara modüldür.
- HEC-HMS: USACE HEC tarafından geliştirilen Hidrolojik Modelleme Sistemidir (Hydrologic Modeling System-HMS).
- HEC DSS: USACE HEC tarafından tasarlanan veri tabanı sistemi (Data Storage System-DSS).
- HEC DSSVue: HEC DSS veri tabanındaki verilerin düzenlenmesini, işlenmesini, grafik ve tablo olarak gösterilmesini sağlayan USACE HEC tarafından oluşturulan yardımcı yazılım.
- GageInterp: Noktasal ölçülen hidro-meteorolojik değişkenleri çeşitli yöntemlerle enterpole ederek grid yüzey oluşturan HEC DSS ile uyumlu çalışan komut tabanlı yazılım.
- asc2dssGrid: CBS ortamında işlenen ASCII uzantılı UA ürünlerini (grid dosyalarını) HEC-HMS modellemesine dahil edebilmek için HEC DSS formatına dönüştüren yardımcı yazılım.
- dss2ascGrid: DSS uzantılı grid dosyalarını CBS platformunda görüntülemek ve/veya işlemek için ASCII formatına dönüştüren yardımcı yazılım.
- HEC GridUtil: HEC DSS veri tabanındaki grid yapılı verilerin görselleştirilmesi, işlenmesi ve analiz edilmesine olanak veren USACE HEC tarafından tasarlanan yardımcı yazılım.
- Minitab: İstatistiksel paket program.
- SPSS: IBM (International Business Machines) tarafından tasarlanan istatistiksel analiz programıdır.
- HEC GeoRAS: USACE HEC tarafından geliştirilen HEC-RAS modeline altlık verilerin hazırlanmasına ve HEC-RAS simülasyon sonuçlarının işlenmesine

imkan veren ArcGIS içinde bir ara modüldür.

- HEC-RAS: USACE HEC tarafından geliştirilen Nehir Analiz Sistemidir (River Analysis System-RAS)

3.4 CBS ve UA

Verilerin toplanması, derlenmesi, depolanması, konumsal sorgulaması, çözümlemesi ve sunulması gibi süreçler için CBS, birçok alanda olduğu gibi su kaynakları alanında da çok önemli bir karar destek sistemidir. CBS ortamında birçok havza karakteristiği DEM üzerinden çeşitli yüzey ve hidroloji analizleri ile türetilerek elde edilmektedir. Hidrolojik modele girdi sağlamanın yanında CBS altlığının oluşturulması çalışma alanının daha iyi tanınmasını sağlamaktadır. Havza karakteristiklerinin belirlenmesi ile havza daha iyi tanınmış olmakla beraber, havzanın çeşitli özellikleri arasındaki ilişki ve etkileşimler daha rahat ortaya konulabilir. Çalışma alanının hidro-meteorolojik, topoğrafik, jeomorfolojik ve beşeri coğrafya karakteristiklerinin entegrasyonu için CBS platformu büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

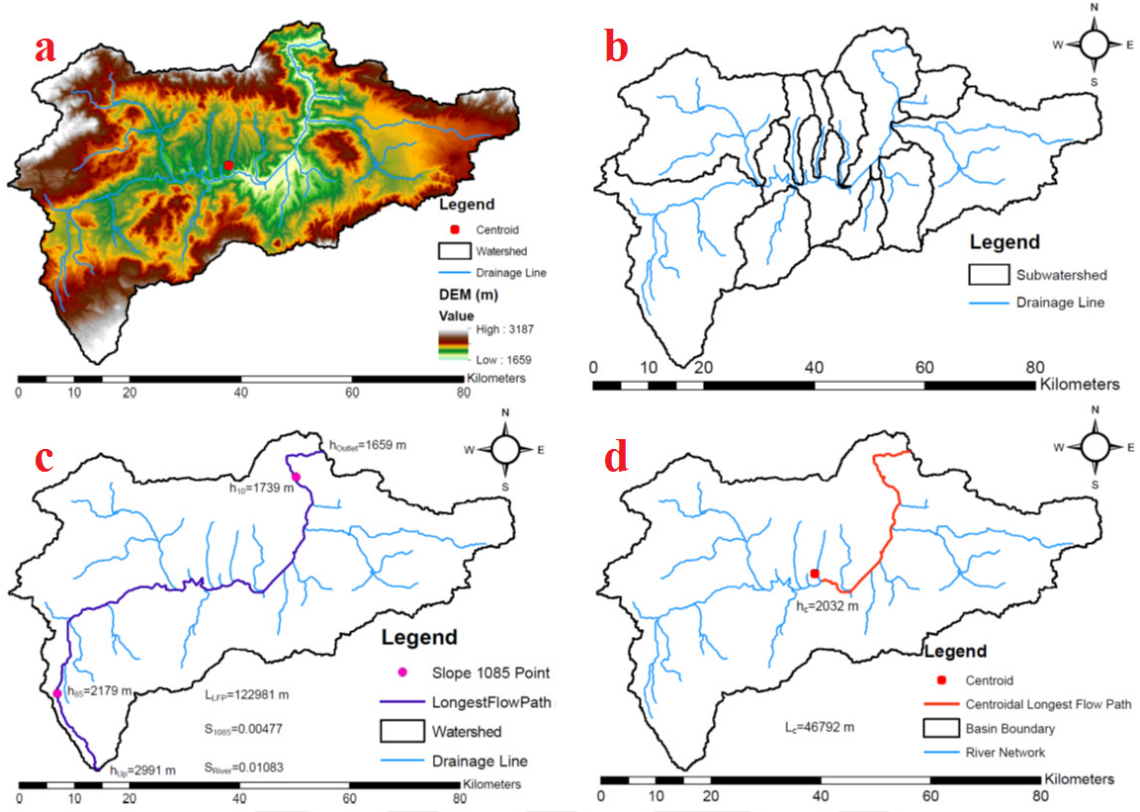
Su kaynakları planlama ve yönetimi çalışmalarında zaman, iş gücü ve maliyet açısından avantaj sağlayan CBS ile veri elde etmek oldukça kullanışlı olmaktadır. Elde edilen veriler, arazi ölçümleriyle karşılaştırıldığında doğruluğu yüksek olmaktadır. Bunun yanında çoğunlukla noktasal olan arazi ölçümlerine karşın CBS ile alansal dağılımlı verilerin elde edilmesi ve analiz edilebilmesi önemlidir. Ayrıca birçok kurumun CBS ortamında sunulan havza karakteristiklerini içeren global veri tabanlarının kullanılması ve modele dahil edilmesi aşamasında da CBS çok önemli bir yere sahiptir. CBS ile havza karakteristiklerinin konumsal bir veritabanı yapısı içerisinde derlenmesi de sağlanmaktadır.

CBS yazılımı olarak ESRI (Environmental Systems Research Institute, California) tarafından geliştirilen ArcGIS 10.3 kullanılmıştır. ArcGIS, içerisinde bütünleşik olarak bulunan ara yüzleri ile haritalama, coğrafi analizler, veri düzenleme, veri yönetimi ve görüntüleme işlemlerini gerçekleştirebilen bir yazılımdır.

Hidrolojik modele girdi sağlamanın yanında havzanın CBS altlığının oluşturulması, çalışma alanının daha iyi tanınmasını sağlamaktadır. Bu açıdan Kayabaşı Havzası'nın havza karakteristikleri CBS ile incelenmiştir. Sayısal yükseklik modeli olarak SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) veri tabanından temin edilen mekansal çözünürlüğü 90 m olan yükseklik verisi kullanılmıştır. Konumsal hidroloji analizleri ile havza çıkış noktası D24A096 nolu Kayabaşı akım gözlem istasyonu olacak şekilde havza sınırları belirlenmiş ve nehir ağı elde edilmiş, alt havzalar, ana akarsu kolu uzunluğu ve eğimi, havza ağırlık merkezi tespit edilmiştir (Şekil 3.8). Daha sonra raster yüzey analizleri ile çalışma alanının eğim ve bakı durumu incelenmiş, arazi örtüsü katmanı Avrupa Çevre Ajansı (EEA) CORINE veri tabanından alınmış ve uygun şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 3.9). Çalışmada ayrıca yükselti sınıflandırması ve hipsometrik eğri (Şekil 3.10) belirlenerek havzanın çeşitli fiziki, beşeri ve morfometrik özellikleri CBS ile ele alınmıştır.

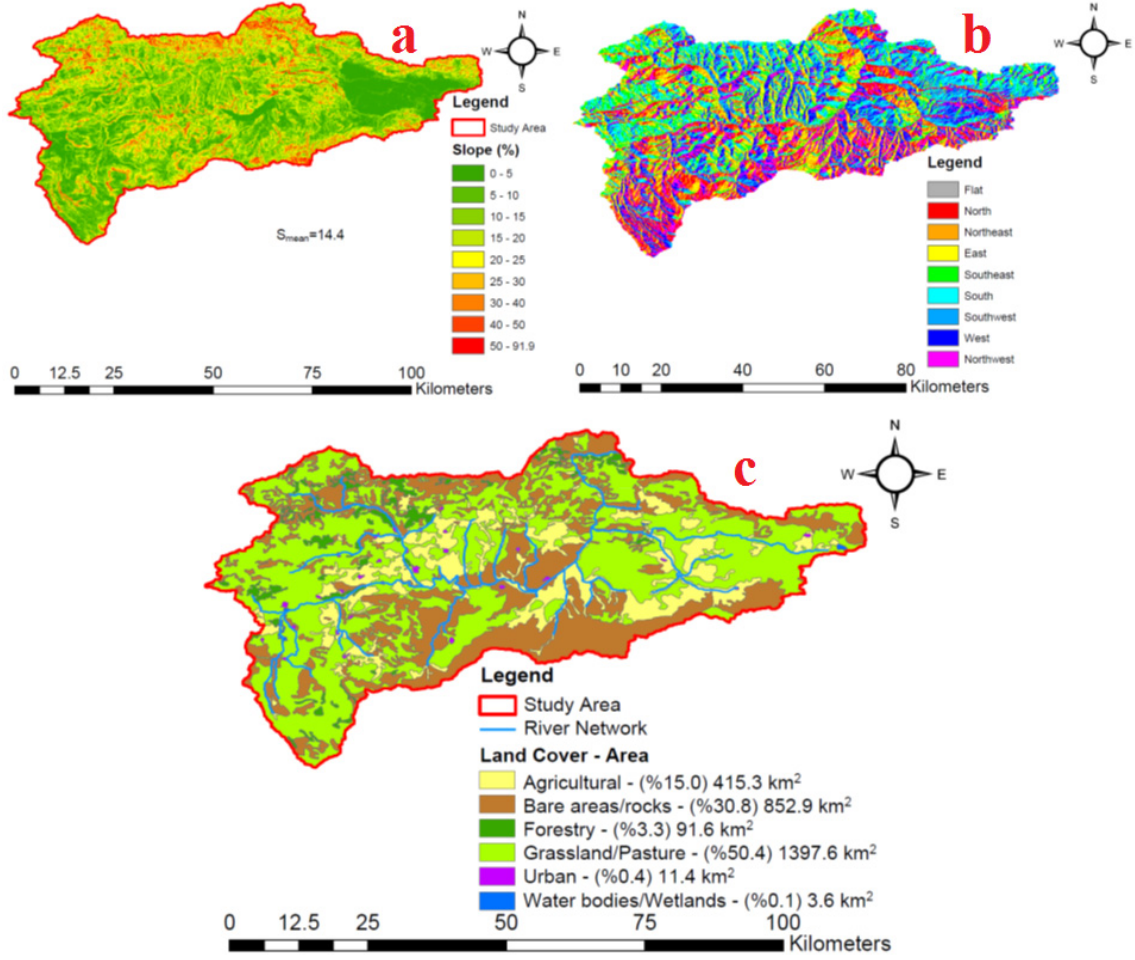
Sayısal yükseklik modeline ArcGIS ortamında aşağıdaki komutlar uygulanarak drenaj ağı ve havza sınırı oluşturulmuştur. Komutun uygulandığı katman parantez içinde belirtilmiştir.

- Fill (Raw Raster Elevation-DEM)→Flow Direction (Fill) → Flow Accumulation (Flow Direction)
- Raster Calculator (streamnetwork=Con("Flow Accumulation">10000,1)) → Output raster: River10000
- "Havza çıkış noktasının (AGİ, Outlet) Flow Accumulation akarsu ağı üzerinde New Shapefile vektör dosyası olarak işaretlenmesi" → Snap Pour Point (Outlet) → Watershed (Snap Pour Point) → Raster to Polygon (Watershed) → "Havza sınırı şekil dosyasının oluşturulması"
- Stream to Feature (River10000) → "Akarsu ağı şekil dosyasının oluşturulması"
- Clip komutuyla bütün katmanlar havza sınırı baz alınarak kırılabilir.



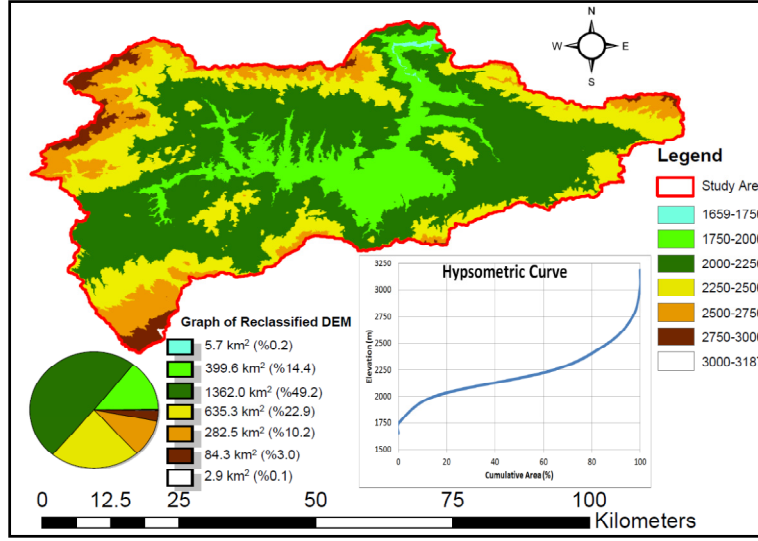
Şekil 3.8 Kayabaşı Havzası a) akarsu ağı, b) alt havzaları, c) en uzun akış yolu, d) ağırlık merkezi.

Alt havzaların incelenmesi havzanın drenaj yapısının anlaşılması açısından önemlidir. Alt havzalar bazı özel araç çubukları ile otomatik olarak belirlenmesinin yanında manuel olarak da belirlenebilmektedir. Alt havza çıkış noktaları oluşturulup, konumsal hidroloji "Snap Pour Point" ve "Watershed" komutları yardımıyla alt havzalar belirlenebilir. Havzanın en uzun akış yolu uzunluğu ve eğimi çeşitli akış hesabı formüllerinde (geçiş süresi, pik debi vs.) kullanıldığından CBS ile elde edilmeleri büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Aynı şekilde havza ağırlık merkezinden havza çıkışına kadar olan ana akarsu kolu uzunluğu da taşkın debisi hesabında (Synder sentetik yöntemi) kullanılmaktadır.



Şekil 3.9 Kayabaşı Havzası a) eğim, b) bakı, c) arazi örtüsü haritası.

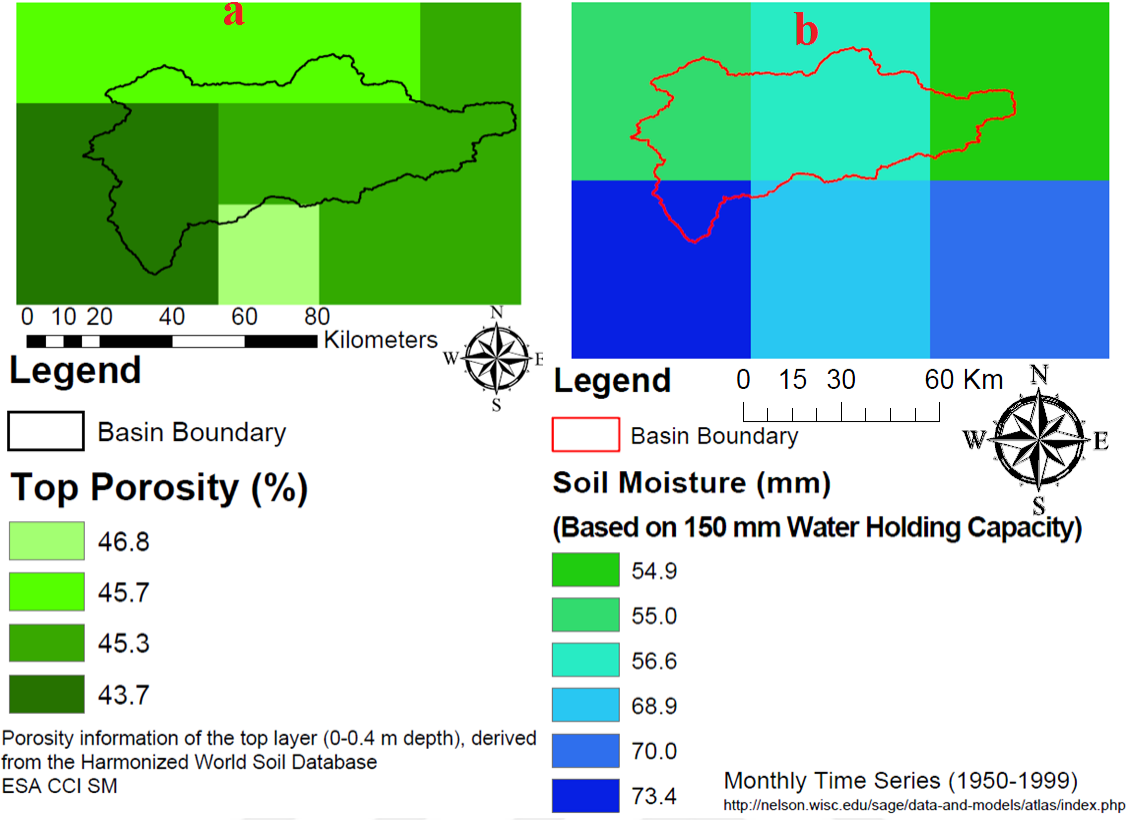
Havzanın eğim durumu incelendiğinde havzanın doğu kısmında geniş bir plato olduğu görülmektedir. Eğim genellikle havzanın kuzey ve güney kısımlarındaki yamaçlarda yüksek değerlere sahiptir. Havza alanının yaklaşık %35'ini kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı bakısı; yaklaşık %38'ini ise güney, güneydoğu ve güneybatı bakısı oluşturmaktadır. Havzanın bakı yapısının bilinmesi güneşlenme süresi, solar radyasyon ve kar erimesi gibi durumlar için önem arz etmektedir. Havzanın hakim arazi örtüsü otlak-mera ve çıplak arazilerdir (%81.2). Havzanın %15'inde tarımsal faaliyetler sürdürülmekte ve havzada birkaç küçük yerleşim (%0.4) bulunmaktadır.



Şekil 3.10 Kayabaşı Havzası yükselti sınıflandırması ve hipsometrik eğrisi.

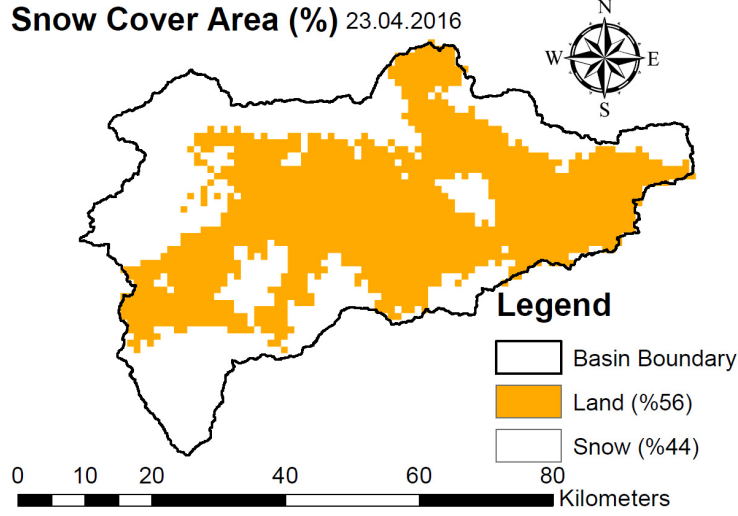
Sayısal yükseklik modeli istenilen yükseklik aralıklarında sınıflandırılabilir ve yükseklik aralıklarının alanlarının kümülatif olarak toplanmasıyla hipsometrik eğri elde edilebilir. Havzanın yükseltisinin düşey değişiminin irdelenmesi açısından hipsometrik eğri incelenmektedir. Yükseklikle değişen değişkenlerin (sıcaklık vb.) havza bazında incelenmesinde hipsometrik eğriden faydalanılmaktadır.

Belirlenmesi için arazi çalışması gerektiren birçok havza karakteristiği CBS ortamında kolayca ve yaklaşık gerçek değerinde elde edilebilmektedir. CBS ile gerçekleştirilebilen birçok konumsal sorgulama ve analizle çalışma alanı hakkında konumsal bilgiye sahip olunabilmektedir. Bu bağlamda CBS kullanıcılara çok büyük kolaylıklar sunmaktadır. CBS ile hidrolojik modele girilmesi gereken verilerin bir kısmının doğrudan/dolaylı olarak elde edilmesinin yanında CBS, havza karakteristiklerinin analiz edilmesinde çok faydalı bir araç olmaktadır. Ayrıca birçok kurumun CBS ortamında sunulan havza karakteristiklerini içeren global veri tabanlarının (Şekil 3.11) kullanılması açısından da CBS çok önemli bir yere sahiptir.



Şekil 3.11 Kayabaşı Havzası a) zemin porozite, b) ortalama toprak nemi haritası.

Uzay teknolojisinin gelişmesiyle hidroloji alanında yaygın bir şekilde kullanılan uydu ürünleri hidrolojik modeller -özellikle dağılımlı modeller- için girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında model değerlendirmesinde de NASA (ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) ve ESA (Avrupa Uzay Ajansı) gibi çeşitli kurumların servis ettiği UA ile elde edilen KKA (Şekil 3.12), KSE, toprak nemi ve sıcaklığı gibi veriler kullanılmaktadır. UA tekniklerinin kullanımı operasyonel hidrolojik tahmin ve erken uyarı sistemleri için de çok önemlidir.



Şekil 3.12 Kayabaşı Havzası IMS uydu KKA görüntüsü (23.04.2016).

3.5 Dağılımlı Hidrolojik Modelleme ve Tahmin

Model hazırlık aşamasında CBS altlığının oluşturulmasının yanında yağış, sıcaklık ve akım verilerinin derlenmesi, işlenmesi, düzenlenmesi, verilerin karakteristiğinin incelenmesi ve aralarındaki ilişkilerin irdelenmesi, eksik verilerin tamamlanması, istatistiksel analizi gibi süreçleri içeren veri analizi aşaması bulunmaktadır. Modele girilecek verinin çok iyi işlenmesi ve analiz edilmesiyle verinin daha iyi anlaşılması sağlanmaktadır. CBS ile havza karakteristikleri irdelenmiş ve havza daha yakından tanınmıştır. ArcGIS ve HMS arasında bir geçiş modülü olan HEC GeoHMS kullanılarak HEC-HMS model altlığı oluşturulmuş, yağış-sıcaklık noktasal verilerine GageInterp yazılımı IDW (uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma) ile konumsal enterpolasyon yapılmış, hazırlanan grid tabanlı veriler HEC DSS aracılığıyla HEC-HMS modeline aktarılmış, uydu tabanlı yağış verileri CBS (ArcGIS) ortamında işlenerek HEC DSS vasıtasıyla modellemeye dahil edilmiş ve grid yapılı HEC-HMS hidrolojik modelleri çalıştırılmıştır.

HEC DSS ile depolanan grid yapılı veriler HEC DSSVue, HEC MetVue ve HEC GridUtil programlarında görüntülenebilir, işlenebilir ve analiz edilebilir; ayrıca DSS uzantılı grid veriler ASCII uzantısına DOS komut istemi üzerinde çalışan DSS2ASCGrid yardımcı yazılımı ile dönüştürülebilir ve CBS ortamında açılabilir. ASCII uzantılı dosyalar da aynı şekilde ASC2DSSGrid DOS tabanlı veri uzantısı

dönüştürme yardımcı yazılımı ile DSS kayıt dosyasına dönüştürülebilir. ASCII uzantılı veriler DSS ortamına dönüştürülmeden önce arzu edilirse CBS platformunda işlenebilir, düzeltme faktörü uygulanabilir, başka verilerle kombin edilebilir, ölçek küçültme işlemi (downscaling) yapılabilir. CBS ortamında çok sayıda grid veri setine uygulanan işlemler manuel olarak gerçekleştirilmeyip, ArcGIS Model Builder alt modülünde döngü yapısı içerisinde otomatik olarak yaptırılabilir.

Model parametreleri; arazi ve laboratuvar çalışmalarından, hidrolojik benzerlik gösteren havzalardan, CBS-UA analizlerinden ve gözlenen-modellenen akımların karşılaştırılması yoluyla elde edilebilir. Çalışmada kullanılan HEC-HMS modelinde zemin, yer altı suyu ve sıcaklık indeks (kar erimesi için) parametreleri mevcuttur. Parametreler girildikten sonra model başlangıç koşulları (zemin doygunluğu, yer altı suyu depolaması, yüzey birikimi, vejetasyon su tutması) belirlenmektedir.

Model parametreleri ve başlangıç koşulları girildikten sonra modelleme periyodu kalibrasyon ve validasyon (Kal-Val) olmak üzere ikiye ayrılır. Kalibrasyon aşamasında model parametreleri gözlenen-modellenen akımın karşılaştırılması ile kalibre edilir, validasyon aşamasında ise kalibre edilen modelin doğrulaması yapılır. Başlangıç koşullarının dengeye gelmesi için kalibrasyon aşamasından önce model belirli bir süre için çalıştırılarak ısıtılabilir (Warm up). Kalibre edilecek parametreler seçilirken hassaslık analizi yapılabilir. Hassaslık analizi, bir parametredeki değişimin model performansını ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. İyi bir modelin Kal-Val periyotları yer değiştirdiğinde de iyi performans göstermesi beklendiğinden (Split-sample yöntemi), Kal-Val periyotlarının homojenliği önemlidir. Hidrolojik model, akım verilerinin yanında KKA, KSE ve toprak nemi gibi diğer model çıktılarının yer/uydu gözlemleri ile karşılaştırılmasıyla da değerlendirilebilir ve kalibre edilebilir (Çok-Amaçlı Kalibrasyon). Kurulan modelin performansı çeşitli istatistiksel ve matematiksel yöntemlerle sınanabilmektedir. Performans kriterleri gözlenen ve modellenen değerler arasındaki istatistiksel ilişkinin gücünü ölçmektedir. Kal-Val periyotlarında iyi bir performans gösteren model geçmiş/gelecek akımları tahmin etmek için kullanılabilir. Tahmin periyodu modelin kullanım amacına göre değişkenlik gösterir.

Kavramsal modeller yağışın akışa dönüşümünü temsil etmek için basit kova (depolama katmanı) yaklaşımları kullanırlar. Kovalar yağışla dolar, evapotranspirasyon ve/veya sızma ile boşalır. Kovalar yüzeysel akış, sızma, perkolasyon ve yer altı suyu akışı gibi süreçleri temsil etmektedir (Sene 2009). HEC-HMS SMA, toprak nemi değişimi esasına dayanan sürekli ve kavramsal bir modeldir. Hidrolojik sistem davranışını; olay bazlı modeller sadece yağış olayı süresince simüle ederken, sürekli modeller hem yağışlı hem yağışsız hava koşullarında simüle eder. HEC-HMS SMA; suyun bitki örtüsü, zemin yüzeyi, zemin profili ve yer altı su tabakalarındaki hareketini ve depolanmasını modeller. Verilen yağış, sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon ile model yüzeysel akışı, yer altı suyu akımını, evapotranspirasyon kayıplarını, perkolasyon miktarını, KSE çıktısını, havza çıkış akımını hesaplamaktadır. SMA modeli, havzayı bir dizi depolama katmanıyla temsil eder. Depolama miktarı simülasyon boyunca hesaplanır ve sürekli olarak ıslak ve kuru dönem boyunca değişir (USACE 2000). Kısacası SMA, yağış olayları süresince ve arasında toprak nemi değişimini esas alarak akışı modeller. Girdi verilerinin ve parametrelerin grid yapılı olarak modele dahil edilmesiyle dağılımlı modelleme yapılmıştır. Dağılımlı modellemede girdi verilerinin konumsal olarak değişkenliği dikkate alınmaktadır. Model çıktıları da konumsal dağılımlı olarak elde edilmektedir. Girdi ve çıktı verileri açısından tümsel hidrolojik modeller havza için konumsal ortalamaı temsil eden tek bir zaman serisine sahipken, yarı dağılımlı modeller alt havza yada yükseklik zonları için hidrolojik veri içerirler. Tümsel ve yarı dağılımlı modellerin aksine, dağılımlı modelde her grid hücresinin ilgili katmana (yağış, sıcaklık, yükseklik, eğim, akış vb.) ait bir sayısal değeri bulunmaktadır. Hidrolojik model hesaplama adımları her grid hücresi için yapılmakta ve hücreler arasında öteleme ile sonuçlar kombin edilerek havza çıkış noktası hidrografi modellenmektedir.

Modelleme ve tahmin aşamasında; UA ürünlerinin (yağış, sıcaklık vb.) modele girdi edilmesi, Kal-Val çalışmaları (manuel-otomatik kalibrasyon, model split-sample vb.), UA ürünleri (KKA, KSE ve toprak nemi) ile içsel tutarlılık analizi, model performans testleri ve NWP WRF verisi ile kısa vadeli akım tahmini yapılması gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca özellikle yağış için farklı UA ürünlerinin performans karşılaştırması, farklı grid ürünlerin (UA ve interpolate edilmiş) harmanlanması, düzeltme uygulanması, HEC alt

modelleme yöntemlerinin (SCS CN ve SMA) karşılaştırması çalışmaları ele alınmıştır. Bunlarla birlikte uygulama havzası ve periyodunda farklı modeller (tümsel SMA ve HBV) ile yapılmış tez sahibinin de yazar olarak yer aldığı literatür sonuçları (Sorman vd. 2020) ile karşılaştırma yapılarak tümsel (lumped) ve dağılımlı (distributed) hidrolojik modellerin kıyaslanması gerçekleştirilmiştir.

3.6 Hidrolik Modelleme

Hidrolik modelleme için HEC-RAS yazılımı kullanılmıştır. Tek boyutlu (1D) ve iki boyutlu (2D) kararlı ve kararsız akış nehir hidroliği hesaplamaları, sediment taşınımı, hareketli yatak modelleme ve su sıcaklığı analizi gerçekleştirmek için olanak sağlayan, enerjinin korunumu prensibi temelinde çalışan bir yazılımdır (USACE 2016). HEC-RAS ile altlık geometrik verilerin düzenlenmesi; hidrolik yapıların ve durumların tanımlanması yapılabilmektedir. Bu şekilde birçok değişken tanımlanabilen HEC-RAS yazılımına akım verilerinin girilmesiyle kararlı-kararsız akım durumları için su yüzü profilleri ve su basma alanları, akım derinlikleri, akış hızları, taşma hacmi ve alanı gibi taşkın karakteristiklerinin elde edilmesi mümkün olmaktadır. HEC GeoRAS ara modülü hidrolik modele (HEC-RAS) geometrik, topoğrafik ve arazi verilerinin input edilmesi; HEC-RAS taşkın çıktılarının ArcGIS yazılımına aktarılması aşamalarında kullanılmaktadır. Bu şekilde taşkın haritalarının sayısal yükseklik modeli ve/veya uydu görüntüleri üzerine bindirilmesi sağlanarak görsellik zenginleştirilmiş olmaktadır.

3.7 Taşkın Modelleme

Taşkınlar büyük ölçüde can ve mal kaybına neden olabilen doğal afetlerdir. Hidrolik model çıktıları olan taşkın yayılım, akış hızı ve su derinliği haritaları CBS ortamında çeşitli konumsal analizlerle işlenerek taşkın risk ve zarar haritaları oluşturulmaktadır. Taşkın hızı ve derinliğine dayalı taşkın tehlike değerlendirmeleri yapılmaktadır. Arazi kullanım ve nüfus özellikleri ile taşkın risk haritaları beraber değerlendirilerek taşkın zarar haritası nitel ve nicel olarak elde edilmektedir. Bu süreçler CBS ortamında ağırlıklı çakıştırma analizi uygulanarak gerçekleştirilmektedir.

4. BULGULAR VE İRDELEME

4.1 Dağılımlı HEC-HMS Hidrolojik Modellemesi

Dağılımlı hidrolojik modelleme çalışması,

- HEC GeoHMS kullanarak HEC-HMS model altlığının oluşturulmasını,
- GageInterp yazılımı ile konumsal enterpolasyon yapılarak grid tabanlı veri hazırlanmasını ve HEC DSS aracılığıyla HEC-HMS modeline aktarılmasını,
- UA ürünlerinin (uydu tabanlı yağış ve sıcaklık verilerinin) CBS ortamında işlenmesi ve HEC DSS vasıtasıyla modellemeye dahil edilmesini,
- Grid yapılı HEC-HMS hidrolojik modellemesini kapsamaktadır.

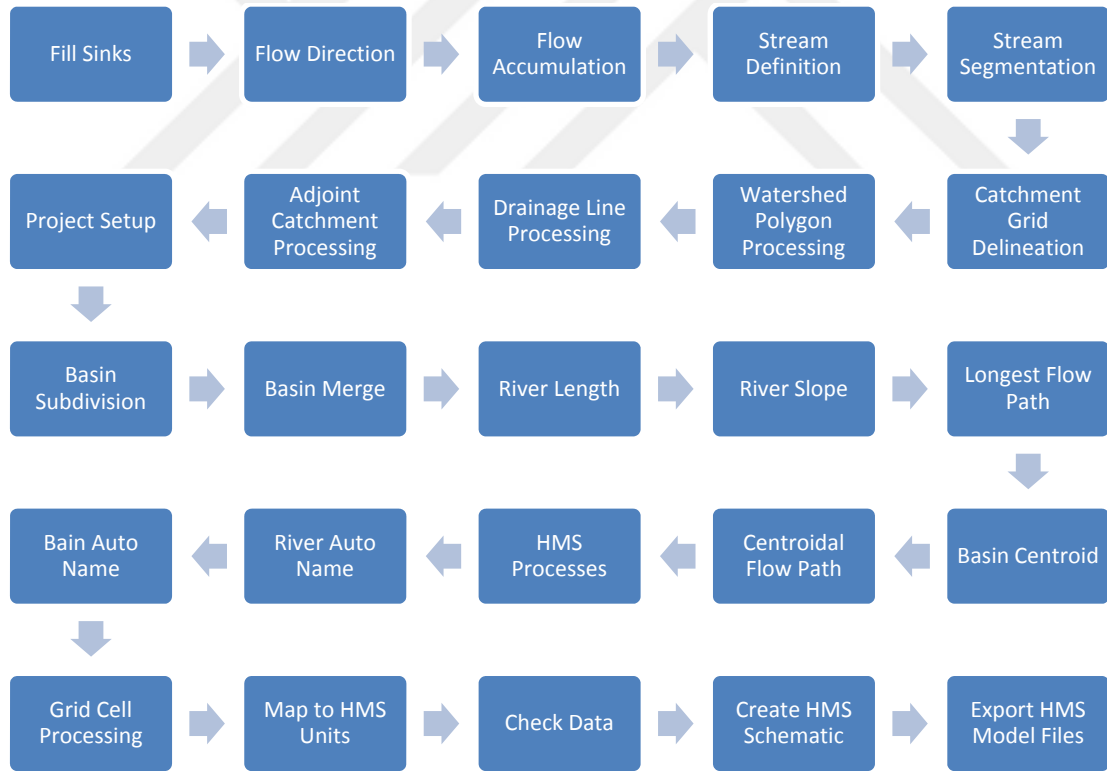
Çalışmanın bu safhasında, uygulama alanı olarak seçilen yukarı Aras (Kayabaşı) havzasında dağılımlı hidrolojik modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Öncelikle CBS ortamında HEC GeoHMS ara modülü ile hidrolojik model altlığı oluşturulmuştur. Sonrasında hidrometeorolojik gözlem istasyonları ve uydu verileri hidrolojik model için hazır hale getirilmiştir. Son olarak noktasal yağış ve sıcaklık verileri enterpolasyon-ekstrapolasyon işlemi ile grid tabanlı verilere dönüştürüldükten sonra dağılımlı hidrolojik modelleme gerçekleştirilmiştir.

4.1.1 HEC GeoHMS ile Model Altlığının Oluşturulması

ArcGIS içerisinde HEC-HMS için bir ara modül olan HEC GeoHMS bileşeni kullanılarak hidrolojik modelleme altlığının oluşturulması ve bir kısım havza karakteristiklerinin tespit edilmesiyle havzanın daha yakından tanınması amaçlanmıştır. HEC GeoHMS ile konumsal hidroloji analizleri yapılarak alt havzalar, nehir ağı, nehir öteleme kolları ve bağlantı noktaları gibi katmanlar oluşturulmaktadır. Bu safhanın sonunda oluşturulan model dosyaları (havza, grid hücre ve arka plan şekil dosyaları) HEC-HMS programına dahil edilmek üzere (import işlemi) ArcGIS yazılımından dışa aktarılmaktadır (export işlemi).

DEM verisi üzerine uygulanan HEC GeoHMS komut dizimi (Şekil 4.1) sonunda HEC-

HMS model altlığı oluşturulmaktadır. Öncelikle DEM verisi üzerinde havza çıkışı (akım gözlem istasyonu koordinatları) bilinen nehir havzasının akarsu ağı belirlenerek havza sınırları su ayırım çizgisinden geçecek şekilde oluşturulmuş ve DEM havza sınırlarından kırılmıştır. Öncül işlem gören DEM verisi üzerinde daha sonra akışı engelleyecek anlamsız çukurların doldurulması, su akış yönü ve toplanması katmanları oluşturularak akarsu ağı elde edilmiştir. Akarsu ağı elde edildikten sonra alt havzalar türetilmiş ve proje alanı seçilmiştir. Sonrasında hidrolojik modellemede kullanılan bazı nehir ve havza karakteristikleri (uzunluk, eğim, en uzun akış yolu, ağırlık merkezi vb.) belirlenerek nehir ve alt havza isimlendirmeleri yapılmıştır. Daha sonra koordinat sistemi WGS 1984 UTM (Universal Transverse Mercator) Zone 37 N olarak değiştirilmiş, grid hücre yöntemi SHG seçilmiş ve grid hücre boyutu 2000 m uygulanmıştır. Son olarak da SI birim sistemi tercih edilen projenin tüm girilen verileri kontrol edilmiş ve model dosyaları HEC-HMS için dışa aktarılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 HEC GeoHMS işlemleri akış şeması.

HEC GeoHMS ile havza üzerinde her bir grid hücresi X ve Y koordinatları (UTM Zone 37 N temelinde), havza çıkışına olan seyahat süreleri ve alan bilgilerine sahip olacak

şekilde grid yapısı dağılımlı hidrolojik modelleme için oluşturulmuştur. Dağılımlı modelleme için havza ve yağış grid yapısının aynı koordinat sistemi ve aynı satır-sütun bilgilerine sahip olmaları gerekmektedir. Farklı grid veri setlerinin grid yapılarının aynı hızda örtüşmesi için grid koordinat sistemi ve hücre boyutunun tüm grid setlerinde aynı olması sağlanmalıdır (USACE 2017).

4.1.2 GageInterp ile Grid Tabanlı Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Oluşturulması

Grid yapılı yağış, gözlem istasyon ölçümlerinin enterpolasyonu ve uydu tabanlı ürünlerden sağlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri dışındaki havzalar (HRAP ve SHG grid sistemleri dışında kalan alanlar) için grid yapılı verilerin HEC DSS içinde çeşitli kısıtlamalardan dolayı depolanamaması problemi, HEC DSS grid veri kütüphanesinin modifiye edilmesi ile ortadan kalkmış ve böylelikle UTM konumsal referans sisteminde grid yapılı verilerin HEC DSS aracılığıyla HEC-HMS modeline dahil edilebilmesi mümkün olmaktadır (USACE 2017).

Bir komut satırı yazılımı olan GageInterp ile Yukarı Aras havzası için noktasal yağış-sıcaklık ölçüm istasyon verileri (Şekil 3.3 ve EK 4) ön tanımlı yöntem olan uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW-Inverse Distance Weigting) kullanılarak enterpole edilmiş ve UTM 37 N koordinatlarında yağış-sıcaklık gridleri (konumsal çözünürlük: 2 km) DSS dosyası olarak türetilmiştir. GageInterp programı ön tanımlı IDW yöntemi dışında en yakın istasyon ve ortalama yöntemlerini kullanıcılara sunmaktadır.

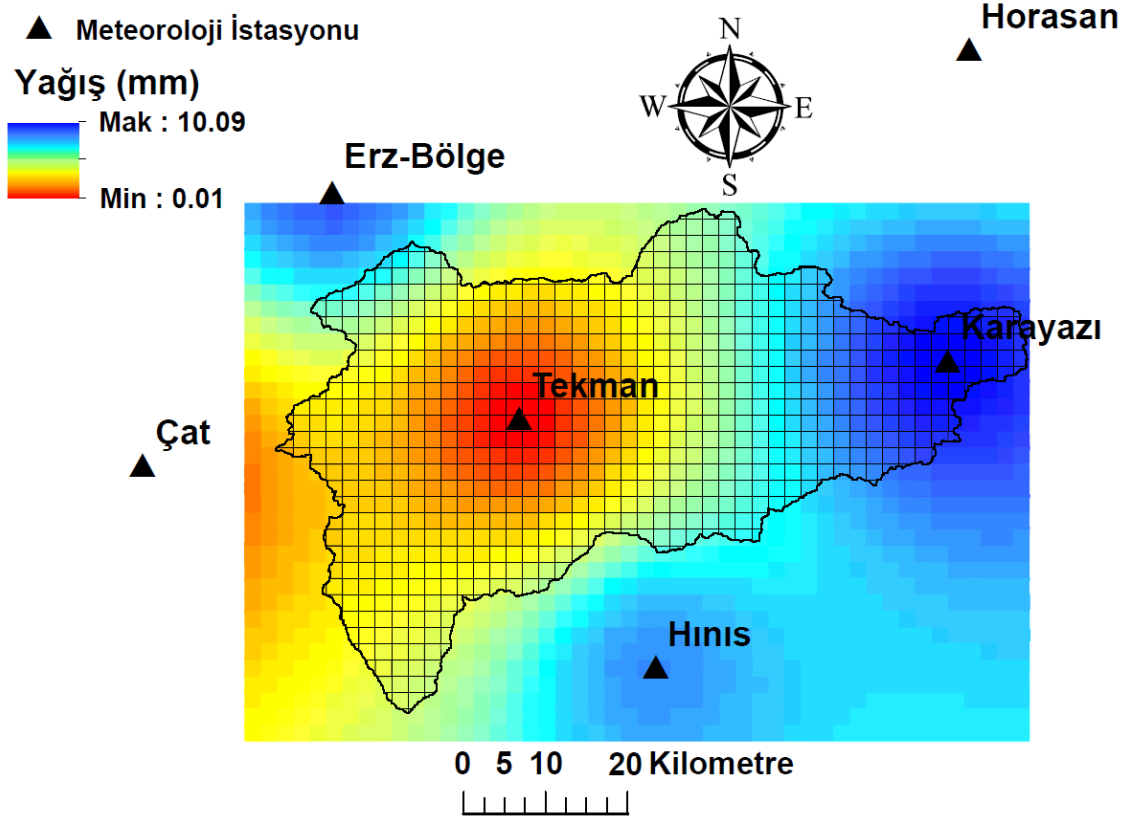
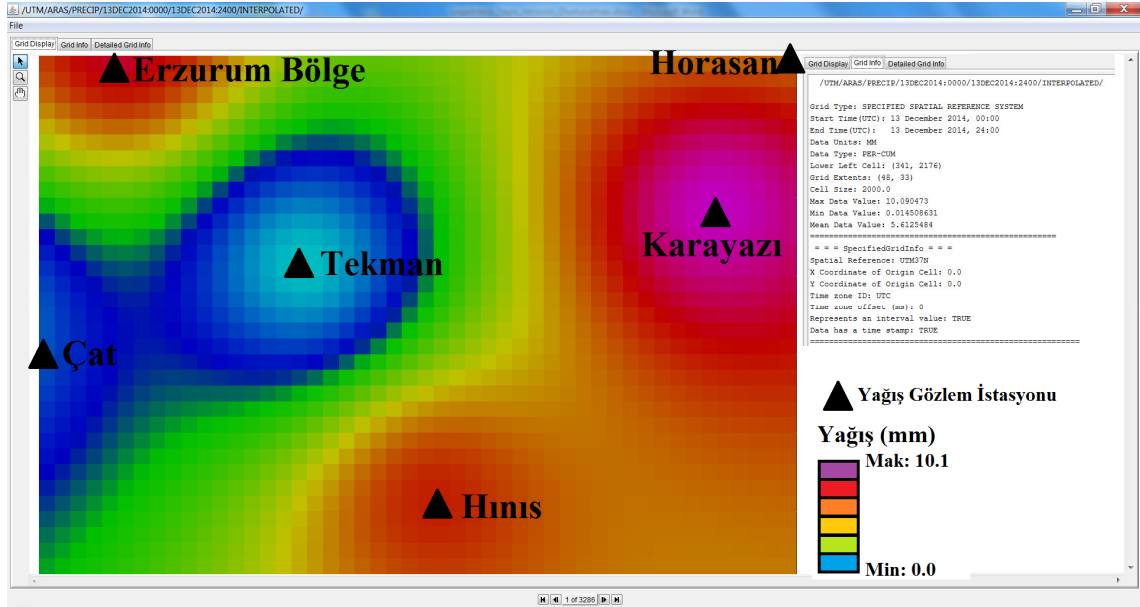
GageInterp programı çalışmak için bir kontrol dosyası (.ctl) ve gözlenmiş zaman serilerini içeren DSS uzantılı dosyaya ihtiyaç duyar. Kontrol dosyası zaman serilerinin başlama-bitiş tarihlerini, zaman aralığını, grid koordinat sistemini, hücre boyutunu, grid uzantılarını, gözlenmiş yağış-sıcaklık DSS dosyası adını (girdi dosyası), meteoroloji istasyonlarının konum ve bilgilerini, çıktı dosya adını ve klasör yolunu içermelidir.

Grid uzantılarının (satır-sütun sayısı ve başlangıç hücre bilgileri) doğru bir şekilde belirlenerek kontrol dosyasına girilmesi havza ve yağış-sıcaklık gridlerinin tam olarak üst üste çakışması için çok önemlidir. Enterpole yağış-sıcaklık grid uzantılarının HEC

GeoHMS kullanılarak hazırlanan havza grid uzantıları ile aynı olması için, ArcGIS ortamında "Identify" komutu ile havza grid uzantıları tespit edilip kontrol dosyasına işlenmelidir.

6 adet yağış gözlem istasyonu bulunan çalışma alanında, kontrol ve gözlem dosyaları dikkatli bir şekilde oluşturulmuş, GageInterp yazılımı komut istemi penceresinde açılarak enterpolasyon işlemi başlatılmış ve yağış-sıcaklık yüzeyleri DSS uzantılı olarak elde edilmiştir. HEC DSS ile depolanan grid yapılı veriler HEC DSSVue ve HEC GridUtil programlarında görüntülenebilir, işlenebilir ve analiz edilebilir (Şekil 4.2). Günlük noktasal yağış-sıcaklık verileri uygulama havzasında 2007-2015 su yılları arasındaki periyot (9 yıl) için enterpole edilmiştir. Toplamda 3286 gün için gerçekleştirilen enterpolasyon adımı (GageInterp çalışma süreci) yaklaşık 5 dakika sürmüştür.

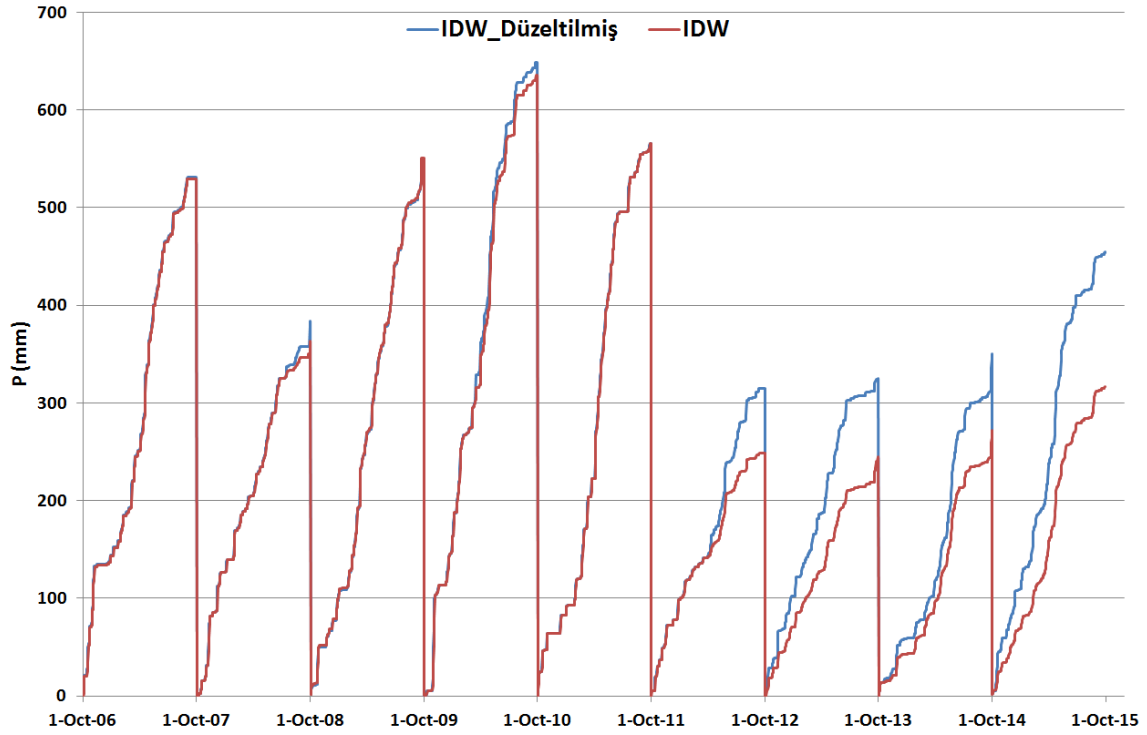
Yağış ve havza gridlerinin çakıştığını doğrulamak ve yağış gridlerini görselleştirmek için DSS uzantılı grid veriler ASCII uzantısına DOS komut istemi üzerinde çalışan DSS2ASCGrid yardımcı yazılımı ile dönüştürülmüş ve CBS ortamında sunulmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 GagaInterp ile oluşturulan DSS uzantılı grid tabanlı yağış verisi ve DSS2ASC ile ASCII uzantılı veriye dönüştürülmesi (14 Aralık 2014).

Son olarak meteoroloji gözlem istasyonlarının ve enterpolasyon havza ortalaması yağışları zaman serileri karşılaştırma açısından eklenik olarak EK 4'te verilmiştir.

IDW dağılımlı yağışın havza genelinde yağışı daha iyi temsil edebilmesi için; diğer istasyonlar ve uydu yağışlarıyla uyumsuz olan, verinin güvenilirliği konusunda şüpheye düşülen, düşük yağış gözlemi yapılmış istasyonlar enterpolasyon sürecine ilgili zaman aralığı için dahil edilmemiştir. Pik akım gözlenen günlerde de eğer modellenen akım pik akımdan küçükse, maksimum yağış gözlenen istasyon verisi kullanılmıştır. IDW ve düzeltilmiş IDW yağış verileri yıllık eklenik olarak karşılaştırıldığında (Şekil 4.3), özellikle validasyon periyodunda düzeltilmiş IDW yağışının fazla olduğu görülmektedir ve bu durumun genel istasyon yağışlarıyla daha uyumlu olduğu ifade edilebilir. Bu şekilde yağışın temsiliyetinin arttırıldığı söylenebilir.

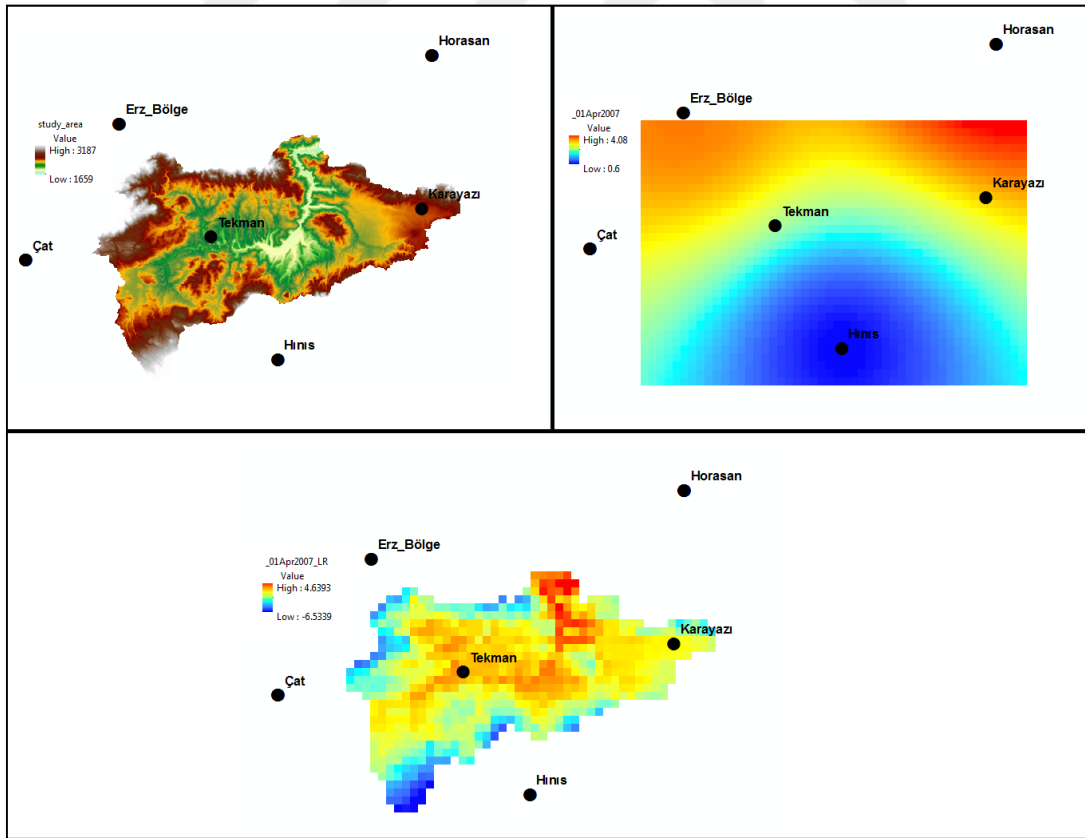


Şekil 4.3 2007-2015 su yılları arası eklenik IDW ve düzeltilmiş IDW yağışları.

Noktasal yağış verisine uygulanan aynı işlem adımları sıcaklık verisi için de gerçekleştirilmiş ve grid tabanlı sıcaklık verisi elde edilmiştir. Dağılımlı yağışın düzeltilmesinden sonra, IDW enterpolasyon yöntemiyle elde edilen sıcaklık gridleri üzerinde, sıcaklığın yükseklikle değişimi prensibi temelinde aşağıdaki formül yardımıyla düzeltme işlemi yapılmıştır (Şekil 4.4). Formülde, DEM sayısal yükseklik modeli (SRTM 90 m) olmak üzere referans yüksekliği olarak meteoroloji istasyonlarının rakım ortalaması (1858 m) alınmıştır. Dağlık havzalarda kar erimesi

modellemesi için oldukça önemli olan düşey sıcaklık gradyanı (lapse rate) ise istasyonların yıllık ortalama sıcaklıkları ve rakımları dikkate alınarak $-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$ (Şekil 3.7) olarak hesaplanmıştır. Ancak havza alanına göre seyrek bir gözlem ağı oluşturan 10 adet meteoroloji istasyon sıcaklıkları kullanıldığından, tez sahibinin de yazar olarak yer aldığı Sorman vd. tarafından 2020 yılında Kayabaşı havzasında yapılan tümsel hidrolojik modelleme çalışmasının kalibrasyon aşamasında düşey sıcaklık gradyanı parametre başlangıç değeri $-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$ olarak alınmış ve model performansını maksimize etmek için yapılan parametre ayarlaması (akort) sonunda $-6.9\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$ olarak güncellenmiştir. Öncelikle DSS uzantılı olan günlük sıcaklık verisi ASCII uzantısına dönüştürülmüş ve CBS platformunda yüksekliğin etkisi raster analizi ile modellenmiş, son olarak sıcaklık verisi HEC-HMS modeli için tekrar DSS uzantısına dönüştürülmüştür.

$$T_{\text{Düzeltilmiş IDW}} = T_{\text{IDW}} + \frac{(\text{DEM} - \text{Referans yüksekliği})}{1000} * \text{Sıcaklık düşey gradyanı} \quad (4.1)$$



Şekil 4.4 Örnek sıcaklık verisinin düzeltilmesi işlemi (1 Nisan 2007).

Sadece yatay değişkenliğin dikkate alındığı IDW enterpolasyon-ekstrapolasyon yöntemine düşey sıcaklık gradyanı uygulanarak dikey değişkenlikle bütünleştirilmiş ve sıcaklığın daha gerçekçi modellenmesi sağlanmıştır. Aynı şekilde yüksekliğe göre sıcaklık üzerindeki etkisi daha az olan bakının değişimi modellemeye dahil edilebilir ve yüksekliğin yağış üzerindeki etkisi de modellenerek değerlendirilebilir.

4.1.3 Grid Tabanlı HEC-HMS Hidrolojik Modelleri

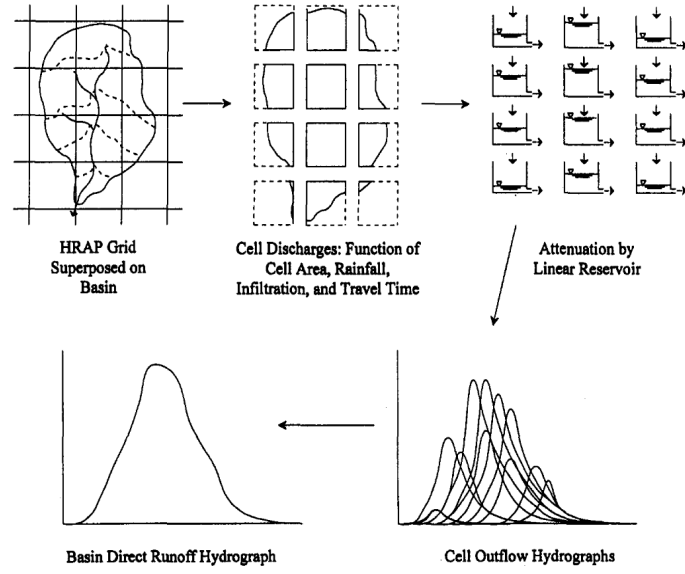
Grid hücre (2x2 km) sayısı 798 olan Kayabaşı Havzasında (D24A096 nolu AGİ yağış alanı) HEC-HMS SCS CN (eğri numarası, 1 grid yapılı parametre) ve SMA (toprak nemi hesaplama algoritması, 10 grid yapılı parametre) grid tabanlı modelleri kalibrasyon (2008-2011) ve validasyon (2012-2015) periyotlarında uygulanmış ve iyi performans gösteren modeller karşılaştırılmıştır. Modellerin yapıları, işleyiş mantığı, parametreleri, kalibrasyon-validasyon süreçleri ve model performans değerlendirmesi hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. 2007 su yılı modellerin ısıtılması için kullanılmıştır. Havzada kar erimesi etkin olduğundan her iki model için de grid tabanlı sıcaklık indeks yöntemi uygulanmıştır. Havza içinde ve yakınında bulunan 6 meteoroloji gözlem istasyonundan elde edilen günlük zaman ölçeğinde IDW enterpolasyon yağış-sıcaklık ve aylık sabit ET verileri modele girdi edilmiştir.

Ayrıca modellerin içsel tutarlılığı açısından, kar ve toprak nemi çıktıları uydu verileriyle değerlendirilmiştir. Daha sonra her iki dağılımlı modele gözlenmiş yağış ve sıcaklıkların enterpolasyon verileri yerine uydu verileri girdi verilmiş ve model performansları irdelenmiştir. Dağılımlı hidrolojik modelleme ve tahmin aşamasında; UA ürünlerinin modele girdi edilmesi, Kal-Val çalışmaları, UA ürünleri ile model içsel tutarlılık analizi, model performans testleri ve kısa vadeli akım tahmini gerçekleştirilmiştir. Ayrıca HEC-HMS SMA temelinde saatlik modelleme ve tümsel-dağılımlı hidrolojik model kıyaslaması uygulanmıştır.

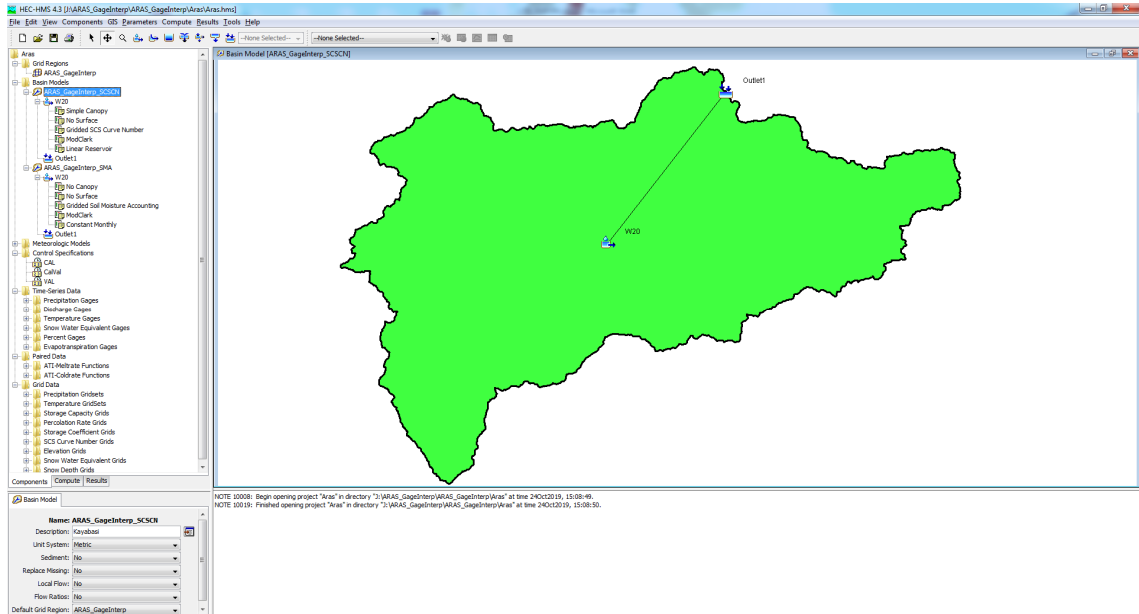
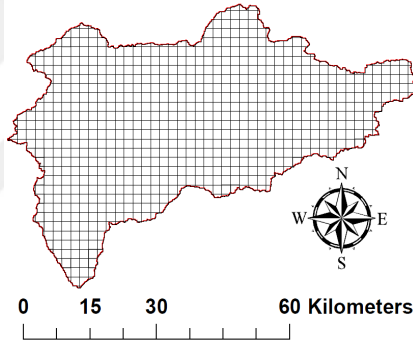
Basit ve az parametre içeren HEC-HMS SCS CN ile kompleks-fiziksel tabanlı kabul edilebilir toprak nemi hesaplama algoritması içeren HEC-HMS SMA grid tabanlı modelleri sürekli durumu gözeterek ve karşılaştırmalı olarak yukarı Aras Havzasında

2007-2015 su yılları arasında günlük zaman ölçeğinde uygulanmıştır. Hidrolojik modellerin temel girdileri olan günlük toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri, Kayabaşı Havzası içinde ve yakınında bulunan 6 meteoroloji gözlem istasyon zaman serilerinin enterpolasyonu/ekstrapolasyonu ile elde edilmiştir. Diğer bir girdi verisi olan ET, aylık sabit olarak ele alınmıştır. Akım verisi ise, havza çıkışında bulunan ve DSİ tarafından işletilen D24A096 nolu akım gözlem istasyonundan alınmıştır.

Yağış-akış dönüşüm yöntemi olarak, grid yapılı yağış girdisi olan modeller için ModClark-modifiye edilmiş Clark birim hidrograf yöntemi (Peters ve Easton 1996, Kull ve Feldman 1998) kullanılmaktadır (Şekil 4.5). ModClark grid yapılı meteorolojik veri kullanan, doğrusal-yarı dağılımlı birim hidrograf yöntemidir. Öteleme hidrografını oluşturmak için, ModClark her grid hücresi için havza çıkışına ulaşma süresi ve havza geçiş süresini kullanır. Ulaşma süresi indeksi her grid hücresi için havza geçiş süresinin ölçeklenmesi ile elde edilir. Her grid hücresindeki artık yağış, ulaşma süresi indeksiyle ötelenir ve hücrelerin depolama birimleri olan doğrusal haznelerin çıktılarının birleştirilmesiyle havza çıkış hidrografi üretilir. ModClark için grid hücre dosyası (Şekil 4.6) oluşturulması gerekmektedir. Yağış kayıpları ve yüzey dönüşüm hesaplamaları grid hücresi bazında uygulanmaktadır. Bu nedenle grid bölgesi (grid hücre dosyası) HEC-HMS dağılımlı modellerinin ana bileşenlerinden biridir ve grid yapılı DSS kayıtlarının koordinat sisteminin grid hücre dosyasıyla aynı olması gerekmektedir (USACE 2000, 2018).



Şekil 4.5 ModClark kavramsal model yapısı (Kull ve Feldman 1998).



Şekil 4.6 Kayabaşı Havzası ModClark grid yapısı ve HEC-HMS modeli arayüzü.

Büyük çoğunlukla HEC GeoHMS ile şekillendirilen HMS modelinde havza ve meteorolojik modeller ana gövdeyi oluşturmaktadır. HEC GeoHMS ile oluşturulan havza ve grid hücre dosyaları HMS modeline aktarıldıktan sonra havza ve meteorolojik modellerin yöntemleri (kayıp, taban akışı, bitki su tutması, nehir öteleme, ModClark dönüşümü vb.) belirlenmiştir. Zaman serileri (akım), eşli veriler (ATI erime-donma fonksiyonları) ve grid veriler (yağış, sıcaklık, grid yapılı model parametreleri) modele girildikten sonra kontrol bilgileri çerçevesinde model çalıştırılmıştır. HMS modelinin veri yapısı ve havza modeli Şekil 4.6'da görülmektedir.

Uygulama havzasında toplam yıllık akım üzerinde kar erimesi çok etkili olduğu için her iki model için de grid tabanlı kar erime-biriktirme algoritması (Çizelge 4.1) kullanılmıştır. Sıcaklık indeks (derece-gün yaklaşımı) yöntemi kar örtüsündeki mevcut ve geçmiş koşullar temelinde erime miktarını dinamik olarak hesaplar. Kar örtüsü enerjisinin kavramsal temsilini içeren grid tabanlı sıcaklık indeks yönteminde, tüm havzanın alansal ortalama değerleri yerine her bir grid hücresinin ayrı yağış ve sıcaklık sınır koşulları için kar örtüsü simüle edilir. Kar erimesinin mevsimsel değişimi bir öncül sıcaklık fonksiyonuna endekslenmiştir. Eşik ve taban sıcaklık değerleriyle yağış türü ve kar erime-biriktirmesi modellenmiştir. Taban ve hava sıcaklıkları arasındaki fark sıcaklık indeksini tanımlar. ATI (öncül sıcaklık indeksi) erime ve donma fonksiyonları indeks aralıklarına göre erime ve donma miktarlarını tanımlar. Kar örtüsünün içsel şartları ve atmosfer koşullarının değişimi dikkate alınarak erime-donma modellenir (USACE 2018).

Çizelge 4.1 Sıcaklık indeks yöntemi parametreleri (USACE 2018).

Parametre	Tanım	Varsayılan değerler
Eşik sıcaklık (°C)	Yağışın türünü (yağmur yada kar) belirler.	1
Taban sıcaklık (°C)	Kar erimesinin başladığı sıcaklıktır.	0
Islak erime (mm/°C-gün)	Kar örtüsü üzerine yağmur sınırından daha fazla yağmur yağdığındaki kar erimesini temsil eder.	3-4
Yağmur sınırı (mm/gün)	Kuru ve ıslak erimeyi ayırıştırır.	0
ATI erime katsayısı	Öncül erime indeksini güncelleyen bir katsayı	0.98
Donma sınırı (mm/gün)	Yağışın donma sınırından büyük yada küçük olması ışığında, öncül donma indeksinin hava ve taban sıcaklıklarından hangisine göre ayarlanacağını belirler. Kar örtüsüne yağmurdan giren likit suyun donma durumunun hesaplanmasında kullanılır.	0
ATI donma katsayısı	Öncül donma indeksini güncelleyen bir katsayı	0.5
Su kapasitesi (%)	Sızma yada akış için zemin yüzeyine varmadan önce, kar örtüsünde birikmesi gereken kar erimesinin maksimum miktarıdır.	3-5
Yer erimesi (mm/gün)	Yer ısısının sebep olduğu erime miktarıdır.	0

Modelleme aşaması; kalibrasyon ve validasyon olarak iki parçaya ayrılan veri setine uygulanmıştır. 2007 su yılı modelin ısıtılması (warm up) için kullanılmış olup; 2008-2011 su yılları arası kalibrasyon ve 2012-2015 su yılları arası validasyon periyodu olarak HEC-HMS çalıştırılmıştır.

Kalibrasyon periyodunda hedef fonksiyon değerinin maksimum yada minimum olmasını sağlayacak şekilde model parametreleri optimize edilmektedir. Ayarlanan parametre setleri, validasyon periyodunda aynen kullanılarak kalibre edilen modelin test edilmesi sağlanmaktadır. Kalibrasyon periyodunda modellenen ve gözlenen akım değerleri (hidrograf, akış hacmi, pik akım zamanı ve büyüklüğü vb.) karşılaştırılarak model parametreleri ayarlanarak belirlenmiş (parametrizasyon) ve bu şekilde model geliştirilerek kalibre edilmiştir. Hidrolojik model parametrelerindeki değişimin modele etkileri araştırılmış (hassaslık analizi) ve parametreler makul bir aralıkta optimize edilmiştir. Parametre tahmininde hidrolojik benzer havzalardan, literatürden ve UA-CBS verilerinden yararlanılarak başlangıç değerleri girilmiş, sonrasında hidrolojik döngü açısından mantıksal değerler manuel (deneme-yanılma yöntemi) ve HMS bünyesinde bulunan otomatik (tek değişkenli gradyan, simpleks ve Markov Chain Monte Carlo yöntemleri) optimizasyon teknikleri ile amaç fonksiyonu için kalibre edilmiştir. Validasyon aşaması kalibre edilen modelin bağımsız bir veri setiyle doğrulaması ve sınanması anlamına gelmektedir. Bu şekilde, kalibrasyon sürecinde belirlenen model parametreleri kullanılarak HMS modeli validasyon veri seti için çalıştırılmış ve modelin doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

Modelin geçerliliği ve doğruluğu, gözlem-model verileri arasındaki ilişkinin gücü ve hataların analizi ile değerlendirilmektedir. Gözlem verileri ile model çıktılarının grafiksel, matematiksel ve istatistiksel olarak karşılaştırılması yoluyla model performanslarının ölçülmesi gerekmektedir. Model performans kriterleri başka modellerle karşılaştırma için de kullanılırlar. HEC-HMS SCS CN ve SMA modellerinin performansları, aşağıda formülleri verilen NSE (Nash ve Sutcliffe 1970), NRMSE (gözlem verisinin standart sapması ile normalize edilmiş RMSE) ve PBIAS (akış hacmi yüzdesel hatası) model uygunluk ölçütleri kullanılmıştır. $-\infty$ ve 1 aralığında değerler alabilen NSE değerinin 1 olması mükemmel eşleşme, 0 olması gözlem ortalaması kadar doğru tahmin, negatif değerler olması gözlem ortalamasından daha kötü tahmin olarak değerlendirilmektedir. NSE performans sınıflandırması Çizelge 4.2’de sunulmuştur (Moriasi vd. 2007). Hata terimlerinin sıfıra yakın olması ise, modelin iyi ve güvenilir olduğunu gösterir. N , gözlem sayısı; Q_g , gözlenen akım miktarı (m^3/s); Q_m , modellenen akım miktarı (m^3/s); $\overline{Q_g}$, gözlenen akım değerlerinin ortalaması; S_g , gözlem verilerinin

standart sapması; V_m ve V_g sırasıyla modellenen ve gözlenen akış hacmi olmak üzere performans kriterlerinin denklemleri aşağıda sunulmuştur.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - \bar{Q}_g)^2} \quad (4.2)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2}}{S_g} \quad (4.3)$$

$$PBIAS = \left(\frac{V_m - V_g}{V_g} \right) 100 \quad (4.4)$$

Çizelge 4.2 NSE performans derecelendirmesi (Moriassi vd. 2007).

NSE	Model performansı
<0.50	Yetersiz
0.50-0.65	Yeterli
0.65-0.75	İyi
0.75-1.00	Çok iyi

Modelleyicinin yeteneği, verilerin doğruluğu ve güvenilirliği, model yapısı (hesaplama yöntemleri ve kalibrasyon yöntemleri) modelin performansını etkileyen temel unsurlardır.

4.1.3.1 Grid Tabanlı HEC-HMS SCS CN Hidrolojik Modeli

HMS SCS CN modeli; yağış, toprak cinsi, arazi kullanımı ve geçmiş toprak neminin bir fonksiyonu olarak toplam sızmayı hesaplamakta ve yağıştan dolaysız yüzey akışı, yani artık yağışı, tahmin etmektedir (USACE 2000). Havza CN değeri, akış ya da sızma tahminleri için kullanılan ampirik bir parametredir. CN değeri, havzanın HTG, arazi kullanım yapısına, bitki örtüsüne ve yağışın başlangıcındaki nem miktarına bağlı olarak potansiyel akımı gösteren bir veridir. CN değeri 0-100 arasında değerler alabilir ve havzanın CN değerinin düşük olması havzada düşük akış potansiyelinin (yüksek geçirimsizlik), yüksek olması da yüksek akış potansiyelinin (düşük geçirimsizlik)

olduğunu göstermektedir. Arazi kullanım ve HTG kombinasyonlarına göre CN değerleri hesaplanmaktadır (USDA 1951, 1972, 1986).

CN değerleri, ortalama nem durumu (Antecedent Moisture Condition-AMC) içindir. Yağmur sırasında toprağın kuru veya yaş olmasına bağlı olarak farklı AMC değerleri oluşur ve CN değeri buna göre değişir. AMC değeri, 5 gün önceki yağış verilerine bağlı olarak belirlenmiş olup bunun için üç temel kategori (kuru toprak, ortalama koşullar ve ıslak toprak) ortaya konmuştur (Hjelmfelt 1982). Küçük havzalarda uygun sonuçlar veren SCS CN yağış-akış modeline göre akış yüksekliği yağış ve havza CN değerine bağlı olarak oluşturulmuş ampirik bir formülle aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir (USDA 1972). S (mm), havzanın potansiyel maksimum su tutma yüksekliğini; P_e (mm), etkili yağış yüksekliğini; P (mm), yağış yüksekliğini ve I_a (mm), başlangıç su kaybını göstermektedir.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4.5)$$

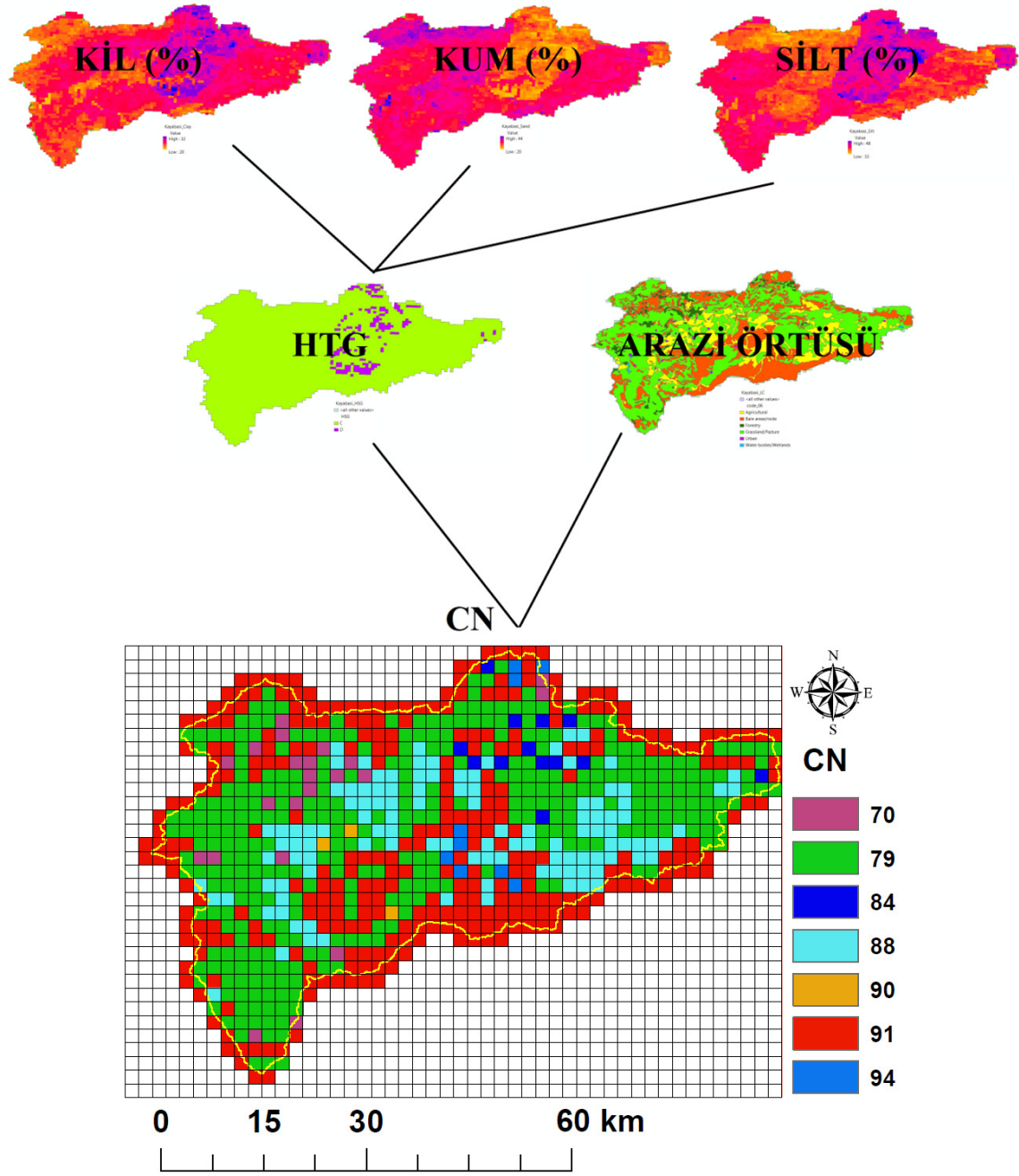
$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4.6)$$

Oldukça basit olan modelin kavramsal yapısında, yağış değeri başlangıç sızma miktarını aşana kadar artık yağış ve dolayısıyla yüzeysel akış oluşmamaktadır. SCS birçok küçük deneysel havzalardan elde edilen sonuçların analiziyle başlangıç su kaybı ve havza potansiyel maksimum su tutma kapasitesi arasında aşağıdaki ampirik ilişkiyi geliştirmiştir (USACE 2000).

$$I_a = 0.2S \quad (4.7)$$

Grid tabanlı HEC-HMS SCS CN modelinin tek grid yapılı kayıp parametresi olan CN verisi (Şekil 4.7), arazi örtüsü-HTG verileri dikkate alınarak bir dizi CBS işlemi ile elde edildikten sonra DSS veri yapısına dönüştürülüp modele dahil edilmiştir. Ana çıktı akım, temel girdiler ise yağış ve sıcaklık olacak şekilde gerçekleştirilen hidrolojik sürecin modellenmesinde, havza ve meteorolojik modeller (EK 5 ve EK 6) HEC-HMS

modelinin ana gövdesini oluşturmaktadır. Yağış kaybı yöntemi olarak SCS CN, bitki su tutması yöntemi olarak basit kanopi, yağış-akış dönüşüm yöntemi olarak ModClark birim hidrograf ve taban akışı yöntemi olarak doğrusal hazne kullanılmıştır. Yüzeysel biriktirme yöntemi model performansına etki etmediğinden modelin basitleştirilmesi için tercih edilmemiştir. Taban akışı hesaplama yöntemi olarak doğrusal hazne ve sabit aylık yöntemleri uygulanmış, model performansı daha yüksek elde edildiğinden doğrusal hazne yöntemi tercih edilmiştir. ModClark birim hidrograf yönteminde kullanılan toplanma süresi Kirpich denklemi (Kirpich 1940) ile hesaplanmıştır. Meteorolojik modellerin ana girdileri olan günlük yağış ve sıcaklık zaman serilerinin yanında, IWMI küresel iklim modeli ve gözlenmiş buharlaşma verilerinden yararlanılarak oluşturulan aylık ortalama ET verisi de modele girdi edilmiştir. Uygulama havzası dağlık bir alan olduğundan, meteorolojik modelin en önemli unsuru kar erime-biriktirme algoritmasıdır. Son olarak girdi verilerinin ve belirlenen parametrelerin modele girilmesiyle model çalıştırılmıştır (EK 5 ve EK 6). Yağış, sıcaklık ve potansiyel ET değerlerinin modele girilmesiyle, model tüm havza için yüzeysel ve yeraltı suyu (YAS) akışını, bitki örtüsü ve sızma kaynaklı kayıpları ve kar su eşdeğerini (KSE) hesaplamaktadır. Çalışma havzası için kalibrasyon periyodunda denenen SCS CN model parametre aralıkları Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.7 CN grid verisi elde etme aşamaları.

Çizelge 4.3 HEC-HMS SCS CN model parametre aralıkları.

Parametre	Değer aralığı	Parametre	Değer aralığı	Parametre	Değer aralığı
Eşik sıcaklık (°C)	-3 - 4	Kanopi başlangıç biriktirmesi (%)	0-100	YAS-1 başlangıç debisi (m ³ /s)	0-7
Taban sıcaklık (°C)	-3 - 3	Kanopi mak. su tutma kapasitesi (mm)	0-50	YAS-1 depolama katsayısı (sa)	0-1000
Islak erime (mm/°C-gün)	0-10	Kanopi bitki katsayısı	0-1	YAS-1 rezervuar sayısı	1-3
Yağmur sınırı (mm/gün)	0-5	CN oranı	0-1	YAS-2 başlangıç debisi (m ³ /s)	0-7
ATI erime katsayısı	0-1	CN faktörü	0-10	YAS-2 depolama katsayısı (sa)	0-1000
Donma sınırı (mm/gün)	0-2	Toplanma süresi (sa)	0-24	YAS-2 rezervuar sayısı	1-3
ATI donma katsayısı	0-1	Biriktirme katsayısı (sa)	0-1000		
Su kapasitesi (%)	0-10				
Yer erimesi (mm/gün)	0-2				

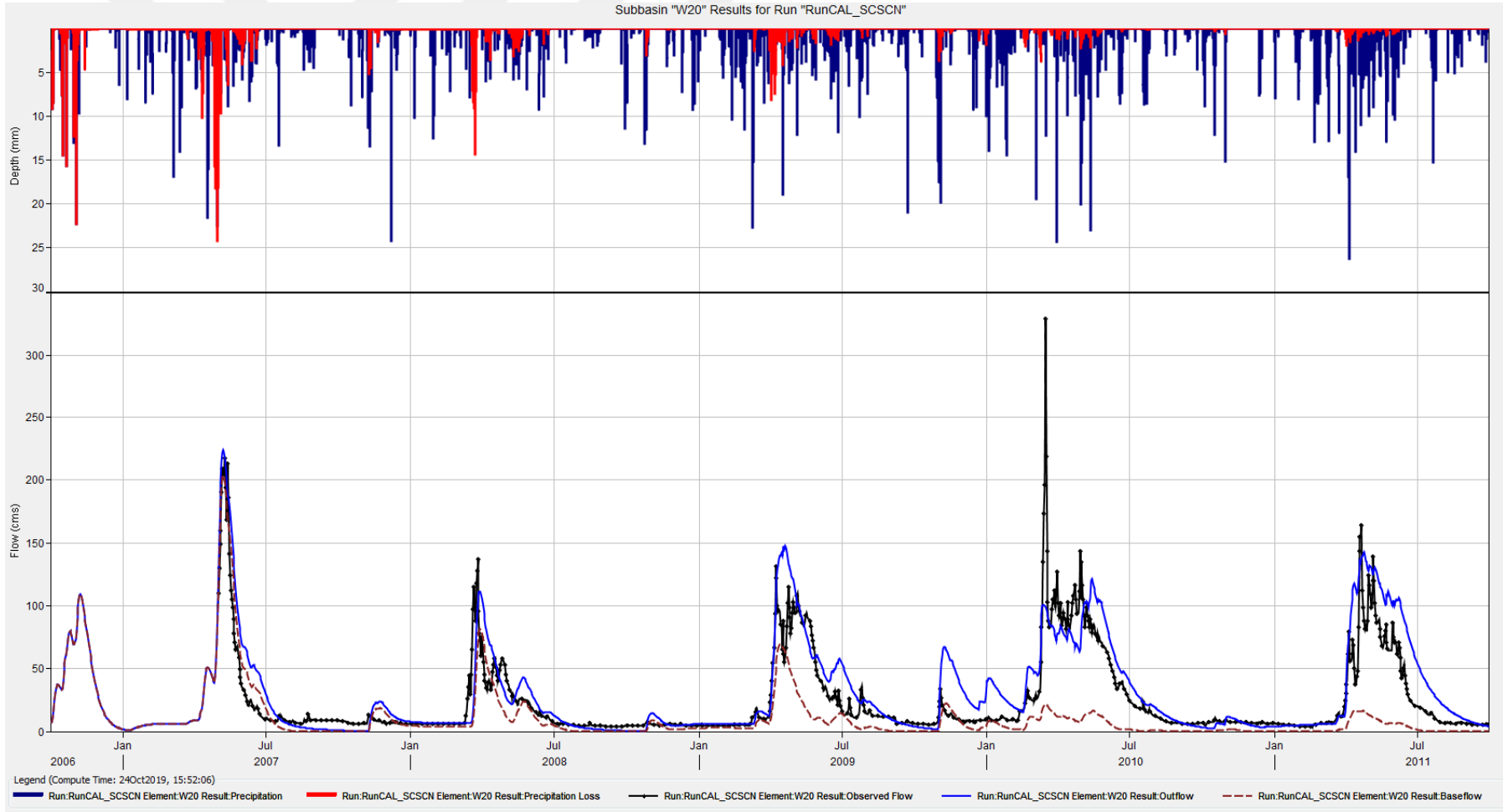
Kar erimesinin etkili olduğu oldukça dağlık yukarı Aras Havzasında (D24A096 Kayabaşı AGİ yağış alanı) dağılımlı HEC-HMS SCS CN modeli çalıştırılmıştır. Öncelikle CBS ortamında HEC GeoHMS ara modülü ile hidrolojik model altlığı HMS modeline aktarılacak üzere oluşturulmuş, hidrometeorolojik gözlem verileri hidrolojik model için hazır hale getirilmiş, uydu verileri incelenmiş, noktasal yağış-sıcaklık verileri (havzanın içinde ve yakınında bulunan 6 meteoroloji gözlem istasyonu) enterpolasyon-ekstrapolasyon işlemi (GageInterp) ile DSS grid tabanlı verilere dönüştürüldükten sonra dağılımlı hidrolojik model çalıştırılmıştır. ArcGIS platformunda –SoilGrids zeminin kil, kum ve silt içerikleri temelinde- hidrolojik toprak grubu (HTG)

ve EEA CORINE arazi örtüsü katmanlarının kombinasyonları ile elde edilen havzanın grid tabanlı eğri numarası (CN.ascii dosyası) DSS dosyasına dönüştürülmüş ve yağış kayıp parametresi olarak modele dahil edilmiştir. CN grid tabanlı DSS verisi oluşturulduktan sonra modele grid tabanlı yağış verisi girdi verilmiş ve model çalıştırılarak grid tabanlı sızma ve dolaysız akış çıktı verileri elde edilmiştir (EK 8).

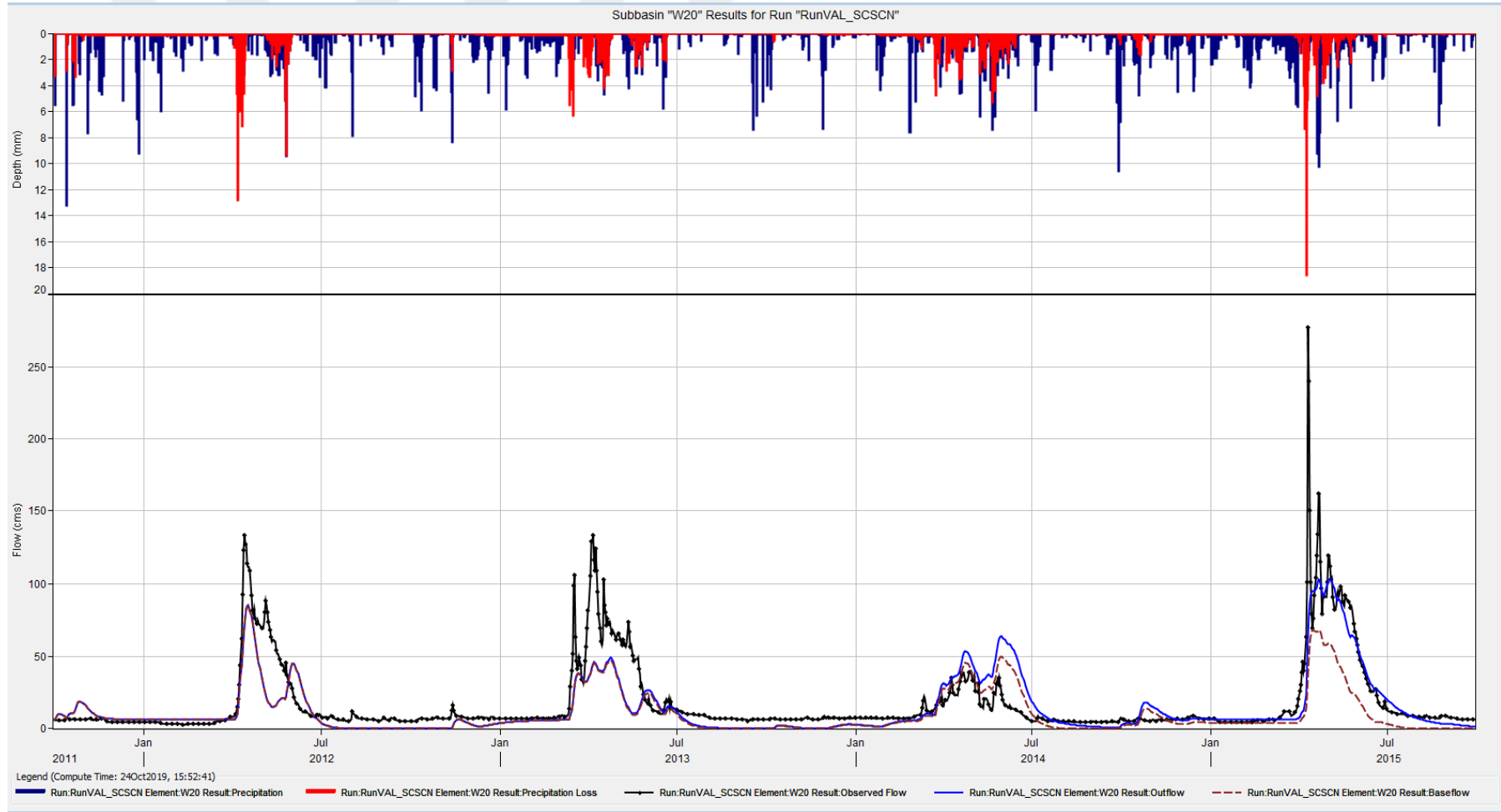
Model yeterlik ve başarı ölçütleri Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Kalibrasyon aşamasında modelin NSE değeri 0.67 iken, validasyon aşamasında bir miktar düşerek 0.63 olarak hesaplanmıştır. NRMSE hata terimi ise kalibrasyon ve validasyon dönemleri için aynı değerde bulunmuştur. Model kalibrasyon periyodunda akış hacmini %27 fazla hesaplarken, validasyon periyodunda %20 düşük simüle etmiştir. Çizelge 4.2 performans sınıflandırması dikkate alındığında, SCS CN modeli kalibrasyon periyodu için “iyi”, validasyon için “yeterli” performans başarısı göstermiştir. Kalibrasyon ve validasyon periyotlarına ait model sonuç özeti EK 7’de, modellenen-gözlenen hidrograflar sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 HEC-HMS SCS CN model performans sonuçları.

Ölçütler	Kalibrasyon	Validasyon
NSE	0.67	0.63
NRMSE (m ³ /s)	0.6	0.6
PBIAS (%)	27	-20



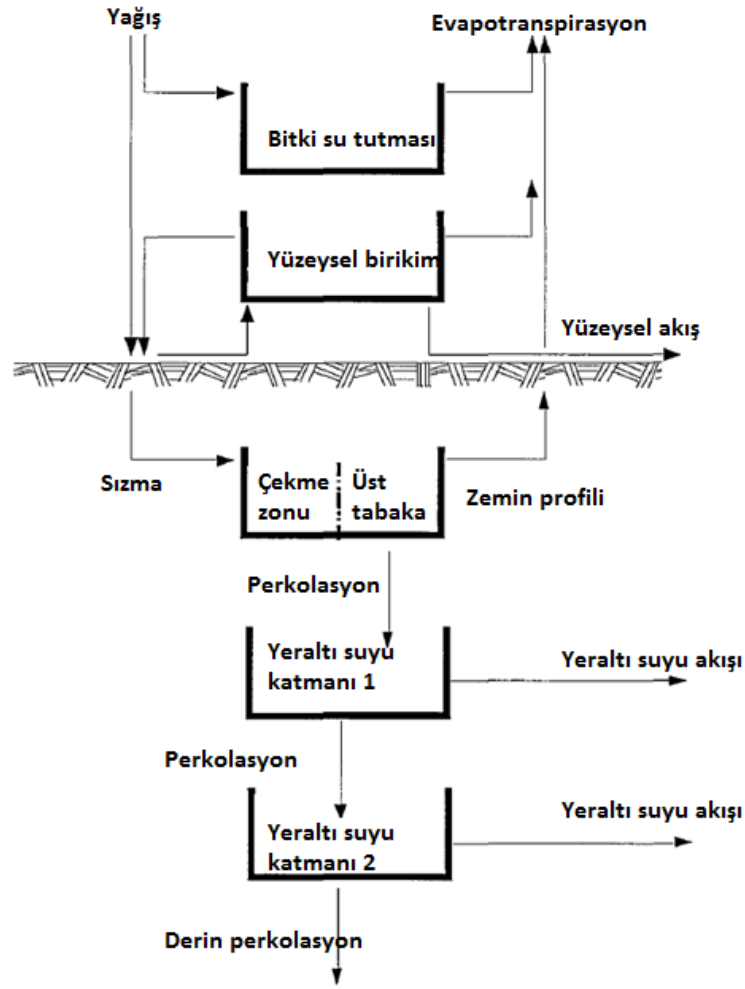
Şekil 4.8 HEC-HMS SCS CN kalibrasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.



Şekil 4.9 HEC-HMS SCS CN validasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.

4.1.3.2 Grid Tabanlı HEC-HMS SMA Hidrolojik Modeli

HEC-HMS sürekli veya olay bazında hidrolojik olayların kavramsal olarak farklı seçenekler altında modellenmesine imkan sunmaktadır. Toprak nemi değişimi esasına dayanan, kar erimesini sıcaklık indeks yöntemleriyle hesaplayan ve sürekli-kavramsal bir hidrolojik model olan HEC-HMS SMA modeli; bitki örtüsü, zemin yüzeyi ve profili ile YAS katmanlarında depolanan ve bu katmanlar boyunca hareket eden suyun miktarını modellemektedir. Olay bazlı modeller hidrolojik sistemin davranışını bir yağış olayı süresince simüle ederken, sürekli modeller kurak ve yağışlı hava şartlarında akımı modellemektedirler. Yağış, sıcaklık ve potansiyel ET değerlerinin modele girdi edilmesiyle, model tüm havza için yüzeysel ve YAS akışını, ET ve sızma kaynaklı kayıpları, toprak nemini, KSE ve derin perkolasyon miktarını hesaplamaktadır. SMA modeli bir dizi depolama katmanı ile havzayı temsil etmektedir (Şekil 4.10). Bu katmanların kapasitesi, katmanlara giren ve katmanlardan çıkan su miktarı sistemde biriken/kaybolan suyun hacmini kontrol etmektedir. Simülasyon süresince hesaplanan depolama miktarları, yağışlı ve kurak durumlar arasında sürekli değişmektedir (Bennett 1998, USACE 2000).



Şekil 4.10 HEC-HMS SMA modeli kavramsal şeması (Bennett 1998).

Bitki su tutması katmanı, vejetasyon tarafından tutulan ve zemin yüzeyine ulaşamayan yağış miktarını temsil etmektedir. Yağış oluştuğunda ilk olarak bu katmanı doldurmakta ve bu katmandaki su buharlaşma ile eksilmektedir. Yüzeysel birikim depolaması, sığ yüzey çöküntülerinde biriken su hacmidir. Bu katmana giren su, bitkiler tarafından tutulamayan ve sızma hızından daha büyük yağış şiddetine sahip yağıştan gelmektedir. Bu katmandan kayıplar ise sızma ve ET ile gerçekleşmektedir. Bu katman dolduğunda fazla su yüzeysel akışa geçmektedir. Yüzeyden sızan sularla dolan zemin profili katmanı, zeminde depolanan su miktarını temsil etmektedir. Bu katmandan su perkolasyon ve ET ile azalmaktadır. Bu katman çekme zonu ve üst tabaka olarak iki tabakaya ayrılmıştır. Üst tabakadan su ET ve/veya perkolasyon ile eksilirken, çekme zonunda sadece ET ile azalmaktadır. Üst tabaka zemin boşluklarında tutulan suyu,

çekme zonu ise zemin danesine yapışık suyu temsil etmektedir. SMA modeli bir yada iki YAS katmanı içerebilmektedir. YAS katmanından kayıplar, yeraltı akışı yada bir katmandan diğerine perkolasyon şeklinde olmaktadır. Zemin profilinden perkolasyonla gelen su ilk YAS katmanına girmektedir. Bu ilk katmanda depolanan su ikinci katmana perkolasyon yoluyla geçebilmektedir. İkinci katmandan da derin perkolasyon ile sistemi terk edebilmektedir. SMA, akifer akışını modellemediği için derin perkolasyon sistemden kayıp olarak ele alınmaktadır (USACE 2000).

HEC GeoHMS ile oluşturulan havza ve grid hücre dosyaları HMS modeline aktarıldıktan sonra havza ve meteorolojik modellerin yöntemleri belirlenmiştir. Havza modelinin kayıp yöntemi olarak 10 adet grid yapılı zemin parametresi içeren toprak nemi hesaplama algoritması, dönüşüm yöntemi olarak da ModClark birim hidrograf ve taban akışı yöntemi olarak sabit aylık baz akım kullanılmıştır. Bitki su tutması ve yüzeysel biriktirme yöntemleri model performansını düşürdüğü için kullanılmamıştır. Zaman serileri, eşli veriler ve grid veriler modele girildikten sonra kontrol bilgileri çerçevesinde model çalıştırılmıştır. HEC-HMS SMA modelinin veri yapısı, havza ve meteoroloji modelleri EK 9 ve EK 10'da görülmektedir. Çalışma havzası ve kalibrasyon periyodu için parametre optimizasyonunda değerlendirilen değer aralıkları Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5 HEC-HMS SMA model parametre aralıkları.

Parametre	Değer aralığı	Parametre	Değer aralığı	Parametre	Değer aralığı
Eşik sıcaklık (°C)	-3 - 4	Maksimum sızma (mm/sa)	0.1-5	Başlangıç YAS-2 oranı (%)	0-100
Taban sıcaklık (°C)	-3 - 4	Başlangıç toprak nemi (%)	0-100	YAS-2 kapasitesi (mm)	0-75
Islak erime (mm/°C-gün)	0-10	Zemin kapasitesi (mm)	0-120	YAS-2 perkolasyonu (mm/sa)	0.1-1
Yağmur sınırı (mm/gün)	0-5	Çekme zonu (mm)	0-75	YAS-2 depolama katsayısı (sa)	0-1000
ATI erime katsayısı	0-1	Zemin perkolasyonu (mm/sa)	0.1-2	Toplanma süresi (sa)	0-24
Donma sınırı (mm/gün)	0-2	Başlangıç YAS-1 oranı (%)	0-100	Dönüşüm yöntemi biriktirme katsayısı (sa)	0-1000
ATI donma katsayısı	0-1	YAS-1 kapasitesi (mm)	0-75		
Su kapasitesi (%)	0-10	YAS-1 perkolasyonu (mm/sa)	0.1-1		
Yer erimesi (mm/gün)	0-2	YAS-1 depolama katsayısı (sa)	0-1000		

Grid tabanlı SMA kalibrasyonundan önce, tümsel SMA parametreleri kalibre edilerek grid parametrelerin başlangıç değerleri oluşturulmuştur. Gerekli modelleme parametreleri girildikten sonra model NSE hedef fonksiyonunu maksimize edecek şekilde kalibre edilerek geliştirilmiştir. Kalibre edilen model performansları Çizelge 4.6’da sunulmuştur. NSE değeri kalibrasyon için 0.82 iken, validasyon periyodunda da

yaklaşık aynı kalarak 0.81 olarak hesaplanmıştır. NRMSE hata terimi kalibrasyon-validasyon için aynı değeri alırken, model akış hacmini kalibrasyon periyodu için %1, validasyon için ise %12 farkla fazla modellemiştir. SMA model başarısı, Çizelge 4.2 performans sınıflandırmasına göre hem kalibrasyon hem de validasyon periyodu için “çok iyi” olarak ifade edilebilir. Kalibrasyon ve validasyon periyotlarına ait model sonuç özeti EK 12’de, modelin akımın yanında sunduğu diğer tümsel çıktılar EK 13 ve EK 18 arasında gösterilmiştir.

SCS CN modeline kıyasla SMA modeli hem daha başarılı olduğu için hem de daha kompleks çıktılara sahip olduğu için, akımın yanında yan ürünler olan diğer tümsel ve grid yapılı çıktılar sunulmuştur. Tümsel çıktılarının yanında fırtına olayı gözlemlendiği için 5 Nisan 2011 gününe ait yağış, model durumları ve çıktıları grid yapısında EK 19 ve EK 27 arasında verilmiştir. Grid çıktılar incelendiğinde coğrafi ve hidrolojik şartlar açısından tutarlı oldukları görülmektedir. İlgili günde, havzanın en yüksek kısmı olan kuzeybatısındaki dağlık alanda kar örtüsünde donma gözlenmesi ve bu kısım hariç havzada kar erimesinin gerçekleşmesi, toprak nemi ve KSE çıktılarının uydu-yer gözlemleri ile tutarlılık arz etmesi modelin başarısını göstermektedir. Grid tabanlı modelin en büyük avantajlarından birinin verilerin konumsal dağılımının bilinmesi olduğu -grid çıktıların mantıksal tutarlılığı ışığında- ifade edilebilir. Ayrıca grid çıktıların uydu grid ürünleri ile karşılaştırılması imkanı da oldukça önemlidir.

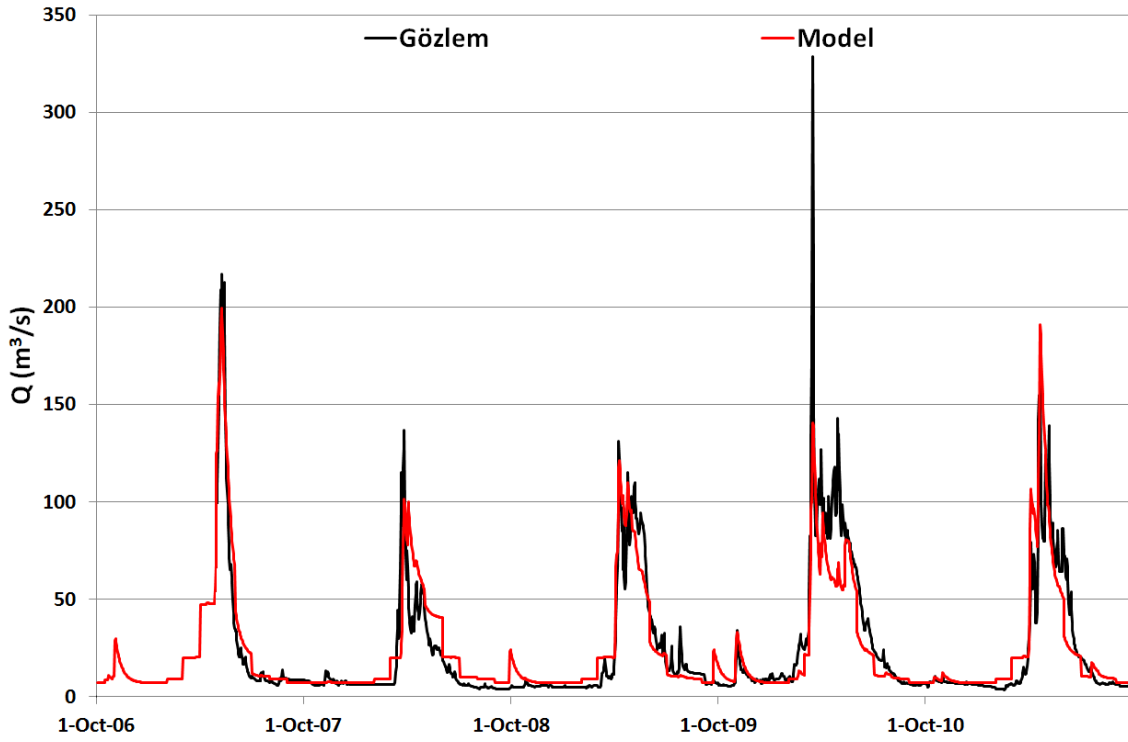
Modellenen akımın gözlenmiş akım değerleriyle (hidrograf, akış hacmi, pik akım zamanı ve büyüklüğü vb.) karşılaştırılması açısından hidrograflar Şekil 4.11 (kalibrasyon) ve Şekil 4.12’de (validasyon) verilmiştir. Yağış ve sızma grafiklerini de içeren HEC-HMS gözlenen-modellenen hidrograf çıktıları, etkili yağışı göstermesi bakımından EK 11’de sunulmuştur.

Ayrıca ham ve düzeltilmiş yağış-sıcaklık verilerinin model performansı üzerindeki etkileri de irdelenmiştir. Düzeltilmiş yağış ve sıcaklık verileri girdi verilen SMA modeli yeniden kalibre edilmiş, model parametreleri NSE kriterinin optimum değeri alması gözetilerek otomatik (Univariate-gradient ve Nelder-Mead simplex algoritmaları) ve manuel (deneme-yanılma yöntemi) kalibrasyon ile belirlenmiş ve validasyon periyodu

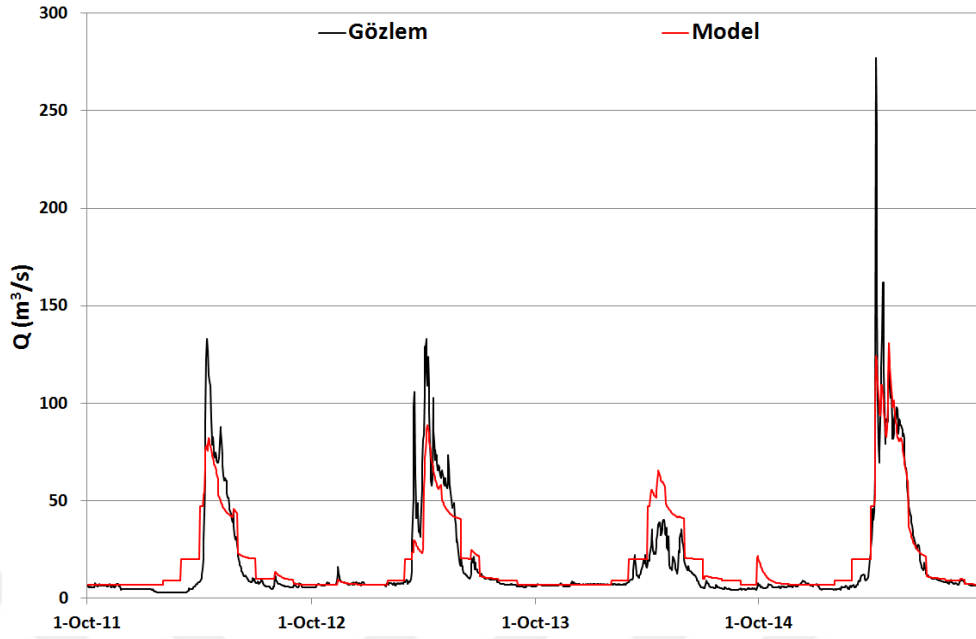
için model test edilerek performansı değerlendirilmiştir (Çizelge 4.6). Performans sonuçlarına bakıldığında, düzeltilmiş yağış ve sıcaklık verisinin model için daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6 HEC-HMS SMA model performans sonuçları.

Ölçütler	Kalibrasyon (2008-2011)		Validasyon (2012-2015)	
	IDW	Düzeltilmiş IDW	IDW	Düzeltilmiş IDW
NSE	0.78	0.82	0.76	0.81
NRMSE (m ³ /s)	0.5	0.4	0.5	0.4
PBIAS (%)	2	1	7	12



Şekil 4.11 HEC-HMS SMA kalibrasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.



Şekil 4.12 HEC-HMS SMA validasyon periyodu hidrograf karşılaştırması.

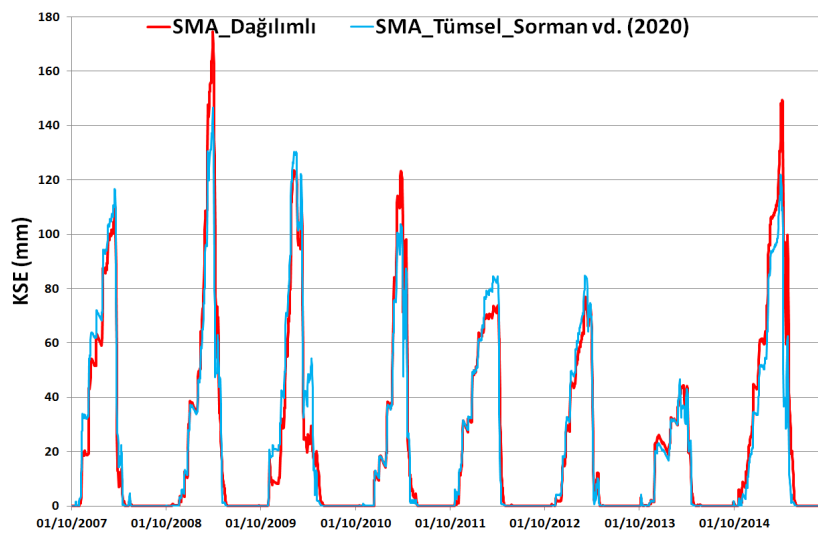
Tez sahibinin de yazar olarak yer aldığı Sorman vd. (2020)'nin çalışmasında, Kayabaşı havzası günlük akımları (2008-2015 su yılları arası) tümsel HEC-HMS SMA ve HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning, Swedish Meteorological and Hydrological Institute) modelleri kullanılarak modellenmiştir. Bu tez çalışması ile aynı uygulama havzası ve periyodunda gerçekleştirilen çalışma sonuçları tümsel-dağılımlı model karşılaştırması açısından değerlendirilmiştir (Çizelge 4.7). Tez kapsamında dağılımlı HEC-HMS SCS CN ve SMA modelleri kullanılmış olup, ilgili çalışma kapsamında elde edilen tümsel modelleme sonuçları karşılaştırma açısından dikkate alındığında, HMS SMA dağılımlı modeline göre daha basit yapılı olan HMS SCS CN dağılımlı modeli tümsel modellere göre düşük performans göstermiştir. Daha kompleks olan fiziksel tabanlı modellemeye yakın HMS SMA dağılımlı modelini karşılaştırdığımızda ise, modellerin kalibrasyon periyodunda yaklaşık aynı performansa sahip olmalarına rağmen validasyon periyodunda dağılımlı HMS SMA modelin tümsel modellerden daha yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Model çıktılarının konumsal olarak elde edilmesinin dağılımlı modellerin tümsel modeller üzerindeki en önemli avantajı olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte uydu tabanlı UA ürünlerinin konumsal olarak hidrolojik modellemede kullanılabilirliği de dağılımlı modellerin artıdır. Bu bağlamda tez kapsamında uygulanan dağılımlı HMS SMA modelinin, Sorman vd. (2020) tümsel HMS SMA ve HBV modellerine karşı üstünlük sağladığı

belirtilebilir.

Çizelge 4.7 Kayabaşı Havzası tümsel ve dağılımlı hidrolojik modellerin performans sonuçları.

Performans Ölçütü, NSE			
Hidrolojik Modeller		Kalibrasyon (2008-2011)	Validasyon (2012-2015)
Sorman vd. (2020)	HMS SMA (Tümsel)	0.82	0.78
	HBV (Tümsel)	0.86	0.72
HMS SMA (Dağılımlı)		0.82	0.81
HMS SCS CN (Dağılımlı)		0.67	0.63

Sorman vd. (2020) HMS SMA tümsel ile tez kapsamında gerçekleştirilen HMS SMA dağılımlı modellemelerden elde edilen KSE çıktıları karşılaştırıldığında ise, modellerin birbirine çok yakın kar çıktıları verdiği görülmektedir (Şekil 4.13). KSE grid serisi sağlayan dağılımlı model (konum-zamansal), sadece KSE zaman serisi sağlayan tümsel modele (zamansal) göre konumsal dağılım açısından avantajlıdır. Dağılımlı model performansı tümsel modele kıyasla bir miktar düşük olsa dahi konumsal dağılım açısından tercih edilebilir, kaldı ki bu çalışmada dağılımlı model tümsel modellerden daha iyi performans göstermiştir.



Şekil 4.13 2008-2015 su yılları arası HMS SMA tümsel-dağılımlı model KSE çıktıları.

4.1.4 Uydu Verilerinin Dağılımlı Hidrolojik Modellemeye Dahil Edilmesi

Dağlık bölgelerde ölçüm yapmak coğrafi, ekonomik ve güvenlik sebeplerinden dolayı oldukça zor olduğundan hidroloji çalışmalarında uydu ürünlerinden yararlanmak büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca dağılımlı modeller için uydu ürünlerinin doğrudan girdi olabilmesi ve/veya model çıktılarının uydu ürünleriyle grid bazlı karşılaştırılması da önemli bir husustur. Bazı model parametre değerleri için de uydu verilerinden yararlanılmaktadır. Bu açıdan hidrolojik modelleme çalışmasında çeşitli uydu verileri kullanılmıştır.

Havzanın bir nevi doktoru gibi olan modelleyici, tek bir tümsel çıktı ile model performansını ölçmenin yanında farklı yan ürünler ve içsel çıktılar ile de modeli test etmelidir. Havza çıkışı akım karşılaştırmasının yanında model kar ve toprak nemi çıktılarının karşılaştırılması model içsel tutarlılığı açısından oldukça önemlidir. Kar ve toprak nemi yer gözlemleri özellikle dağlık havzalarda çok olmadığından uydu tabanlı veriler önem kazanmaktadır. Ayrıca modele girdi sağlaması açısından da uydu türevli veriler, UA'nın hidrolojik modelleme için önemini arttırmaktadır. Uydu yağış ve sıcaklıkları HEC-HMS modeline girdi olurken, kar ve toprak nemi uydu ürünleri modelin içsel tutarlılığının ölçülmesi için kullanılmaktadır.

Uydu ürünleri hidrolojik modellemeye parametrisasyon aşamasında da bir miktar dahil edilmişse de bu çalışmada asıl olarak iki şekilde kullanılmıştır:

- Kar ve toprak nemi çıktıları temelinde hidrolojik model-uydu karşılaştırmaları ile model içsel tutarlılık analizi
- Uydu yağış-sıcaklıklarının doğrudan modele girdi verilmesi ve en iyi model performansı gösteren uydu yağışının IDW yağış gridleri ile harmanlanması

Uydu ürünlerin hidrolojik modellemeye dahil edilmeden önce mümkünse yer gözlemleri ile doğrulanması önemlidir. Yer gözlemleri ile karşılaştırılan uydu verileri düşük-yüksek tahmin (underestimate-overestimate) yapması bakımından değerlendirilebilir ve gerekiyorsa çeşitli güncelleme, düzeltme, birleştirme, harmanlama ve ölçek küçültme prosesleri uygulanabilir. Uydu verisinin HEC-HMS modelinde

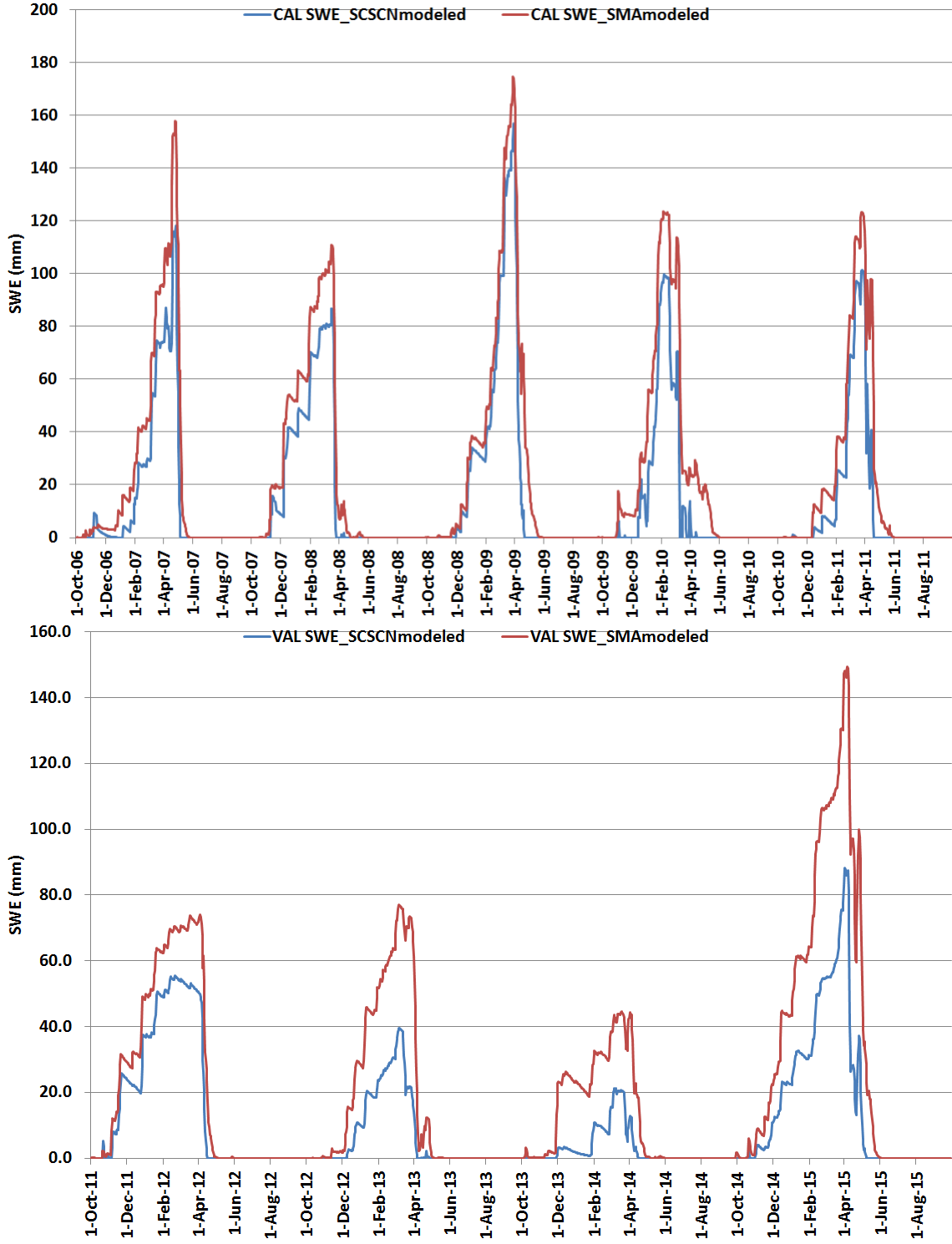
değerlendirilebilmesi için zaman serisi yada grid tabanlı DSS verisine dönüştürülmesi ve işlenmesi aşamaları bir dizi iteratif CBS işlemiyle gerçekleştirilmektedir.

Havza çıkışında gözlenen akım ile model performans değerlendirmesinin yanında, kar ve toprak nemi çıktılarının gözlem ve/veya uydu verileri ile karşılaştırılması yoluyla model içsel tutarlılığı test edilmiştir. Dağılımlı hidrolojik modellemede, modelin gücünün tek bir noktasal çıktı (akım) ile ölçülmesinin yanında dağılımlı yan çıktılar (KSE ve toprak nemi) ile de ele alınması güvenilirlik açısından önemlidir. Model KSE ve toprak nemi çıktıları hem tümsel hem de dağılımlı olarak yer gözlem ve/veya uydu verileri ile karşılaştırılmıştır.

Kar örtüsü olduğunda uydu toprak nemindeki değişimi tam olarak tespit edemediğinden Ekim-Haziran ayları arasında kar, Nisan-Kasım ayları arasında toprak nemi model-uydu karşılaştırmaları yapılmıştır.

4.1.4.1 Uydu Kar Ürünleri

Modelin içsel sürecinin anlaşılması açısından akımın yanı sıra model KSE sonuçları ele alınmıştır (Şekil 4.14). Model KSE çıktıları yıl bazında incelendiğinde, kış aylarında yağın yağış ve hava sıcaklıkları ile uyumlu olduğu ve SMA modelinin her yıl daha çok kar biriktirdiği görülmektedir. Ayrıca tüm yıllarda SMA modelinde kar daha geç erimektedir. Kalibrasyon periyodunda iki model de yaklaşık aynı kar çıktıları verirken, validasyon periyodunda SMA modeli SCS CN modeline göre daha yüksek kar değerleri vermektedir. SMA modeli için maksimum KSE kalibrasyon periyodunda tüm yıllar, validasyon periyodunda sadece 2015 yılı için 110 mm ve üzerindedir. En fazla kar birikimi 2009 yılında olurken, en düşük 2014 yılında modellenmiştir. Validasyon periyodu kar birikimi kalibrasyon periyoduna göre oldukça düşük kalmaktadır.

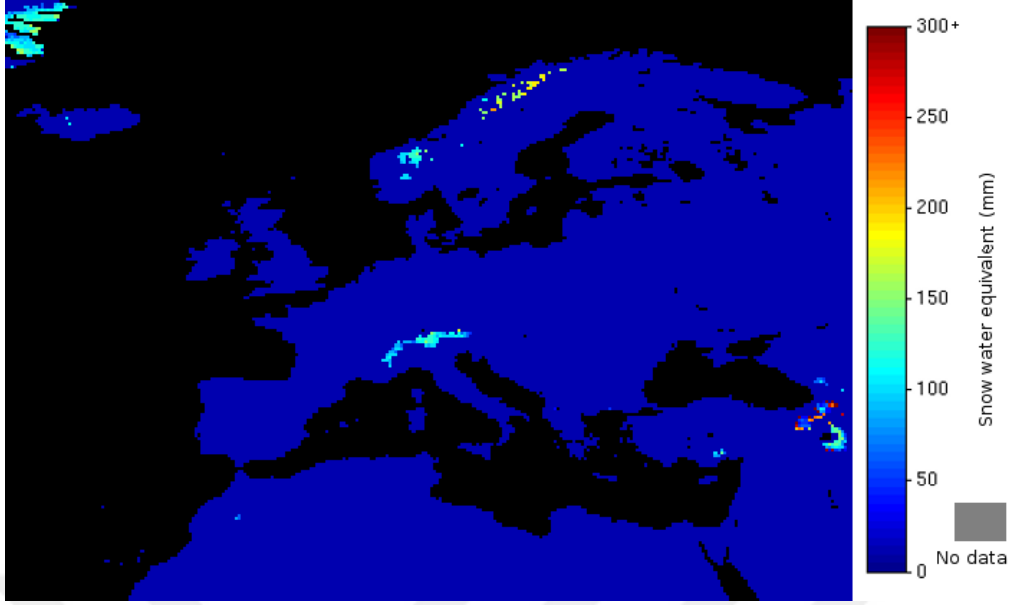


Şekil 4.14 HEC-HMS SCS CN ve SMA modelleri kalibrasyon ve validasyon periyotları KSE çıktıları.

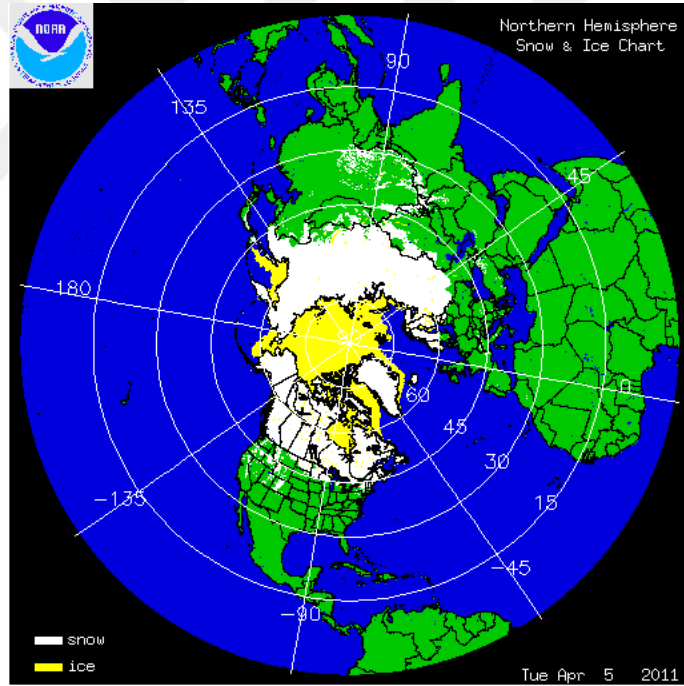
Model KSE çıktısı kar birikme-erime sezonu (1 Ekim-30 Haziran) için uydu ve yer gözlem istasyonları verileriyle zaman serisi ve dağılımlı olarak karşılaştırılmıştır. Uydu

KSE ve toprak nemi verilerinin yer gözlemleri ile tutarlılıkları KKA (Kar Kaplı Alan) verisine kıyasla daha düşüktür. Bu nedenle KKA önemli ve güçlü bir karşılaştırma ürünüdür. HEC-HMS doğrudan bir KKA çıktısı vermese de KSE-KKA ilişkisinden ($KSE > 0$ ise kar vardır) yararlanılabilir. Bu yüzden model KSE verisi, EUMETSAT H-SAF H13 (İnt. Kyn. 24, Şekil 4.15) ve yer gözlemi (Hacıömer ve Tekman istasyonları) KSE verilerinin yanında, IMS (Şekil 4.16), MODIS ve SEVIRI KKA ürünleri ile de karşılaştırılmıştır. Kar yer gözlemleri genellikle kesikli veri olduğundan süreklilik arz eden uydu verisi bu anlamda da önemlidir. Genel olarak kar birikme sürecini IMS, kar çekilme sürecini de MODIS uydusu daha iyi temsil ettiğinden, IMS ve MODIS uyduları harmanlanmıştır. Kar birikme eğrisi olarak IMS KKA verisi, kar erime dönemi için de MODIS KKA verisi kullanılmıştır.

IMS (Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System), NOAA/NESDIS tarafından sağlanan çoklu uydu kar-buz haritalama sistemidir. Kuzey yarım küre için 1997-2004 yılları arasında 24 km konumsal çözünürlüklü günlük veri sağlayan IMS, 2004-2014 arası 4 km, 2014 sonrası ise 1 km çözünürlüğünde günlük KKA verisi sunmaktadır. Çok çeşitli uydu görüntülerinin (MODIS, AVHRR-VIS, POES, GOES, SEVIRI, MTSAT, AMSU-A, SAR, SSM, VIIRS) yanı sıra yer gözlemleri içeren IMS verisinde gece ve/veya bulut örtüsünden kaynaklı boşluklar, pasif mikrodalga uydu verisi kullanılarak tamamlanmaktadır (National Ice Center 2008, NOAA NESDIS 2019). MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), Terra ve Aqua uydularında bulunan önemli bir araçtır. MODIS, politika yapıcıların çevremizin korunmasına ilişkin sağlam kararlar almalarına yardımcı olmaktadır. Küresel değişimi yeterince doğru bir şekilde tahmin edebilen MODIS; onaylanmış, küresel, etkileşimli Dünya sistemi modellerinin geliştirilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. 500 m konumsal çözünürlüklü MODIS KKA ürünleri, MODIS kalibre edilmiş ışıyım veri ürünleri, konum belirleme ürünleri ve bulut maskesi ürünleri girdi olarak kullanılarak oluşturulur. Karla kaplı araziye tanımlayan MODIS kar algoritması çıktısı kar örtüsü, kalite güvence, enlem ve boylam bilimsel veri setleri ile yerel ve küresel öznitelikleri içerir (Hall vd. 2006).



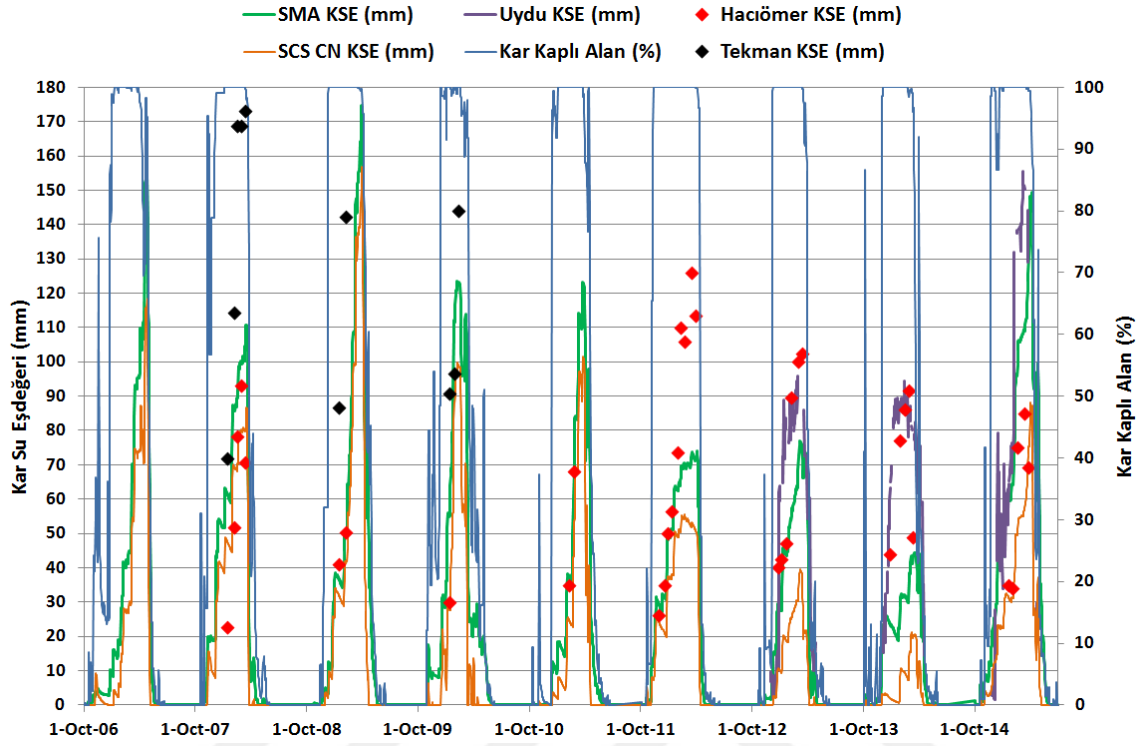
Şekil 4.15 EUMETSAT H-SAF H13 uydusu KSE ürünü (15 Mart 2018).



Şekil 4.16 IMS uydusu KKA ürünü (5 Nisan 2011).

Model KSE çıktıları yıl bazında uydu ve yer kar gözlemleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.17 ve EK 28). Kar çıktıları grafiksel (kar çekilme eğrileri ve KSE) ve istatistiksel (Çizelge 4.8) olarak incelendiğinde her iki modelin de iyi bir tutarlılık sergilediği görülmektedir. Uydu ve model kar eğrilerinin başlangıç ve bitiş kısımlarının uygulama periyodunun tamamında örtüştüğü görülmektedir. Akım performansında olduğu gibi kar

performansında da SMA modeli SCS CN modeline üstünlük sağlamıştır.



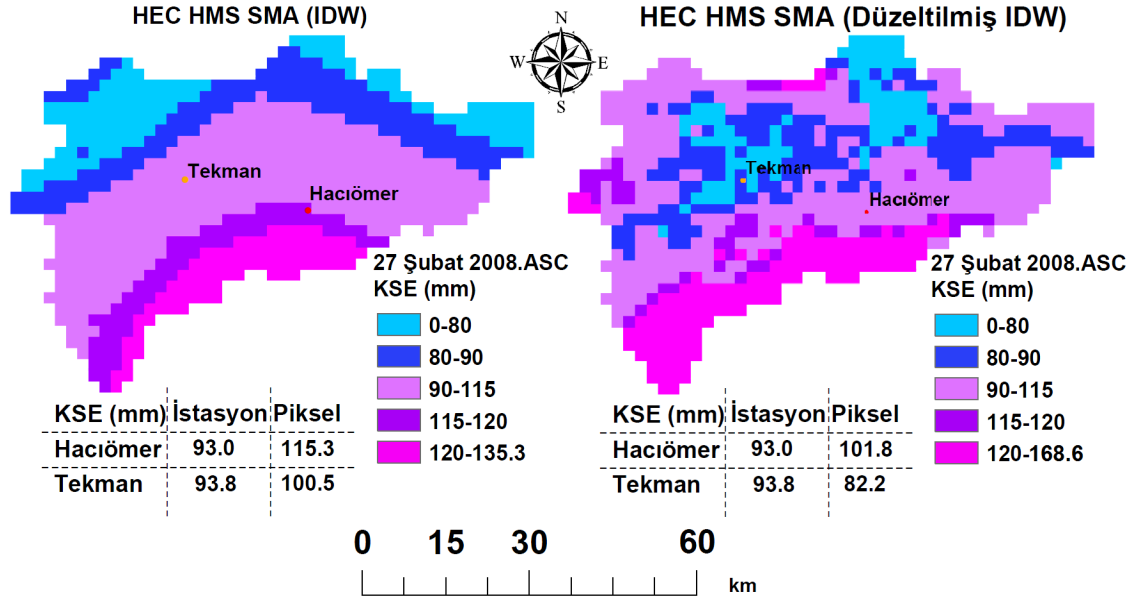
Şekil 4.17 2007-2015 su yılları arası KSE-KKA grafiği.

Çizelge 4.8 HEC-HMS SCS CN ve SMA KSE çıktısı performans karşılaştırması.

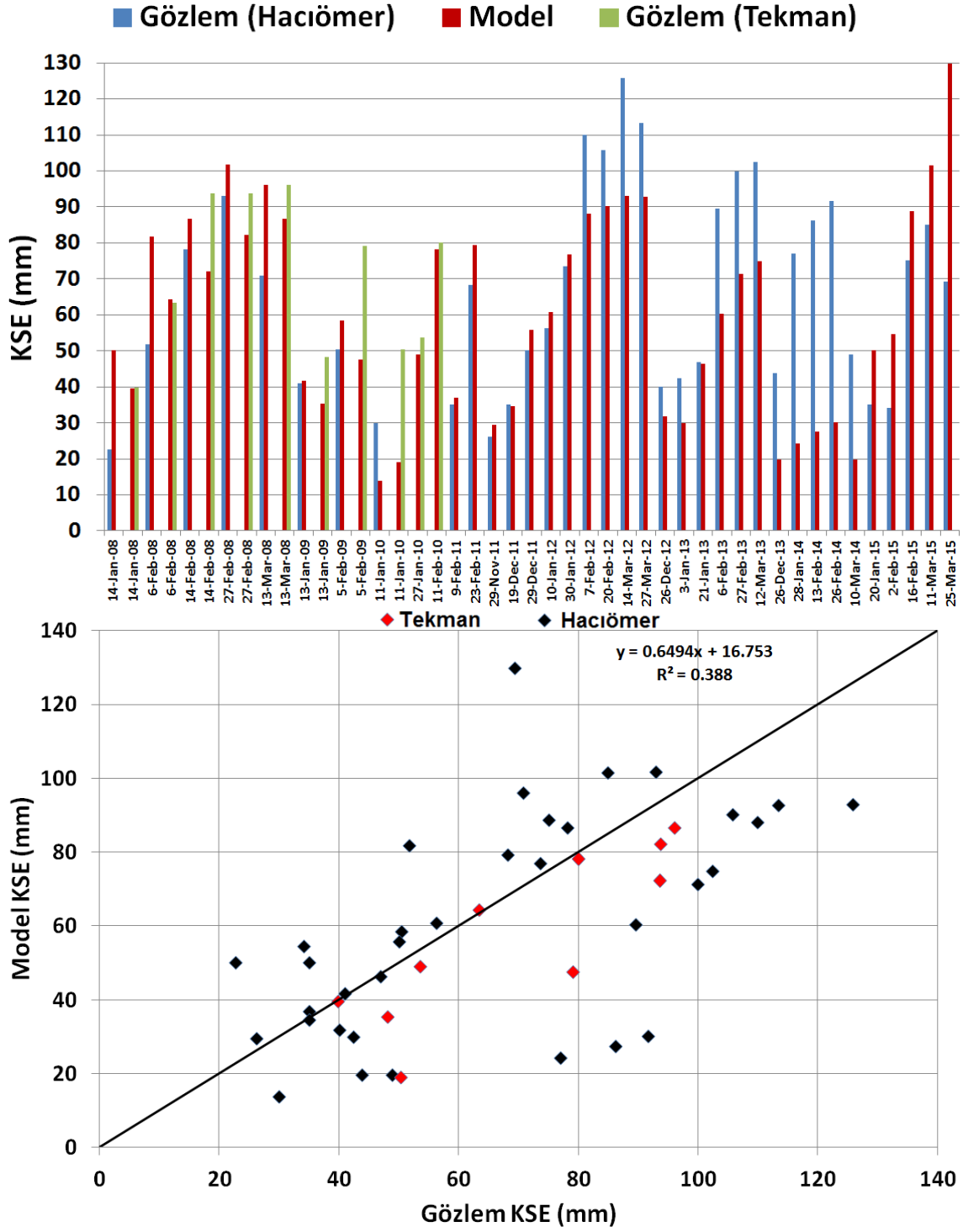
R (korelasyon katsayısı)	Model	KSE Hacıömer (1910 m)	KSE Tekman (1980 m)	KSE H13	KKA IMS	KKA MODIS	KKA SEVİRİ
Kalibrasyon	CN	0.76	0.53	-	0.70	0.72	0.75
	SMA	0.79	0.56	-	0.77	0.79	0.85
Validasyon	CN	0.48	-	0.69	0.73	0.75	0.76
	SMA	0.61	-	0.77	0.82	0.83	0.84

Ayrıca SMA modeli KSE raster verileri ile noktasal kar gözlem istasyon verileri (Hacıömer ve Tekman) piksel bazında karşılaştırılmıştır (Şekil 4.18, 4.19 ve Çizelge 4.9). Yüksekliğin sıcaklık üzerindeki etkisi modellenerek sıcaklık iki boyut yerine üç boyutlu olarak elde edilmiş ve modelin daha gerçekçi KSE üretmesi sağlanmıştır. Bu duruma örnek olması için 27 Şubat 2008 grid KSE verileri sunulmuştur (Şekil 4.18). İstasyon-piksel değerleri incelendiğinde model KSE'nin piksel bazında da tutarlı olduğu

söylenbilir. Tekman kar gözlem istasyonunun 2008-2010, Hacıömer istasyonunun ise 2008-2015 yılları arası KSE verileri karşılaştırmada kullanılmıştır. Tekman istasyonunda 2010 yılından sonra kar ölçümü yapılmadığından, 2010-2015 yılları arasında sadece Hacıömer istasyonu ile karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 4.18 HEC-HMS SMA (IDW ve düzeltilmiş IDW) grid yapılı KSE karşılaştırması (27 Şubat 2008).



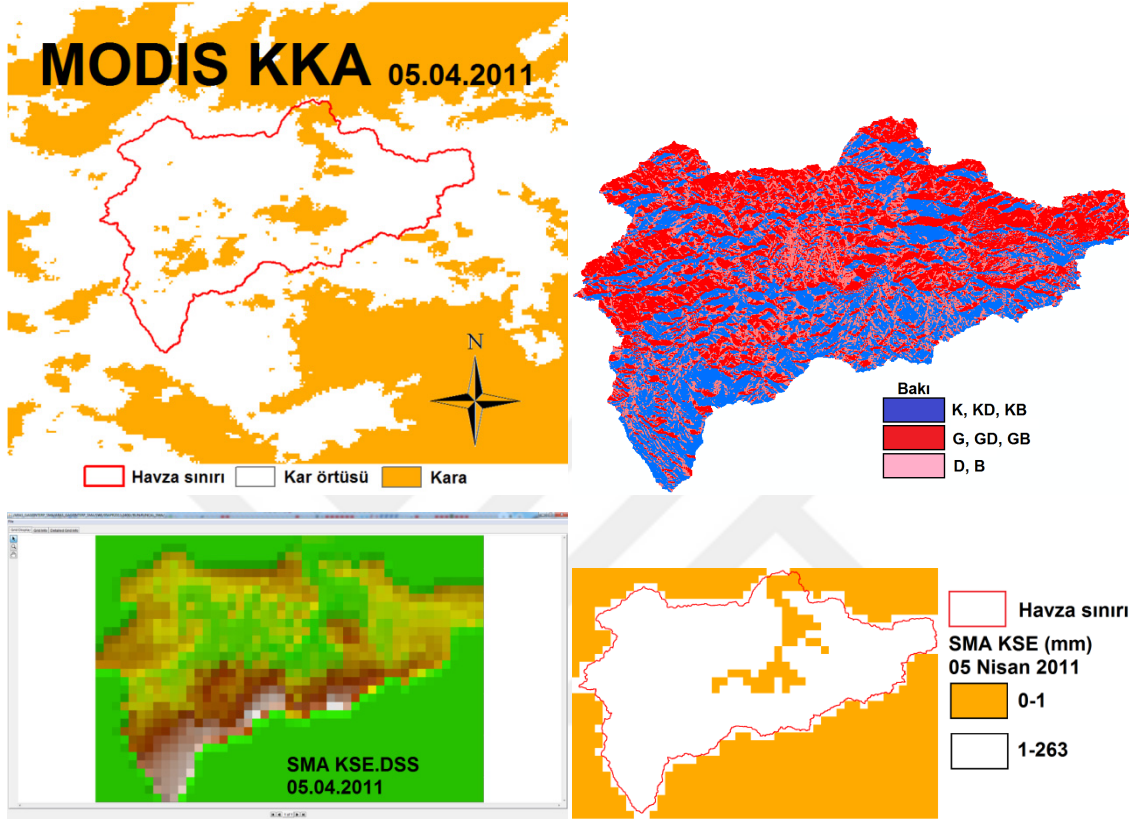
Şekil 4.19 HEC-HMS SMA-kar gözlem istasyonları karşılaştırması.

Çizelge 4.9 HEC-HMS SMA kar istasyonları karşılaştırması.

Tarih	Kar İstasyonu	KSE ölçümü (mm)	SMA-KSE (mm)	Tarih	Kar İstasyonu	KSE ölçümü (mm)	SMA-KSE (mm)
14Oca2008	Hacıömer	22.7	50.2	10Oca2012		56.3	60.8
	Tekman	39.9	39.6	30Oca2012		73.6	76.9
6Şub2008	Hacıömer	51.8	81.8	7Şub2012		109.9	88.2
	Tekman	63.5	64.4	20Şub2012		105.8	90.2
14Şub2008	Hacıömer	78.2	86.6	14Mar2012		125.8	93.0
	Tekman	93.7	72.2	27Mar2012		113.4	92.8
27Şub2008	Hacıömer	93.0	101.8	26Ara2012		40.1	31.9
	Tekman	93.8	82.2	3Oca2013		42.5	30.0
13Mar2008	Hacıömer	70.8	96.1	21Oca2013		47.0	46.4
	Tekman	96.1	86.6	6Şub2013		89.6	60.4
13Oca2009	Hacıömer	41.0	41.8	27Şub2013	Hacıömer	100.0	71.4
	Tekman	48.2	35.4	12Mar2013		102.4	74.8
5Şub2009	Hacıömer	50.4	58.5	26Ara2013		43.8	19.8
	Tekman	79.1	47.5	28Oca2014		77.1	24.3
11Oca2010	Hacıömer	30.0	13.8	13Şub2014		86.2	27.5
	Tekman	50.4	19.0	26Şub2014		91.6	30.2
27Oca2010		53.6	49.0	10Mar2014		48.9	19.7
11Şub2010	Tekman	80.0	78.1	20Oca2015		35.0	50.2
9Şub2011		35.0	36.9	2Şub2015		34.2	54.6
23Şub2011		68.2	79.3	16Şub2015		75.1	88.8
29Kas2011	Hacıömer	26.2	29.5	11Mar2015		85.0	101.6
19Ara2011		35.0	34.7	25Mar2015		69.3	129.8
29Ara2011		50.1	55.8				

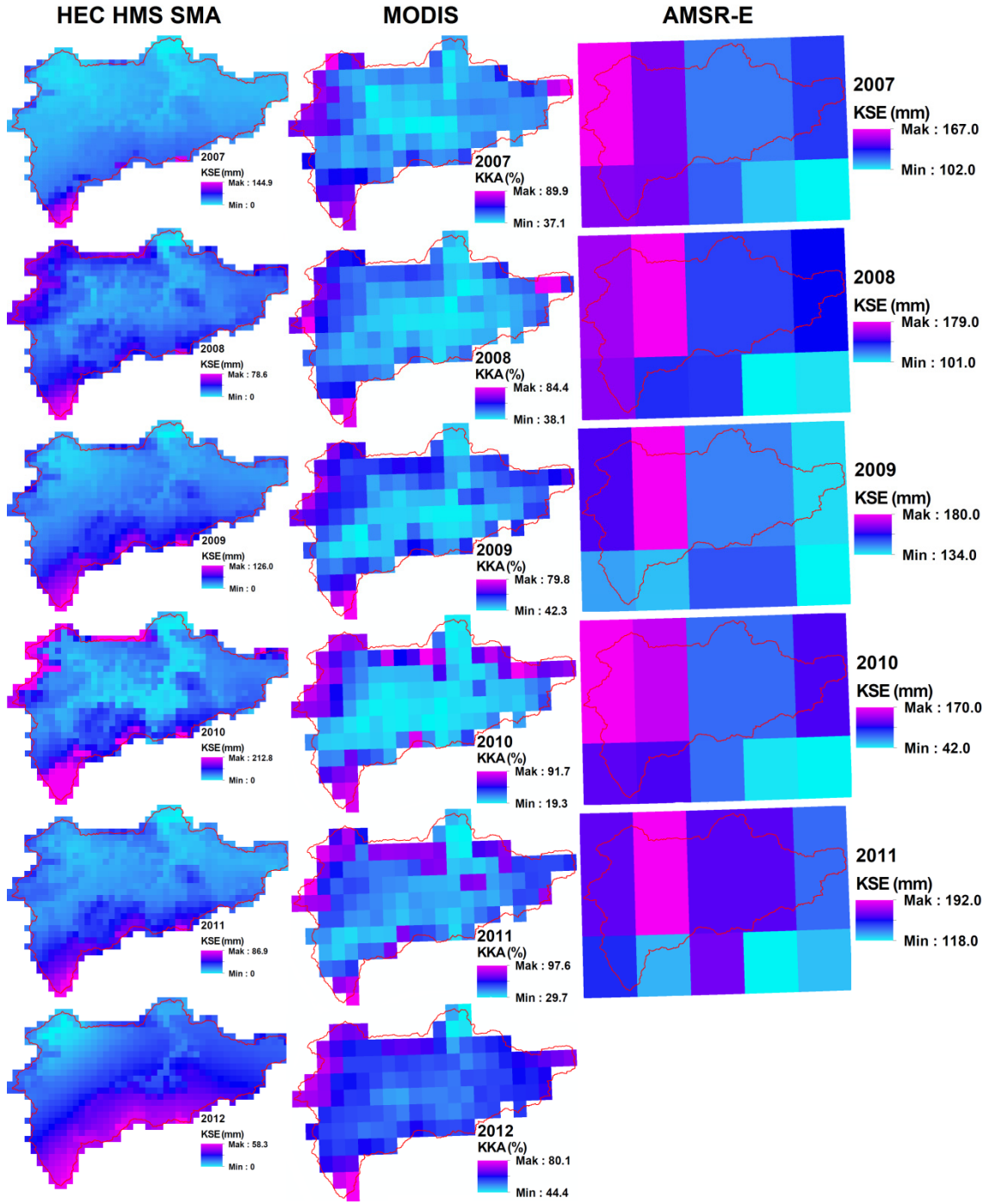
Model KSE çıktısının uydu KKA verisiyle konumsal olarak da uyumlu olduğunu göstermek için 5 Nisan 2011 günü örnek olarak Şekil 4.20’de sunulmuştur. Model KSE’ne 1 mm eşik değeri uygulandığında MODIS KKA verisiyle havzanın güneybatı kısmı hariç oldukça uyumlu gözükmektedir. Güneybatı kısmında kar örtüsünde

uyuşmayan yerlerinde ağırlıklı güney bakısına sahip olduğu görülmektedir. Model baki etkisini dikkate almadığından ve konumsal çözünürlük farklılıklarından (MODIS, 500 m; model 2000 m) bu farklılığın oluştuğu belirtilebilir.

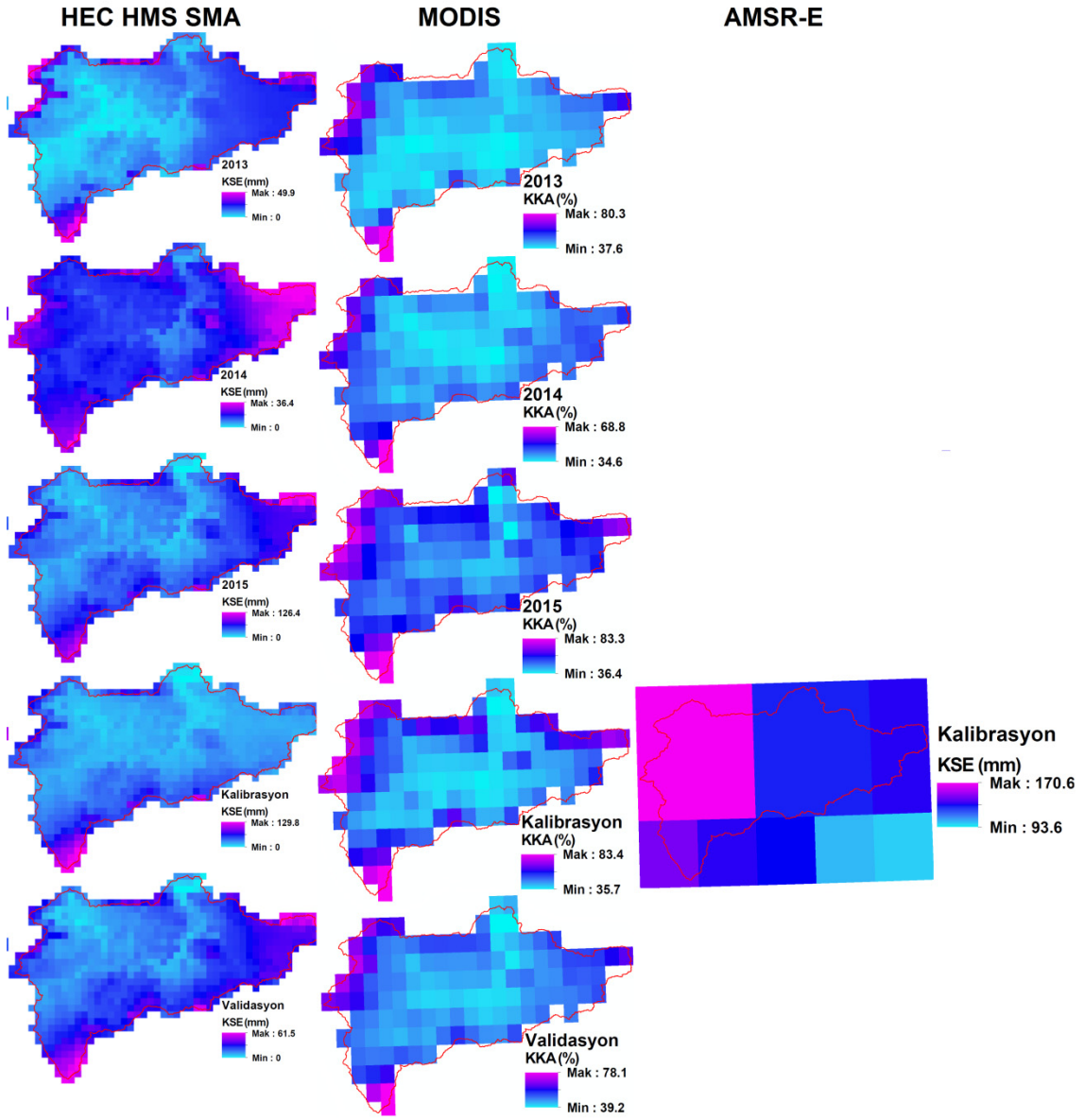


Şekil 4.20 MODIS KKA-SMA KSE karşılaştırması (5 Nisan 2011).

Model KSE (mm), MODIS/Aqua L3 v.6 (0.05°) KKA (%) ve AMSR-E/Aqua L3 v.2 (0.25°) KSE (mm) grid tabanlı verileri yıl ve kalibrasyon-validasyon periyotları bazında görsel karşılaştırma için ortalama değerler olarak sunulmuştur (Şekil 4.21). Günlük grid veri setlerinin çokluğundan dolayı, grid tabanlı karşılaştırmaların yıl bazında yapılması uygun görülmüştür. AMSR-E verisinin konumsal çözünürlüğü daha düşük olduğundan, çözünürlüğü daha yüksek olan MODIS KKA verileriyle genel olarak modelin çok daha uyumlu olduğu görülmektedir. Yüksek KSE potansiyeline sahip havzanın kuzeybatı ve güney-güneydoğu kısımlarındaki dağlarda da model-MODIS uyumu oldukça başarılı kabul edilebilir.



Şekil 4.21 Uydu ve model kar ürünleri karşılaştırmaları (1 Ekim-30 Haziran).



Şekil 4.21 (Devam) Uydu ve model kar ürünleri karşılaştırmaları (1 Ekim-30 Haziran).

Son olarak SMA modeli KSE çıktıları ve uydu KKA (IMS-MODIS harmanı) verisi arasında tutarlılık analizi (Çizelge 4.10 ve 4.11) yapılarak model beceri skorları hesaplanmıştır. Eşik değerler sırasıyla KSE için 0 mm ve 1 mm; KKA için ise %0 ve %5 olarak uygulanmıştır. KSE 1 mm-KKA %5 eşik değerlerinde modelin tutarlılık analizi performansı daha iyi olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10 HEC-HMS SMA KSE-uydu KKA tutarlılık analizi (KSE eşik değeri: 0 mm-KKA eşik değeri: %0).

		SMA		
		KSE>0	KSE=0	
IMS- MODIS KKA	KKA>0	1875 (TP)	211 (FN)	Hassasiyet TP/(TP+FN) 0.90
		KKA=0	63 (FP)	310 (TN)
			Kesinlik TP/(TP+FP) 0.97	Negatif değer kestirim gücü TN/(TN+FN) 0.60

Çizelge 4.11 HEC-HMS SMA KSE-uydu KKA tutarlılık analizi (KSE eşik değeri: 1 mm-KKA eşik değeri: %5).

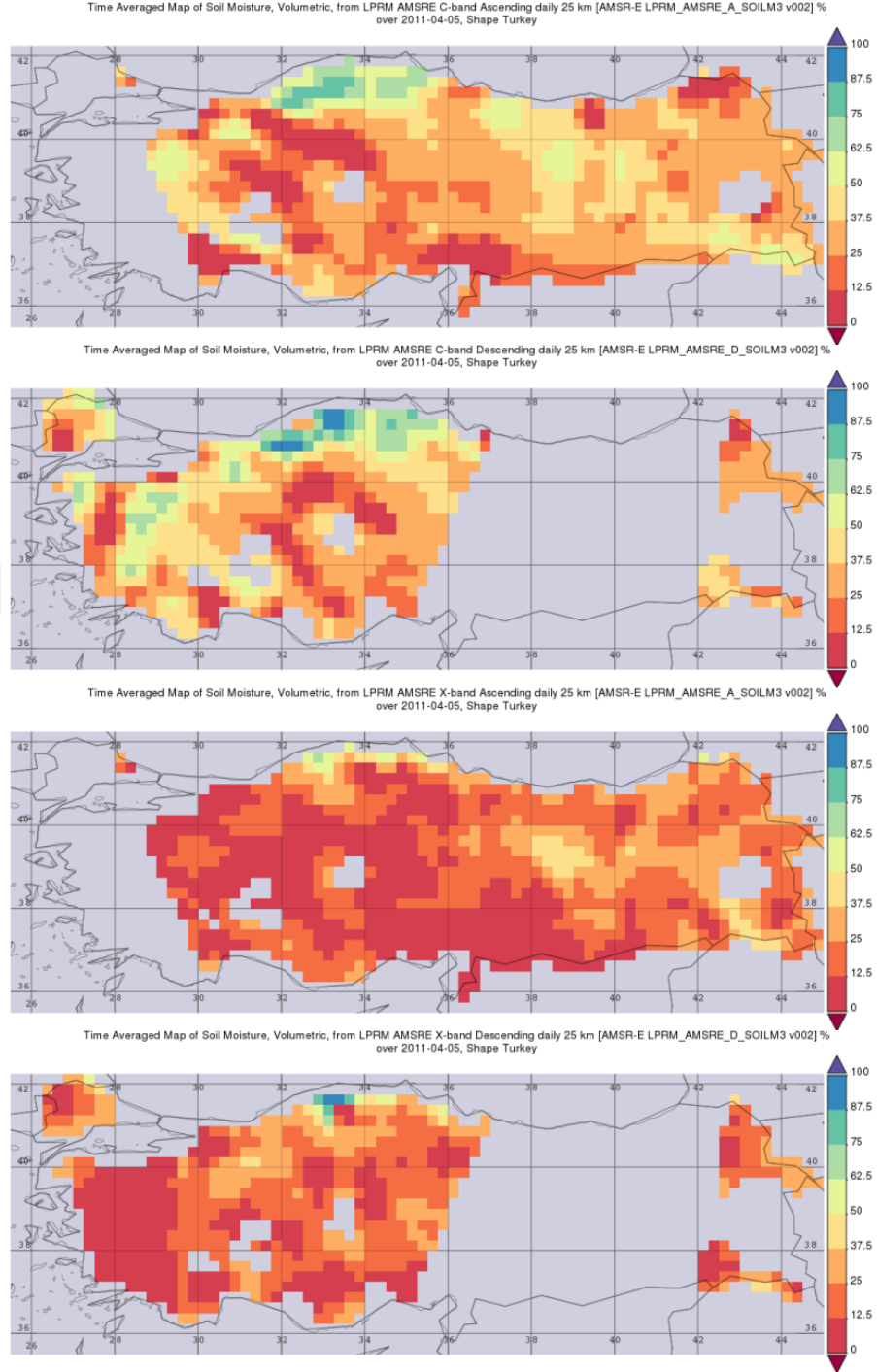
		SMA		
		KSE≥1	KSE<1	
IMS- MODIS KKA	KKA≥5	1619 (TP)	46 (FN)	Hassasiyet TP/(TP+FN) 0.97
	KKA<5	68 (FP)	726 (TN)	Belirginlik TN/(TN+FP) 0.91
		Kesinlik TP/(TP+FP) 0.96	Negatif değer kestirim gücü TN/(TN+FN) 0.94	Doğruluk (TP+TN)/(TP+TN+FP+FN) 0.95

4.1.4.2 Uydu Toprak Nemi Ürünleri

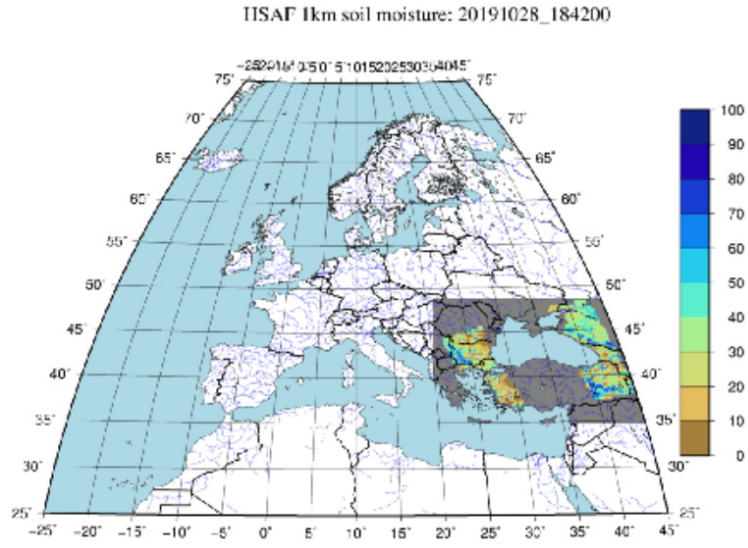
Model iç işleyişinin test edilmesi açısından kar çıktısının yanında toprak nemi çıktısı da sunan SMA modeli, AMSRE (Şekil 4.22), AMSR2 ve EUMETSAT H-SAF ASCAT H14 (Şekil 4.23) uydu toprak nemi ürünleriyle grafiksel ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.24, 4.25 ve Çizelge 4.12). Karşılaştırma sonucu model toprak nemi çıktısının H14 uydu verisiyle daha uyumlu olduğu ve genel trendi yansıtabildiği belirtilebilir. Toprak nemi hidrolojik modelleme sürecinde havza hidrolojik tepkisi açısından çok önemli bir unsur olmasının yanında, hidrolojik ve tarımsal kuraklık açısından da etkin bir göstergedir.

MERRA uydu tabanlı modelin (GMAO 2008) aylık üst katman toprak nemi ($0.5^\circ \times 0.667^\circ$), MODIS-ESA CCI uydu tabanlı LISFLOOD modeli üst katman toprak nemi indeksi (SMI, Cammalveri vd. 2016, Cammalveri vd. 2017) (0.05°) ve SMA modeli (0.02°) toprak nemi yıl bazında havzanın alansal-zamansal ortalaması olarak karşılaştırıldığında oldukça yakın değerlere sahip oldukları görülmüştür (Çizelge 4.13). Ayrıca model toprak nemi doygunluk oranı (%), 2007-2010 yılları arasında LPRM AMSR-E/Palmer su dengesi modeli günlük kök bölgesi toprak nemi (0.25°) (%), 2007-2015 yılları arasında SMI uydu tabanlı model indeksi (5 km) (0-1) ve 2012-2015 yılları arasında LPRM AMSR2 günlük toprak nemi (0.1°) (%) grid tabanlı verileriyle yıl bazında ortalama olarak görsel karşılaştırma için sunulmuştur (Şekil 4.26). AMSR-E verisinin konumsal çözünürlüğü düşük olduğundan, modelin SMI ve AMSR2 verisiyle daha uyumlu olduğu ve genel olarak trendi yansıttığı söylenebilir. SMI konumsal çözünürlüğü (5 km) model çözünürlüğüne (2 km) yakın olduğundan yeniden örneklenerek (bilineer enterpolasyon tekniği) 2 km çözünürlüğünde karşılaştırılmıştır.

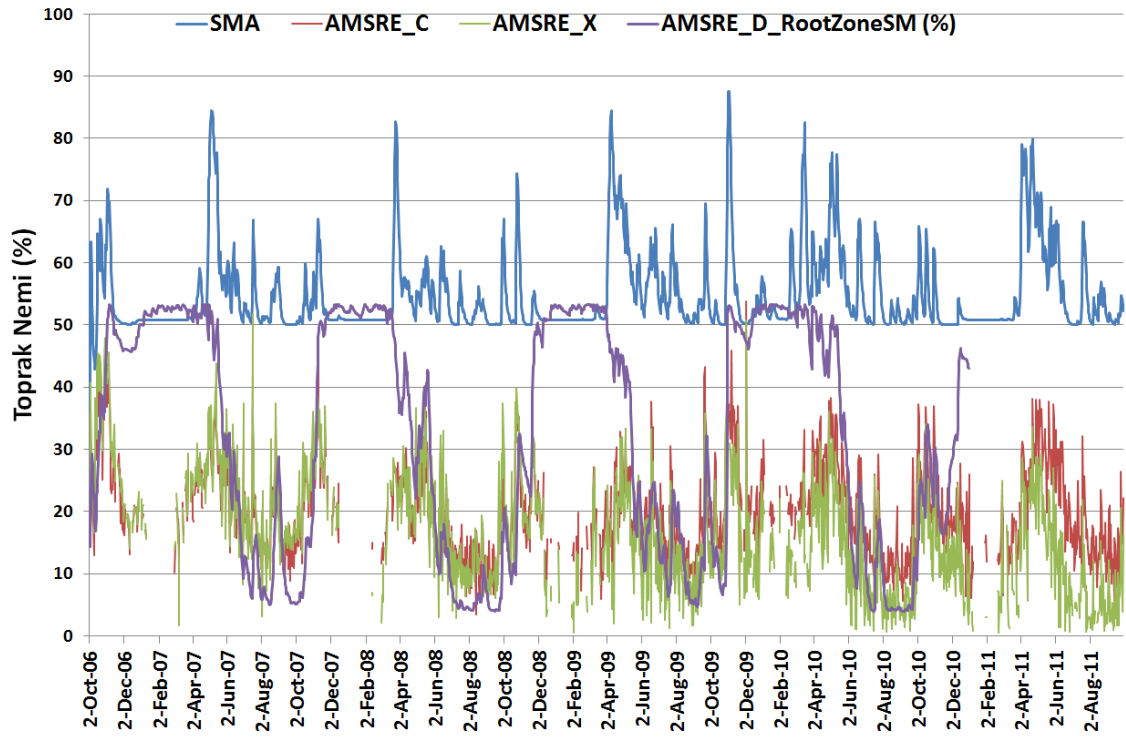
Toprak nemi havzada kar yokken uydu tarafından daha doğru bir şekilde izlenip hesaplanabilmektedir. Yerde kar varken (Kasım-Mart arası) toprak nemi karşılaştırması çok sağlıklı olmayacaktır, bu periyotta kar verisinin karşılaştırılması gerekmektedir. Bu bağlamda model toprak nemi değerlerinin kar sezonunda düz seyretmesi bu duruma önemli bir göstergedir.



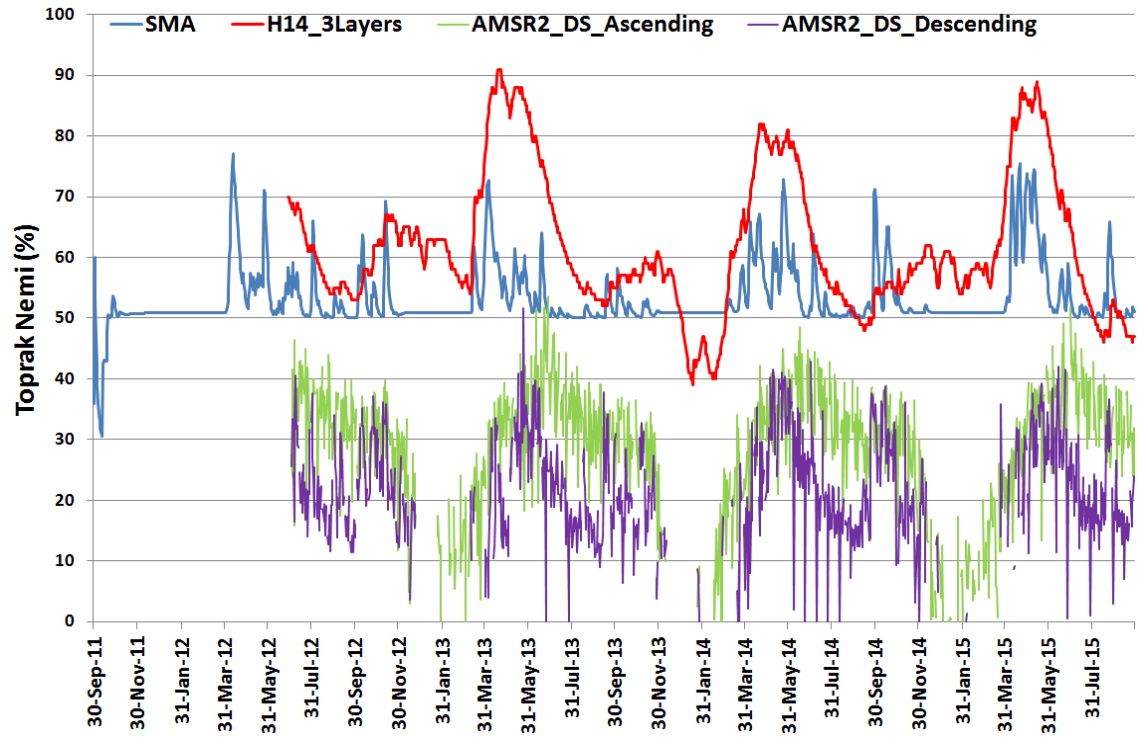
Şekil 4.22 AMSRE uydusu toprak nemi ürünleri (5 Nisan 2011).



Şekil 4.23 EUMETSAT H-SAF H14 uydusu toprak nemi ürünü (28 Ekim 2019).



Şekil 4.24 Kalibrasyon periyodu toprak nemi grafiği.



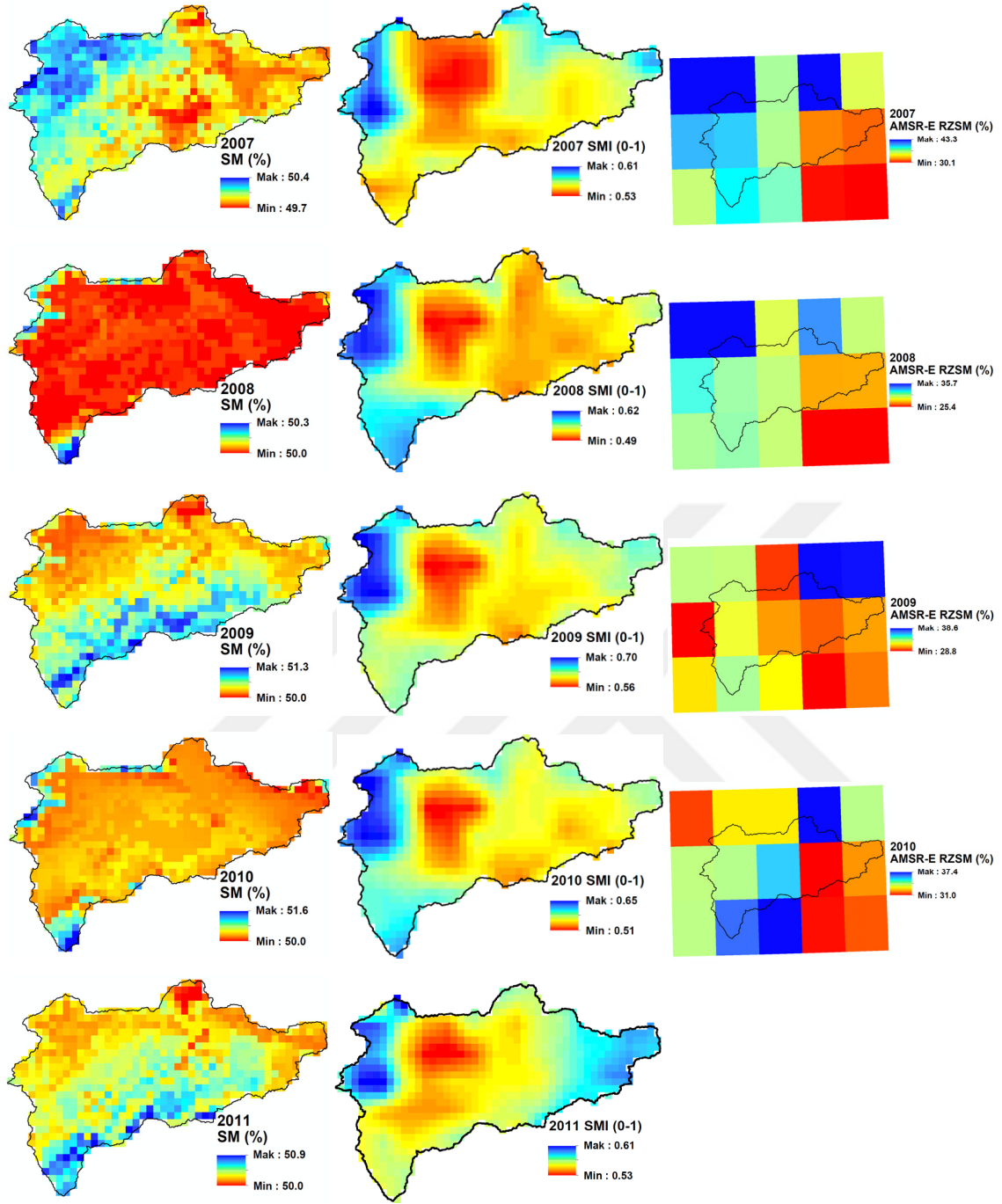
Şekil 4.25 Validasyon periyodu toprak nemi grafiği.

Çizelge 4.12 HEC-HMS SMA toprak nemi çıktısı performans karşılaştırması.

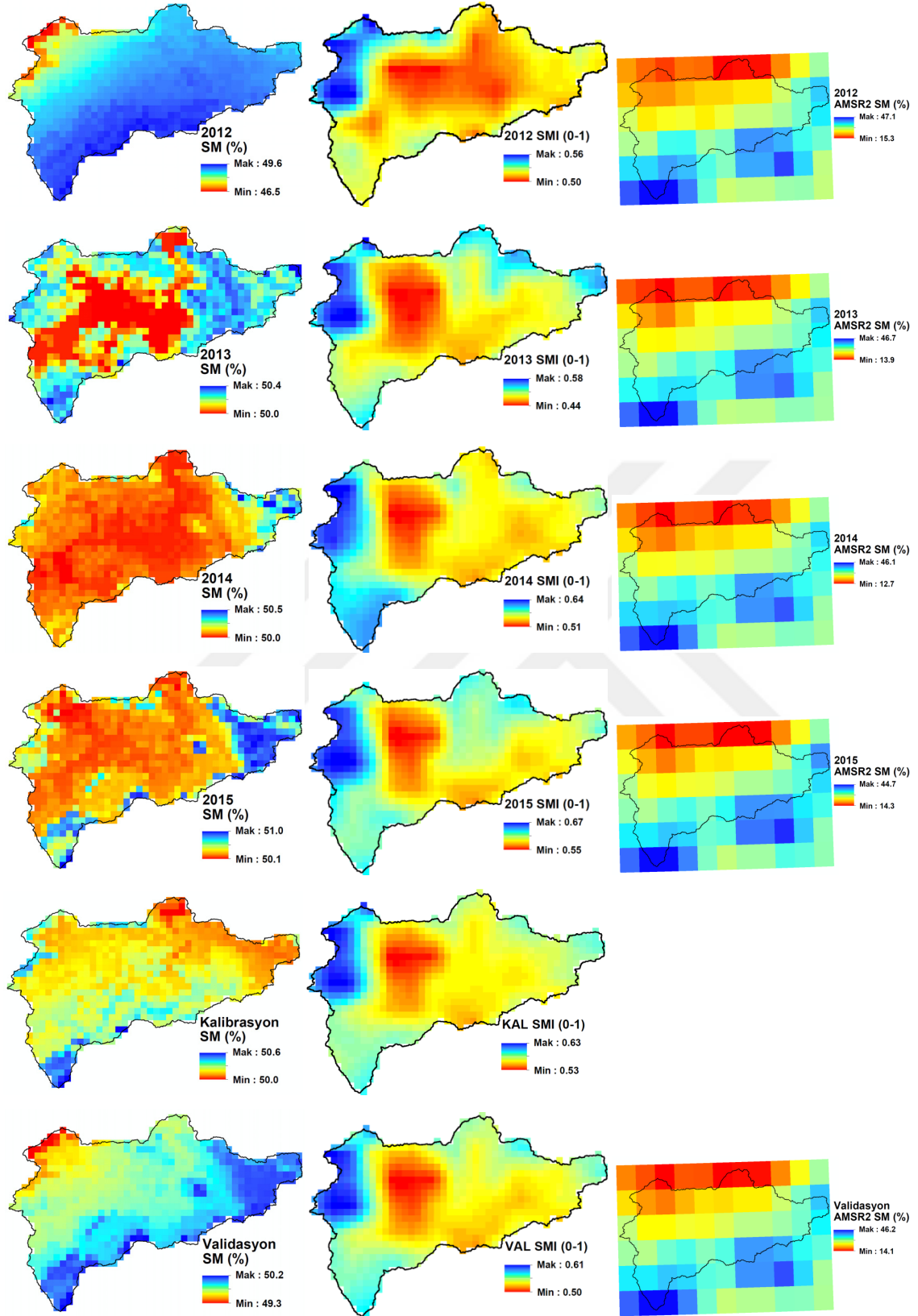
R (korelasyon katsayısı)	AMSRE-C	AMSRE-X	AMSRE-D RZSM	AMSR2-DS	H-SAF ASCAT H14
Kalibrasyon	0.57	0.44	0.16	-	-
Validasyon	-	-	-	0.26	0.59

Çizelge 4.13 MERRA ve SMI uydu tabanlı model ile HEC-HMS SMA ortalama toprak nemi.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Kal	Val
MERRA (%)	58	55	54	62	57	55	55	51	59	57	55
SMI (0-1)	0.56	0.55	0.62	0.57	0.56	0.52	0.50	0.57	0.61	0.57	0.55
SMA (%)	50	50	51	51	51	48	50	50	51	50	50



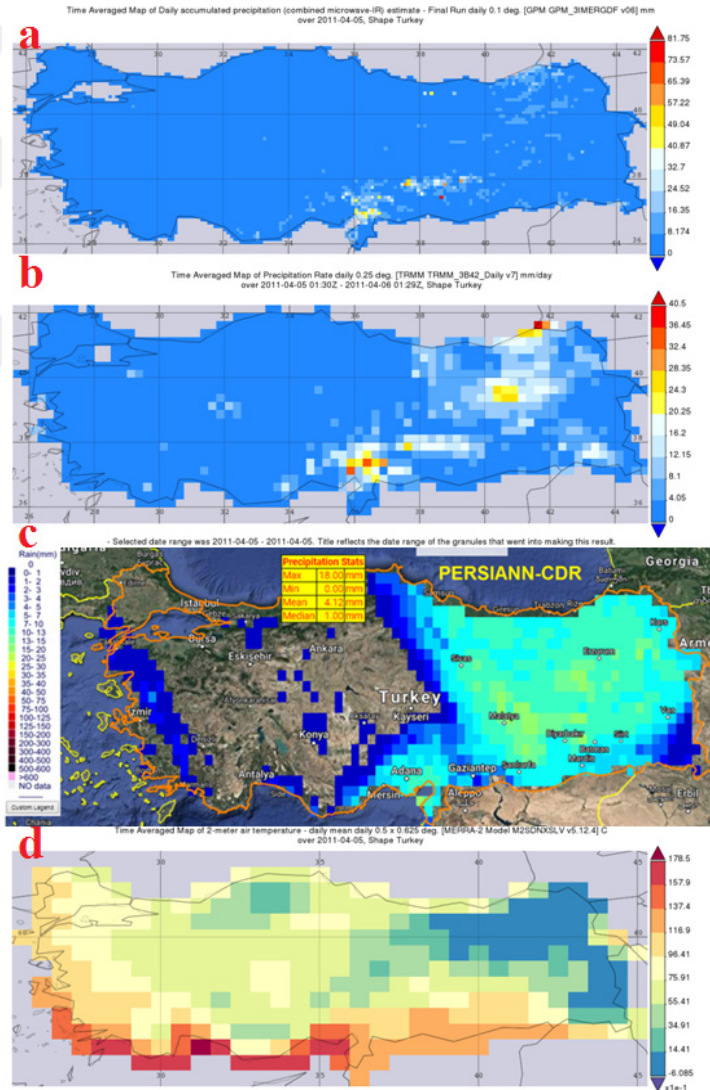
Şekil 4.26 Uydu ve model toprak nemi ürünleri karşılaştırmaları (1 Nisan-30 Kasım).



Şekil 4.26 (Devam) Uydu ve model toprak nemi ürünleri karşılaştırmaları (1 Nisan-30 Kasım).

4.1.4.3 Uydu Yağış ve Sıcaklık Ürünleri

Uydu ürünleri model içsel tutarlılığının incelenmesinin yanında doğrudan grid tabanlı modele girdi olarak da verilebilmektedir. Bu bağlamda bazı uydu yağış ve sıcaklık verileri (Şekil 4.27) model girdisi olarak ele alınmıştır. Modelleme öncesinde IDW enterpolasyon ve uydu verileri karşılaştırılmış, uydu sıcaklıkları ile oldukça yüksek uyum içerisinde olmasına karşın uydu yağışlarının genelde yüksek tahmin verdiği görülmüştür. GPM 3IMERG, TRMM ve PERSIANN uydu yağışları ile MERRA-2 uydu sıcaklıkları SMA modeline girdi verilerek çalıştırılmıştır.



Şekil 4.27 Uydu yağış ve sıcaklık ürünleri (5 Nisan 2011) a) GPM 3IMERGDF, b) TRMM 3B42, c) PERSIANN-CDR, d) MERRA-2.

Modele girdi olması bakımından uydu türevli veriler hidrolojik modelleme -özellikle ölçüm yapılmayan havzalar ve dağılımlı modelleme- için önemlidir. Uydu ürünlerin hidrolojik modellemeye dahil edilmeden önce mümkünse yer gözlemleri ile doğrulanması önemlidir. Yer gözlemleri ile karşılaştırılan uydu verileri düşük-yüksek tahmin (underestimate-overestimate) yapması bakımından değerlendirilebilir ve gerekiyorsa çeşitli güncelleme, düzeltme, birleştirme, harmanlama ve ölçek küçültme prosesleri uygulanabilir. Uydu verisinin HEC-HMS modelinde değerlendirilebilmesi için zaman serisi yada grid tabanlı DSS verisine dönüştürülmesi ve işlenmesi aşamaları bir dizi iteratif CBS işlemiyle gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan GPM IMERG çoklu uydu yağış ürünü (hücre boyutu: 10 km x 10 km) NASA (National Aeronautics and Space Administration) ve JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) tarafından geliştirilen GPM pasif mikrodalga bileşenlerinden elde edilen bilgileri birleştiren bir algoritma sonucu küresel ölçekte her üç saat için elde edilmektedir. Bu çalışmada da kullanılan son versiyon IMERG v6 algoritması, TRMM (2000-2015) erken yağış tahminlerini GPM (2014-günümüz) uydu yağışlarıyla birleştirmektedir (Huffman vd. 2019). TRMM çoklu uydu yağış ürünü 3B42, NASA ve JAXA tarafından geliştirilmiştir. Konumsal çözünürlüğü 0.25° olan TRMM, tropikal ve alt-tropik bölge (50° K-50° G) yağışını ölçmek için kullanılmaktadır (NASDA 2001). PERSIANN verisi (25 km x 25 km), birçok farklı uydu tabanlı yağış tahminlerini kullanır. CHRS (Center for Hydrometeorology and Remote Sensing-University of California) web sayfasından ücretsiz indirilebilen PERSIANN, açık erişimli olması bakımından birçok hidroloji çalışmalarında kullanılmaktadır. ASCII uzantısına ve 0,25° konumsal çözünürlüğe sahip PERSIANN gridlerinin enlem-boylam projeksiyonu bulunmadığından, koordinatlarının WGS 1984 coğrafi referans sistemine göre olduğu varsayımı yapılır (İnt. Kyn. 23).

Genel olarak HEC-HMS modelinde kullanılabilmesi için uydu görüntülerinin elde edilmesi, düzenlenmesi ve DSS kayıt dosyasına dönüştürülmesi gerekmektedir. Uydu yağış ve sıcaklık ürünlerinin hidrolojik modele girdi olabilmesi için aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

- ASCII dosya yapısından ESRI raster yapısına dönüştürülmesi (ASCII to Raster)

komutu)

- Projeksiyonun WGS 1984 coğrafi referans sistemi olarak tanımlanması (Define Projection komutu)
- Raster dosyaların HEC GeoHMS ile oluşturulan ModClark gridleriyle eşleşmesi için yeniden UTM Zone 37 N olarak projeksiyon verilmesi ve hücre boyutunun 2000 m olarak yeniden örneklenmesi (Project Raster komutu)
- Raster dosyaların tekrar ASCII dosya formatına dönüştürülmesi (Raster to ASCII komutu)
- ASCII dosyalarının ASC2DSSGrid DOS tabanlı yardımcı yazılımı ile DSS dosyasına aktarılması

Bu işlemler çok sayıda grid veri setine uygulandığından manuel olarak gerçekleştirilmemiş, ArcGIS Model Builder alt modülünde döngü yapısı içerisinde otomatik olarak yaptırılmıştır.

ASC2DSSGrid yazılımı dosya dönüşümü için girdi bilgisine gereksinim duymaktadır. Bunun için yazılıma otomatik girdi sağlayan bir toplu iş dosyası (.bat) oluşturulur. Toplu iş dosyası girdi dosyası, çıktı DSS dosyası, DSS klasör yolu, tarihler, grid tipi, veri birimi ve tipi gibi parametreler içermektedir.

DSS veri tabanına aktarılan uydu grid yağış ve sıcaklık kayıtları HEC DSSVue ve HEC GridUtil programlarında görülebilmektedir. ASCII uzantılı yağış ve sıcaklık verileri DSS ortamına dönüştürülmeden önce arzu edilirse CBS platformunda işlenebilir, düzeltme faktörü uygulanabilir, başka verilerle kombin edilebilir, ölçek küçültme işlemi (downscaling) yapılabilir.

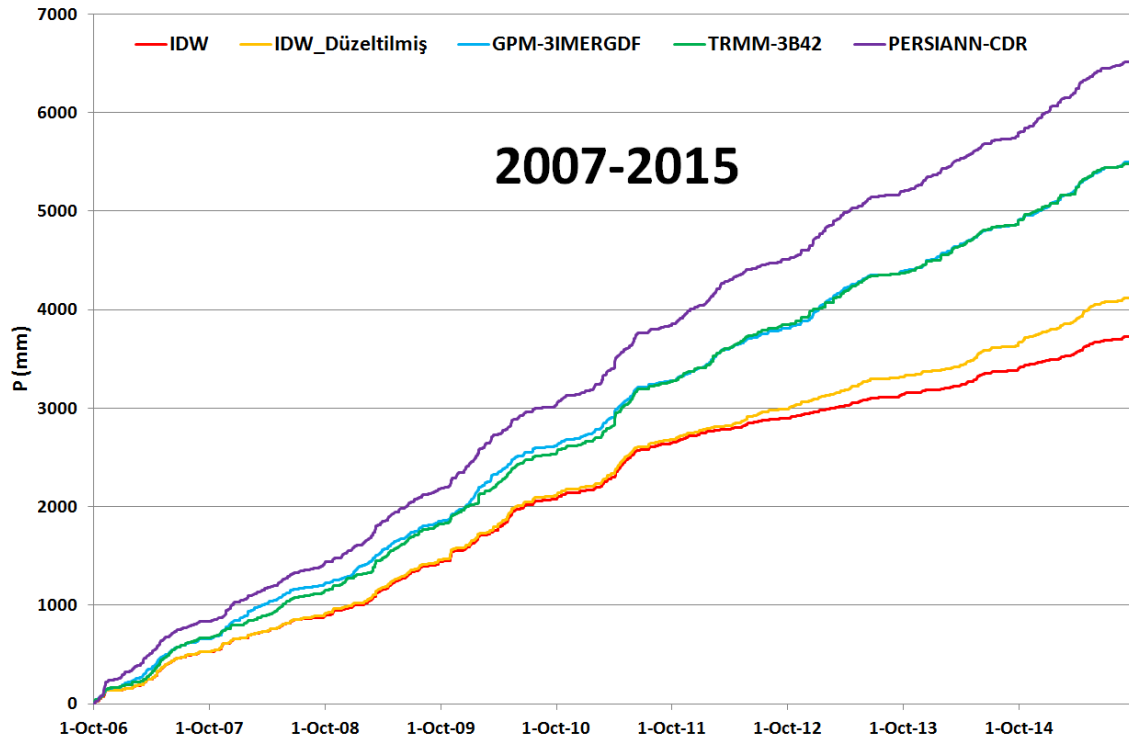
Uydu yağış ve sıcaklık verileri bazı CBS ve dosya uzantısı dönüşüm işlemlerinden sonra grid tabanlı modele girdi olarak verilebilmektedir. GPM-IMERGDF, TRMM-3B42 ve PERSIANN-CDR uydu yağışları düzeltilmiş IDW yağışıyla korelasyon olarak en yüksek değerleri vermelerinden dolayı çalışmada tercih edilmiştir. sıcaklık verisi için MERRA-2 uydusu kullanılmıştır.

Uydular UTC+0 eşgüdümlü evrensel zaman dilimini kullandığından ve IDW verileriyle korelasyonu arttığından uydu verileri 1 gün ileriye kaydırılmıştır (Türkiye, UTC+3).

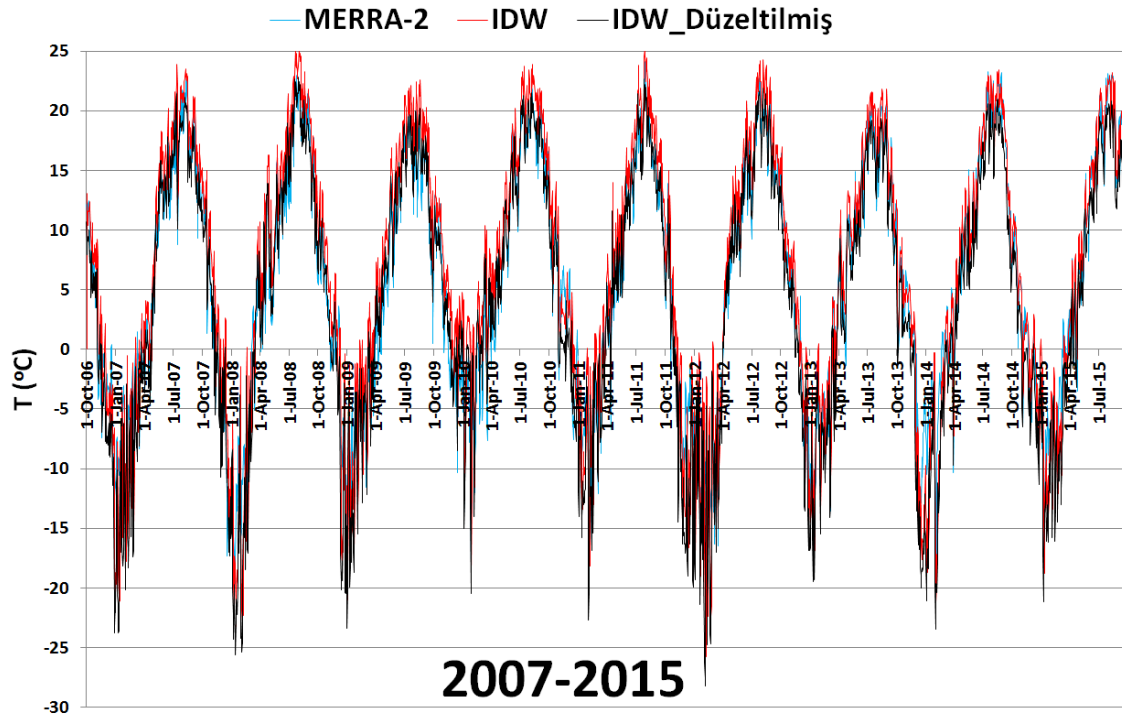
Modellemeye dahil edilmeden önce, uydu verileri IDW verileri ile karşılaştırılmış (Çizelge 4.14, Şekil 4.28, 4.29, EK 29 ve EK 30) ve düzeltilmiş IDW verileri ile daha yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Uydu ve IDW sıcaklıkları oldukça yüksek uyum (2007-2015 su yılları arası $R=0.96$) içerisinde. Uydu yağışları genelde yüksek tahmin vermektedir. Uyduların yağış ve sıcaklık temsiliyetinin başarılı olduğu belirtilebilir.

Çizelge 4.14 Uydu ve IDW yağışlarının ilişkisi (2007-2015 su yılları).

R (Korelasyon Katsayısı)	GPM-IMERGDF	TRMM-3B42	PERSIANN-CDR
IDW	0.30	0.21	0.29
Düzeltilmiş IDW	0.56	0.46	0.50



Şekil 4.28 2007-2015 su yılları arası eklenik uydu ve IDW yağışları.



Şekil 4.29 2007-2015 su yılları arası uydu ve IDW sıcaklıkları.

IDW yağış-sıcaklık veri setleri girdi verilerek gözlenen akımla kalibre edilen modele, farklı uydu tabanlı yağış-sıcaklık veri setleri girdi edilerek model çalıştırılmıştır. Modele girdi verilen uydu tabanlı yağış-sıcaklık veri setlerinin her biri için ayrı kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmemiştir. IDW verileri ile karşılaştırılarak veri karakteristiği incelendikten sonra (Çizelge 4.15), uydu yağışları ile MERRA-2 uydu sıcaklıkları gözlem verileri ile kalibre edilmiş modele girdi verilmiş ve uyduların yüksek yağış tahminlerinden dolayı model akımları oldukça yüksek tahmin ettiği için düşük performans sonuçları elde edilmiştir (Çizelge 4.16). Bu analizlerden sonra uydu yağış ürünlerine düzeltme katsayısı (DK) ön işlemi uygulanmıştır (Bias correction-linear scaling method-Lenderink vd. 2007, Uysal ve Şorman 2021). DK olarak GPM-IMERGF ve TRMM-3B42 için 0.75, PERSIANN-CDR için ise 0.63 alınmıştır (Çizelge 4.15). DK uygulandıktan sonra uydu yağışları girdi verilen model performansları (Çizelge 4.16) oldukça yükselmiş ve kabul edilebilir bir seviyeye ulaşmıştır. Model performansı olarak GPM-IMERGF ve PERSIANN-CDR girdili model yaklaşık aynı iken, TRMM-3B42 girdi verilen model en iyi performansı göstermiştir.

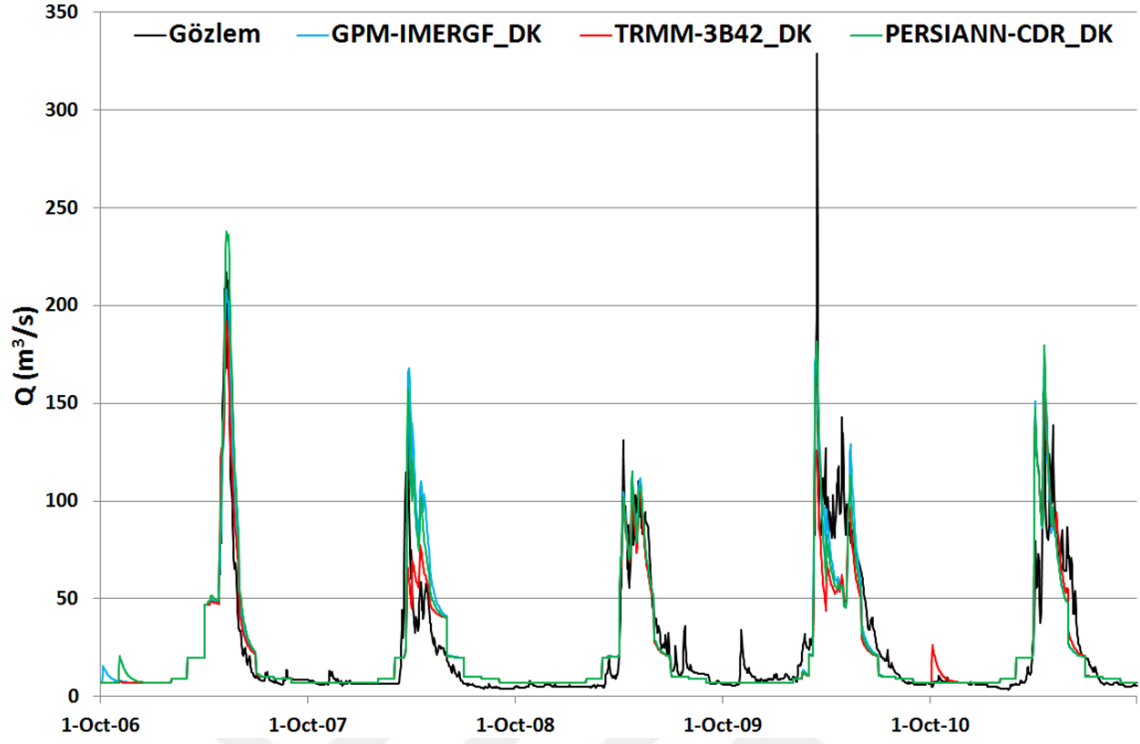
Çizelge 4.15 Düzeltilmiş IDW ve uydu eklenik yağışlarının oranları.

Düzeltilmiş IDW	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Ort.	2007- 2015
GPM- IMERGF	0.802	0.686	0.866	0.856	0.852	0.592	0.562	0.671	0.767	0.739	0.750
TRMM-3B42	0.793	0.801	0.816	0.912	0.772	0.547	0.615	0.654	0.787	0.744	0.752
PERSIANN- CDR	0.635	0.643	0.732	0.769	0.689	0.476	0.470	0.588	0.631	0.626	0.633

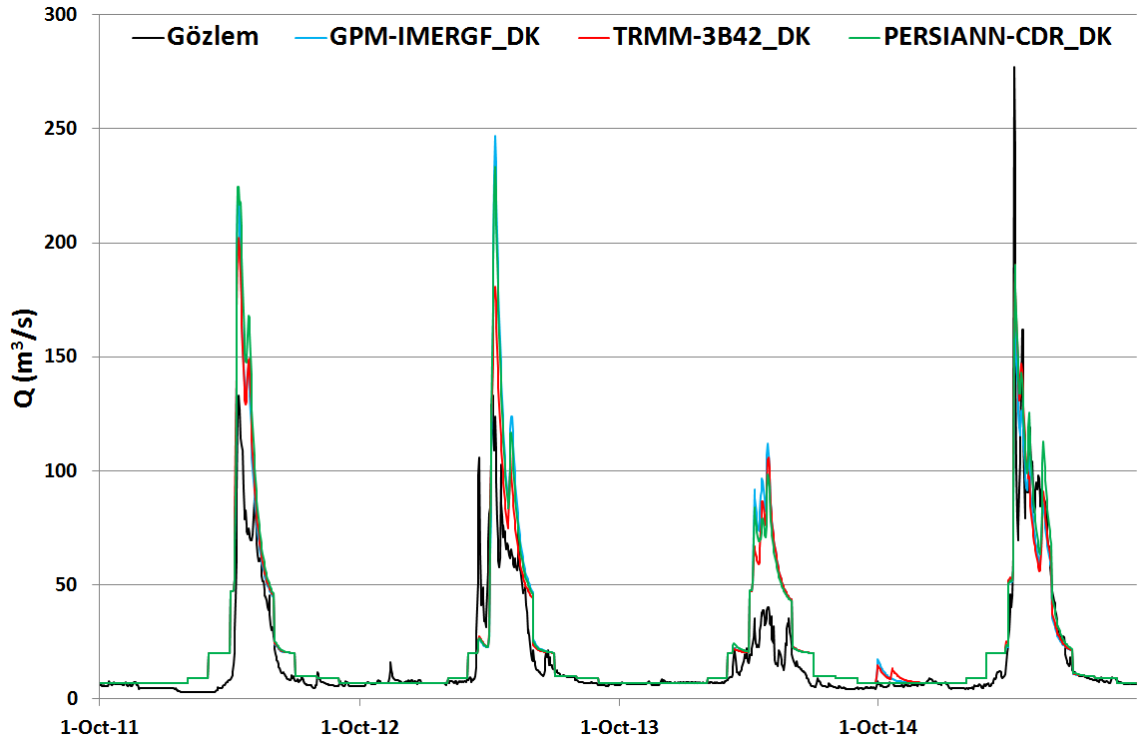
Çizelge 4.16 Uydu verileri girdi verilen HEC-HMS SMA model performans sonuçları.

2007-2015						
Ölçütler	GPM- IMERGF	GPM- IMERGF_DK	TRMM- 3B42	TRMM- 3B42_DK	PERSIANN- CDR	PERSIANN- CDR_DK
NSE	0.10	0.67	0.39	0.74	-0.87	0.67
NRMSE (m ³ /s)	0.9	0.6	0.8	0.5	1.4	0.6
PBIAS (%)	47	18	38	11	73	19

Kalibrasyon ve validasyon periyotları için, uydu yağış ve sıcaklıkları girdi verilen SMA modelinin ve gözlenen akımların grafiksel karşılaştırmaları Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.30 Uydu verileri girdi verilen HEC-HMS SMA modeli hidrografları (kalibrasyon periyodu).

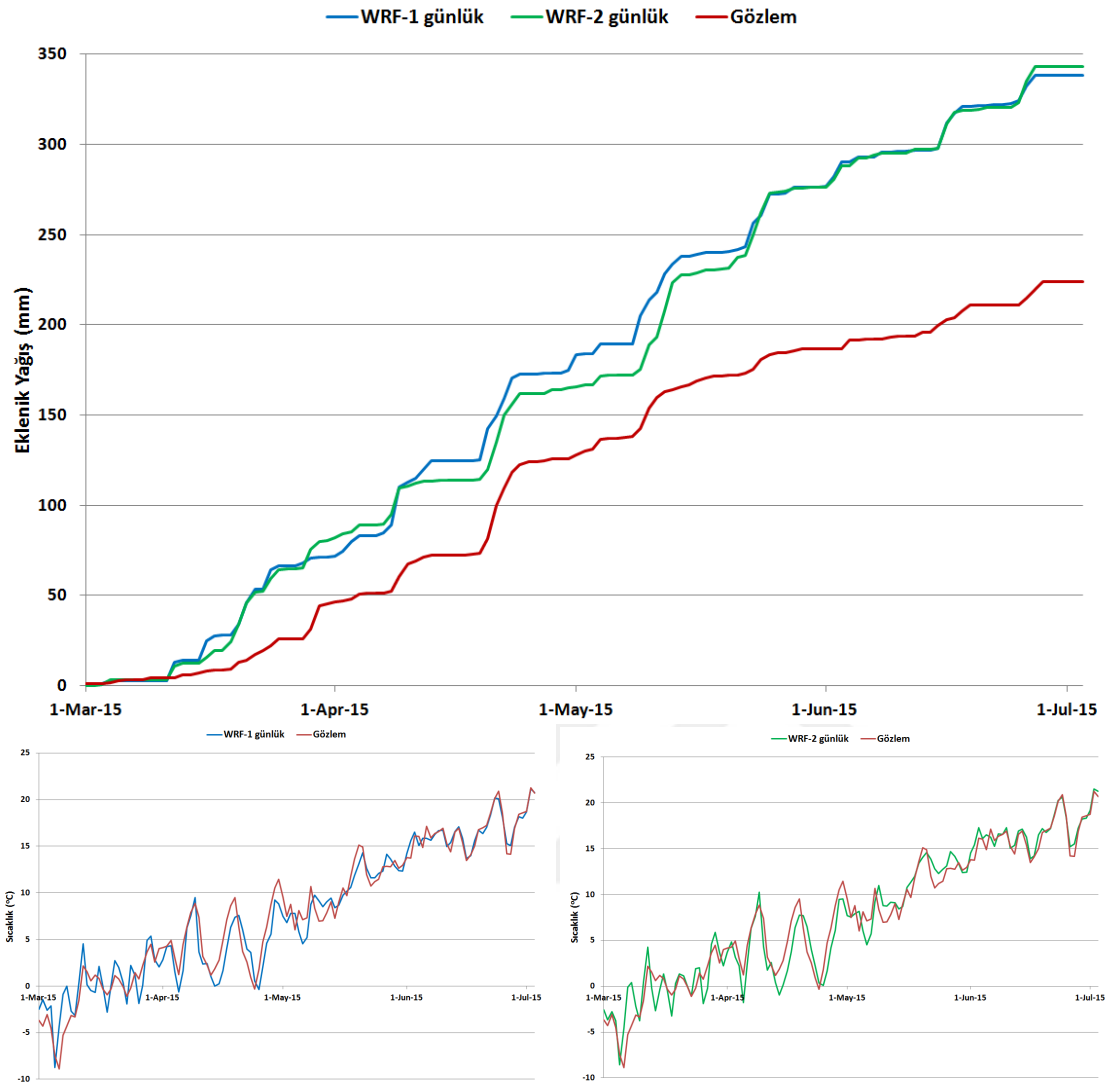


Şekil 4.31 Uydu verileri girdi verilen HEC-HMS SMA modeli hidrografları (validasyon periyodu).

Kar yağdığında istasyon ölçümleri uydu verilerine göre yağışı genelde daha kötü temsil etmektedir. Bu yüzden uydu ve düzeltilmiş IDW yağışları harmanlanarak model performansının yükselip yükselmeyeceği test edilmiştir. 1Aralık-30 Nisan arasında en yüksek model performansına sahip olan TRMM 3B42 uydusu, 1 Mayıs-30 Kasım arasında düzeltilmiş IDW yağışları harmanlanmış ve 2007-2015 periyodunda model uygulanmış, model NSE performansı 0.73 olarak ölçülmüştür. Bu şekilde düzeltilmiş uydu ve IDW yağış verilerinin harmanlanmasının, salt uydu yağışı girdi verilen modele göre performansı arttırmadığı ve önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür.

4.1.5 HEC-HMS SMA Dağılımlı Hidrolojik Modeli ile Akım Tahmini

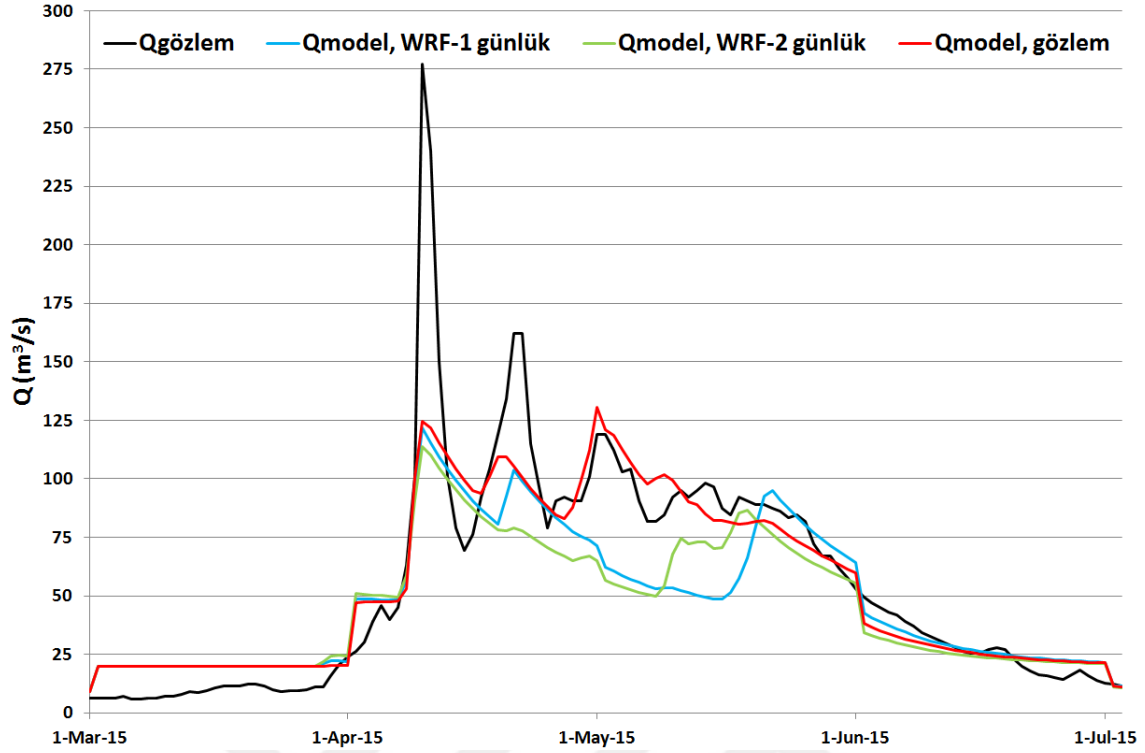
Kalibre edilmiş grid yapılı HEC-HMS SMA hidrolojik modeli ile 2015 su yılı için ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) tarafından sunulan WRF (Weather Research and Forecasting) sayısal hava tahmin verileri kullanılarak akım tahmini yapılmıştır. Geliştirme çabası 1990'ların sonlarında başlayan WRF modeli, hem atmosferik araştırma hem de operasyonel tahmin uygulamaları için tasarlanmış yeni nesil orta ölçekli sayısal hava tahmin sistemidir. İki dinamik çekirdeğe, bir veri asimilasyon sistemine ve paralel hesaplamayı ve sistem genişletilebilirliğini destekleyen bir yazılım mimarisine sahiptir. Model, onlarca metreden binlerce kilometreye kadar geniş bir yelpazede meteorolojik uygulamalara hizmet ediyor. WRF, operasyonel tahmin için esnek ve hesaplama açısından verimli bir platform sunarken, kapsamlı araştırma topluluğundan geliştiricilerin katkıda bulunduğu fizik, sayısal ve veri asimilasyonundaki son gelişmeleri yansıtır (İnt. Kyn. 22). WRF sayısal hava (yağış ve sıcaklık) tahmin verileri (Şekil 4.32) kullanılarak, 2015 Mart-Temmuz periyodu için günlük akım tahmini yapılmıştır. WRF yağış tahminleri gözlenen yağıştan yüksek olmasına karşın sıcaklık tahminleri oldukça tutarlıdır. Yağışın konumsal değişimi ve fiziksel etkenleri sıcaklığa göre daha fazla olduğundan yağış değerlerinin doğru tahmin edilmesi daha zordur. Modelin akım tahmin performans değerleri Çizelge 4.17'de, akım tahmin hidrografları Şekil 4.33'te sunulmuştur. WRF 1 günlük tahminlerini kullanan model performansı, 2 günlük tahmin girdi edilmiş model başarısından az bir miktar daha yüksektir. Model akım tahmininde pikleri tam olarak temsil edememesine karşın akım hacmini oldukça iyi simüle etmiştir. Bu durum hazne işletimi açısından önemlidir.



Şekil 4.32 Kayabaşı Havzası WRF yağış ve sıcaklık tahminleri.

Çizelge 4.17 HEC-HMS SMA 2015 su yılı akım tahmini performans sonuçları.

Ölçütler	WRF	
	1 günlük	2 günlük
NSE	0.67	0.64
NRMSE (m ³ /s)	0.6	0.6
PBIAS (%)	-13	-17



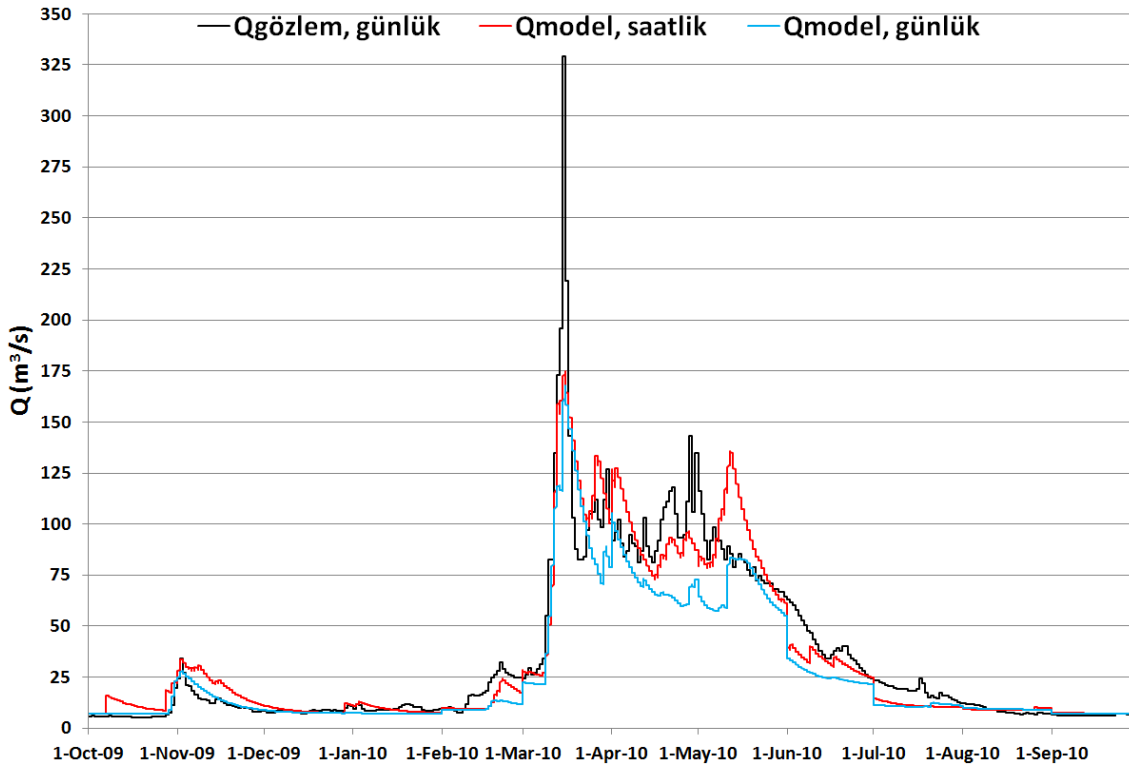
Şekil 4.33 2015 su yılı akım tahmin hidrografı.

4.1.6 Dağılımlı HEC-HMS SMA ile Saatlik Hidrolojik Modelleme

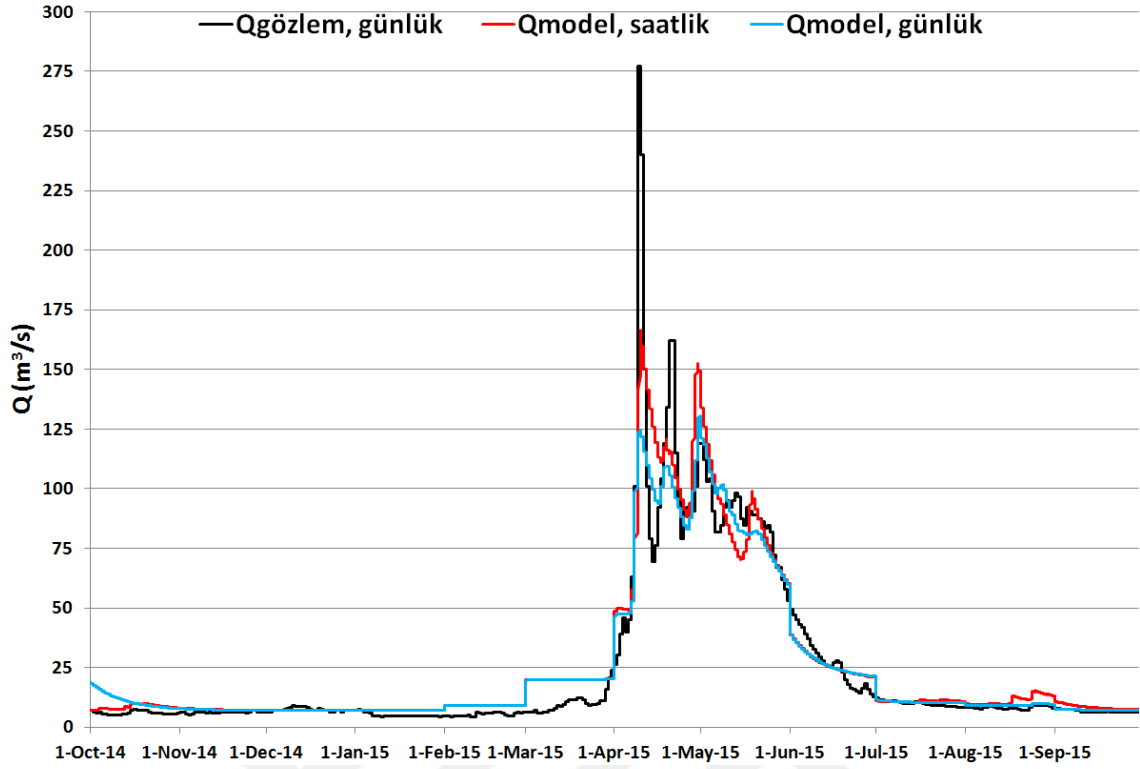
Kalibre edilmiş grid yapılı HEC-HMS SMA modeli ile 2010 ve 2015 su yılı akımlarının saatlik zaman ölçeğinde modellenmesi (konumsal dağılımlı modelin farklı zaman ölçeğinde test edilmesi) gerçekleştirilmiştir. 2010 ve 2015 yıllarında en büyük taşkın akımları yaşandığı için bu yıllar tercih edilmiştir. Kalibre edilmiş HEC-HMS SMA modeli ile 2010 ve 2015 su yılları akımları saatlik zaman ölçeğinde modellenmiştir (Çizelge 4.18 ve Şekil 4.34, 4.35). Saatlik yağış ve sıcaklık verileri MGM'nden temin edilmiştir. Böylelikle konumsal dağılımlı modelin farklı zaman ölçeğinde test edilmesi sağlanmıştır. Günlük ve saatlik zaman ölçeklerinde modelin yaklaşık olarak aynı performansı göstermesi modelin tutarlılığını ortaya koymaktadır. Saatlik zamansal çözünürlükte modelin pik akımları daha iyi temsil ettiği görülmektedir. Ayrıca 2010 yılında ilkbahar yağışlarının saatlik ölçümlerde daha iyi temsil edildiği akım hidrograf karşılaştırmalarına bakarak dile getirilebilir. Bu bağlamda büyük pik akımların yaşandığı 2010 ve 2015 su yıllarında modelin saatlik çalıştırılması taşkın tahmini ve hazne işletimi gibi çalışmalar açısından oldukça önem arz etmektedir.

Çizelge 4.18 HEC-HMS SMA 2010 ve 2015 su yılları günlük ve saatlik model performans sonuçları.

Ölçütler	2010		2015	
	Saatlik	Günlük	Saatlik	Günlük
NSE	0.86	0.79	0.86	0.88
NRMSE (m ³ /s)	0.4	0.5	0.4	0.4
PBIAS (%)	-2	-21	9	4



Şekil 4.34 2010 su yılı HEC-HMS SMA saatlik hidrografi.



Şekil 4.35 2015 su yılı HEC-HMS SMA saatlik hidrografi.

4.2 HEC-RAS 2D Hidrolik Modellemesi

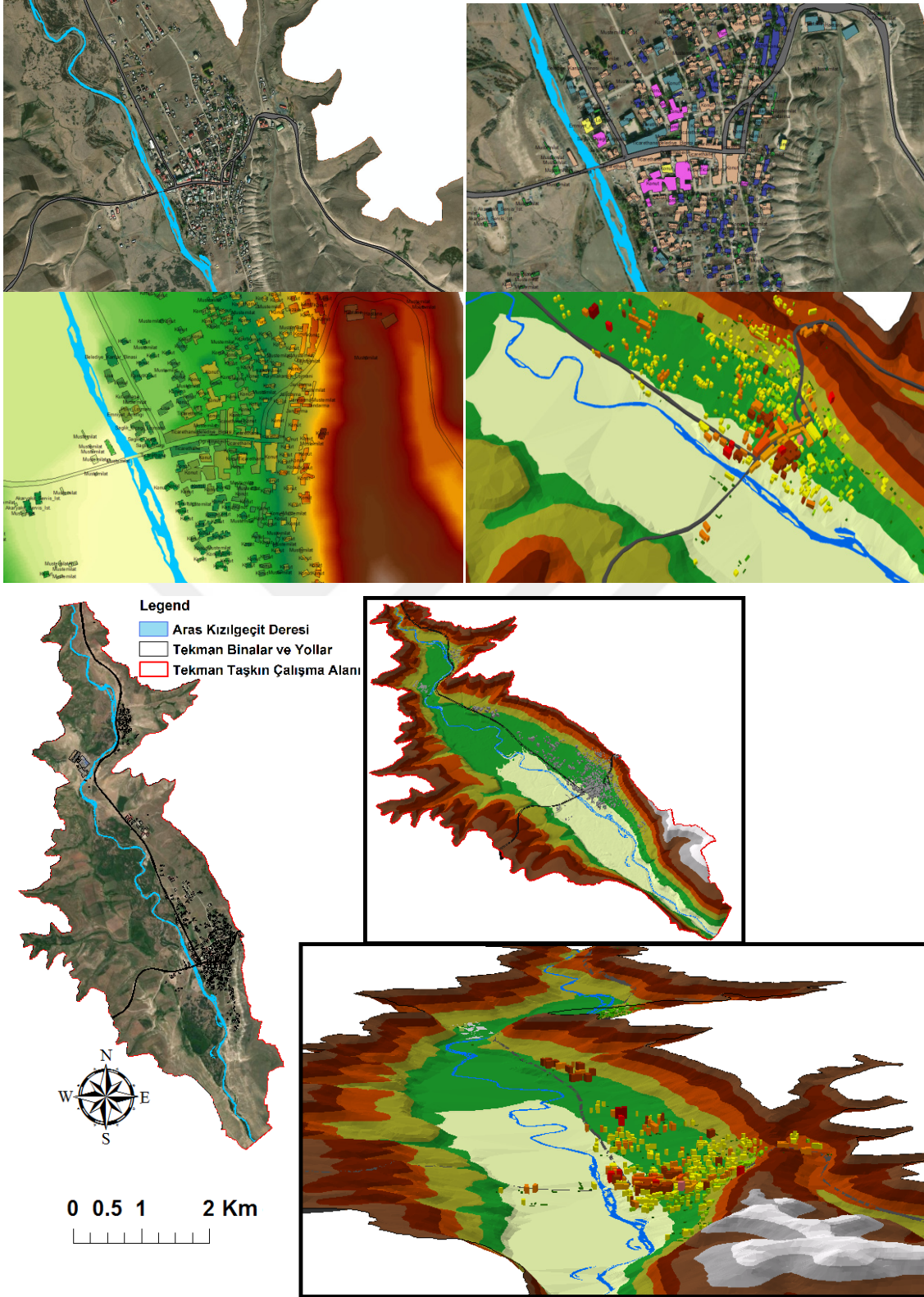
4.2.1 Hidrolik Modelleme için Yükseklik ve Bina Verilerinin Düzenlenmesi

Kayabaşı havzasında taşkın çalışması (12.5 ve 90 m arası konumsal çözünürlük) yapılmasının yanında, Kayabaşı Havzasında Aras Nehri kenarında bulunan en büyük yerleşim yeri olan Tekman ilçesi (nüfusu yaklaşık 26000) için taşkın modelleme çalışması (0.5 ve 12.5 m arası konumsal çözünürlük) yapılmıştır. Tekman ilçesi için 50 cm çözünürlüğe sahip DEM oluşturulurken Tekman Belediyesi'nden elde edilen 46685 yükseklik ölçüm noktası kullanılmıştır. Noktasal vektör yükseklik verilerinden raster DEM verisi türetilirken çapraz doğrulama testi ile birçok enterpolasyon yöntemi değerlendirilerek en uygun yöntemin Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) olduğu görülmüştür (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19 DEM enterpolasyon yöntemleri performans sonuçları (Çapraz-Doğrulama Testi).

Enterpolasyon Yöntemleri	RMSE (m)
Radial Basis Functions	0.309
TIN to Raster-Yükseklik Noktaları ve Kontur Çizgileri-Natural Neighbors	0.386
TIN to Raster-Yükseklik Noktaları ve Kontur Çizgileri-Linear	0.398
TIN to Raster-Yükseklik Noktaları-Natural Neighbors	0.428
Natural Neighbor	0.430
TIN to Raster-Yükseklik Noktaları-Linear	0.430
Ordinary Kriging	0.434
Terrain to Raster-Natural Neighbors	0.435
Terrain to Raster-Linear	0.435
Top oton Raster	0.463
Spline-Regularized	0.505
Empirical Bayesian Kriging	0.509
Kernel Smoothing	0.539
Spline-Tension	0.560
Simple Kriging	0.673
Local Polynomial Interpolation	0.692
Universal Kriging	0.855
Inverse Distance Weighting	1.061
Diffusion Kernel	2.330

Daha sonra DEM (RBF) ve bina yükseklikleri ile Sayısal Yüzey Modeli (DSM) oluşturulurken; bina yükseklikleri TAKBİS (Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi) ve ESRI World Map kullanılarak elde edilmiştir. TAKBİS sistemindeki parsel bilgileri ve yapılaşma arasındaki uyumsuzluklarda ilçenin görsel araştırmaları (Saha fotoğrafları, Google Earth Photos, Google Images ve Youtube) kullanılarak bina yükseklikleri belirlenmiştir. Maalesef ilçe Google Maps Street View görsellerine sahip değildir. Bu şekilde yaklaşık 600 adet yapı sayısallaştırılmıştır (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 Tekman ilçesi taşkın çalışma alanı bina-yol sayısallaştırılması ile DSM (0.5 m) elde edilmesi.

4.2.2 Hidrolik Modelleme için Akım Verilerinin Düzenlenmesi

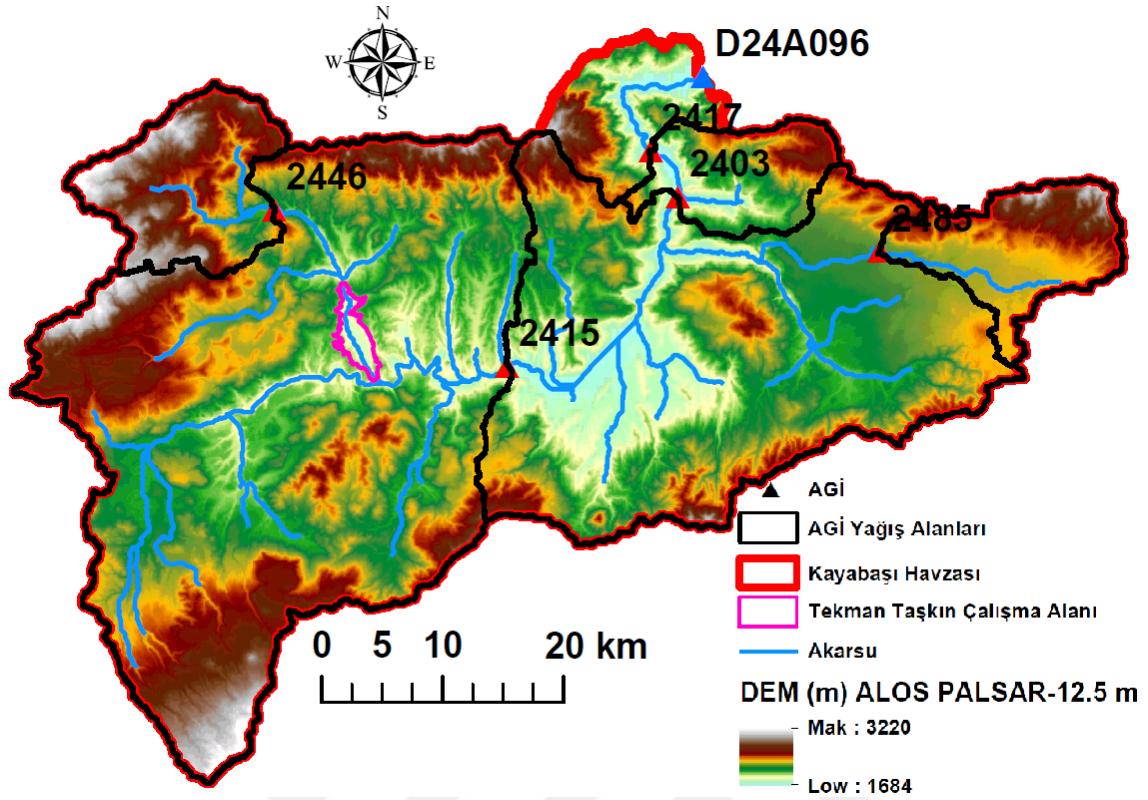
4.2.2.1 Akım Gözlem İstasyonlarının Karşılaştırılması

Kayabaşı Havzasında bulunan akım gözlem istasyonları (AGİ) Çizelge 4.20 ve Şekil 4.37’de verilmiştir. Taşkın akımlarının istatistiksel yöntemlerle daha tutarlı hesaplanabilmesi için, Kayabaşı Havzası çıkışındaki D24A096 nolu AGİ yıllık maksimum akım serisi yakındaki 2 AGİ (2403 ve 2417) serileriyle geçmişe doğru uzatılmıştır. 3 AGİ yıllık maksimum akımları karşılaştırılarak (Şekil 4.38) kullanılması uygun bulunmuştur.

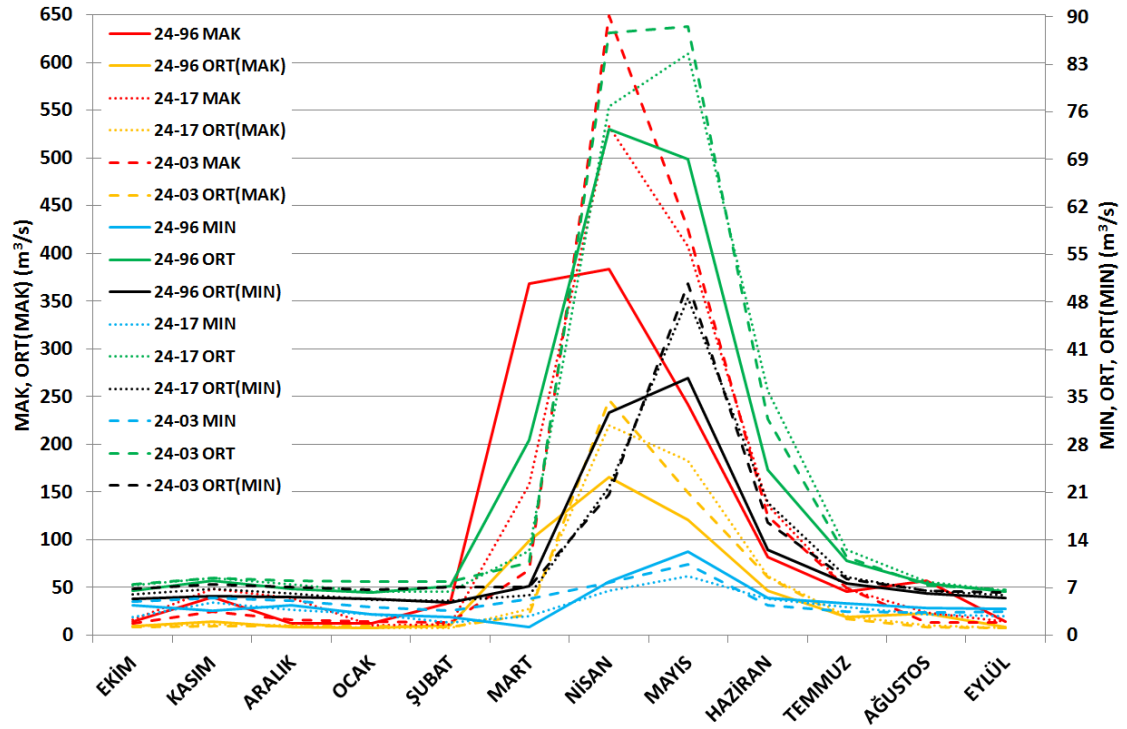
Tekman ilçesi taşkın çalışma alanı için de D24A046 nolu AGİ (ölçek büyültme) ve D24A096 nolu AGİ (ölçek küçültme) yıllık maksimum akım serilerinden faydalanılmıştır.

Çizelge 4.20 Akım gözlem istasyonları bilgileri.

İstasyon No	İstasyon Adı	Koordinatları	Gözlem Periyodu	Rakım (m)	Yağış alanı (km ²)	Ortalama akım (m ³ /s)	İşleten Kurum
D24A096	Kayabaşı Aras N.	41°50'19" D 39°50'16" K	2007-	1642	2772	22.1	DSİ
2417	Mescitli	41°47'07" D 39°47'07" K	1972-1993	1735	2652	22.4	EİE
2403	Çüllü Köp.	41°48'37" D 39°45'01" K	1956-1971	1760	2534	23.6	EİE
D24A015	Çevirmeköy Aras N.	41°38'27" D 39°37'41" K	1966-1972	1885	1492	15.6	DSİ
D24A046	Hasanağa Komu Madrak Suyu	41°25'15" D 39°44'59" K	1976-	2028	177	2.7	DSİ
D24A085	Karasu Köyü Karayazı D.	42°00'11" D 39°42'17" K	1993, 1999-2011	2128	149	1.6	DSİ



Şekil 4.37 Akım gözlem istasyonları konumları, yağış alanları ve Tekman taşkın çalışma alanı.



Şekil 4.38 Akım gözlem istasyonlarının yıllık maksimum akımlarının karşılaştırılması.

4.2.2.2 Olasılık Dağılımlarının Belirlenmesi

Kayabaşı Havzası ve Tekman taşkın çalışma alanı yıllık maksimum akım serilerine %95 güven aralığında ($\alpha=0.05$) uygun olan (Çizelge 4.21) Gumbel (Gumbel 1958), Log Normal, Weibull (Grafik) ve Log Pearson (LP) Tip III olasılık dağılımları (Chow 1964, Chow vd. 1988, Bayazıt 2003) ile taşkın tekerrür debileri hesaplanmıştır. Anderson-Darling non-parametrik test sonucuna göre LP Tip III dağılımı hem Kayabaşı hem de Tekman taşkın çalışma alanları için en uygun olasılık dağılımı olarak tespit edilmiştir. Daha sonra D24A096 nolu AGİ, D24A046 nolu AGİ ve Tekman taşkın çalışma alanı yıllık maksimum akımları kullanılarak bölgesel taşkın frekans analizi (Bayazıt ve Önöz 2008) de uygulanmıştır (Çizelge 4.24, 4.25 ve Şekil 4.39).

Çizelge 4.21 Olasılık dağılımları uygunluk test sonuçları.

Olasılık Dağılımları	Anderson Darling Non-parametrik Testi ($AD^2 < 0.752$)	
	Kayabaşı	Tekman
Gumbel	0.241	0.402
Log Normal	0.310	0.230
Weibull	0.430	0.546
Log Pearson Tip III	0.191	0.210

4.2.2.3 Sentetik Birim Hidrografların Belirlenmesi

Taşkın tekerrür debileri istatistiksel yöntemlerin yanında sentetik birim hidrograf (BH) yöntemleri (Snyder 1938, Kirpich 1940, USDA 1951, 1972, 1986, Mockus 1957, 1965, Özdemir 1978) ile de elde edilmiştir (Çizelge 4.22-4.25 arası ve Şekil 4.39). Yöntemlerin etkili yağış süreleri, pik akımları (dolaysız akım derinliği: 1 cm), pik ve taban süreleri hesaplanmıştır. Etkili yağış süresinde gerçekleşen tekerrür yağışları, Kayabaşı Havzası yakınında bulunan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen Erzurum, Hınıs ve Horasan meteoroloji yağış gözlem istasyonlarına ait yağış şiddet-süre-tekerrür eğrileri yardımıyla belirlenmiştir. Tekerrür yağışlarından dolaysız akışa SCS CN yöntemiyle (USDA 1972) geçilmiştir. Kayabaşı Havzası taban akımı için

HEC-HMS SMA modelinde kullanılan değer alınırken, Tekman taşkın çalışma alanı için ise D24A046 nolu AGİ ve D24A096 nolu AGİ ortalama ve taban akımları arasındaki orantı kullanılarak baz akım hesaplanmıştır.

4.2.2.4 Fuller Ampirik Taşkın Tahmin Yöntemi

Olasılık dağılımları ve sentetik BH yöntemlerinin yanında taşkın tekerrür debileri son olarak da Fuller ampirik yöntemiyle hesaplanmıştır (Çizelge 4.24, 4.25 ve Şekil 4.39). Taşkın akım verileri ampirik bir yaklaşım olan Fuller yöntemiyle elde edilmiştir. 1914 yılında ABD'deki havzaların 10 yıllık bilgileri gözlemlenerek Fuller tarafından pik debi için önerilen ampirik formül, taşkın tahmininde ilk kez frekansı bir çarpan olarak alması bakımından önemlidir. Fuller'e göre taşkın tahmin formülasyonu aşağıdaki şekildedir (Fuller 1914, Raghunath 2006).

$$Q_T = c_f A^{0.8} (1 + 0.8 \log T) (1 + 2.67 A^{-0.3}) \quad (4.8)$$

Q_T : T Tekerrür Aralığına Sahip Taşkın Debisi (m^3/s)

c_f : Fuller Sabiti (0.026-2.770) ($c_{f, \text{Kayabaşı Havzası}}=0.43$)

A: Havza Alanı (km^2)

Çizelge 4.22 Kayabaşı Havzası Sentetik BH Taşkın Tekerrür Debileri (m³/s).

Sentetik BH Yöntemleri	Etkili Yağış Süresi (sa)	Yağış (mm)							Dolaysız Akış (cm)						
		Tekerrür aralığı (yıl)							Tekerrür aralığı (yıl)						
		2	5	10	25	50	100	500	2	5	10	25	50	100	500
Kirpich	1.87	14.0	20.6	25.7	32.9	38.9	45.2	56.2	0.04	0.21	0.41	0.77	1.13	1.53	2.32
SCS	2.05	14.2	20.8	25.9	33.1	39.2	45.4	56.4	0.04	0.22	0.42	0.79	1.14	1.55	2.33
Synder	1.87	14.0	20.6	25.7	32.9	38.9	45.2	56.2	0.04	0.21	0.41	0.77	1.13	1.53	2.32
DSİ	2.00	14.1	20.8	25.9	33.1	39.1	45.4	56.4	0.04	0.22	0.42	0.78	1.14	1.55	2.33
Mockus	2.88	15.7	21.5	26.6	33.8	39.8	45.5	55.7	0.07	0.24	0.45	0.82	1.18	1.55	2.28

Sentetik BH Yöntemleri	Pik Akım (m ³ /s)	Taşkın Debileri (m ³ /s)						
		Tekerrür aralığı (yıl)						
		2	5	10	25	50	100	500
Kirpich	396.06	65.29	133.74	213.54	356.78	495.75	657.79	967.93
SCS	500.98	71.15	159.13	261.22	444.04	621.20	825.27	1216.79
Synder	798.01	80.81	218.73	379.52	668.11	948.14	1274.63	1899.51
DSİ	410.34	66.70	138.77	222.29	371.85	516.79	684.93	1007.01
Mockus	356.29	75.35	136.66	210.68	343.28	471.74	602.36	860.81

Q_{baz}=50 m³/s; S=(25400/CN)-254=47.48 mm; CN=84.25

Çizelge 4.23 Tekman Deresi Çalışma Alanı Sentetik BH Taşkın Tekerrür Debileri (m³/s).

Sentetik BH Yöntemleri	Etkili Yağış Süresi (sa)	Yağış (mm)							Dolaysız Akış (cm)						
		Tekerrür aralığı (yıl)													
		2	5	10	25	50	100	500	2	5	10	25	50	100	500
Kirpich	1.09	13.4	19.9	24.9	32.0	37.8	44.1	55.0	0.01	0.14	0.30	0.61	0.92	1.29	2.01
SCS	0.72	12.3	18.1	22.3	28.0	32.6	37.5	47.2	0.01	0.09	0.21	0.43	0.64	0.90	1.49
Synder	1.09	13.4	19.9	24.9	32.0	37.8	44.1	55.0	0.01	0.14	0.30	0.61	0.92	1.29	2.01
DSİ	2.00	14.1	20.8	25.9	33.1	39.1	45.4	56.4	0.02	0.16	0.34	0.67	0.99	1.37	2.11
Mockus	1.02	13.2	19.7	24.7	31.8	37.6	44.0	54.9	0.01	0.13	0.29	0.60	0.91	1.28	2.01
Sentetik BH Yöntemleri	Pik Akım (m ³ /s)	Taşkın Debileri (m ³ /s)													
		Tekerrür aralığı (yıl)													
		2	5	10	25	50	100	500							
Kirpich	123.58	25.67	40.81	60.99	99.25	137.55	183.63	272.92							
SCS	255.99	25.32	47.13	77.05	133.01	188.06	254.49	405.14							
Synder	249.12	27.36	57.88	98.57	175.70	252.90	345.78	525.79							
DSİ	129.90	26.72	44.96	67.90	110.48	152.67	202.31	298.66							
Mockus	152.03	25.71	43.96	68.50	115.16	161.92	219.12	329.64							

Q_{baz}=24 m³/s; S=(25400/CN)-254=53.28 mm; CN=82.66

4.2.2.5 Taşkın Tekerrür Debileri

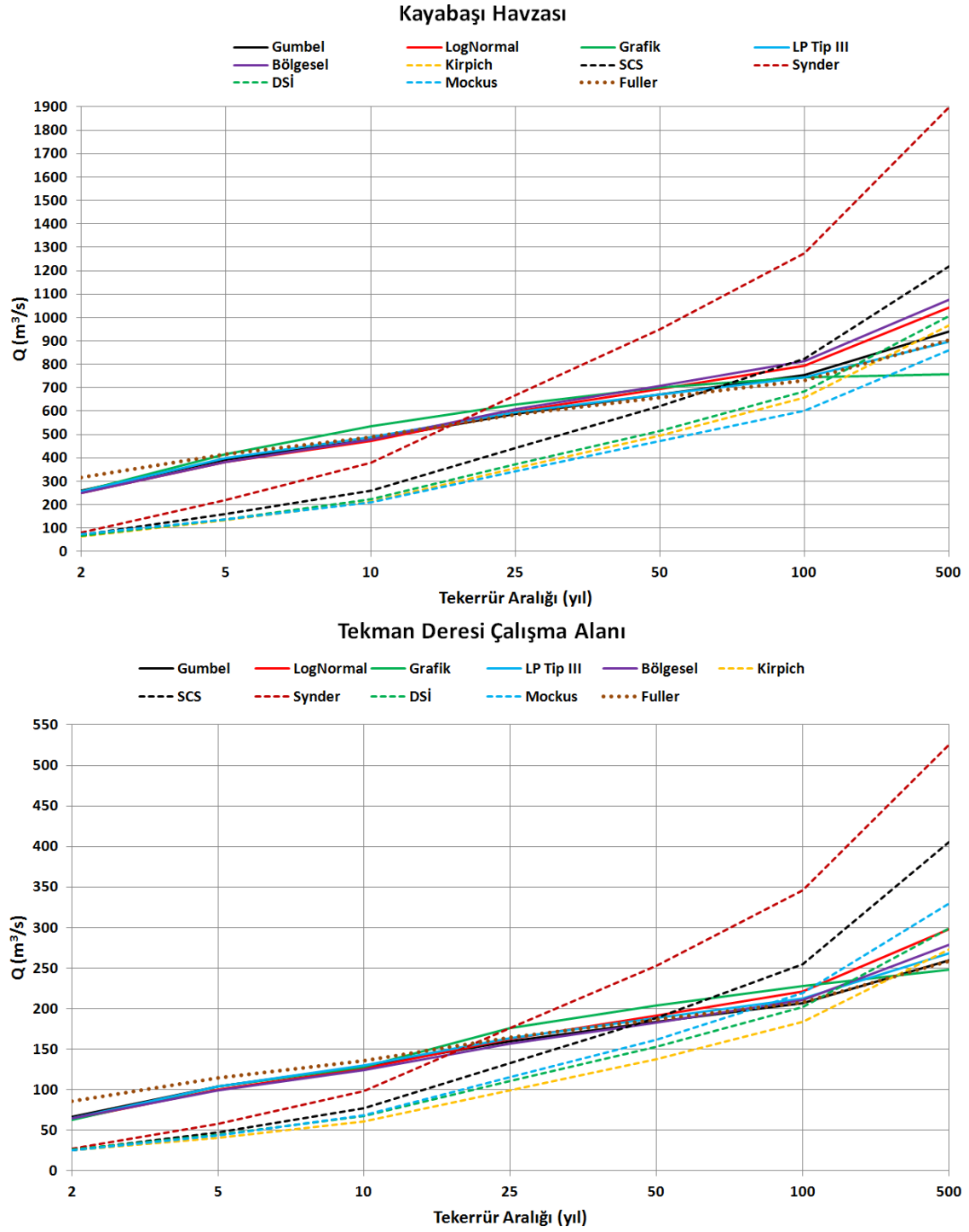
Kayabaşı Havzası ve Tekman taşkın çalışma alanı için istatistiksel, sentetik ve ampirik yöntemlerle taşkın tekerrür debileri hesaplanmıştır (Çizelge 4.24, 4.25 ve Şekil 4.39).

Çizelge 4.24 Kayabaşı Havzası Taşkın Tekerrür Debileri (m³/s)

Olasılık Dağılımları/Sentetik BH Yöntemleri	Tekerrür aralığı (yıl)						
	2	5	10	25	50	100	500
Gumbel	259.55	391.56	478.96	589.39	671.32	752.64	940.56
LogNormal	251.42	381.07	473.60	597.15	693.61	793.62	1042.37
Grafik (Weibull)	257.17	417.11	536.61	627.97	701.71	745.14	758.51
LogPearson Tip III	257.86	398.55	488.27	595.75	671.18	742.67	896.36
Bölgesel Taşkın Frekans Analizi	249.80	382.64	478.24	606.69	707.51	812.46	1075.09
Kirpich	65.29	133.74	213.54	356.78	495.75	657.79	967.93
SCS	71.15	159.13	261.22	444.04	621.20	825.27	1216.79
Synder	80.81	218.73	379.52	668.11	948.14	1274.63	1899.51
DSİ	66.70	138.77	222.29	371.85	516.79	684.93	1007.01
Mockus	75.35	136.66	210.68	343.28	471.74	602.36	860.81
Fuller	317.57	414.56	487.93	584.92	658.29	731.65	902.01
Olası Maksimum Taşkın (Ort.+15*St.Sapma)	2524.74						

Çizelge 4.25 Tekman Deresi Çalışma Alanı Taşkın Tekerrür Debileri (m³/s)

Olasılık Dağılımları/Sentetik BH Yöntemleri	Tekerrür aralığı (yıl)						
	2	5	10	25	50	100	500
Gumbel	66.60	104.05	128.85	160.18	183.43	206.50	259.82
LogNormal	63.73	100.01	126.58	162.72	191.39	221.47	297.61
Grafik (Weibull)	62.60	104.53	128.40	176.10	203.44	228.30	248.18
LogPearson Tip III	64.78	103.90	130.44	163.89	188.50	212.72	267.90
Bölgesel Taşkın Frekans Analizi	64.68	99.08	123.83	157.09	183.19	210.37	278.37
Kirpich	25.67	40.81	60.99	99.25	137.55	183.63	272.92
SCS	25.32	47.13	77.05	133.01	188.06	254.49	405.14
Synder	27.36	57.88	98.57	175.70	252.90	345.78	525.79
DSİ	26.72	44.96	67.90	110.48	152.67	202.31	298.66
Mockus	25.71	43.96	68.50	115.16	161.92	219.12	329.64
Fuller	85.57	114.29	136.01	164.73	186.45	208.18	258.62
Olası Maksimum Taşkın (Ort.+15*St.Sapma)	709.30						

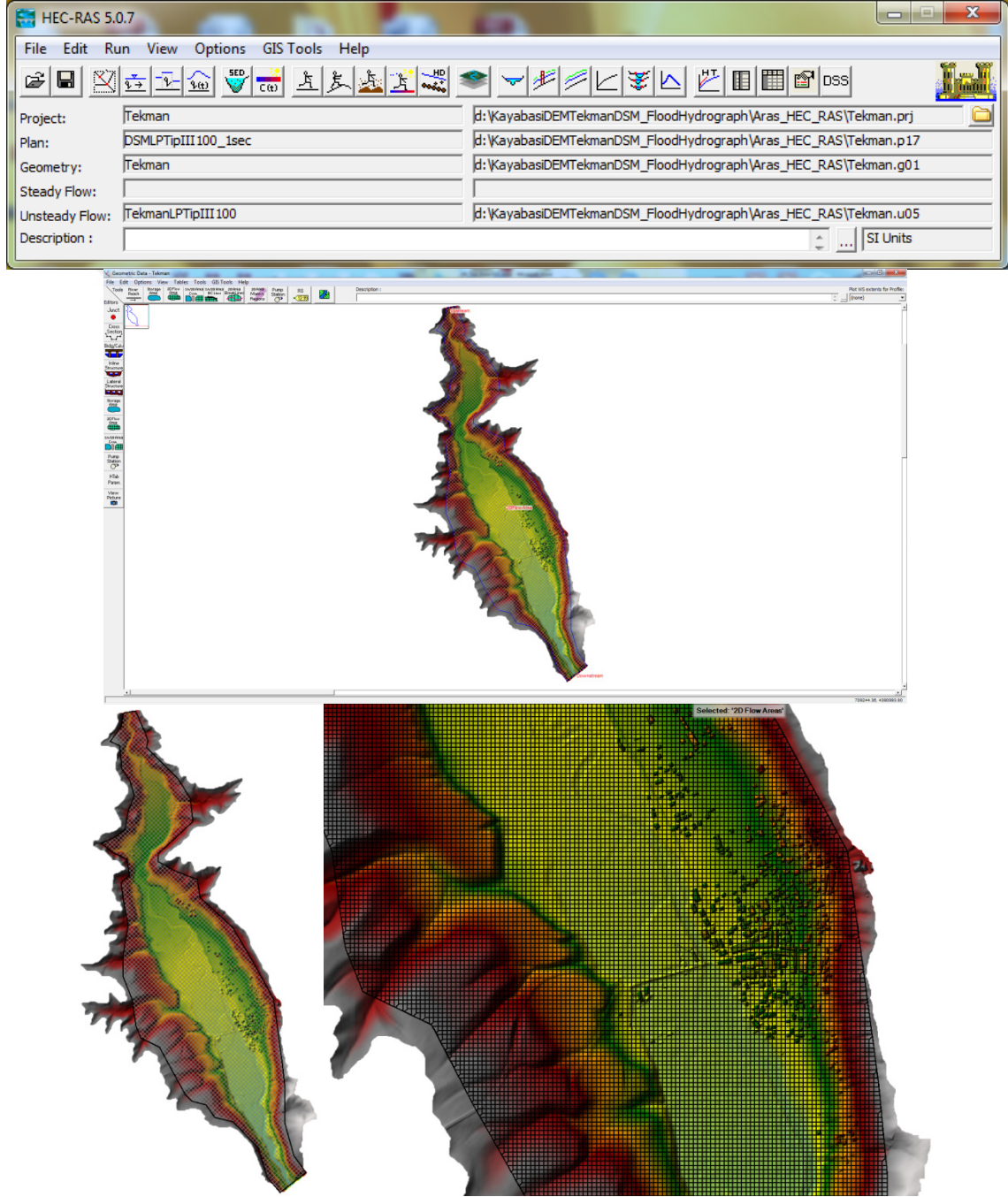


Şekil 4.39 Kayabaşı Havzası ve Tekman çalışma alanı taşkın tekerrür debileri.

Son olarak HEC-RAS hidrolik modelinin kararsız akım olarak çalıştırılması için hesaplanan taşkın tekerrür debileri ve SCS boyutsuz BH yönteminden yararlanılarak taşkın hidrografları belirlenmiştir (EK 31 ve EK 32).

4.2.3 Hidrolik Modelleme (HEC-RAS 2D)

Amerikan Ordusu Hidrolojik Mühendislik Merkezi tarafından geliştirilen HEC-RAS (Şekil 4.40) ile hidrolik tasarım, taşkın, sediment taşınımı ve su kalitesi uygulamaları için tek boyutlu ve iki boyutlu hidrolik modelleme yapılabilmektedir (USACE 2016).



Şekil 4.40 HEC-RAS model, geometrik veri ve RAS haritalayıcısı arayüzü.

Bu çalışmada kullanılan HEC-RAS 2D kütlenin ve momentumun korunumu esasına dayanan sığ su sistemleri (Navier-Stokes denklemleri) St. Venant denklemlerini (derinlik ortalamalı denklemler) iki boyutlu olarak sonlu hacim algoritması ile çözmektedir. Akıma ait büyüklüklerin derinlikle ortalaması alınan St. Venant denklemleri kısmi diferansiyel denklem formunda aşağıda sunulmuştur (denklem 4.9, derinlik ortalamalı süreklilik denklemi; denklem 4.10 ve 4.11, derinlik ortalamalı momentum denklemleri). Hem 1D ve hem de 2D modellerde dikey yöndeki (z, derinlik boyunca) değişim sabittir. Ancak 1D modellerde y yönündeki (enkesit doğrultusu) su seviyeleri sabit kabul edilirken 2D modellerde y yönündeki akış hızları ve su derinlikleri değişebilir (x, akış yönü). Derinlik ortalaması varsayılan 2D model denklemlerinde su kütlesine x ve y yönünde etkiyen kuvvetler baskındır. Momentum denklemlerinde ivme terimleri basitleştirilerek sadece yerçekimi, sürtünme ve hidrostatik basınç kuvvetlerini içeren Difüzyon Dalga formu elde edilebilir. Taşkın çıktılarının Full Momentum ve Difüzyon Dalga denklemlerinde çok değişmediği raporlanmıştır (USACE 2020d).

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} - q = 0 \quad (4.9)$$

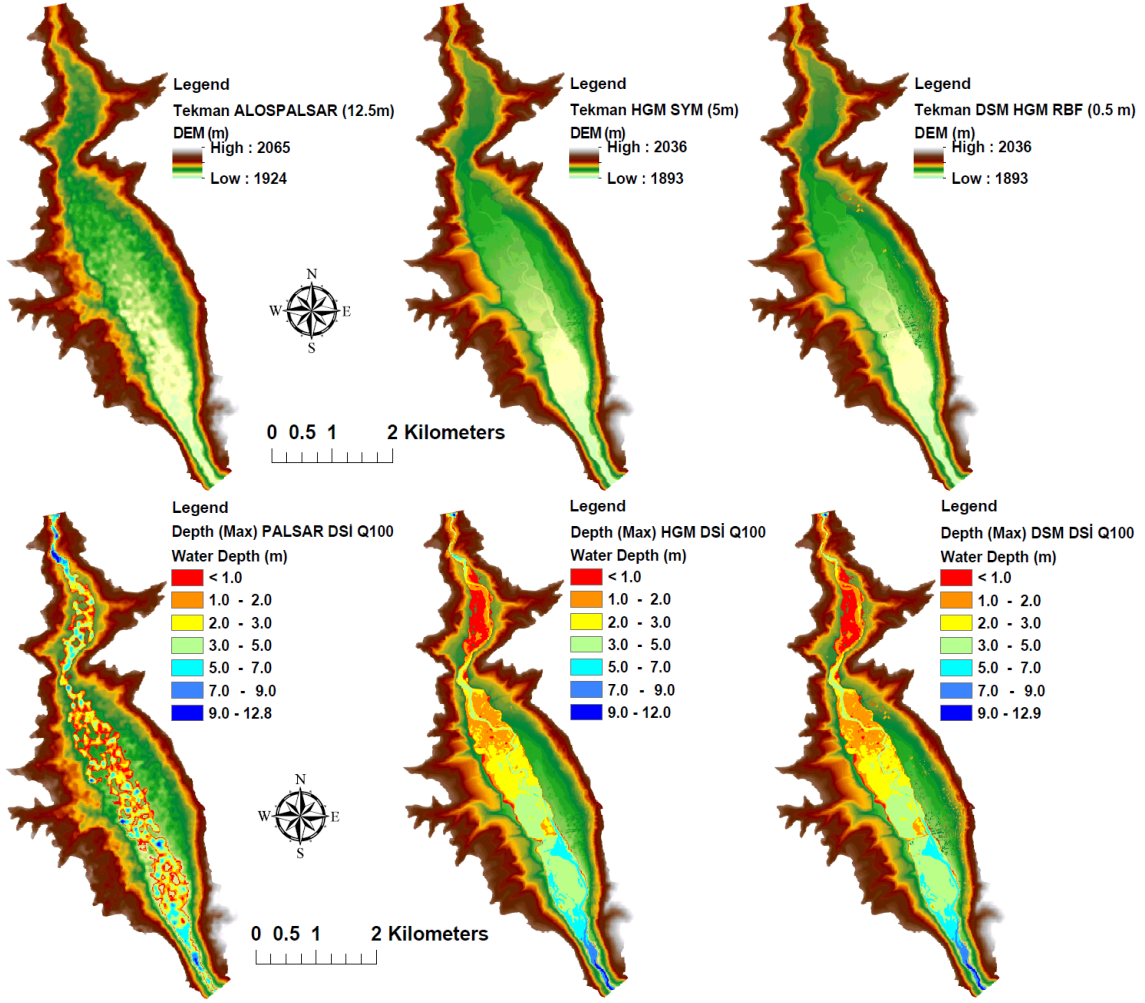
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v - f u \quad (4.11)$$

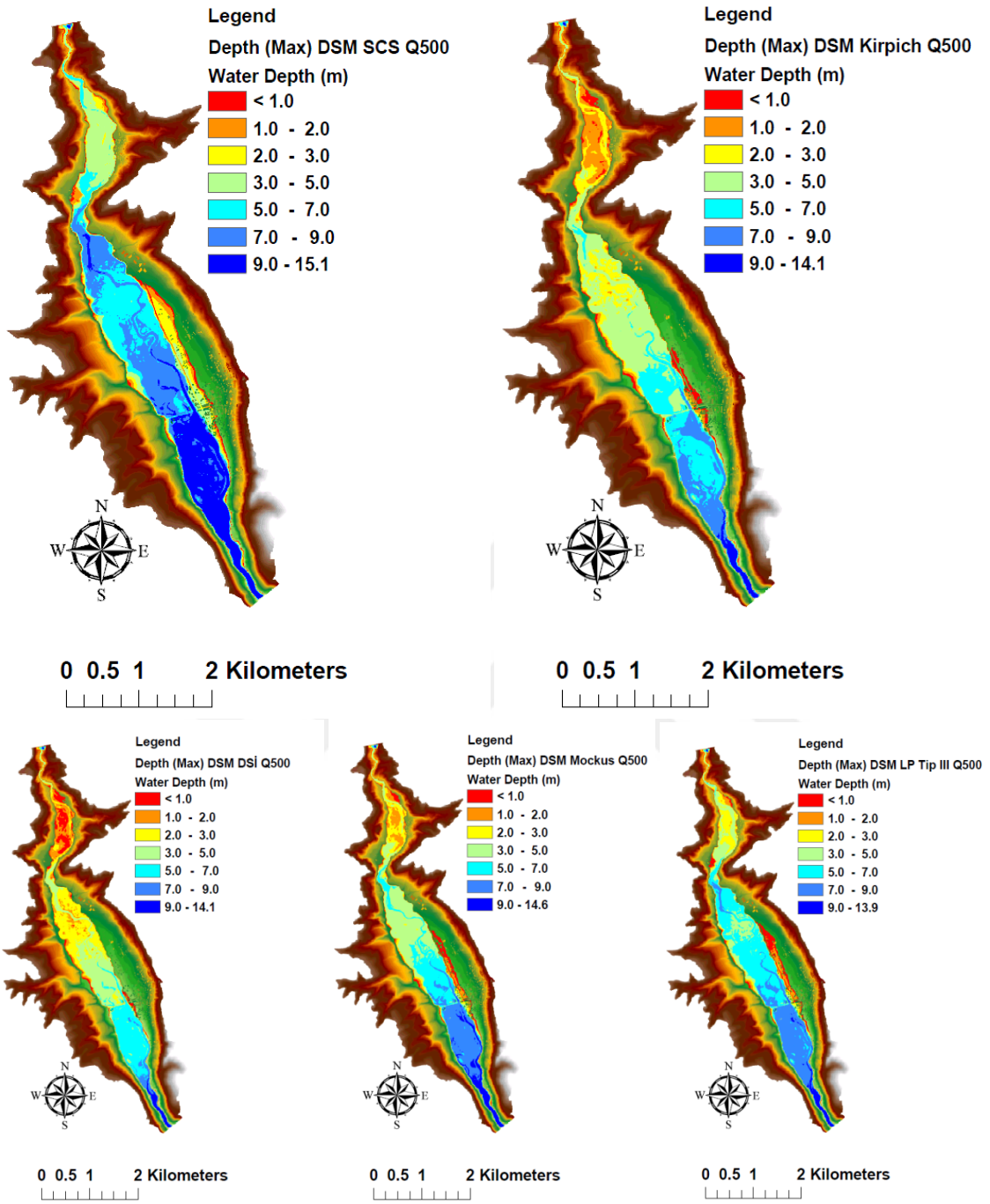
h: Derinlik, u ve v: Hız (x ve y yönü), q: Birim debi, y: Yanal yöndeki mesafe (y düzlemi), H: Su yüzeyi yüksekliği (z+h), v_t : Yatay anafor viskozite katsayısı, c_f : Yatak sürtünme katsayısı, f: Coriolis parametresi, g: Yerçekim ivmesi

Tekman Deresi çalışma alanında HEC-RAS ile iki boyutlu hidrolik modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Öncelikle RAS haritalayıcısını kullanarak HEC-RAS içine çeşitli konumsal çözünürlüklere sahip altlık DEM/DSM verileri (Şekil 4.41) aktarılmıştır. Yükseklik verilerinin konumsal referans projeksiyonunun seçilerek geometrik veri arayüzünden iki boyutlu akış alanı sınırlandırılmış ve memba-mansap

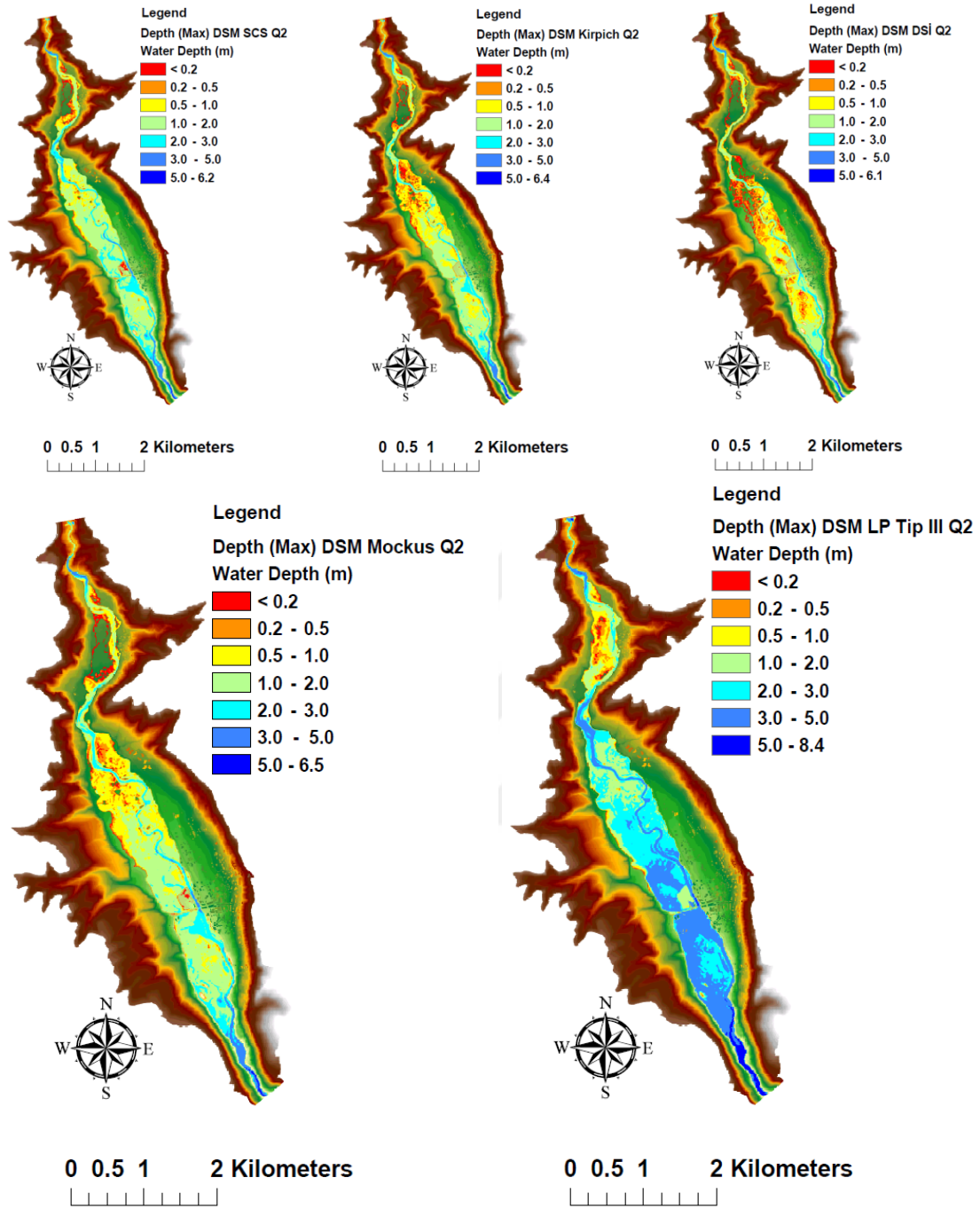
şartları tanımlanmıştır. Sonrasında iki boyutlu akış alanının düzenlenerek hesaplama noktalarının, ağ (mesh ortalama hücre alanı 400 m²) ve Manning pürüzlülük şartlarının (orta seviye bitki örtüsü-0.06) oluşturulması ile geometrik veriler kaydedilmiş, ağ-sınır şartlarının kavramsallaştırılmasından sonra taşkın simülasyonunun gerçekleştirilmesi için kararsız akım verileri modele girdi verilmiştir. Kararsız akım olarak aykırı bulunan Synder, basit ampirik Fuller ve LP Tip III (dağılım uygunluk test sonucu en iyi olan) harici istatistiksel yöntemlerin (Gumbel, LogNormal, Weibull ve Bölgesel) taşkın hidrografları kullanılmamıştır. Yükseklik verileri olarak DSM RBF (0.5 m), Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen DSM (HGM 5 m) ve ALOS PALSAR (12.5 m) kullanılmıştır. Mansap sınır şartları olarak normal derinlik ve sürtünme eğimi olarak 0.02 değeri alınmış; memba sınır şartları olarak akım hidrografi seçilerek saatlik zaman ölçeğinde feyezan hidrografları tanımlanmıştır. Kararsız akım şartları tanımlandıktan sonra model çalıştırılarak hidrolik modelleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.41 ve Şekil 4.46 arasında farklı yükseklik altlıklarında farklı taşkın hidrograf hesaplama yöntemleriyle elde edilen çeşitli taşkın tekerrür senaryoları için su derinliği, hızı, su yüzey yüksekliği gibi çıktılar sunulmuştur. Bu şekilde taşkın yayılım ve derinlik çıktıları elde edilmiştir. RAS haritalayıcısı aracılığıyla model sonuçları görüntülenmekte ve simülasyon olarak zamanla değişimi izlenebilmektedir (Şekil 4.44).



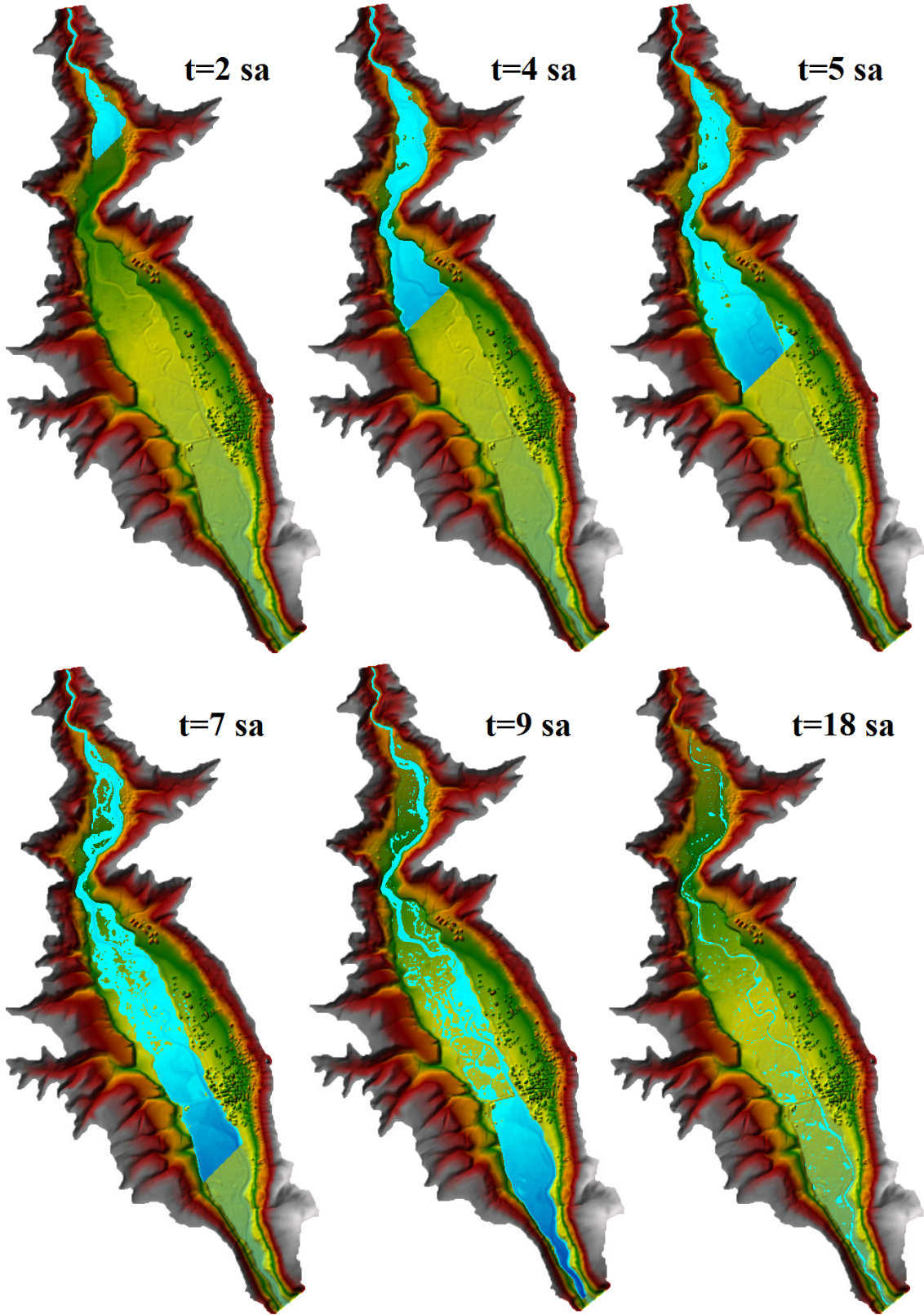
Şekil 4.41 DEM/DSM verileri tabanında DSİ Q100 taşkın derinlik haritaları.



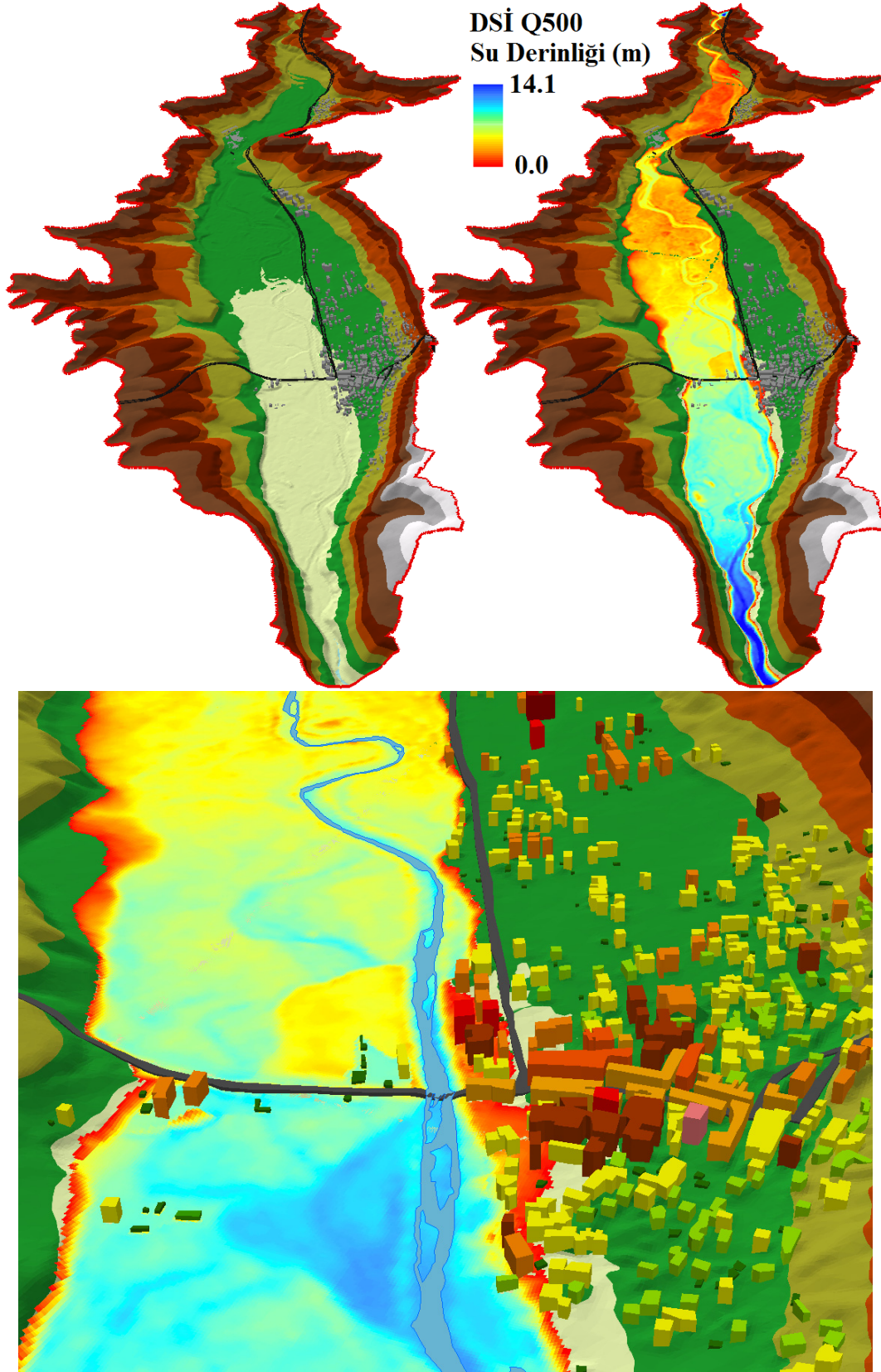
Şekil 4.42 DSM RBF tabanında Q500 taşkın derinlik haritaları.



Şekil 4.43 DSM RBF tabanında Q2 taşkın derinlik haritaları.



Şekil 4.44 DSM RBF tabanında LP Tip III Q500 taşkın yayılım simülasyonu.



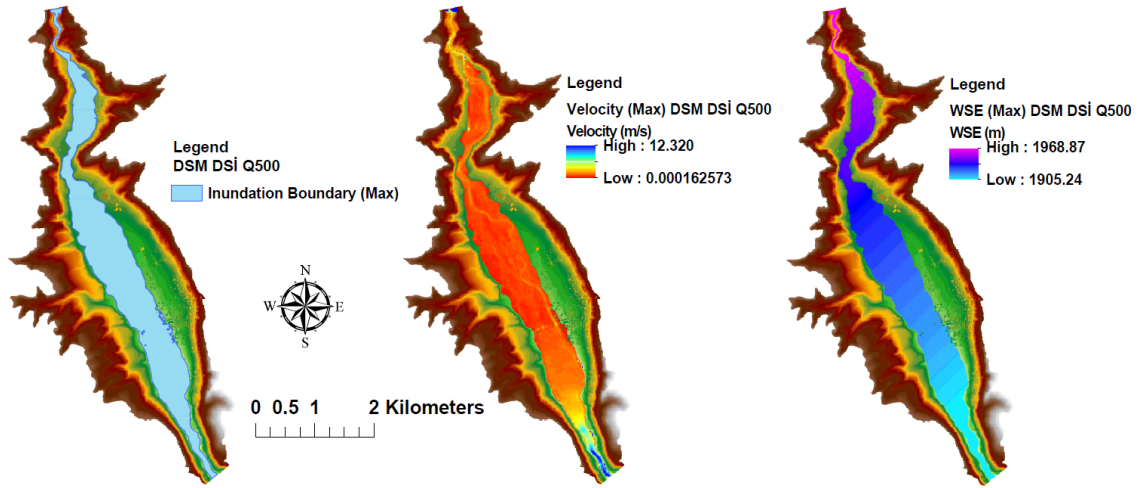
Şekil 4.45 Tekman ilçesi üç boyutlu modeli ve DSM RBF tabanında DSİ Q500 taşkın derinlik haritası.

Taşkın yayılım alanları (Çizelge 4.26) incelendiğinde, DSM RBF (0.5 m) ve HGM DSM (5 m) altlıklarda yakın değerler aldığı görülmektedir. ALOS PALSAR (12.5 m) altlığında ise taşkın yayılım alanları yüksek tekerrürlerde diğer iki altlığa yakın olmakla beraber düşük tekerrürlerde daha düşük çıkmaktadır. Yine de ücretsiz ve çevrimiçi erişimi olan ALOS PALSAR başarılı sayılabilir. Taşkın tahmin yöntemlerini karşılaştırdığımızda ise taşkın yayılım alanları ve derinlikleri yaklaşık aynı mertebelerdedir.

Çizelge 4.26 Taşkın yayılım alanları (km²).

Taşkın Hidrografları/DSM- DEM	DSM RBF (0.5 m)	HGM DSM (5 m)	ALOS PALSAR (12.5 m)
SCS Q500	3.9	4.0	4.0
Kirpich Q500	3.4	3.4	3.5
DSİ Q500	3.3	3.3	3.3
Mockus Q500	3.6	3.6	3.7
LP Tip III Q500	3.7	3.7	3.7
SCS Q10	3.2	3.2	1.3
Kirpich Q10	3.0	3.0	1.6
DSİ Q10	2.9	3.0	1.8
Mockus Q10	3.0	3.1	1.4
LP Tip III Q10	3.3	3.3	2.1
SCS Q2	2.9	2.9	0.3
Kirpich Q2	2.7	2.7	0.7
DSİ Q2	2.4	2.4	0.9
Mockus Q2	2.7	2.8	0.5
LP Tip III Q2	3.1	3.1	1.1

HEC-RAS ile taşkın derinlik haritalarının yanı sıra yayılım, hız ve su yüzeyi yüksekliği çıktıları da elde edilmiştir (Şekil 4.46).



Şekil 4.46 DSM RBF tabanında DSİ Q500 taşkın yayılım, hız ve su yüzeyi yükseklikleri çıktıları.

Tekman taşkın çalışma alanı hidrolik modelleme çalışmaları kapsamında;

- DSM oluşturulurken 19 adet enterpolasyon yönteminin çapraz-doğrulama testi ile karşılaştırılması ve yaklaşık 600 adet yapının sayısallaştırılması,
- Taşkın hidrografları hesaplanırken 11 adet yöntemin (olasılık dağılımları, sentetik BH ve ampirik) karşılaştırılması,
- HEC-RAS hidrolik modellemesinde konumsal çözünürlükleri farklı olan 3 altlık arazi modelinin (ALOS PALSAR, HGM ve RBF) ve 5 taşkın hidrografi hesaplama yönteminin (SCS, Kirpich, DSİ, Mockus ve LP Tip III) kıyaslanması,

yapılmıştır.

Taşkın yayılım alanları incelendiğinde, DSM RBF (0.5 m) ve HGM DSM (5 m) altlıklarda yakın değerler aldığı görülmektedir. ALOS PALSAR (12.5 m) altlığında ise taşkın yayılım alanları yüksek tekerrürlerde diğer iki altlığa yakın olmakla beraber düşük tekerrürlerde daha düşük çıkmaktadır. Yine de ücretsiz ve çevrimiçi erişimi olan ALOS PALSAR başarılı sayılabilir. Taşkın tahmin yöntemlerini karşılaştırdığımızda ise taşkın yayılım alanları ve derinlikleri yaklaşık aynı mertebelerdedir. HEC-RAS taşkın çıktıları DEM altlıkları bakımından karşılaştırıldığında, DSM RBF (0.5 m) ve HGM DSM (5 m) sonuçlarının çok yakın olduğu görülmektedir. HGM DSM altlığı bu açıdan oldukça başarılı bulunmuştur ve taşkın modellemeleri çalışmalarında rahatlıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.

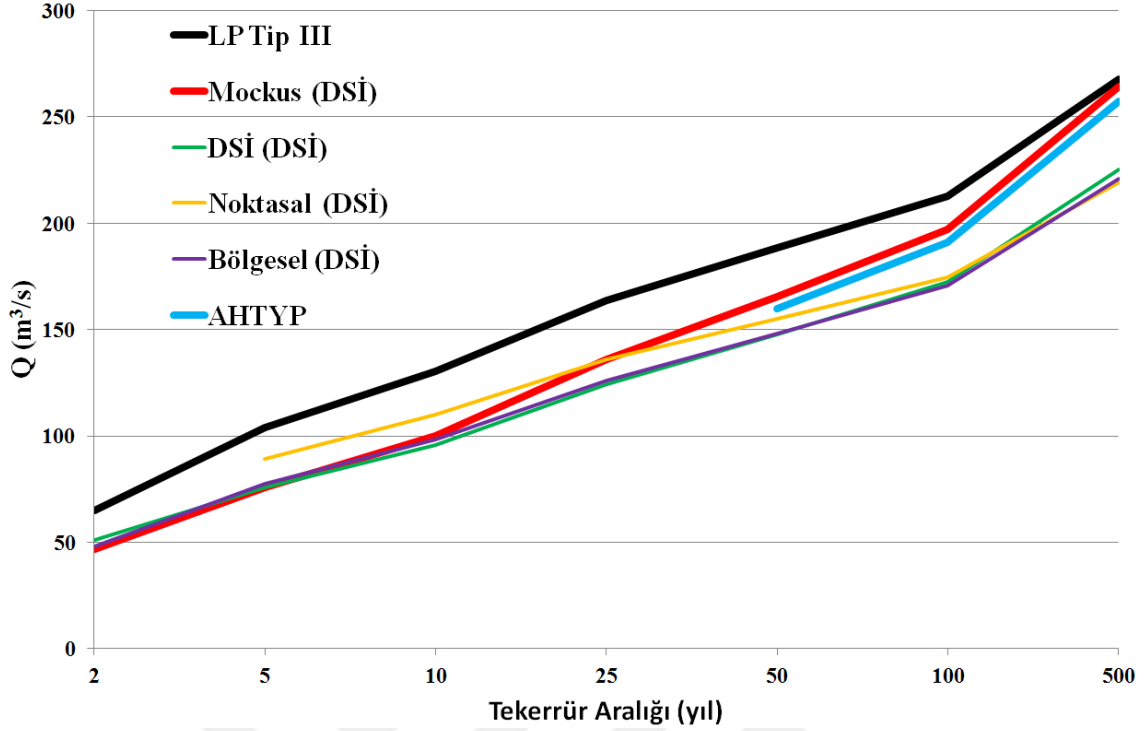
Tekman taşkın modellemesinin ileriki çalışmalarında (tehlike, risk ve zarar haritalaması) en yüksek konumsal çözünürlüğe sahip DSM RBF (0.5 m) altlığında LP Tip III taşkın hidrograflarının kullanılması aşağıdaki sebeplerden dolayı uygun görülmüştür.

- Olasılık dağılımları, istatistiksel olarak yeterli sayıda yıllık anlık maksimum akım verilerine (64 yıl) dayandığı için verinin içsel karakteristiğini dikkate alması bakımından taşkın çalışması için sentetik BH metotlarına göre daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Taşkın hidrograflarına bakıldığında, istatistiksel yöntemler yüksek tekerrür değerlerinde bir miktar farklılaşsa da genel olarak birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Buna karşın, LP Tip III yöntemi Anderson Darling uygunluk testi sonucunda en uygun olasılık dağılımı olarak bulunmuştur.
- Olasılık dağılımları taşkın hidrografları düşük tekerrürlerde sentetik BH yöntemlerine göre daha yüksek olmasına rağmen tekerrür aralığı arttıkça sentetik yöntemlerle buluşmaktadırlar. Bunun sebebi olarak, sentetik BH yöntemlerinde tekerrür yağışlarından dolaysız akışa geçerken SCS CN yöntemi kullanıldığından, düşük tekerrürlü yağışların büyük kısmının sızmaya uğradığı, az bir miktarının akışa geçtiği, dolayısıyla düşük tekerrür aralıklarında düşük pik verdiği yaklaşımı yapılmıştır. Sentetik BH yöntemleri taşkın tekerrür debilerinin birbirlerine daha yakın değerler olmasının sebebi olarak da yağıştan dolaysız akışa geçerken tüm yöntemlerde SCS CN yönteminin kullanılması gösterilebilir. HEC-HMS SCS CN modeli havzada iyi bir performans gösterdiği için yağış-dolaysız akış ilişkisi SCS CN kayıp yöntemiyle kurulmuştur.
- İstatistiksel yöntemlerin Kayabaşı AGİ (maksimum 383 m³/s) yıllık anlık maksimum gözlemlerine göre yüksek kalmasının sebebi olarak, Kayabaşı AGİ anlık maksimum serisinin (2007-2019) istatistiksel olarak yeterli bir örneklem kümesi oluşturmadığı için memba kısmında yakınında bulunan 2403 ve 2407 AGİ anlık maksimum serileri (1956-1993) ile uzatılması olduğu düşünülmektedir. Çünkü 2403 ve 2417 anlık maksimum serilerinde 500 ila 650 m³/s mertebelerinde akımlar vardır (1968-511 m³/s, 1969-649 m³/s ve 1993-533 m³/s).

Taşkın tehlike, risk ve zarar haritalaması çalışmalarında tercih edilen LP Tip III tekerrür debilerini, DSİ “Erzurum Tekman İlçe Merkezi Tekman Çayı Taşkın Koruma Projesi” ve SYGM (2019) “Aras Havzası Taşkın Yönetim Planı (AHTYP)” tekerrür debileri ile karşılaştırdığımızda (Çizelge 4.27 ve Şekil 4.47) hesaplanan değerlerin uygun olduğu görülmektedir. 2403 ve 2417 akım istasyonlarının etkisi ile LP Tip III taşkın tekerrür debileri, DSİ ve AHTYP değerlerinden bir miktar büyük hesaplanmıştır. Bu durumun olumlu olduğu kanaati hakimdir. Dünyanın çeşitli yerlerinde olduğu gibi Ülkemizde de son zamanlarda yaşanan etkili ve büyük taşkınların iklim-arazi örtüsü değişimiyle birlikte daha sık ve şiddetli yaşanacağı beklenmektedir. Bu nedenle DSİ ve AHTYP değerlerinden büyük hesaplanan bu çalışmadaki taşkın tekerrür debilerinin güvenilir ve anlamlı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.27 Tekman Deresi çalışma alanı taşkın tekerrür debilerinin (m^3/s) karşılaştırılması.

Hesap Yöntemi		Tekerrür aralığı (yıl)						
		2	5	10	25	50	100	500
LP Tip III		64.78	103.90	130.44	163.89	188.50	212.72	267.90
Tekman Çayı Taşkın Koruma Projesi, DSİ	Mockus (DSİ tarafından seçilen proje debisi)	46.78	75.68	100.14	135.95	165.56	197.25	264.45
	DSİ	50.93	75.68	95.73	124.30	147.57	172.27	225.23
	Noktasal Taşkın Frekans Analizi	-	89.23	109.85	135.90	155.23	174.41	219.09
	Bölgesel Taşkın Frekans Analizi	48.00	77.56	98.33	126.21	148.09	170.88	221.08
	AHTYP (SYGM 2019)	-	-	-	-	159.76	191.18	257.42



Şekil 4.47 Tekman çalışma alanı taşkın tekerrür debilerinin karşılaştırılması.

Tez çalışmasının sonraki kısımlarında;

- Model-uydu taşkın yayılımlarının karşılaştırılması,
- DSM RBF (0.5 m) altlığında LP Tip III taşkın hidrograf senaryoları (Tekerrür aralığı: 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl) girdi verilen HEC-RAS 2D hidrolik model çıktıların (yayılım, derinlik, hız, alan ve hacim) elde edilmesi,
- Taşkın risk ve tehlike haritalarının (Q100) oluşturulması,
- Taşkın zarar haritalarının (Q100) türetilmesi,

gerçekleştirilmiştir.

4.2.4 Hidrolik Modelin Uydu Görüntüleriyle Doğrulaması

HEC-HMS SMA hidrolojik modeli ile taşkın tekerrür akımlarının elde edilerek HEC-RAS ile hidrolik modellemesinin gerçekleştirilmesi (hidrolojik model HMS-hidrolik model RAS entegrasyonu) ve diğer taşkın çıktıları (olasılık dağılımları ve sentetik BH yöntemleri) ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Kayabaşı Havzasında tarihi taşkınlar hakkında araştırma yapıldığında, havzada sıklıkla

can ve mal kaybı potansiyeli açısından oldukça önemli taşkınların yaşandığı görülmektedir (Şekil 4.48). 16.03.2010 tarihinde etkili ıslak kar erimesi neticesinde Kayabaşı AGİ (D24A096) 2010 yılı anlık maksimum akımı ($368 \text{ m}^3/\text{s}$) gözlenmiştir. İstasyonun gözlem periyodunda ölçülen en yüksek 2. akım değeridir. Tekman ilçesinde 3 gündür etkili olan fırtına ve Bingöl dağlarındaki karların erimesi taşkına neden olmuştur. İlçeye bağlı çok sayıda köyün elektrik direkleri yıkıldığından elektrik hizmeti aksamış, Toptepe köyü girişindeki köprü sular altında kalarak kullanılamaz hale gelmiş ve birçok köyde vatandaşlar ulaşımında sorunlar yaşamıştır. Birçok ev, yol ve elektrik hattının zarar görmesi, binlerce dönüm tarım arazisinin sular altında kalması ile önemli ekonomik kayıplar oluşmuştur. (İnt. Kyn. 8). 01.08.2012 tarihinde yaklaşık 24 saattir etkili olan sağanak yağmur sonucu oluşan taşkın ve heyelanlar Erzurum-Tekman ile Tekman-Gökoğlan köyü karayollarının kapanarak ulaşımın aksamasına sebep olmuştur (İnt. Kyn. 7). 02.09.2012 tarihinde etkili sağanak yağış Tekman ilçesindeki birçok ev ve işyerini su basmasına sebebiyet vermiştir. Hürriyet mahallesinde bazı toprak damlı evler yıkılmış, enkaz altında kalan 1 kişi kurtarılmıştır (İnt. Kyn. 10). 10.04.2015 tarihinde havzada etkili olan sağanak yağmur ve kar erimesi sonucu yaşanan taşkında, Kayabaşı AGİ 2015 yılı anlık maksimum akımı ($383 \text{ m}^3/\text{s}$) ölçülmüştür. Bu değer gözlem süresince istasyonda ölçülen en yüksek değerdir. Erzurum-Muş karayolu (50. km) taşkın suları altında kalarak ulaşımına kapanmış (İnt. Kyn. 1), Taşkesen köyünde ev ve hayvan barınaklarında hasarlar meydana gelmiştir (İnt. Kyn. 11 ve 12). Havzada heyelanlar da oldukça sık yaşanmaktadır (EK 33). 18.04.2019 tarihinde kar erimesi kaynaklı taşkın oluşmuş, nehir suları yükselerek yaklaşık 500 dönüm tarım arazisi sular altında kalmıştır. Taşkın ve heyelan arasındaki ilişkinin yüksek olduğu bilinmektedir. Aynı gün oluşan heyelan sonucu Erzurum-Tekman karayolunda büyük çukurlar oluşmuş, yolun tek şeridi servis dışı kalırken, heyelanın taşıdığı topraklar Aras nehrinin taşkın yatağında set oluşturmuş ve kesit alanını daraltmıştır (İnt. Kyn. 3). 28.06.2020 tarihinde etkili olan sağanak yağmur sonrası taşan dere suları ve taşıdığı rüsubat Düzyurt köyünde çok sayıda eve ve sokağa zarar vermiş, can kaybının yaşanmadığı taşkından etkilenen ev sakinleri itfaiye ekipleri tarafından tahliye edilmiştir (İnt. Kyn. 13, 14, 15 ve 16). Son olarak, 02.07.2020 tarihinde yaşanan taşkında Akdağ ve Çiçekdağı köylerinde 11 ev hasar görürken 7 büyükbaş hayvan taşkın sularına kapılarak telef olmuştur. Erzurum Büyükşehir ile Tekman Belediyeleri itfaiye ve iş makineleri

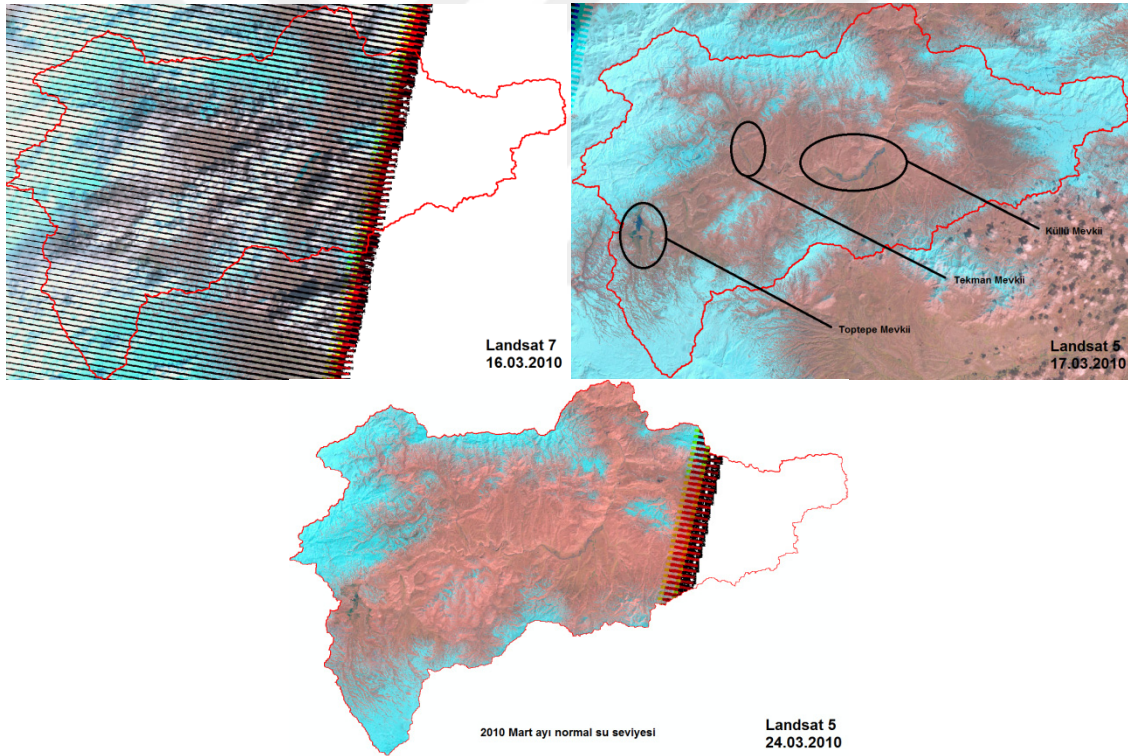
hasar gören mahallelerde müdahale çalışması yapmış, su basan evler ve ahırlar boşaltılarak vatandaşlar ve çiftlik hayvanları güvenli bölgelere sevk edilmiştir (İnt. Kyn. 4, 5 ve 6). Tarihi taşkınların konumları incelendiğinde, çoğunlukla tez kapsamında incelenen Kayabaşı, Tekman ve Toptepe taşkın çalışma alanlarında gerçekleştikleri görülmektedir.





Şekil 4.48 Kayabaşı Havzası taşkınlarından görüntüler.

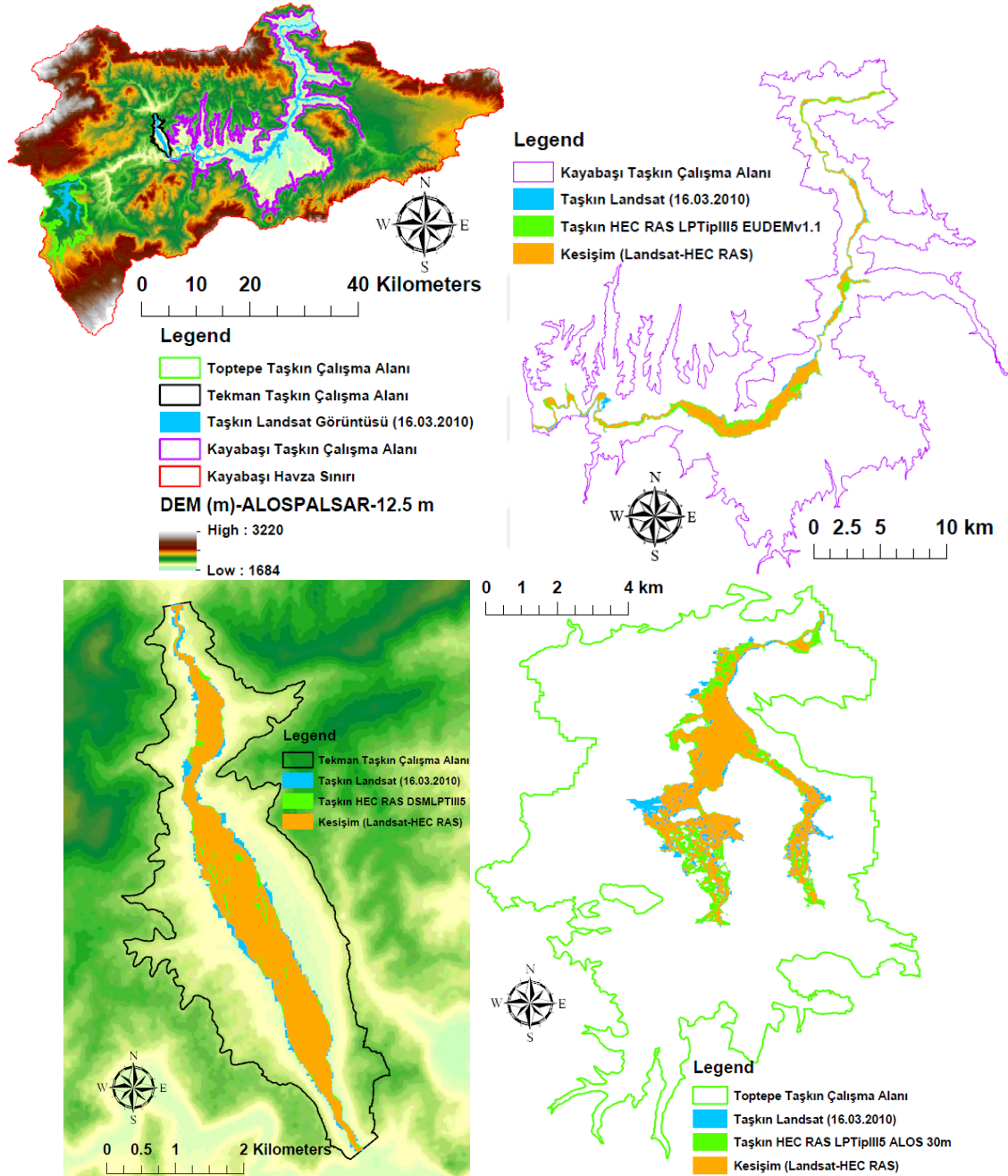
Tarihi verilerin yanında havzanın alüvyon alanları (EK 34) dikkate alınıp taşkına yatkın alanlar değerlendirilerek taşkın riski ön çalışması yapılabilir. Uydu taşkın görüntüleriyle (Şekil 4.49) alüvyon alanların büyük oranda örtüşmesi de bu durumu desteklemektedir. Havzada yaşanan taşkın tarihlerinde çeşitli uyduların görüntülerinin olup olmadığı araştırılmış ve 16.03.2010 tarihinde yaşanmış taşkına ait Landsat 5 ve Landsat 7 yer gözlem uydu görüntüleri (Şekil 4.49) bulunmuştur. Uydu görüntüleri 30 m konumsal çözünürlüğe sahiptir. 16.03.2010 tarihli Landsat 7 uydu görüntüsü oldukça bulutlu ve SLC (Scan Line Corrector) hatasından dolayı görüntüde kesiklikler olmasına rağmen, taşkından bir gün sonraki 17.03.2010 tarihli Landsat 5 uydu görüntüsü oldukça nettir ve taşkın yayılımını göstermesi açısından önemlidir. Ayrıca 24.03.2010 tarihli Landsat 5 görüntüsü de Mart ayı normal su seviyesini göstermesi bakımından sunulmuştur.



Şekil 4.49 Kayabaşı Havzası 16.03.2010 taşkını ve 24.03.2010 tarihli normal su seviyesini gösterir uydu görüntüleri.

Landsat 5 ve Landsat 7 uydu görüntüleri birlikte değerlendirilerek, ArcGIS platformunda Iso Cluster Unsupervised Classification komutu uygulanmış, kontrolsüz sınıflandırma yapılmış ve taşkın yayılımları tespit edilmiştir (Şekil 4.50). Bu komut modifiye edilmiş iteratif optimizasyon kümeleme prosedürünü kullanır. Iso (iterative

self-organizing) kümeleme ve maksimum benzerlik sınıflandırma yöntemlerini kullanarak, uydu raster hücrelerini RGB değerlerine göre minimum Öklid uzaklığı temelinde sınıflandırmaktadır. Bir sınıfın veya kümenin temsilcisi olan hücreler alt kümesine imza denir ve imza istatistikleri yardımıyla kümeleme analizi gerçekleştirilir (İnt. Kyn. 20).



Şekil 4.50 Kayabaşı Havzası taşkın çalışma alanları ve 16.03.2010 taşkını uydu-model karşılaştırması.

Tarihi taşkınlar LP Tip III yönteminde 1956-2019 periyodu anlık maksimumları ile ele alındığında, 16.03.2010 (368 m³/s) ve 10.04.2015 (383 m³/s) tarihlerindeki anlık maksimum akımların tekerrür aralıkları sırasıyla 4 ve 4.5 yıl olmaktadır. Her iki taşkın da yineleme aralıkları yaklaşık 5 yıl olarak kabul edilebilir. İki taşkın tekerrür aralığı istatistik yöntemlerde yaklaşık 5 yıl olarak hesaplanırken, sentetik BH yöntemlerinde yaklaşık 25 yıl olarak elde edilmektedir. 16.03.2010 Landsat uydu taşkın yayılımı referans alınarak Kayabaşı (LP Tip III Q5=398.55 m³/s), Tekman (LP Tip III Q5=103.90 m³/s) ve Toptepe (LP Tip III Q5=294.65 m³/s) taşkın çalışma alanlarında HEC-RAS 2D model taşkın yayılım çıktıları (LP Tip III Q5) çoklu lokasyon perspektifinde değerlendirilmiştir (Şekil 4.50). Sadece Kayabaşı AGİ (2007-2019) anlık maksimumları dikkate alındığında, LP Tip III yönteminde 2010 taşkın tekerrür aralığı 18 yıl olarak hesaplanmaktadır. Havza çıkışı için Kayabaşı (D24A096), Çüllü (2403) ve Mescitli (2417) AGİ anlık maksimumları birleştirildiğinden ve eski yıllarda Çüllü-Mescitli istasyonlarında büyük taşkınlar (500-650 m³/s mertebelerinde) yaşandığından 1956-2019 periyodu için 2010 taşkın yineleme aralığı daha küçük bir değer (5 yıl) bulunmaktadır.

Kayabaşı Havzası taşkın çalışma alanı çoğunlukla mendereslerden oluşmaktadır ve 2000 m kontur çizgisi ile sınırlandırılmıştır. Kayabaşı taşkın çalışma alanında taşkından etkilenen yerleşim yerleri; Gündamı (2021 Nüfus: 230), Işıklar (2021 Nüfus: 347), Ilıgöze (2021 Nüfus: 336), Çevirme (2021 Nüfus: 533), Hacıömer (2021 Nüfus: 329), Küllü (2021 Nüfus: 278), Ataköy (2021 Nüfus: 21), Çullu (2021 Nüfus: 1038), Mescitli (2021 Nüfus: 284) ve Marifet (2021 Nüfus: 257) olarak belirlenmiştir. CORINE 2018 arazi örtüsüne göre büyük oranda tarım alanları su altında kalmakta, nehrin yükselmesiyle menderesler kaybolmaktadır. Taşkın koruma ve büyük miktardaki taşkın sularının depolanması bakımından, Kayabaşı taşkın çalışma alanı içerisinde yapımları devam eden sulama-enerji üretimi amaçlı Söylemez ve Solmaz Barajları da önemlidir. Tekman taşkın çalışma alanında (2000 m kontur çizgisi ile sınırlandırılmış) taşkından etkilenen yerleşimler; Tekman ilçe merkezi (2021 Nüfus: 2657) ve Hürriyet Mahallesidir (2021 Nüfus: 987). Ayrıca Tekman taşkın çalışma alanının memba kısmında bulunan Taşkesen (2021 Nüfus: 827), Katranlı (2021 Nüfus: 611) ve Düzyurt (2021 Nüfus: 1333) yerleşimlerinin de taşkından etkileneceği belirtilebilir. Tekman

Kayabaşı havzasındaki en büyük yerleşim olduğundan, raporun sonraki kısımlarında Tekman taşkın çalışma alanı taşkın tehlike, risk ve zarar analizleri bakımından detaylı bir şekilde incelenmiştir. 2175 m kontur çizgisi ile sınırlandırılmış Toptepe taşkın çalışma alanında taşkından etkilenen yerleşimler; Toptepe (2021 Nüfus: 1508), Çukuryayla (2021 Nüfus: 920), Kayaboğaz (2021 Nüfus: 185), Gökoğlan (2021 Nüfus: 706) ve Kırıkhan (2021 Nüfus: 969). Taşkın yayılımı CORINE 2018 verisine göre neredeyse tamamıyla bataklık alanı kapsamaktadır. Sulak alanların taşkın geciktirme özelliğinden dolayı Toptepe bataklığının Kayabaşı havzası için önemli olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.48'deki Toptepe mevki taşkın görüntüsü (17.03.2010, İnt. Kyn. 8) uydu ve model taşkın yayılımları ile oldukça uyumlu görsel bir kanıt niteliğindedir.

Görsel karşılaştırmanın yanında, HEC-RAS modeli taşkın yayılımlarının referans (uydu) görüntüleri ile tutarlılığı bazı indislerle (başarı ve yanlış tahmin oranları ile kritik başarı indeksi) test edilmiştir (Çizelge 4.28).

$$\text{Başarı Oranı} = [(F_{\text{uydu}} \cap F_{\text{model}}) \div F_{\text{uydu}}] \quad (4.9)$$

$$\text{Yanlış Tahmin Oranı} = [(F_{\text{model}}/F_{\text{uydu}}) \div F_{\text{uydu}}] \quad (4.10)$$

$$\text{Kritik Başarı İndeksi} = [(F_{\text{uydu}} \cap F_{\text{model}}) \div (F_{\text{uydu}} \cup F_{\text{model}})] \quad (4.11)$$

Başarı oranı, simüle edilen yayılımın (F_{model}) gözlem (F_{uydu}) ile uyumunu göstermektedir. Başarı oranı yüksek tahmini dikkate almadığından yanlış tahmin oranı ile de model performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca kritik başarı indeksi ile daha kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır (Bates ve De Roo 2000, Alfieri vd. 2014, Sampson vd. 2015, Dottori vd. 2016, Wing vd. 2017, Dottori vd. 2021).

Çizelge 4.28 Taşkın çalışma alanları HEC-RAS-Landsat tutarlılık analizi (16.03.2010).

Tutarlılık Analizi	Taşkın Çalışma Alanı		
	Tekman-DSM RBF 0.5 m	Kayabaşı- EUDEM v1.1 25 m	Toptepe-ALOS 30 m
F_{uydu} (km ²)-Landsat 30 m	3.342	19.072	6.911
F_{model} (km ²)-LP Tip III Q5	3.230	22.729	8.034
$F_{model} \div F_{uydu}$	0.97	1.19	1.16
$F_{uydu} \cap F_{model}$ (Kesişim, km ²)	3.022	15.799	5.634
$F_{uydu} \cup F_{model}$ (Birleşim, km ²)	3.550	26.003	9.312
Başarı Oranı (%)	90.4	82.8	81.5
Yanlış Tahmin Oranı (%)	6.2	36.3	34.7
Kritik Başarı İndeksi (%)	85.1	60.8	61.0

Altlık DEM çözünürlüğü hassaslaştıkça model-uydu performansının oldukça arttığı görülmektedir. Kayabaşı ve Toptepe taşkın çalışma alanlarında, EUDEM v1.1 (25 m) ve ALOS (30 m) daha kaba çözünürlüğe sahip olmasına rağmen ALOS PALSAR (12.5 m) altlığından daha iyi performans göstermişlerdir. Bu durumun EUDEM v1.1 ve ALOS altlıklarında nehir ve taşkın yataklarının daha iyi tanımlanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tekman taşkın çalışma alanı için DSM RBF (0.5 m) yanında HGM (5 m) ve ALOS PALSAR (12.5 m) altlıkları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Kayabaşı ve Toptepe taşkın çalışma alanları için ALOS PALSAR (12.5 m), EUDEM v1.1 (25 m), ALOS (30 m), ALOS PALSAR (30 m), ASTER GDEM (30 m), SRTM (30 m) ve SRTM (90 m) altlıkları ele alınmış ancak sadece EUDEM v1.1 ve ALOS altlıkları taşkın yayılımını tam olarak göstermişlerdir. Diğer

altlıklarda nehrin akışı bir yükselti seti ile engellenerek taşkın yayılımı tam olarak sağlanamamıştır. Bu altlıkların elden geçirilerek düzenlenmesi (nehir yatağı tanımlaması vb.) yerine sadece EUDEM v1.1 ve ALOS yüksekliklerinin kullanılması uygun bulunmuştur. Bu iki altlık Landsat taşkın yayılımı karşılaştırmasında çok başarılı sonuçlar vermese de kabul edilebilir performans gösterdikleri ifade edilebilir. Zaten Kayabaşı ve Toptepe taşkın çalışma alanlarında büyük yerleşimlerin olmaması, sırasıyla daha çok tarımsal ve bataklık alanların bulunmasından dolayı bu iki altlığın bu alanlar için kullanabilir olduğu düşünülmektedir.

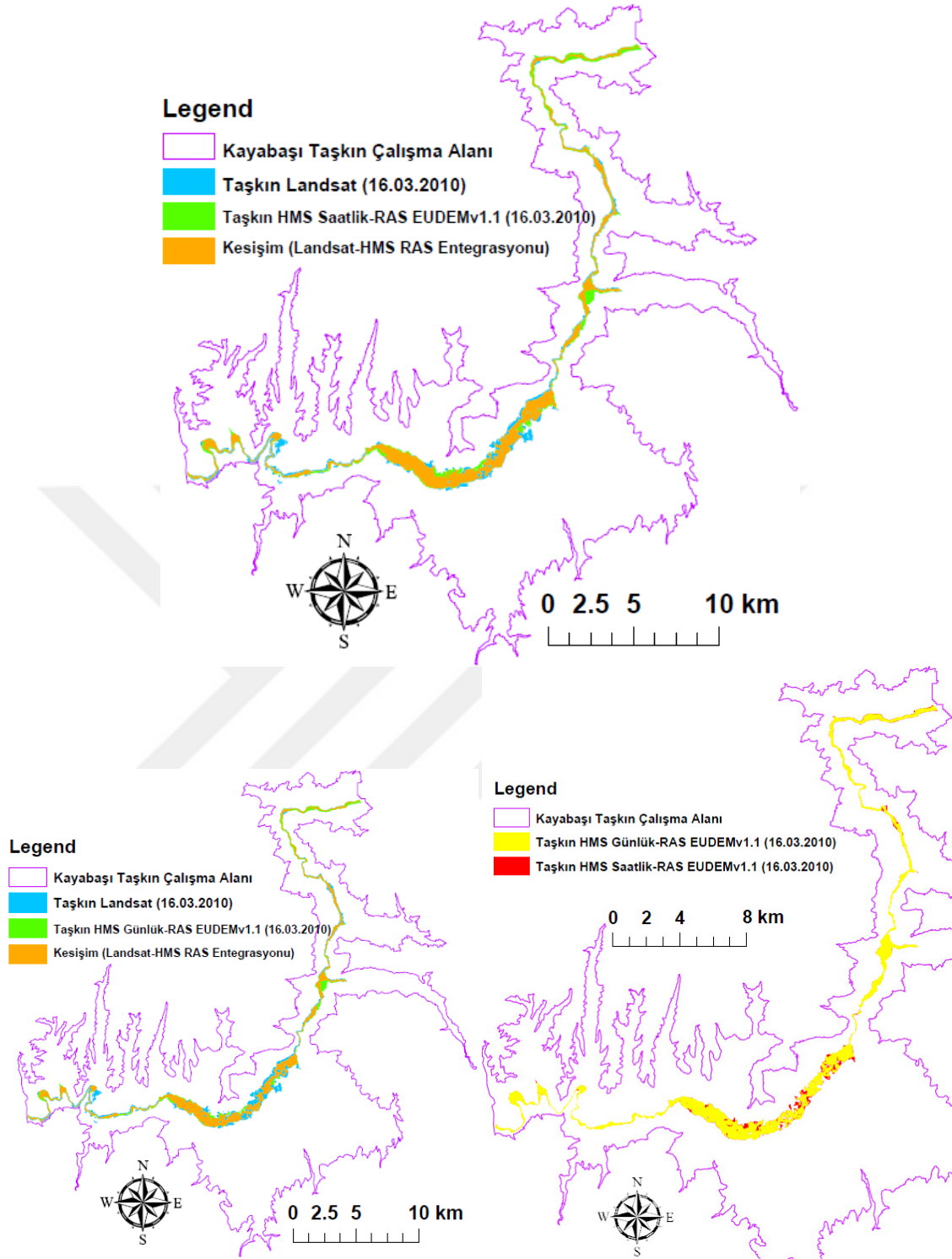
Kayabaşı AGİ ölçüm periyodunda gerçekleşen en yüksek pik akımlar olan 16.03.2010 ve 10.04.2015 taşkınları karşılaştırıldığında (Çizelge 4.29), günlük toplam yağışlara ve anlık maksimum akımlara bakılırsa 2015 taşkınında kar erimesinin daha etkili olduğu görülmektedir. Zaten Nisan ayında kar erimesinin daha fazla olması beklenen bir durumdur. Günlük ortalama sıcaklıklara bakıldığında bir gün öncesine göre 16.03.2010 tarihinde 3.0 °C artış olmuşken, 10.04.2015 tarihinde 1.8 °C sıcaklık artışı olduğu görülmektedir. Buna rağmen 10.04.2015 tarihinde havzanın uydu KKA %19 azalırken, 16.03.2010 tarihinde %15 azalmıştır.

Çizelge 4.29 Kayabaşı Havzası 2010 ve 2015 taşkınlarının hidro-meteorolojik bilgileri (D24A096).

Tarih	Günlük Toplam Yağış (mm)	Gözlenen Günlük Ort. Akım (m ³ /s)	HEC-HMS SMA		Anlık Mak. Akım (m ³ /s)	LP Tip III Tekerrür Aralığı (yıl)
			Günlük Ort. Akım (m ³ /s)	Mak. Saatlik Ort. Akım (m ³ /s)		
16.03.2010	35.8	329	168	175	368	4.0
10.04.2015	20.9	277	124	167	383	4.5

Sadece hidrolik model ile taşkın modellemesinin (LP Tip III taşkın hidrografları ve HEC-RAS) yanında, hidrolojik-hidrolik model karar destek sistemi ile de taşkın modellemesi (HEC-HMS taşkın hidrografının HEC-RAS modeline girdi verilmesi) gerçekleştirilmiştir. 2015 yılı için de HEC-HMS saatlik modellemesi olmasına karşın,

10.04.2015 tarihinde çalışma alanına ait uydu görüntüsü bulunmadığından sadece 16.03.2010 taşkını HEC-HMS günlük ve saatlik modellemesinin HEC-RAS ile entegrasyonu sağlanarak ele alınmıştır (Şekil 4.51). HEC-HMS günlük modellemesi ile elde edilen taşkın hidrografi, SCS BH yöntemiyle saatlik olarak hesaplanmış ve HEC-RAS modeline girdi verilmiştir. Bu şekilde oluşturulan HEC-HMS ve HEC-RAS (HMS-RAS) entegrasyonu 2010 taşkın yayılımı Landsat görüntüleriyle görsel (Şekil 4.51) ve performans kriterleri (Çizelge 4.30) bazında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda HMS-RAS entegrasyonu taşkın modellemesi açısından başarılı kabul edilebilir. 2010 yılı günlük ve saatlik hidrolojik modeller karşılaştırıldığında, maksimum akım benzeşiminde (sırasıyla $168 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $175 \text{ m}^3/\text{s}$) yakın olmalarına karşın NSE kriteri (2010 yılı günlük model için 0.79; saatlik model için 0.86) açısından saatlik modelin üstün performans gösterdiği görülmektedir. Aynı şekilde, HMS-RAS entegrasyon performansı zamansal çözünürlük bağlamında ele alındığında, saatlik zaman ölçeğinde başarının biraz daha yükseldiği görülmektedir (Şekil 4.51 ve Çizelge 4.30). Bu bağlamda zamansal çözünürlüğün arttıkça taşkın modellemesinin daha başarılı olacağı öngörülebilir.



Şekil 4.51 Kayabaşı Havzası taşkın çalışma alanı HMS RAS entegrasyonu-uydu karşılaştırması (16.03.2010 taşkını).

Çizelge 4.30 Kayabaşı taşkın çalışma alanı HMS RAS entegrasyonu-Landsat tutarlılık analizi (16.03.2010).

HEC-HMS Günlük-RAS		HEC-HMS Saatlik-RAS	
Tutarlılık Analizi	Kayabaşı- EUDEM v1.1 25 m	Tutarlılık Analizi	Kayabaşı- EUDEM v1.1 25 m
$F_{uydu} (km^2)$ -Landsat 30 m	19.072	$F_{uydu} (km^2)$ -Landsat 30 m	19.072
$F_{model} (km^2)$ -HEC- HMS Günlük	15.800	$F_{model} (km^2)$ -HEC- HMS Saatlik	18.400
$F_{model} \div F_{uydu}$	0.83	$F_{model} \div F_{uydu}$	0.96
$F_{uydu} \cap F_{model}$ (Kesişim, km^2)	11.791	$F_{uydu} \cap F_{model}$ (Kesişim, km^2)	13.461
$F_{uydu} \cup F_{model}$ (Birleşim, km^2)	23.082	$F_{uydu} \cup F_{model}$ (Birleşim, km^2)	24.011
Başarı Oranı (%)	61.8	Başarı Oranı (%)	70.6
Yanlış Tahmin Oranı (%)	21.0	Yanlış Tahmin Oranı (%)	25.9
Kritik Başarı İndeksi (%)	51.1	Kritik Başarı İndeksi (%)	56.1

4.3 Taşkın Modelleme

Hidrolik modellemenin gerçekleştirilerek taşkın karar destek sisteminin oluşturulması taşkın risk, tehlike ve zarar haritalaması ile tamamlanmıştır. Hidrolik modelleme çıktıları değerlendirilerek çeşitli taşkın tehlike, risk ve zarar haritaları türetilmiştir.

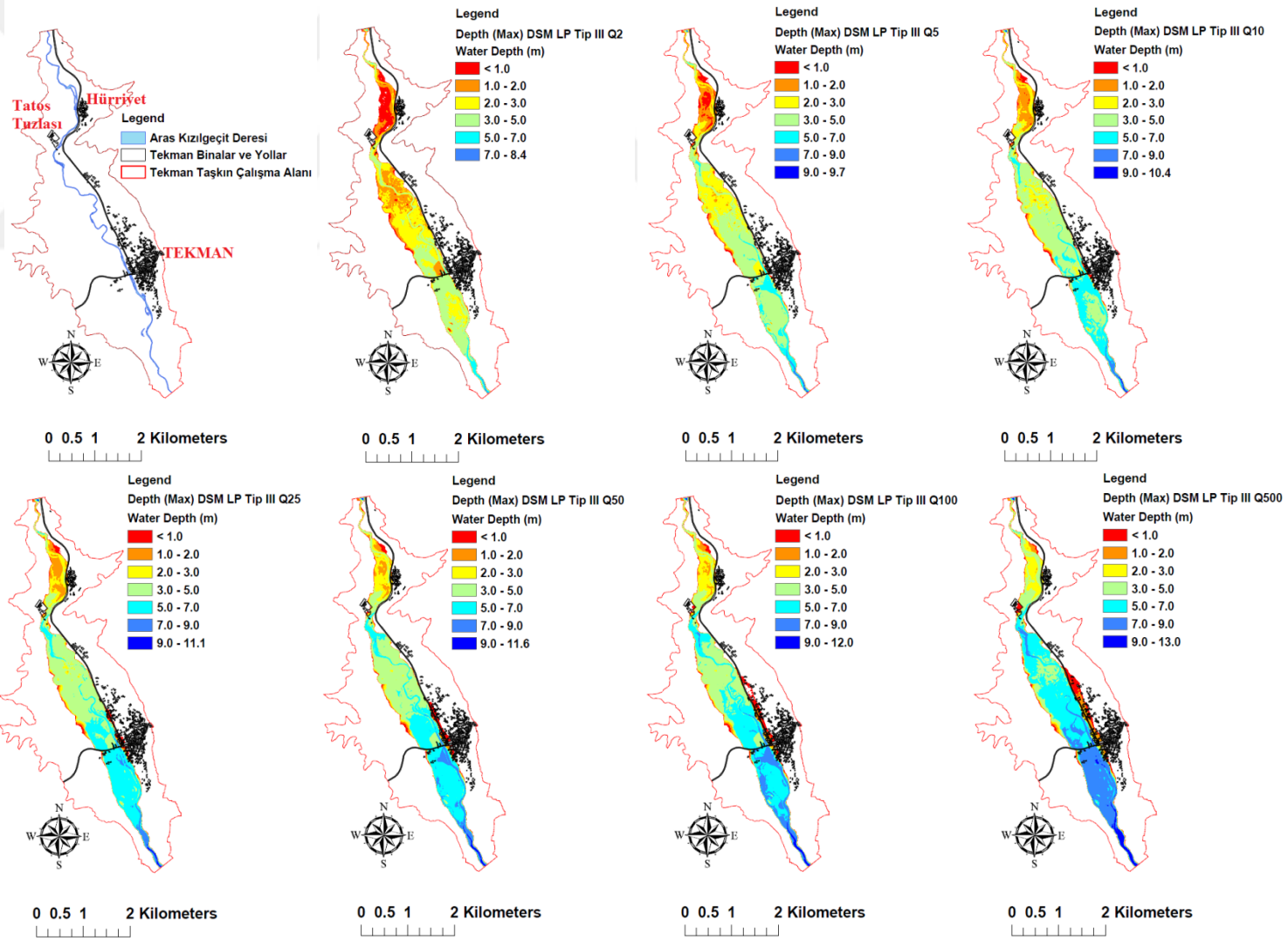
Taşkın modellemesinin sonraki uygulamaları için DSM RBF (0.5 m) altlığında LP Tip III taşkın çıktıları (Çizelge 4.31 ve Şekil 4.52, EK 35) kullanılarak devam edilmiştir. Taban süresi 18 saat olan LP Tip III taşkın hidrografları 30 dakikalık akım verilerinden

oluşmaktadır. HEC-RAS hidrolik modelleme hesaplama aralığı 1 dakika olarak uygulanmıştır.

Taşkın göstergeleri (Çizelge 4.31) değerlendirildiğinde, Tekman çalışma alanının bir vadi olmasından dolayı tekerrür aralığının artmasına rağmen taşkın yayılımı çok değişmemekte, ancak taşkın yüksekliği ve dolayısıyla taşkın hacmi oldukça artmaktadır. Taşkın hızı tekerrür aralığı ile çok değişmemekle birlikte doğru orantılı bir şekilde yükselmektedir. Su derinlikleri haritalarına (Şekil 4.52 ve EK 35) bakıldığında çalışma alanında Tekman ilçe merkezi, Hürriyet mahallesi ve Tatos tuzlalarının (kaya tuzu üretim tesisleri) taşkınlardan etkilendiği görülmektedir. Farklı tekerrür taşkın debileri için su derinlik sınıf aralıkları değişimin daha iyi fark edilebilmesi için aynı olarak düzenlenmiştir.

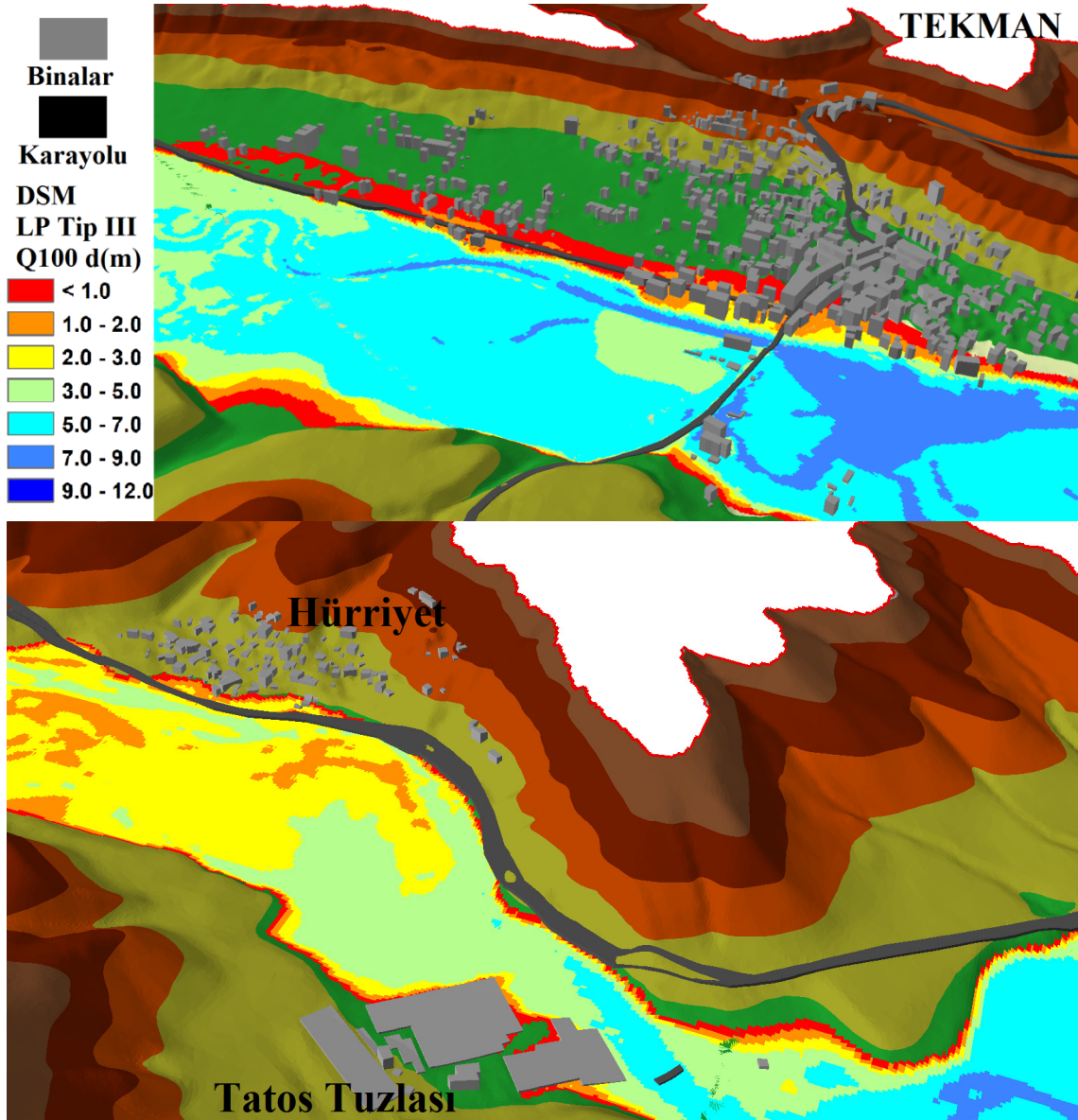
Çizelge 4.31 Tekman çalışma alanı taşkın bilgileri (DSM LP Tip III).

Taşkın Göstergeleri		Taşkın Debileri (m ³ /s)						
		Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q500
Taşkın Yüzey Alanı (km ²)		3.131	3.230	3.283	3.365	3.441	3.533	3.714
Taşkın Hacmi (1000m ³)		1122	1800	2259	2839	3265	3684	4640
Taşkın Yüksekliği (m)	Ort	2.53	3.33	3.78	4.21	4.52	4.74	5.28
	Mak	8.38	9.69	10.37	11.10	11.59	12.03	12.99
Taşkın Akış Hızı (m/s)	Ort	0.80	0.94	1.01	1.08	1.12	1.14	1.22
	Mak	7.77	9.13	9.69	11.69	12.02	11.66	13.92



Şekil 4.52 DSM RBF tabanında LP Tip III taşkın derinlik haritaları.

Çeşitli tekerrür aralıklarına sahip taşkın derinlik haritalarının yanında, örnek olarak DSM RBF tabanında LP Tip III Q100 taşkın derinliği Arcscene 3D CBS platformu kullanılarak Şekil 4.53'te sunulmuştur. 2D haritaların yanında 3D haritaların kullanılması görselliği daha zenginleştirerek taşkının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.



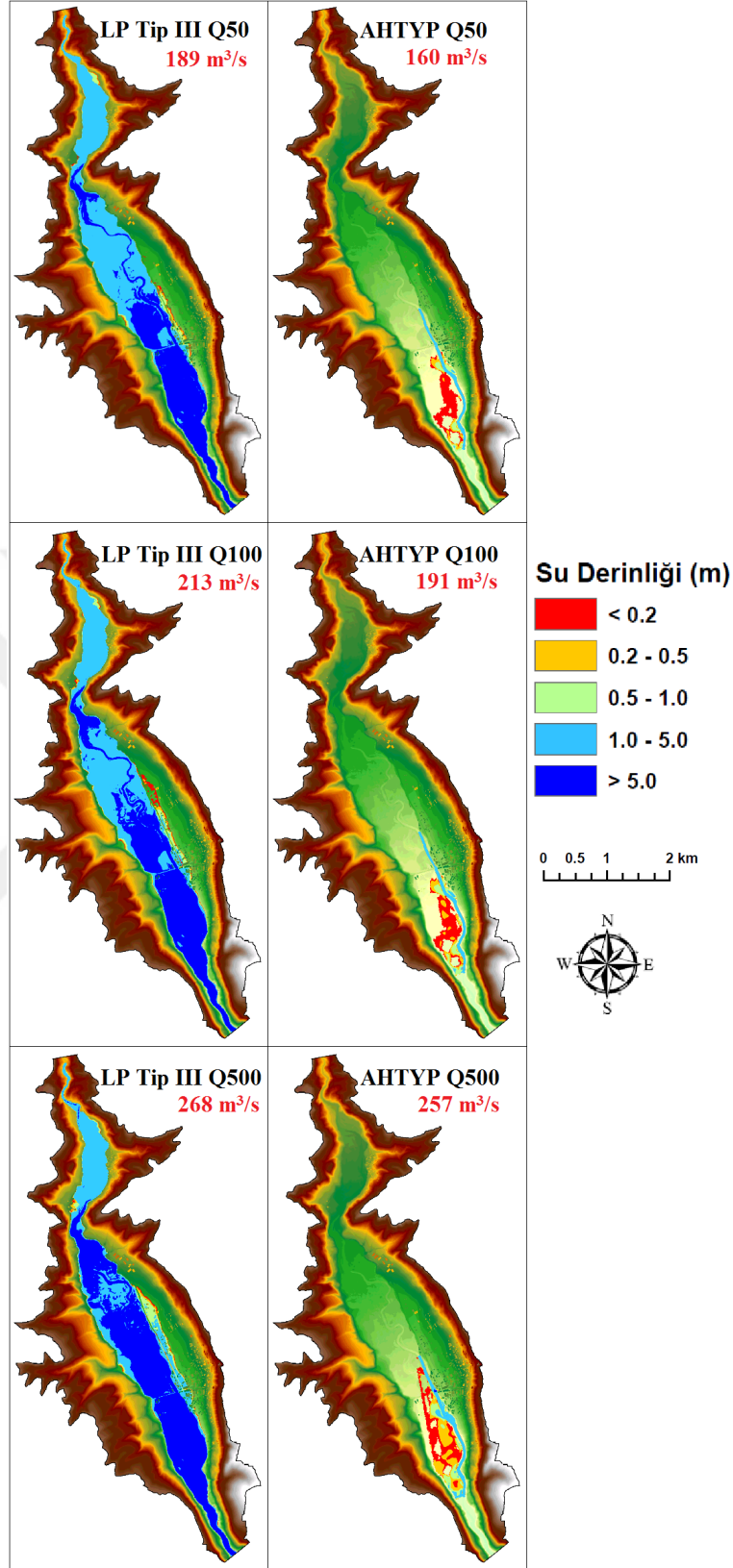
Şekil 4.53 Tekman ilçe merkezi ve Hürriyet Mahallesi 3D modeli ve DSM RBF tabanında LP Tip III Q100 taşkın derinlik haritası.

Bu çalışma kapsamında elde edilen LP Tip III taşkın derinlikleri ile AHTYP (SYGM 2019) su derinlikleri (Q50, Q100 ve Q500) karşılaştırıldığında (Şekil 4.54), taşkın

tekerrür debileri yakın olmasına karşın taşkın derinlik haritalarında oldukça farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların aşağıdaki durumlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

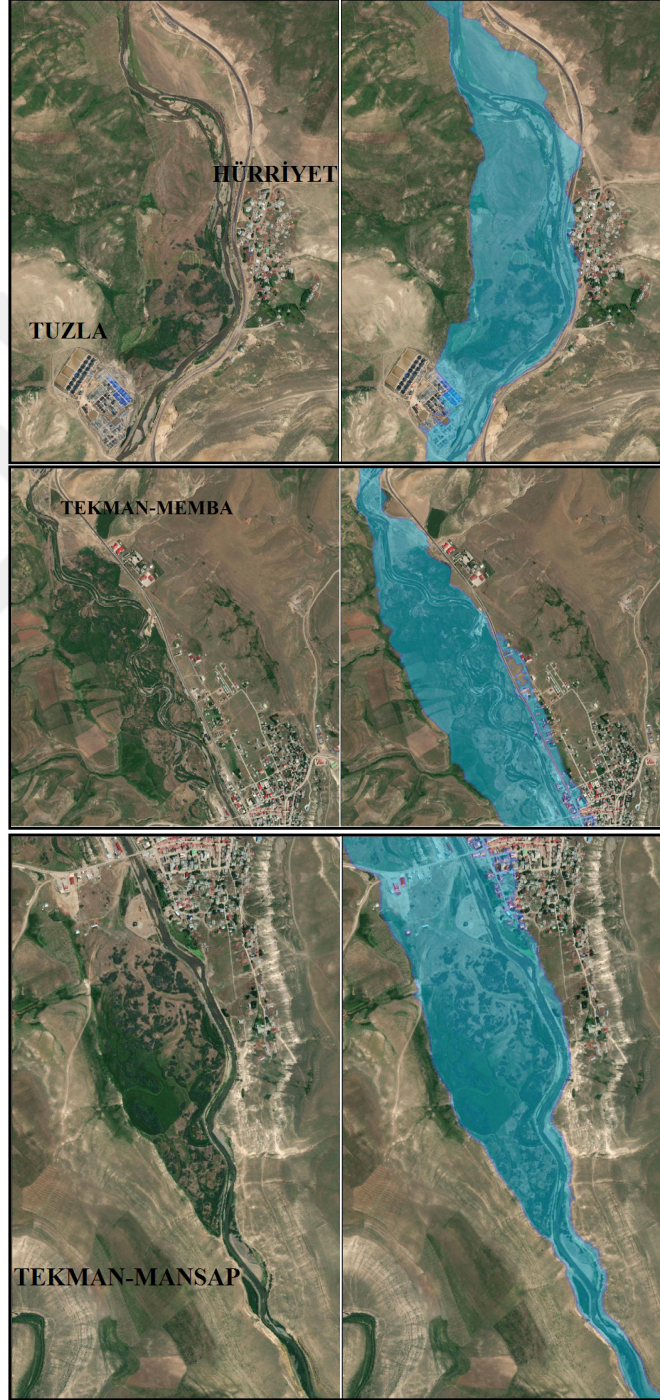
- AHTYP çalışmasında iki boyutlu MIKE (Danimarka Hidrolik Enstitüsü) hidrolik modelinin kullanılması
- Akış alanlarının ve memba-mansap şartlarının farklı tanımlanmış olması
- Hidrolik modellemede kullanılan altlık yükseklik-yüzey modellerinin farklı olması

HEC-RAS ve MIKE hidrolik modellerinin kullandığı içsel hesaplama süreç farklılıkları taşkın çıktılarının farklı olmasına sebep olmuş olabilir. AHTYP akış alanının ve memba-mansap şartlarının taşkın potansiyeli olan alanları tam olarak kapsamadığı yaklaşımları yapılabilir. Altlık olarak kullanılan sayısal arazi modellerinin konumsal çözünürlüğü ve doğruluk hassasiyeti önemli ölçüde taşkın yayılım ve derinliklerini etkilemektedir. Çalışmanın ileriki kısımlarında karşılaştırmalı ele alınan 16.03.2010 taşkını uydu görüntüleri ile doğrulaması yapılmış ve oldukça uyumlu olması sebebiyle tez kapsamında elde edilen taşkın derinlik çıktılarının daha anlamlı ve güvenilir olduğu ifade edilebilir.



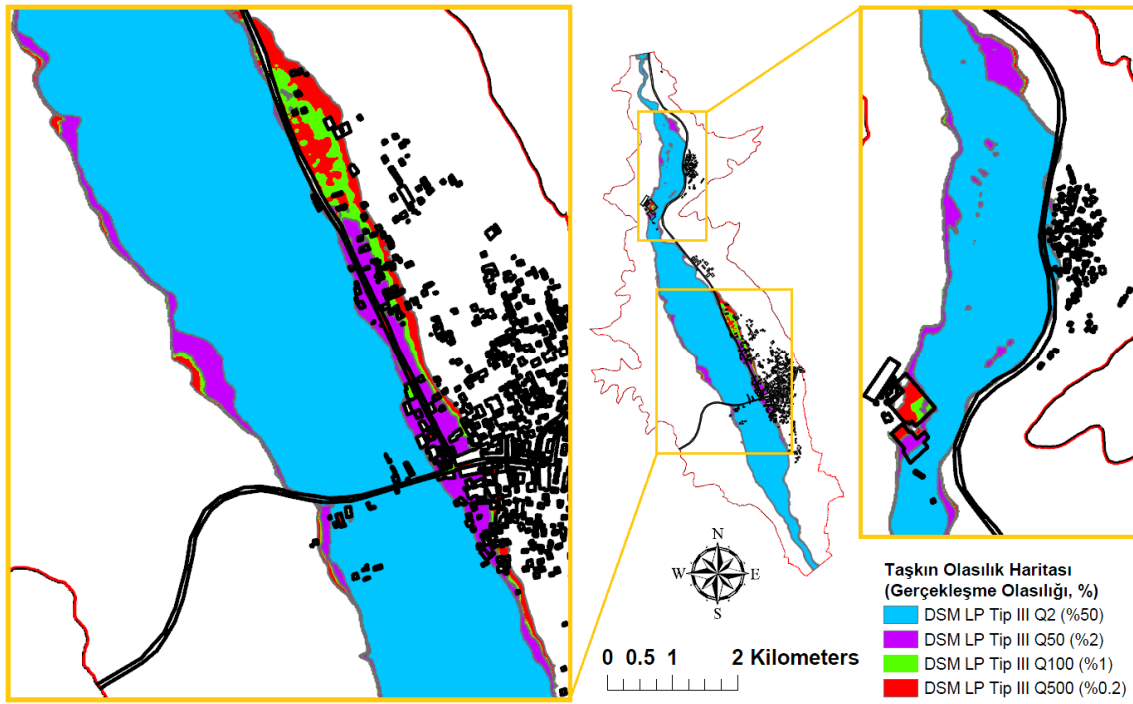
Şekil 4.54 Tekman taşkın çalışma alanı LP Tip III ve AHTYP taşkın derinlik haritalarının karşılaştırılması.

18.07.2020 tarihli 0.5 m konumsal çözünürlüğe sahip ArcGIS World Imagery uydu görüntüsü üzerinde LP Tip III Q100 taşkın yayılımı incelendiğinde de (Şekil 4.55), çalışma kapsamında elde edilen taşkın yayılımının topoğrafya ve arazi özellikleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4.55 Tekman taşkın çalışma alanı DSM RBF tabanında LP Tip III Q100 taşkın yayılımı.

Daha iyi bir görsel inceleme olması açısından, taşkın hidrolik modelleme çıktıları sunulurken yükselti altlık katmanının bir miktar saydamlaştırılmasına ya da taşkın çıktılarının daha net gözükeceği vektörel altlıkların (bina ve yollar) kullanılmasına dikkat edilmiştir. Tekerrür aralıklarına bağlı olarak bir yıl içerisinde taşkınların gerçekleşme olasılıklarını gösteren haritalar (Şekil 4.56) özellikle karar vericilerin ve halkın taşkın çalışmalarını daha iyi kavrayabilmesi açısından önemlidir.



Şekil 4.56 DSM RBF tabanında LP Tip III taşkın olasılık haritası.

100 yıllık bir taşkın her yıl meydana gelme olasılığı yalnızca %1 olmasına rağmen, olasılıklar zamanla birikir. Herhangi bir dönemde belirli büyüklükte bir taşkın meydana gelme olasılığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir. Bu denklem olasılıkların zaman içinde nasıl değiştiğini hesaplamak için kullanılabilir (Gumbel 1958, Linsley vd. 1958, USACE 1962, Benjamin ve Cornell 1970, Yen 1970, Yevjevich 1972, Yen vd. 1986, Chow vd. 1988, ASCE 1996).

$$P_t = 1 - (1 - P_e)^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (4.12)$$

P_t : Tüm zaman periyodu (n) süresince gerçekleşme olasılığı; P_e : Herhangi bir yılda

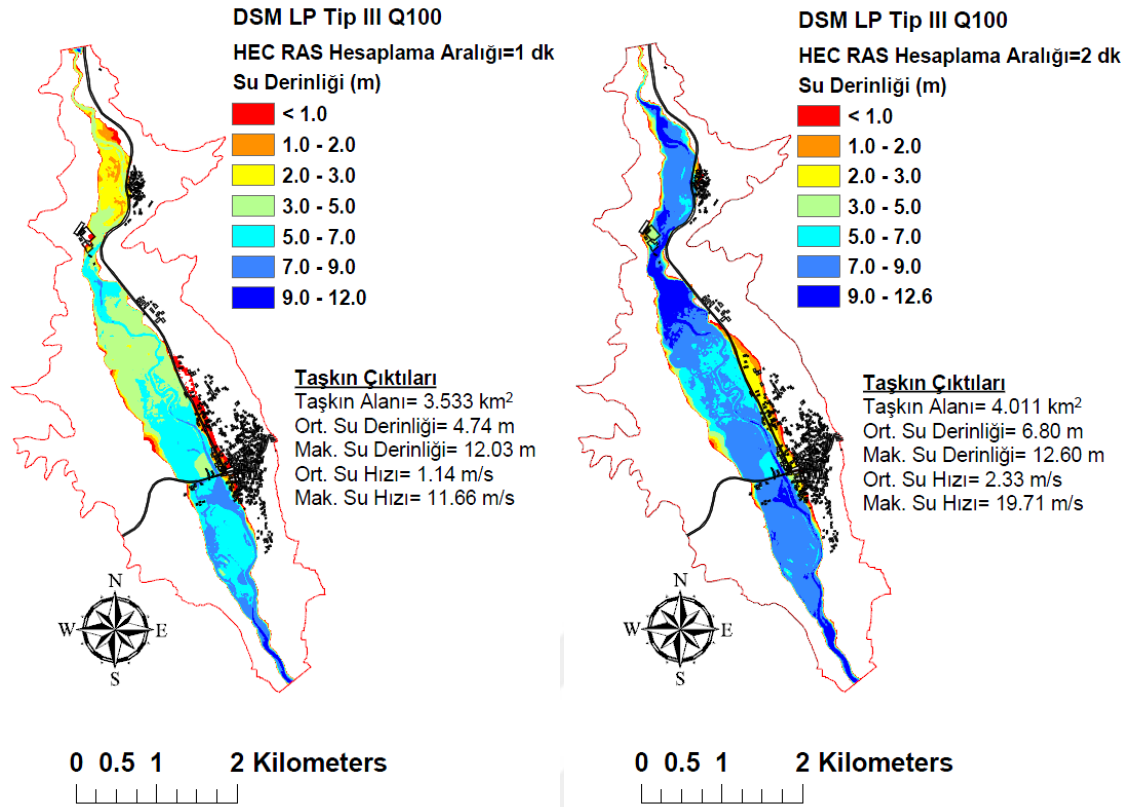
gerçekleşme olasılığı; T: Tekerrür aralığı

Çalışma alanındaki yapıların ekonomik ömrü 50 yıl olarak alınarak bu zaman periyodunda tekerrür taşkınlarının gerçekleşme olasılıkları Çizelge 4.32’de sunulmuştur. Aynı çizelgede çalışma alanında bir insanın ortalama ömür süresi temelinde tekerrür taşkınlarının oluşma olasılıkları da verilmiştir. TÜİK 2017 verilerine göre Erzurum için ortalama insan ömrü 77 yıl (İnt. Kyn. 18) olarak dikkate alınmıştır. Taşkın yineleme değerlerinin yanında, çalışma alanındaki yapıların ve insanların tekerrür taşkınlarına maruz kalma olasılıklarının irdelenmesi önemlidir. Örneğin herhangi bir yılda gerçekleşme olasılığı %0.2 (T=500 yıl) olan bir taşkın yapılar ve insanların ortalama ömür süreleri içerisinde yaşanma olasılığı sırasıyla %9.5 ve %14.3 olmaktadır. Belirli bir zaman periyodunda taşkın oluşma olasılığının birikimli bir şekilde arttığı gerçeği taşkın analizi ve su yapılarının projelendirilmesi gibi çalışmalarda dikkate alınmalıdır. Özellikle karar vericilerin-halkın taşkın tekerrür aralıklarının ne anlama geldiği konusunda iyi bilgilendirilmesi ve manipülasyonlara mahal verilmeyecek şekilde basitleştirilmiş teknik bilgilendirmeler yapılması gerekmektedir. Örneğin 100 yıllık bir taşkın 100 yılda bir defa gerçekleşeceği yada 100 yıllık bir taşkın 100 yıl içerisinde gerçekleşme olasılığının %100 olacağı gibi bir algının ortadan kaldırılması yönünde bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Taşkın çalışmalarının bilimsel-mühendislik altlığı ile karar verici-halk algısı arasında özellikle taşkın tekerrür aralıklarının ne anlama geldiği konusunda ortak bir dilin eksikliği olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.32 Tekman taşkın çalışma alanında yapıların ve insanların ortalama ömür periyotlarında tekerrür taşkınlarının gerçekleşme olasılıkları.

T (yıl)	P _e (%)	P _t (%)	
		Yapı (n, 50 yıl)	İnsan (n, 77 yıl)
2	50.0	100.0	100.0
5	20.0	≈100.0	≈100.0
10	10.0	99.48	99.97
25	4.0	87.0	95.7
50	2.0	63.6	78.9
100	1.0	39.5	53.9
500	0.2	9.5	14.3

HEC-RAS kararsız akım hesaplama ayarlarında "hesap aralığı" parametresi muhtemelen modele girilen en önemli parametrelerden bir tanesidir ve öndeğer olarak "1 dakika" belirlenmiştir. Taşkın dalgasının hesaplama ağı hücresi boyunca hareket etmesi hesap aralığı süresi temelinde ele alınmaktadır. Hesap aralığı belirlenirken dikkatli olmak ve simülasyonu nasıl etkilediğini anlamak gerekir. Hesap aralığı, ötelenen hidrografların kabarma ve çekilmesini doğru bir şekilde tanımlamaya yetecek kadar küçük olmalıdır. Genel kural olarak hesap aralığı hidrografın yükselme süresinin yirmiye bölümüne eşit yada daha küçük olarak alınır. Hesap aralığı suyun bir enkesitten diğerine ulaşınca yada kadar geçen süreye eşit yada daha küçük olması temel öncüdür (Courant kararlılık kriteri ≤ 1). Zaman adımının Courant kriteri temelinde belirlenmesi, simülasyon süresini uzatabilmesine karşın en iyi sayısal çözümü verecektir. Daha küçük hesap aralığı kullanıldığında sonuçlar önemli miktarda değişmiyorsa, stabilite probleminin doğru bir şekilde çözümünü sağlayan özgün hesap aralığı bulunmuş demektir (USACE 2020a, b, c). Hesap aralığı 1 dakikadan küçük olduğunda sonuçlar, hesap aralığı 1 dakika sonuçları ile çok yakın olduğu için hesap aralığının 1 dakika olmasının en uygun olduğu kabul edilmiştir. Örnek olması bakımından hesap aralığını büyütüp 2 dakika aldığımızda model sonuçlarının ne kadar tutarsız bir şekilde değiştiği gözükmemektedir (Şekil 4.57).



Şekil 4.57 HEC-RAS hidrolik modelleme hesaplama aralığının taşkın çıktılarına etkisi (DSM LP Tip III Q100).

4.3.1 Taşkın Risk ve Tehlike Analizi

Risk, belirsiz gelecek olayların olasılığının ve sonuçlarının bir ölçüsüdür. Risk sıklıkla basitçe aşağıdaki şekilde formülize edilmektedir (IWR 2017) ve grafiksel temsiliyeti Şekil 4.58’de olduğu gibi gösterilmektedir:

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \quad (4.13)$$

Olasılık	Olası	Orta Risk	Yüksek Risk
	Olası olmayan	Düşük Risk	Orta Risk
		Minör	Majör

Şiddet

Şekil 4.58 Riskin grafiksel temsiliyeti (AS/NZS 2004).

Bu denklem risklerin hesaplanmasında birebir kullanılan bir formül olmamasına karşın, riskin ne olduğunu anlamamıza yardımcı olan kavramsal bir yaklaşımdır. Riskler niteliksel ve niceliksel olarak tahmin edilebilir ve betimlenebilir. Risk olasılık, frekans, tehlike, büyüklük, şiddet, belirsizlik gibi unsurları içermektedir. Risklerin neticeleri çok boyutlu sosyal bir bağlama sahiptir. Belirsizlik olarak ifade edilen bilinmeyen olgusal gerçekler ve evrenin değişkenliği henüz gerçekleşmemiş olaylar hakkındaki bilgi eksikliğine kaynaklık etmektedir ve bu bilgi eksikliği risklere yol açmaktadır Tehlike ise değerli bir varlığa potansiyel zarar kaynağı olan herhangi bir şeydir. Tehlike; insanlar, mal-mülk, ekonomi, kültür, sosyal yapı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilecek bütün doğal ve antropojenik olayları içerir (IWR 2017).

Değerlendirme, yönetim ve iletişim bileşenlerini içeren risk analizi karar problemlerinin tanımlanmasının, tanımlı bir tehlikeye karşı alınan karar yada aksiyon için tavsiyelere etken olabilecek bulguların toplanmasının ve değerlendirilmesinin sistematik bir yoludur. Risk analizi belirsizlik altında karar verilmesi için gereklidir. Büyük bir belirsizlik ve yanlış bir kararın neticelerinin ağır olması söz konusu ise risk analizi gereklidir (IWR 2017). Risk değerlendirmesi bir olayla ilişkili riskin doğasını, olasılığını ve büyüklüğünü tanımlamak için izlenen sistematik bir süreçtir (Yoe 2012). Risk değerlendirmesi niteliksel, niceliksel yada ikisinin harmanlanması şeklinde olabilir. Tehlikenin tanımlanması, sonuçlarının ve olasılığının değerlendirilmesi, risk karakterizasyonu adımlarını içerir. Bulguların haritalaması, risk indisleri, risk matrisi, hassaslık ve hasar görülebilirlik analizi, maruz kalma değerlendirmesi, zarar eğrileri yaygın risk değerlendirme araçlarındandır (IWR 2017).

Havza planlaması ve yönetimi için risk analizi gayet büyük önem taşımaktadır. Risk değerlendirmesi; risk oluşturan durumların değerlendirilmesi, sebeplerinin irdelenmesi, zararlarından korunma/mücadele yollarının araştırılması, etkilenebilecek alanların sınırlarının çizilerek haritalanması ve etkilene oranlarının tespit edilmesi gibi faaliyetleri içermektedir. Avustralya ve Yeni Zelanda Risk Yönetimi Standartları'na göre zarar potansiyeline sahip durumların oluşma olasılıkları ve tekerrür aralıklarına bağlı olarak risk derecelendirmesi şu şekilde yapılmaktadır.

Çizelge 4.33 Tekerrür aralıkları-risk dereceleri ilişkisi (AS/NZS 2004).

Risk Dereceleri	Olasılık Sınıfı	Tekerrür Aralığı (yıl)
Yüksek	Çok Yüksek	0-5
Orta	Yüksek	6-19
Az	Orta	20-99
Çok Az	Çok Az	100-999
Nadir	Nadir	≥1000

Avrupa Birliği (AB) 2007/60/EC Taşkın Risk Değerlendirme ve Yönetimi Direktifi'nde belirtildiği gibi risk tabanlı afet yönetimi çerçevesinde taşkın risk-tehlike haritalarının havza bazında elde edilmesi ve iklim-arazi örtüsü değişikliği etkisini dikkate almak için her 6 yılda tekrar değerlendirilerek gerekirse güncellenmesi vurgulanmaktadır. Ülkemizde de 2016 yılında o zamanki Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanan "Taşkın Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve İzlenmesi Hakkında Yönetmelik" kapsamında taşkın risk-tehlike haritaları AB Taşkın Direktifi'ne benzer şekilde ele alınmaktadır. Ayrıca Ülkemizde taşkınla ilgili "Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Korunma Kanunu", "Taşkın ve Rüsubat Kontrolü Yönetmeliği" ve "Dere Yatakları ve Taşkınlar 2006/27 Sayılı Başbakanlık Genelgesi" mevzuatı bulunmaktadır.

Taşkın analiz edilerek taşkın risk ve tehlike haritalarının türetilmesi birçok açıdan gereklidir. Bu haritaların oluşturulması, taşkın yönetiminin ilk ayağı olan taşkın öncesi çalışmalardan olup taşkın zararlarının azaltılması, alınacak önlemlerin belirlenmesi ve

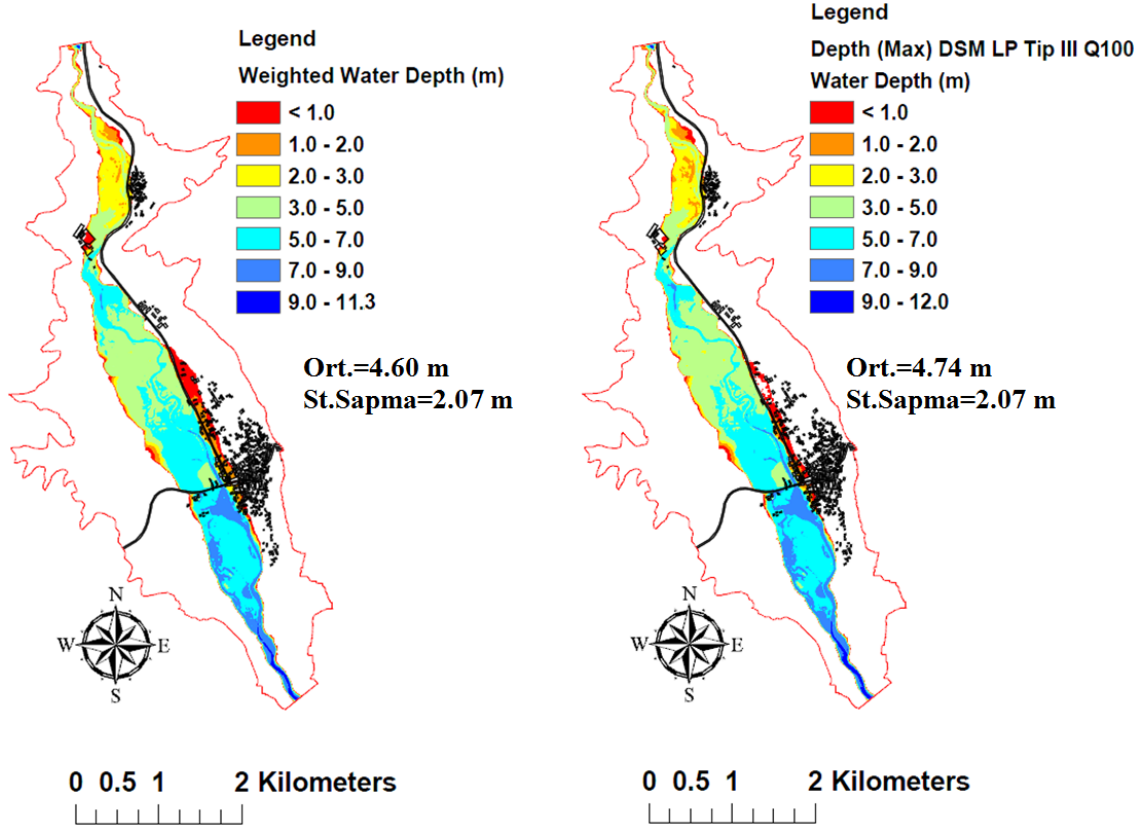
afet sigortalama gibi çalışmalar için kullanılır. Yöneticilerin karar alma mekanizmalarında ve halkın daha bilinçli hale gelmesinin sağlanmasında önemlidir. Taşkın esnasında uygulanacak acil müdahale eylem planları (tahliye, kurtarma vs.) için altlık oluşturur ve imar planlarının hazırlanmasında dikkate alınması gerekir.

Genellikle taşkın risk ve tehlike haritalaması standart olarak 100 yıl tekerrür aralığına sahip taşkın (Q100) için yapılmaktadır. Q100 önemli bir taşkın seviyesi ve fayda-maliyet analizleri için de makul bir değer olmasına karşın, iklim değişikliğinin etkisi ile ekstrem olayların sıklığının ve şiddetinin artması perspektifinde taşkın risk-tehlike değerlendirmesi için Q100 seviyesinin yeterliği tartışılabilir ve yeniden ele alınabilir. Orta ölçekli olasılığa sahip olan Q100 için risk değerlendirmesinin yapılması AB 2007/60/EC Taşkın Risk Değerlendirme ve Yönetimi Direktifi'nde, Amerika Birleşik Devletleri Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) Ulusal Taşkın Sigorta Programı'nda (NFIP), Birleşik Krallık Çevre Ajansı taşkın analizi kılavuz raporlarında ve birçok ülkenin taşkın uygulamalarında belirtilmektedir. Kabul edilebilir ve/veya tolere edilebilir risk çerçevesinde Q100 çoğu zaman taşkın analizi çalışmalarında yeterli olmaktadır. Ancak çeşitli su yapıları projelendirmesi gibi gerekli durumlarda veya bölgenin önemi derecesinde gerçekleşme olasılığı daha düşük taşkın debileri için de risk-tehlike haritaları türetilmektedir. Bu çalışmada da Q100 taşkını kullanarak Tekman çalışma alanı için çeşitli yöntemlerle taşkın risk ve tehlike haritaları oluşturulmuştur.

Ayrıca Q100 yanında, gerçekleşme olasılıkları ile ağırlıklandırılmış (denklem 4.14) taşkın derinlik katmanının taşkın risk değerlendirmesinde kullanımının uygunluğu araştırılmış ve bu amaçla Q100 su derinlik katmanı ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.59). Görsel ve istatistiki karşılaştırma sonunda ağırlıklı ve Q100 katmanlarının çok benzer oldukları görülmüştür. Q100 aksine, ağırlıklı su derinliği katmanı çeşitli tekerrür aralıklarını bünyesinde barındırdığından olasılıkçı yaklaşım çerçevesinde kullanımının daha uygun olduğu düşünülmektedir.

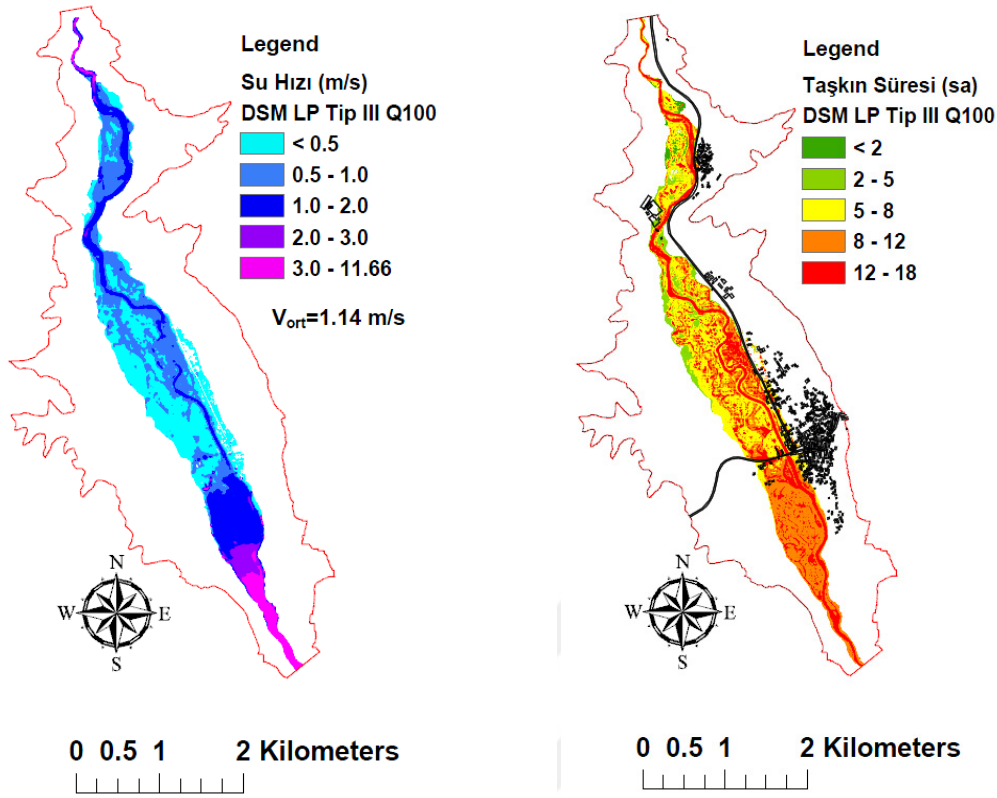
$$\text{Ağırlıklı Su Derinliği Katmanı} = \sum_T p_T \times (d \text{ Katmanı})_T \quad (4.14)$$

p: Gerçekleşme olasılığı ($1/T$); T: Tekerrür aralığı (yıl), T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl; d: Su derinliği (m)



Şekil 4.59 Gerçekleşme olasılıkları ile ağırlıklandırılmış taşkın derinlik haritasının Q100 ile görsel olarak karşılaştırılması (DSM RBF LP Tip III).

Taşkın risk ve tehlike haritaları genellikle sadece su derinliği temelinde ele alınmaktadır. Su derinliğinin yanında su hızı, taşkın süresi, şiddeti ve akım kuvveti gibi taşkın karakteristikleri de oldukça önemlidir. Taşkın derinliği özellikle bina hasarlarına yol açarken su hızı (Şekil 4.60) hususan karayollarına büyük hasar vermektedir (Kreibich vd. 2009). Taşkın gerçeğe geçtiği mevsimsel döneme bağlı olarak taşkın süresi (Şekil 4.60) de tarımsal zararı büyük oranda etkilemektedir (Forster vd. 2008). Ayrıca taşkına maruz kalan alanın arazi örtüsü, ekonomik, demografik ve ekolojik özellikleri de hasar görülebilirlik ve taşkın zararı açısından ele alınmalıdır.



Şekil 4.60 Taşkın su hızı ve süresi haritaları (DSM LP TipIII Q100).

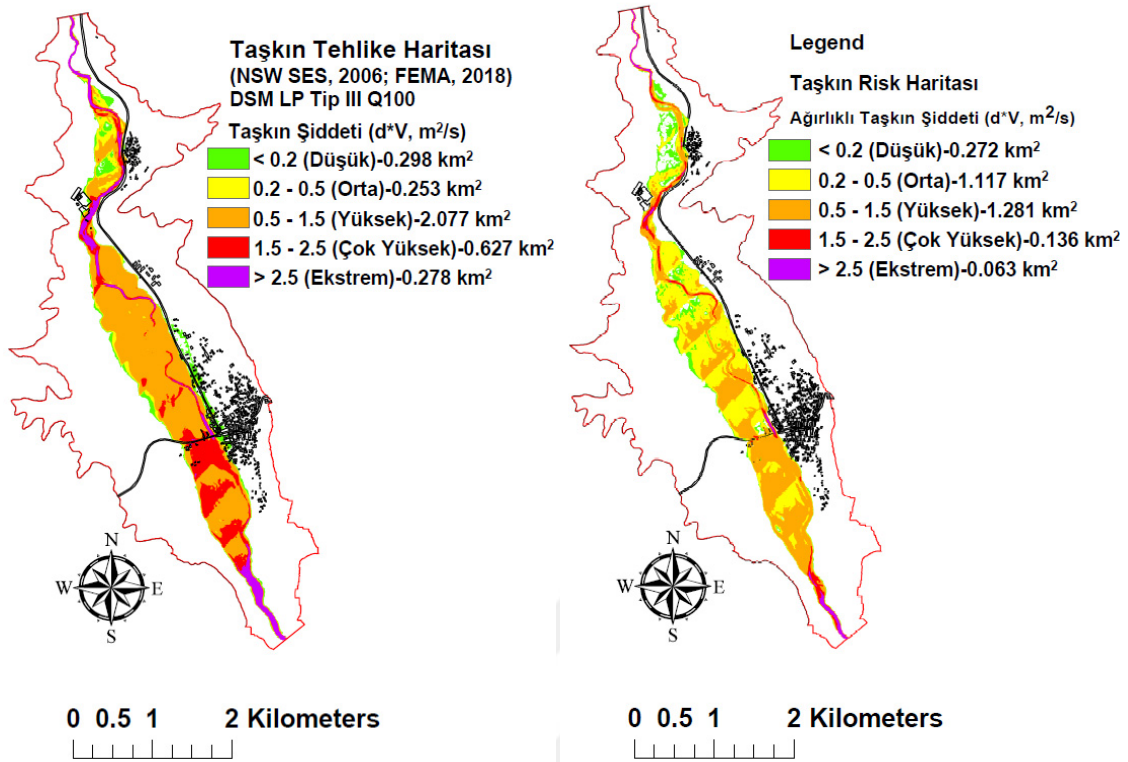
Taşkın risk ve tehlike haritalarının oluşturulması üzerine literatürde çok sayıda örnek çalışma bulunmaktadır (Moel vd. 2009, Alphen vd. 2009, Drab ve Riha 2010, Dinh vd. 2012, Kvocka vd. 2016, Abdulrazzak vd. 2019, Gusain vd. 2020, Ongdas vd. 2020, Beden ve Keskin 2021). Bu çalışmada sadece su derinliğine/hızına bağlı olarak sınıflandırılmış taşkın tehlike yada risk haritaları uygulanmamış, daha komplike farklı veri birleşimleri (taşkın şiddeti, arazi örtüsü, süprüntü faktörü) kullanılarak taşkın risk ve tehlike haritaları oluşturulmuştur. LP Tip III Q100 taşkın senaryosu dikkate alınarak, toplamda taşkın risk-tehlike haritalamasında üç yöntem ele alınmıştır. Bunlardan ilki, aslında Avustralya New South Wales Eyalet Acil Durum Servisi (NSW SES) tarafından 2006 yılında önerilse de yaygın olarak FEMA (2018) yöntemi olarak bilinen taşkın tehlike haritası, ikincisi Türkiye, Fransa ve Romanya arasındaki AB Eşleştirme Projesi (Capacity Development for the Implementation of the Flood Directive) kapsamında geliştirilen “Taşkın Tehlike ve Taşkın Risk Haritalama Rehberi-Flood Hazard and Flood Risk Mapping Guide” yöntemi (FRMG 2014) ve üçüncüsü de Birleşik Krallık Çevre Ajansı Çevre, Gıda ve Köy İşleri Dairesi yöntemidir (DEFRA 2006).

NSW SES-FEMA yönteminde su derinliği ve hızının bir bileşeni olan taşkın şiddeti baz alınarak tehlike kategorize edilmiştir. 5 ayrı tehlike seviyesini (düşük, orta, yüksek, çok yüksek ve ekstrem) içeren taşkın tehlike haritası Şekil 4.61’de verilmiştir. NSW SES-FEMA taşkın tehlike haritasına göre tarım arazileri çoğunlukla yüksek ve çok yüksek tehlike sınıfında yer alırken, yerleşim alanları düşük tehlike seviyesindedir.

Risk, olasılık ve şiddetin birleşimi olduğundan, denklem 4.15’de görüldüğü gibi gerçekleşme olasılıkları ile ağırlıklandırılmış taşkın şiddeti katmanı taşkın risk haritası olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.61). Gerçekleşme olasılıklarıyla ağırlıklandırılmış taşkın şiddeti temelli risk haritası ile Q100 taşkın şiddeti bazında hesaplanan NSW SES-FEMA tehlike haritası karşılaştırıldığında, tehlike seviyelerinin genellikle bir kademe düştüğü gözükmemektedir. Çeşitli tekerrür aralıklarını bünyesinde barındıran ve olasılıkçı yaklaşım çerçevesinde kullanımının daha uygun olduğu düşünülen taşkın risk haritası değerlendirilebilir.

$$\text{Ağırlıklı Taşkın Şiddeti Katmanı} = \sum_T p_T \times (dV \text{ Katmanı})_T \quad (4.15)$$

p: Gerçekleşme olasılığı (1/T), T: Tekerrür aralığı (yıl), T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl, d: Su derinliği (m), V: Su hızı (m/s)



Şekil 4.61 NSW SES-FEMA taşkın tehlike (DSM LP TipIII Q100) ve ağırlıklı taşkın şiddeti haritaları.

Ülkemizde de Tarım ve Orman Bakanlığı SYGM tarafından taşkın yönetim planları taşkın risk haritalama çalışmalarında tercih edilen FRMG yönteminde su derinliğine ve arazi örtüsüne göre sınıflandırılan riskin kombin edilmesiyle (denklem 4.16) taşkın risk haritası (Şekil 4.62) elde edilmektedir. Arazi örtüsü olarak Avrupa Çevre Ajansı CORINE (Coordination of Information on the Environment) arazi örtüsü verisi kullanılmaktadır. Bu çalışmada 100 m konumsal çözünürlüğe sahip 2018 CORINE arazi örtüsü (CLC) kullanılmıştır. Arazi örtüsünü içermesi sebebiyle yöntem hasar görülebilirlik unsurunu kapsamaktadır.

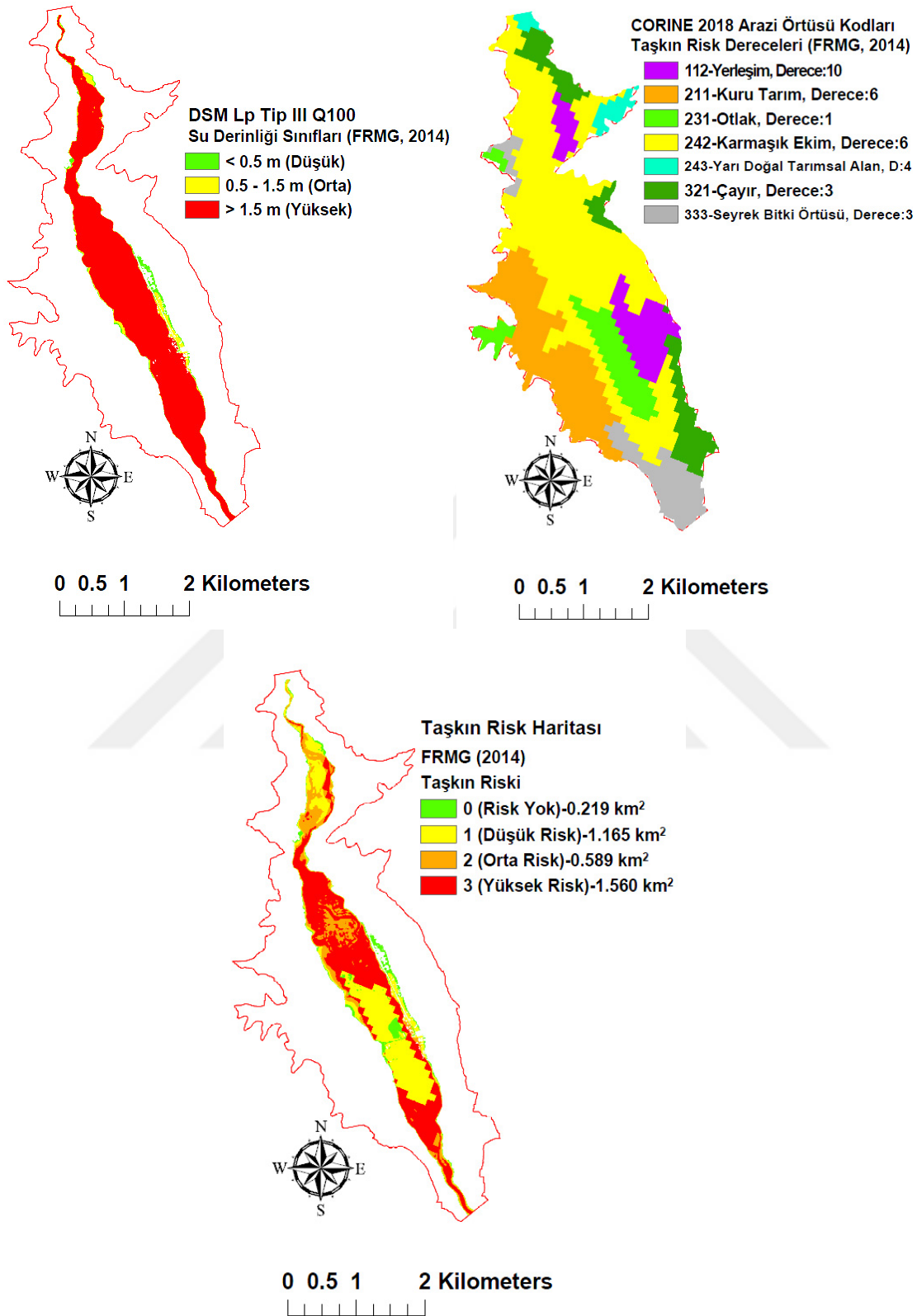
$$\text{Risk Sınıfı} = \text{Yuvarla}(\text{Su Derinliği Sınıfı} \times \text{CLC Derecesi}/10) \quad (4.16)$$

Yöntemde 3 su derinliği sınıfı (1-düşük, <0.5 m; 2-orta, 0.5-1.5 m ve 3-yüksek, >1.5 m) bulunmaktadır. FRMG (2014) içinde referans bir tablo olarak verilen CLC taşkın risk dereceleri 1-10 aralığında değişmekte olup çalışma alanı için değerleri Çizelge 4.34'te sunulmuştur. Denklem 4.16 ile risk sınıfları 0 (risk yok), 1(düşük), 2 (orta) ve 3

(yüksek) değerleri olarak elde edilmektedir. FRMG taşkın risk haritasına göre tarımsal araziler düşük, orta ve yüksek risk sınıfında bulunurken, yerleşimler için çoğunlukla risksiz ve düşük risk durumları söz konusudur.

Çizelge 4.34 Tekman taşkın çalışma alanı CORINE 2018 arazi örtüsü kodları ve taşkın risk dereceleri (FRMG 2014).

CLC Kodu	CLC Sınıfı	Derece
112	Kesikli yerleşim alanı	10
211	Sulanmayan ekilebilir arazi	6
231	Otlaklar	1
242	Karmaşık ekim biçimleri	6
243	Önemli bir kısmı bitki örtüsü ile kaplı birincil olarak tarım amaçlı kullanılan alanlar	4
321	Doğal çayırlar	3
333	Seyrek bitki örtülü alanlar	3



Şekil 4.62 FRMG taşkın derinlik sınıfları, arazi örtüsü dereceleri ve risk haritaları (DSM LP TipIII Q100).

Tarım ve Orman Bakanlığı SYGM tarafından taşkın yönetim planları tehlike haritalarının hazırlanması çalışmalarında da kullanılan DEFRA yönteminde insanlar için taşkın riski temel alınmaktadır ve aşağıdaki denklem yardımıyla taşkın tehlike dereceleri (TD) hesaplanmaktadır. Denkleme bakıldığında tehlike derecesinin belirli bir sabit değer eklenmiş hız ve taşkın doğası gereği süprüntü faktörü ile arttırılmış bir taşkın şiddeti olduğu görülmektedir. Bu bağlamda NSW SES-FEMA yöntemi ile benzerlik içermektedir.

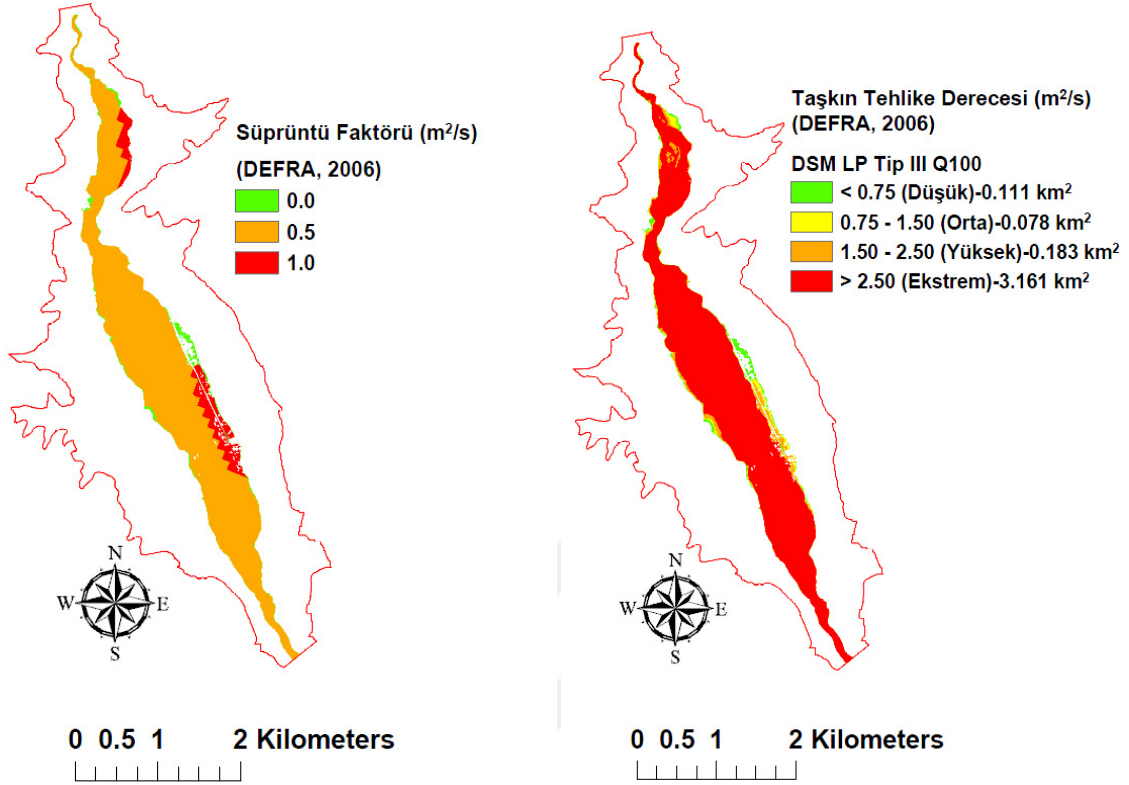
$$\text{Tehlike Derecesi} = d \times (V + 0.5) + \text{Süprüntü Faktörü} \quad (4.17)$$

d: Su derinliği (m); V: Su hızı; Süprüntü Faktörü (m^2/s): Farklı su derinliği-hızı ve hakim arazi örtüsüne göre uygun değer Çizelge 4.35’den alınır.

Çizelge 4.35 Süprüntü faktörü (DEFRA 2006).

Su Derinliği ve Hızı	Hakim Arazi Örtüsü		
	Otlak/Ekilebilir Arazi	Ormanlık	Kentsel
0.00-0.25 m	0.0	0.0	0.0
0.25-0.75 m	0.0	0.5	1.0
$d > 0.75$ m ve/veya $V > 2$ m/s	0.5	1.0	1.0

CORINE 2018 arazi örtüsü, su derinliği ve hızı katmanları kullanılarak DEFRA süprüntü faktörü katmanı elde edilmiş, denklem 4.17 ile hesaplanan taşkın tehlike derecesi haritası ve tehlike sınıfları sunulmuştur (Şekil 4.63). DEFRA yönteminde düşük, orta, yüksek ve ekstrem olarak 4 tehlike sınıfı tanımlanmıştır. Düşük tehlike sınıfı ($TD < 0.75$); sık akan su veya derin durgun su taşkın bölgesini tanımlamakta olup dikkat edilmelidir. Orta tehlike sınıfı ($0.75 < TD < 1.50$); derin veya hızlı akan su taşkın bölgesini belirtmektedir ve özellikle çocuklar için tehlikelidir. İnsanların çoğu için tehlikeli olan yüksek tehlike sınıfı ($1.50 < TD < 2.50$); hızlı akan su taşkın bölgesidir. Ekstrem tehlike sınıfı da ($TD > 2.50$); derin ve hızlı akan su taşkın bölgesi olup insanların tümü için aşırı tehlikelidir (DEFRA 2006). DEFRA yönteminde tarım alanlarının neredeyse tamamı ekstrem tehlike derecesinde iken kentsel alanlar yer yer düşük, orta ve yüksek tehlike derecelerine sahiptir.



Şekil 4.63 DEFRA taşkın süprüntü faktörü ve tehlike dereceleri haritaları (DSM LP TipIII Q100).

Daha güvenli tarafta kalmak için taşkın etkisi arttırılmış DEFRA yöntemine kıyasla, NWS SES-FEMA ve FRMG yöntemleri ile elde edilen taşkın tehlike-risk haritalarının daha makul oldukları ifade edilebilir. FRMG arazi örtüsünü dahil ettiği için diğer yöntemlere göre hasar görülebilirlik-maruz kalma yanı daha kuvvetli bir yöntemdir. Diğer iki yöntem taşkının büyüklüğü-şiddeti temeline dayanan benzer yöntemlerdir. FRMG yöntemi diğer iki yöntemden farklı bir risk değerlendirmesi içerse de üç yöntemin tehlike-risk değerlendirmeleri ortak olarak su derinliği unsurunu içermektedir. Taşkının kendi karakteristiklerinden kaynaklanan riskinin ve taşkına maruz kalan arazi örtüsünün hasar görülebilirlik riskinin birlikte değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

4.3.2 Taşkın Zarar Analizi

Ülkemizde taşkınlar depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına sebep olan doğal

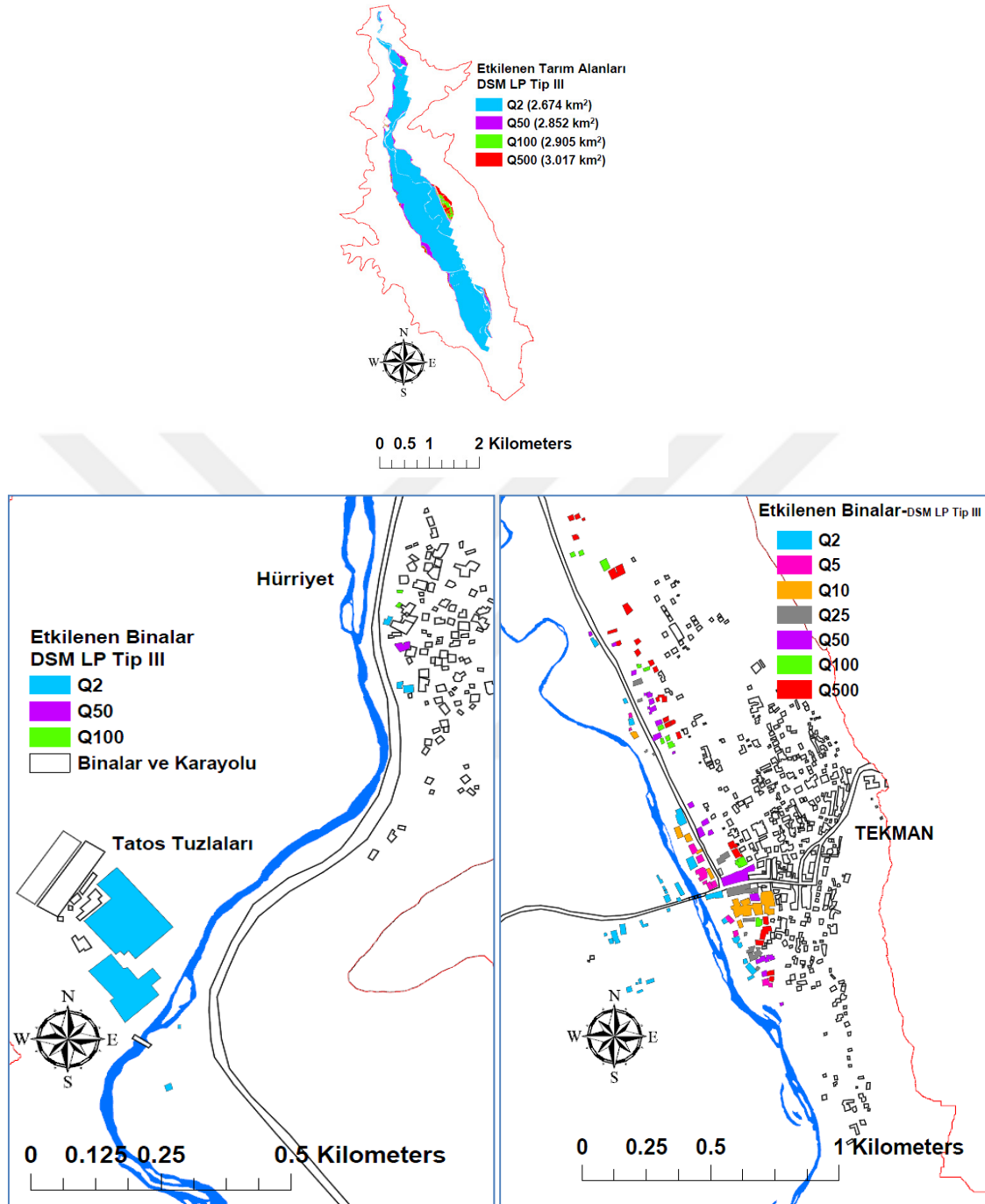
afetlerdir. Dünya Bankası tarafından 2015 yılı için yapılan bir çalışmada, Türkiye’de yıllık yaklaşık 20 milyar Amerikan Doları (%3 Gayrisafi Yurt İçi Hasıla-GSYH) zarara sebep olan Q100 taşkınlarından 3 milyon insanın da etkilendiği belirtilmektedir. Tekman taşkın çalışma alanını kapsayan Erzurum ilinde Q100 taşkınlarının sebep olduğu zarar ilin GSYH değerinin %5’i seviyesindedir. Ayrıca 2080 yılında Q100 taşkınlarının Ülkemizde 80-140 milyar Amerikan Doları aralığında zarara sebep olacağının beklendiği ifade edilmektedir (GFDRR 2017). Türkiye Afet Bilgi Bankası verilerine göre de 1960-2014 yılları arasında 64 taşkın olan Erzurum ilinde 13 adet çok şiddetli taşkın yaşanmıştır (İnt. Kyn. 21). Bu çalışmada Erzurum Tekman ilçesi taşkın çalışma alanı için tüm tekerrür senaryolarında etkilenen tarım alanı ve bina sayıları tespit edilmiş, derinlik-zarar eğrileri kullanılarak Q100 taşkın zarar analizi niteliksel ve niceliksel olarak ele alınmıştır. Tüm tekerrür senaryoları için derinlik-can kaybı tahmin eğrileri kullanılarak taşkın can kaybı analizi gerçekleştirilmiştir. Literatürde derinlik-zarar/kayıp eğrileri yardımıyla taşkın zarar/kayıp analizi üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur (FLOODsite Consortium 2007, Jonkman 2005 ve 2007, Jonkman vd. 2008a, FEMA 2012, Jongman vd. 2012, Frongia vd. 2015, Nofal ve van de Lindt 2020).

Tekman taşkın çalışma alanında çeşitli tekerrür senaryolarında etkilenen tarım alanı miktarı ve bina sayısı Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.36 Taşkından etkilenen tarım alanları ve binalar (DSM LP Tip III).

Taşkın Göstergeleri	Taşkın Debileri						
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q500
Etkilenen Tarım Alanı (km²)	2.674	2.750	2.782	2.820	2.852	2.905	3.017
Etkilenen Bina Sayısı	37	47	55	67	88	101	127

Tüm tekerrür senaryolarında yaklaşık 3 km² tarım alanı sular altında kalırken, taşkından etkilenen bina sayısı tekerrür aralığının artması ile 37-127 arasında artmaktadır. Taşkın tekerrür senaryolarında etkilenen tarım alanları ve binalar Şekil 4.64’te görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 4.64 Taşkından etkilenen tarım alanları ve binalar (DSM LP TipIII).

Çizelge 4.37’de tablolaştırılmış hali sunulan JRC teknik raporlarında Avrupa kıtası için sunulan derinlik-zarar eğrileri (JRC 2007, 2017) kullanılarak çalışma alanında Q100 taşkın zarar analizi denklem 4.18 yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Derinlik-zarar eğrileri birçok taşkın derinlik ve zarar gözlemleri ile türetilen fonksiyonlardır. Bu çalışmada

konut, ticarethane, endüstri binaları, altyapı-karayolu ve tarımsal zararlar değerlendirilmiştir.

$$EK = HF \times \text{Alan} \times \text{Birim Fiyat} \times (1 - YP) \quad (4.18)$$

EK; ekonomik kayıp, YP; yıpranma payıdır. Hasar Faktörü (HF), su derinliğine ve arazi kullanım kategorilerine bağlı olarak Çizelge 4.37’de belirtilmiştir. Hasar faktörü, taşkına maruz kalan yapıların toplam değerinin yüzde kaç oranında taşkından zarar göreceğini belirtmektedir.

Çizelge 4.37 Taşkın derinliği-hasar faktörü değerleri (JRC 2007, 2017).

Su Derinliği (m)	Arazi Kullanımı Kategorileri				
	Konut	Ticarethane	Endüstri	Altyapı- Karayolu	Tarımsal
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.40	0.30	0.30	0.40	0.55
2	0.60	0.55	0.50	0.65	0.75
3	0.75	0.75	0.70	0.80	0.85
4	0.85	0.90	0.85	0.90	0.95
5	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tekman taşkın çalışma alanı için taşkın maksimum hasar değerleri (birim fiyat değerleri) Çizelge 4.38’de verilmiştir. Tarım alanlarının ortalama maksimum hasar değeri hesaplanırken Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri kullanılmıştır. TÜİK verilerine göre 2019 yılı için Erzurum’da 3472504.9 dekar tarım alanı (İnt. Kyn. 18) bulunduğu ve tarımın GSYH katkısı 4092957 TL (TÜİK 2021) olduğundan, ortalama maksimum hasar değeri tarımın ekonomiye katkısının tarım alanına oranı şeklinde hesaplanmıştır. Altyapı sistemi olarak ele alınan karayollarının ortalama maksimum hasar değeri için, Karayolları Genel Müdürlüğü’nün “Karayolu Planlama Bilgileri El Kitabı”ndan yararlanılmış, bölünmüş yolun (yaklaşık genişliği 20 m) 2011 yılı km başına (etüt-proje, vergiler ve kamulaştırma maliyetleri hariç) ortalama yapım

maliyeti olarak 2837586 TL değeri kullanılmıştır. Tarımsal alanların ve karayollarının ortalama maksimum hasar değerleri sırasıyla 2019 ve 2011 yılları için hesaplandığından T. C. Merkez Bankası tüketici fiyat endeksine göre enflasyon hesaplayıcısı (İnt. Kyn. 19) ile 2021 değerleri elde edilmiştir. Taşkına maruz binaların ekonomik zararı hesaplanırken, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2021 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri (Çizelge 4.39) kullanılmıştır. Bina içerikleri (eşyalar, makineler, techizat vb.) ekonomik değerleri yetersiz bilgidен dolayı dahil edilmemiştir. Bakanlar Kurulunun 25.10.1982 tarih ve 8/5525 sayılı kararı ekinde 2.12.1982 tarih ve 17886 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan, bina türü ve yaşı dikkate alınarak hazırlanan “Yıpranma Paylarına İlişkin Oranları Gösterir Cetvel”e uygun olarak yıpranma payı %20 olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

Çizelge 4.38 Tekman taşkın çalışma alanı için taşkın maksimum hasar değerleri.

Arazi Kullanımı Kategorileri	Konut	Ticarethane	Endüstri	Altyapı- Karayolu	Tarımsal
Maksimum Hasar Değeri (TL/m²)	Yapı türüne göre Çizelge 4.39'dan alınmıştır.			360.56	0.0014

Çizelge 4.39 Tekman taşkın çalışma alanı için 2021 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2021).

Yapının Sınıfı	Açıklamalar	Yapının Birim Maliyeti (TL/m ²)
I. Sınıf A Grubu Yapılar	Basit kümes ve basit tarım yapıları, kalıcı kullanımı olan yardımcı yapılar, trafolar	255
I. Sınıf B Grubu Yapılar	Ağllar, su depoları, iş yeri depoları	390
II. Sınıf B Grubu Yapılar	Tek katlı ofisler, dükkan ve basit atölyeler	940
II. Sınıf C Grubu Yapılar	Sanayi yapıları-tek katlı	1030
III. Sınıf A Grubu Yapılar	Katlı garajlar, ticari amaçlı binalar ve konutlar (≤ 3 kat), akaryakıt ve gaz istasyonları, semt postaneleri	1360
III. Sınıf B Grubu Yapılar	Okullar, küçük kütüphaneler, karakol binaları, sağlık ocakları, ticari amaçlı binalar ve konutlar (< 21.5 m), küçük cezaevleri	1800
IV. Sınıf A Grubu Yapılar	İlçe idari binaları, küçük ibadethaneler, apartman tipi konutlar (< 30.5 m)	1920

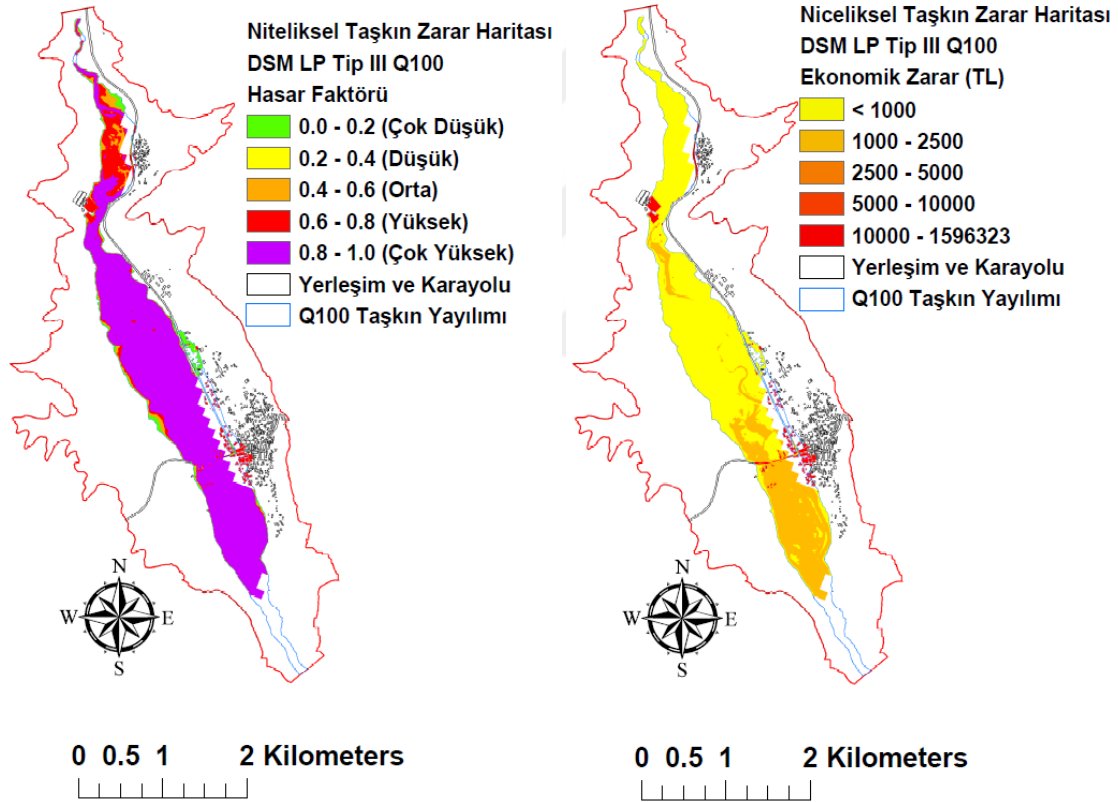
Su derinliği-zarar eğrileri kullanılarak niteliksel ve niceliksel taşkın zarar haritaları üretilmiştir (Şekil 4.65). Niteliksel taşkın zarar haritası ekonomik açıdan hasar görebilirlik, hassaslık ve maruz kalma haritaları olarak değerlendirilebilir. Niceliksel zarar haritası da taşkın kaynaklı zararın ekonomik boyutunu göstermektedir. Q100 için toplam ekonomik zarar yaklaşık 17.4 milyon TL (17357805 TL) olarak hesaplanmıştır. Arazi kullanım kategorilerine göre ekonomik zarar değerleri Çizelge 4.40'ta verilmiştir.

Çalışma alanında taşkın ekonomik boyutunu çoğunlukla konut zararları oluştururken, sonrasında sırasıyla ticarethane, karayolu ve endüstri binaları zararları gelmektedir. Çalışma alanındaki endüstri binalarını kaya tuzu üretimi sağlayan Tatos tuzlaları oluşturmaktadır. Taşkın kaya tuzunun kurutulması prosesini etkileyerek ve büyük miktarda tuzu sürükleyerek üretime büyük miktarda zarar verebileceği belirtilebilir. Yaklaşık 3 km² tarım alanı sular altında kalsa da tarımın GSYH katkısı ile hesaplanan tarımsal zarar düşük bir değer olarak bulunmuştur. Bu durumun sebepleri olarak ilçedeki tarım alanlarının bir kısmının otlak olması, %36'sının nadasa bırakılması (TÜİK 2020), tarım alanlarının geri kalanında ekonomik değeri düşük ürünlerin (tahıl ve yem bitkileri gibi) yetiştirilmesi (TÜİK 2020) ve hasatın doğrudan satışından ziyade çiftçilerin yetiştirdikleri ürünlerden kendileri yararlanması ile GSYH miktarına bu dolaylı katkının yansımamaması hususları düşünülmektedir. Bu hususlar dikkate alındığında gerçekte tarımsal zararın daha fazla olacağı öngörülmektedir. Ayrıca ilçenin hayvancılıkta önemli bir yeri olmasına rağmen yetersiz bilgidен dolayı değerlendirilemeyen küçükbaş, büyükbaş ve kümes hayvanlarının taşkında telef olma potansiyeli de dikkate alınırsa, yaşanacak tarımsal zararların ciddi boyutlarda olabileceği dile getirilebilir. Taşkından etkilenen bina türleri içinde konut-ticarethane dışında kamu binaları, okullar, kütüphane, sağlık ocağı, akaryakıt istasyonları, tuzla ambarları, su depoları, trafo binaları ve ahırlar-müştemilatlar da bulunmaktadır. Bina türlerinin özellikleri sebebiyle doğrudan ve/veya dolaylı olarak taşkın zararlarının beklenenden daha fazla olabileceği ifade edilebilir. Yolların bazı kısımlarının ve büyük miktardaki tarım alanlarının sular altında kaldığı görülmektedir. Ekonomik faaliyetlerin, sosyal hizmetlerin, kamu, eğitim ve sağlık hizmetlerinin, ulaşımın aksamaması, elektrik kesintileri, altyapı sistemlerinin hasar görmesi, akaryakıt hizmetinin sağlanamaması gibi etkilerin zararın boyutunu daha da arttıracakı düşünülmektedir. Ayrıca taşkından etkilenen binalar içinde idari binalar, okullar, kütüphane ve sağlık ocağı gibi toplu kullanılan kamu binalarının da olması taşkından etkilenen kişi sayısını önemli miktarda arttırabilir. Okullardaki çocukların taşkın suyuna karşı yetişkinlere kıyasla daha zayıf oldukları da göz önünde bulundurulmalıdır. Devlet binalarının ve envanterinin taşkından etkilenmesi acil müdahale, kurtarma ve tahliye faaliyetlerinin de olumsuz etkilenmesine sebep olacağından risk değerlendirmesinde bu binalar çok daha önemlidir. Yukarıdaki gibi hususlar taşkın zarar tahminlerinde büyük belirsizliklere yol

açmaktadır.

Çizelge 4.40 Arazi kullanım kategorilerine göre taşkın ekonomik zarar maliyeti.

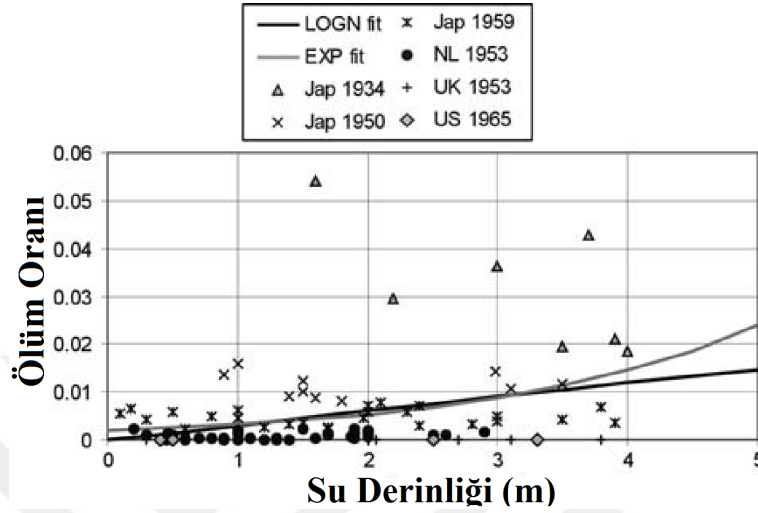
Arazi Kullanımı Kategorileri		Konut	Ticarethane	Endüstri	Altyapı-Karayolu	Tarımsal	TOPLAM
Taşkın Zararı	(TL)	8.6	3.6	1.9	2.8	0.5	17.4
	(%)	milyon	milyon	milyon	milyon	milyon	milyon
		49.4	20.7	10.9	16.1	2.9	100



Şekil 4.65 Taşkın zarar haritaları (DSM LP TipIII Q100).

Taşkın yol açabileceği ekonomik zararın belirlenmesinin yanında, yaralanma ve ölüm sayılarının tahmini çalışmaları da önemlidir. Hatta bazı taşkın kayıp çalışmalarında insan yaşamı bir ekonomik değer olarak ele alınmıştır (Jonkman vd. 2003, Jonkman 2007). Taşkın kaynaklı can kaybı tahminleri ile ilgili yapılan bir başka çalışmada (Jonkman vd. 2008b) dünyanın çeşitli yerlerinde yaşanmış taşkın gözlemleri

doğrultusunda su derinliği ile ölüm oranı arasında ilişki kurularak bir fonksiyon türetilmiştir (Şekil 4.66). Ölüm oranı, taşkına maruz kalan nüfusun yüzde kaçı oranında can kaybı yaşanacağını belirtmektedir.



Şekil 4.66 Yavaş yükselen taşkın sularında derinlik-ölüm oranı ilişkisi (Jonkman vd. 2008b).

Taşkın suyunun yükselme hızı can kayıpları açısından çok önemli bir husustur. Yavaş yükselen taşkın sularında ölüm oranı çok düşük olurken, hızlı yükselen taşkınlarda can kayıpları oldukça yüksek olmaktadır. Yavaş yükselen taşkın suları için; “(yükselme hızı < 0.5 m/sa yada (yükselme hızı ≥ 0.5 m/sa ve $d < 2.1$ m)) ve ($dV < 7$ m²/s yada $V < 2$ m/s)” sınır şartları belirtilmektedir (Jonkman vd. 2008b). Bu sınır şartlarına göre, Tekman taşkın çalışma alanında kentsel bölgelerde taşkın suları yavaş yükselen olarak kabul edilebilir. Şekil 4.66 yavaş yükselen taşkın suları için derinlik-ölüm oranı ilişkisini göstermektedir. Bu fonksiyon kullanılarak çalışma alanı için ölüm oranları belirlenmiş ve etkilenen nüfusla çarpılarak can kaybı tahminleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.41). Taşkın senaryoları için ölüm oranları, kentsel alanlardaki ortalama su derinliklerine bağlı olarak Jonkman eğrisinden okunmuştur. Taşkından etkilenen nüfus hesaplanırken etkilenen konut sayısı ve ortalama hane halkı büyüklüğü değeri çarpılmıştır. TÜİK 2020 verilerine göre Erzurum için ortalama hane halkı büyüklüğü 3.75’tir (İnt. Kyn. 18). Bu şekilde yaklaşık olarak taşkından etkilenen nüfus ve tahmini can kaybı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.41 Taşkından etkilenen nüfus ve can kaybı tahminleri (DSM LP Tip III).

Taşkın Göstergeleri		Taşkın Debileri						
		Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100	Q500
Etkilenen Bina Sayısı		37	47	55	67	88	101	127
Etkilenen Konut Sayısı	Hürriyet	1	1	1	1	1	1	1
	Tekman ilçe merkezi	9	15	19	24	37	46	69
Etkilenen Nüfus	Hürriyet	4	4	4	4	4	4	4
	Tekman ilçe merkezi	34	57	72	90	139	173	259
Kentsel Alan Ort. Su Derinliği (m)	Hürriyet	0.39	0.80	1.02	1.26	1.48	1.44	1.58
	Tekman ilçe merkezi	1.88	1.44	1.40	1.42	1.49	1.46	1.68
Ölüm Oranı (%)	Hürriyet	2.5	3.3	3.5	4.5	5.0	5.0	5.5
	Tekman ilçe merkezi	6.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
Tahmini Can Kaybı	Hürriyet	0	0	0	0	0	0	0
	Tekman ilçe merkezi	0	0	0	1	1	1	2

Tekman ilçe merkezinde Aydınlık (2021 Nüfus: 307), Cihan (2021 Nüfus: 241), İsmetpaşa (2021 Nüfus: 745) ve Vatan (2021 Nüfus: 1364) mahalleleri bulunmaktadır. Ayrıca Tekman taşkın çalışma alanı içerisinde 2021 nüfusu 987 kişi olan Hürriyet Mahallesi de bulunmaktadır. Etkilenen konut sayısına bakıldığında Hürriyet Mahallesi'nin Tekman ilçe merkezine göre taşkın riski açısından daha uygun bir yerleşime sahip olduğu söylenebilir. Hürriyet Mahallesi'nde tüm tekerrür senaryolarında can kaybı öngörülmezken, Tekman ilçe merkezinde Q25, Q50 ve Q100 için 1; Q500 için 2 can kaybı tahmin edilmiştir. Taşkınların neden olabileceği can ve mal kaybı değerlendirmesinin yanında sosyal, psikolojik ve çevresel zararlarının değerlendirilmesi de önemlidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Zengin bir çoklu karşılaştırma yapılan bu çalışmada, yıllık akım hacminin büyük kısmının kar erimesinden kaynaklandığı dağlık Yukarı Aras Havzasında 2007-2015 su yılları arasında HEC-HMS SCS CN ve SMA modelleri grid yapılı olarak uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Yağış ve sıcaklık verilerinin düzeltilmesiyle HEC-HMS SMA model performansı bir miktar daha artmıştır. Özellikle sıcaklığın yükseklikle değişimi modellenerek model çıktılarının topoğrafik olarak daha tutarlı olmasının sağlandığı söylenebilir. Hem kalibrasyon hem de validasyon aşamalarında her iki modelin de güvenilir ve uygulanabilir olması bakımından oldukça iyi sonuçlar verdiği ifade edilebilir. Elde edilen çalışma bulguları göstermektedir ki, çoklu model yaklaşımı çerçevesinde karşılaştırılan HMS SCS CN ve SMA modelleri uygulama havzasında ve periyodunda akımı yeterli performansla simüle etme yetisine sahiptirler. Hidroloji çalışmalarında modellerin kullanıma hazır olduğu ifade edilebilir. Ancak tüm karşılaştırmalarda daha kompleks olan SMA modelinin daha basit olan SCS CN modelinden daha yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Yakın yılların (2015 sonrası) gözlem verilerinin elde edilmesi ve düzenlenmesi ile modelleme periyodunun genişletilmesi gelecek çalışmalar için planlanmaktadır. Ayrıca havza ve yakınında yeni kurulan meteoroloji gözlem istasyonları ile hidrolojik model performansının yeniden incelenmesi düşünülmektedir.

Dağlık alanlarda yer ölçümleri yapılması birçok açıdan zorluk barındırmakta ve genellikle kıt yer gözlem ağı bulunmaktadır. Bu yüzden uydu ürünlerinin kullanımı dağlık alanlarda ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda gözlem yağış ve sıcaklık verilerinden hariç olarak, model uydu yağış ve sıcaklıkları girdi verilerek de çalıştırılmıştır. Uydu yağışlarına da doğrusal düzeltme faktörü uygulanarak uydu yağışı girdi edilen model performanslarının iyi seviyeye yükseltilmesi sağlanmıştır. Gelecek çalışmalar için farklı uydu ürünlerinin ölçek küçültme yöntemleri ile birlikte değerlendirilmesi düşünülmektedir.

Model akımın yanı sıra kar ve toprak nemi çıktıları ile de değerlendirilerek içsel tutarlılık analizi yapılmıştır. Noktasal ölçüm olan akımın yanında kar ve toprak nemi

çıktılarının konumsal dağılım temelinde karşılaştırılması dağılımlı modelin sağladığı bir üstünlüktür. Grid çıktılar incelendiğinde coğrafi ve hidrolojik şartlar açısından tutarlı oldukları görülmektedir. KSE ve toprak nemi çıktılarının uydu-yer gözlemleri ile tutarlılık arz etmesi modelin başarısını göstermektedir. Özellikle model KSE-uydu KKA arasındaki yüksek uyum modelin içsel tutarlılığını ortaya koymaktadır. Grid tabanlı modelin en büyük avantajlarından birinin verilerin konumsal dağılımının bilinmesi olduğu -grid çıktılarının mantıksal tutarlılığı ışığında- ifade edilebilir. Ayrıca grid çıktılarının uydu grid ürünleri ile karşılaştırılması imkanı da oldukça önemlidir. Tez çalışmasında birçok küresel veri tabanının ve uydu ürünlerinin kullanılması çalışmanın özgünlüğünü arttırmaktadır. Ayrıca, konumsal havza karakteristiklerinin ve hidro-meteorolojik verilerin bir veritabanı yapısı içerisinde derlenmesi, havzada daha sonra yapılacak hidrolojik çalışmalar için önemli bir imkan sağlayacaktır. Gelecek çalışmalarda akımın yanında kar ve toprak nemi verileri ile modelleme aşamasında çoklu kalibrasyon gerçekleştirilebilir.

Ayrıca kalibre edilmiş HEC-HMS SMA hidrolojik modeli ile, 2015 su yılı için WRF NWP verileri kullanılarak akımın tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra taşkın tahmini ve hazne işletimi gibi çalışmalar için 2010 ve 2015 su yılları akımlarının saatlik zaman ölçeğinde modellenmesi uygulanmıştır. Taşkın erken uyarı sistemi ve hazne işletimi için önemli olan akım tahmininin gerçekleştirilmesi karar destek sistemi için oldukça önemlidir. Havzada önemli barajların (Söylemez ve Solmaz) yapılması planlandığından gelecek çalışmalar için HEC-ResSim (Reservoir System Simulation) modelinin de dahil edilerek modelleme sürecinin tekrar ele alınması ve operasyonel akım tahmininin sağlanması hedeflenmektedir.

CBS ve uydu ürünlerinin etkin bir şekilde kullanılarak hidrolojik modellemenin gerçekleştirilmesi su kaynakları bakımından zengin olan dağlık havzalar için büyük önem taşımaktadır ve model çıktılarının konumsal dağılımının belirlenmesi grid tabanlı modellerin tümsel modeller üzerindeki avantajıdır. CBS araçları verilerin elde edilmesinden gerekli analizlerin yapılmasına kadar birçok alanda kullanılarak yönetim başarısının artmasında etkili olmaktadır. Ayrıca hidrolojik-hidrolik model entegrasyonu (HEC-HMS ve HEC-RAS) ile taşkın karar destek sisteminin oluşturulması entegre

taşkın yönetimi açısından gereklidir. Bu şekilde karar vericilerin ve su otoritelerinin kolay ve hızlı karar vermelerine altlık oluşturulmaktadır. Birçok su kaynakları planlama ve yönetimi çalışması güvenilir bir hidrolojik model altlığına ihtiyaç duymaktadır. Bu hususlardan bu tez çalışmasının değerli olduğu düşünülmektedir. Gelecek çalışmalar için açık kaynak kodlu CBS, hidrolojik-hidrolik model yazılımları ve karar destek algoritmaları kullanılabilir ve geliştirilebilir.

Hidrolojik modelleme sürecinden sonra birçok taşkın tahmin yöntemleri ve yükseklik modelleri karşılaştırılarak zengin bir hidrolik modelleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kayabaşı Havzasında bulunan Tekman ilçesi için yükseklik, bina ve taşkın hidrograf verilerinin düzenlenmesi ile taşkın hidrolik modellemesi (HEC-RAS 2D) gerçekleştirilmiş ve taşkın karakteristikleri (alan-derinlik-hız çıktıları) elde edilmiştir. HEC-HMS ve HEC-RAS entegrasyonu ile bütüncül taşkın karar destek sisteminin oluşturulması kapsamında yürütülen tez çalışmasında; taşkın tehlike, risk ve zarar haritaları türetilerek taşkın modelleme çalışmaları tamamlanmıştır. Taşkın riskinin yüksek olduğu alanların yanında memba ıslahı ile de yapısal ve yapısal olmayan taşkın koruma önlemlerinin alınması yerinde olacaktır. Yüksek taşkın riski içeren yerleşim alanlarında yapılaşmanın kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu alanların daha çok tarımsal ve rekreasyonel olarak değerlendirilmesi uygun olacaktır. Yağış yada akış tabanlı taşkın erken uyarı sisteminin oluşturulması ve iletişim unsurlarının aktif kullanılarak taşkın riskinin duyurulması büyük önem arz etmektedir. Taşkın risk seviyesi yüksek yerlerdeki insanlar taşkın hazırlık, müdahale ve tahliye planlaması çalışmaları kapsamında -katılımcı yönetim yaklaşımı çerçevesinde- bilinçlendirilebilir. Taşkın risk değerlendirmesi temelinde taşkın afet sigortaları teşvik edilebilir. Sedde, yatak ıslahı ve geciktirme havuzu gibi çeşitli yapısal taşkın zararı azaltma senaryoları ile taşkın riskinin değişiminin irdelenmesinin gelecek çalışma olarak ele alınması düşünülmektedir. Son olarak bütüncül hidrolojik-hidrolik modelleme (HMS-RAS) sürecinin HEC-RTS (Real Time Simulation) modeli ile operasyonel olarak yapılması öngörülmektedir.

Taşkın risk, tehlike ve zarar analizinin yapıldığı bu çalışma; ileride havzada kentsel, endüstriyel ve tarımsal planlamaya yardımcı olabilecek bulgulara sahiptir. Taşkın risk

planlaması ve yönetimine olumlu katkısı olacağı umulan çalışma sonuçlarının, taşkın zararlarının iyi bir yönetim sonucu azaltılması suretiyle de somut sosyal ve ekonomik faydalar sağlayabileceği düşünülmektedir. İlgili kamu kurumlarının, sivil toplum kuruluşlarının ve halkın afet yönetimi çerçevesinde çok iyi örgütlenmesi; kurumlar arası koordinasyonun ve kriz masasının oluşturulması sağlanmalıdır.

Ücretsiz olma avantajına sahip HEC modellerinin diğer oldukça pahalı kavramsal ya da fiziksel tabanlı modellerle rekabet edebilecek performanslara sahip olması oldukça önemlidir. Yazarın bilgisine göre dağılımlı HEC-HMS SMA modelinin ilk kez kullanılması çalışmayı özel kılmaktadır. Bütün bu açılardan bu çalışmanın benzer çalışmalara örnek ve kılavuz olma potansiyeli barındırdığı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abdulrazzak M, Elfeki A, Kamis A, Kassab M, Alamri N, Chaabani A, Noor K, 2019, Flash Flood Risk Assessment in Urban Arid Environment: Case Study of Taibah and Islamic Universities' Campuses, Medina, Kingdom of Saudi Arabia, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10, 780–796.
- Alfieri L, Salamon P, Bianchi A, Neal J, Bates P D, Feyen L, 2014, Advances in pan-European Flood Hazard Mapping, *Hydrological Processes*, 28, 4928-4937.
- Alphen J, Martini F, Loat R, Slomp R, Passchier R, 2009, Flood Risk Mapping in Europe, Experiences and Best Practices, *Journal of Flood Risk Management*, 2, 285-292.
- Amarnath G, Alahacoon N, Gismalla Y, Mohammed Y, Sharma B R and Smakhtin V, 2016, Increasing Early Warning Lead Time Through Improved Transboundary Flood Forecasting in the Gash River Basin, Horn of Africa, *Flood Forecasting a Global Perspective Chapter 8*, Adams T E and Pagano T C (Ed.), Academic Press, 183-200.
- Anderson M L, Chen Z-Q, Kavvas M L, Arlen Feldman M, 2002, Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7, 312-318.
- ASCE, 1996, *Hydrology Handbook*, American Society of Civil Engineers (ASCE) Task Committee on Hydrology Handbook of Management Group D, New York, USA.
- AS/NZS, 2004, *Risk Management*, Australian/New Zealand Standard AS/NZS 4360, Australia-New Zealand.
- Bakanlar Kurulu, 1982, Yıpranma Paylarına İlişkin Oranları Gösterir Cetvel, 25.10.1982 Tarih ve 8/5525 Sayılı Kararı Ekinde 2.12.1982 Tarih ve 17886 Sayılı Resmi Gazete.
- Başbakanlık, 2006, *Dere Yatakları ve Taşkınlar 2006/27 Sayılı Başbakanlık Genelgesi*, 09.09.2006 Tarihli 26284 Sayılı Resmi Gazete.

- Bates P D, De Roo A P J, 2000, A Simple Raster-Based Model for Flood Inundation Simulation, *Journal of Hydrology*, 236, 54-77.
- Bayazıt M, 2003, *Hidroloji*, Birsen Yayınevi, Ankara.
- Bayazıt M, Önöz B, 2008, *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Beden N, Keskin A U, 2021, Flood Map Production and Evaluation of Flood Risks in Situations of Insufficient Flow Data, *Natural Hazards*, 105, 2381-2408.
- Benjamin J R, Cornell A A, 1970, *Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Bennett T H, 1998, Development and Application of a Continuous Soil Moisture Accounting Algorithm for the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), MSc Thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.
- Bora E, Onuşluel Gül G, 2019, Modeling of Floods in Güvenç Basin, Ankara Using HEC-HMS, *Turkish Journal of Water Science and Management*, 3, 44-47.
- Cammalleri C, Micale F, Vogt J A, 2016, A Novel Soil Moisture-based Drought Severity Index (DSI) Combining Water Deficit Magnitude and Frequency, *Hydrological Processes*, 30, 289-301.
- Cammalleri C, Vogt J V, Bisselink B, de Roo A, 2017, Comparing Soil Moisture Anomalies from Multiple Independent Sources over Different Regions Across the Globe, *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, 6329-6343.
- CGIAR-CSI, 2019, Konumsal Bilgi Konsorsiyumu, <http://www.cgiar-csi.org>, Erişim Tarihi: 10.02.2019.
- Chow V T, 1964, *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Chow V T, Maidment D R, Mays L W, 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021, Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2021 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ, 24.03.2021 Tarihli 31433 Sayılı Resmi Gazete.
- DEFRA, 2006, Flood Risks to People: Phase 2, R&D Technical Report FD2321/IR2, Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), UK Environment Agency, UK.
- Dingman S L, 2002, Physical Hydrology, Waveland Press, Inc., USA.
- Dinh Q, Balica S, Popescu I, Jonoski A, 2012, Climate Change Impact on Flood Hazard, Vulnerability and Risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta, International Journal of River Basin Management, 10, 103-120.
- Dottori F, Salamon P, Bianchi A, Alfieri L, Hirpa F A, Feyen L, 2016, Development and Evaluation of a Framework for Global Flood Hazard Mapping, Advances in Water Resources, 94, 87–102.
- Dottori F, Alfieri L, Bianchi A, Skoien J and Salamon P, 2021, A New Dataset of River Flood Hazard Maps for Europe and the Mediterranean Basin Region, Earth System Science Data Discussions, <https://doi.org/10.5194/essd-2020-313>.
- Drab A, Riha J, 2010, An Approach to the Implementation of European Directive 2007/60/EC on Flood Risk Management in the Czech Republic, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 1977–1987.
- DSİ, 2019, Taşkın ve Rüşubat Kontrolü Yönetmeliği, Devlet Su İşleri (DSİ), 03.05.2019 Tarihli 30763 Sayılı Resmi Gazete.
- Duethmann D, Peters J, Blume T, Vorogushyn S and Güntner A, 2014, The Value of Satellite-Derived Snow Cover Images for Calibrating a Hydrological Model in Snow-Dominated Catchments in Central Asia, Water Resources Research, 50, 2002-2021.
- Duman T Y, Çan T ve Emre Ö, 2011, 1/1.500.000 Ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, Türkiye, ISBN: 978-605-4075-84-3

- EEA, 2018, Corine Land Cover 2018 Seamless Vector Data, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-vector-data-version-3>, Erişim Tarihi: 10.02.2019.
- Emerson H C, Welty C and Traver R G, 2005, Scale Evaluation of a System of Storm Water Detention Basins, *Journal of Hydrologic Engineering*, 10, 237–242.
- European Parliament and Council of European Union, 2007, Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the Assessment and Management of Flood Risks, *Official Journal of the European Union L 288/27-34*.
- FEMA, 2012, Multi-Hazard Loss Estimation Methodology-Flood Model-Hazus-MH Flood Technical Manual, Federal Emergency Management Agency (FEMA), USA.
- FEMA, 2018, Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping-Flood Depth and Analysis Grids, Federal Emergency Management Agency (FEMA), USA.
- FLOODsite Consortium, 2007, Evaluating Flood Damages: Guidance and Recommendations on Principles and Methods, Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies Report No. T09-06-01, European Commission, UK.
- Forster S, Kuhlmann B, Lindenschmidt K E, Bronstert A, 2008, Assessing Flood Risk for a Rural Detention Area, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 311-322.
- FRMG, 2014, Flood Hazard and Flood Risk Mapping Guide (FRMG), European Union Twinning Project Capacity Development for the Implementation of the Flood Directive-Turkey, France and Romania, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), Ankara, Türkiye.
- Frongia S, Liberatore S, Sechi G M, 2015, Flood Damage Risk Assessment Supporting Mitigation Measures Plan: The Sardinian Region Flood-Risk Management Plan, *European Water*, 52, 43-55.
- Fuller W, 1914, Flood Flows, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 77, 564-617.

- Garbrecht J, Ogden F L, DeBarry P A and Maidment D R, 2001, GIS and Distributed Watershed Models I: Data Coverages and Sources, *Journal of Hydrology*, 6, 506-514.
- Garcia A, Sainz A, Revilla J A, Alvarez C, Juanes J A and Puente A, 2008, Surface Water Resources Assessment in Scarcely Gauged Basins in the North of Spain, *Journal of Hydrology*, 356, 312-326.
- Gebre S L, 2015, Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin, *Hydrology: Current Research*, 6, 1-8.
- Geetha K, Mishra S K, Eldho T I, Rastogi A K, Pandey R P, 2007, Modifications to SCS-CN Method for Long-Term Hydrologic Simulation, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 475-486.
- Geetha K, Mishra S K, Eldho T I, Rastogi A K, Pandey R P, 2008, SCS-CN-based Continuous Simulation Model for Hydrologic Forecasting, *Water Resources Management*, 22, 165-190.
- GFDRR, 2017, Europe and Central Asia (ECA) Risk Profiles-Disaster Risk Profile: Turkey, World Bank Group Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), USA.
- Ghaffari G, 2011, The Impact of DEM Resolution on Runoff and Sediment Modeling Results, *Research Journal of Environmental Sciences*, 5, 691-702.
- GMAO, 2008, tavgM_2d_lnd_Nx: MERRA 2D IAU Diagnostic, Land Only States and Diagnostics, Monthly Mean V5.2.0, Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Greenbelt, MD, USA, 10.5067/XOHTIIK0W9RK.
- Grimaldi S, Petroselli A, Serinaldi F, 2012, A Continuous Simulation Model for Design-Hydrograph Estimation in Small and Ungauged Watersheds, *Hydrological Sciences Journal*, 57, 1035-1051.
- Gumbel E J, 1958, *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York, USA.

- Gupta P K, Singh R, Raghuwanshi N S, Dutta S and Panigrahy S, 2008, Effect of Remotely Sensed Data on the Performance of a Distributed Hydrological Model: Case Study, *Journal of Hydrologic Engineering*, 13, 939-947.
- Gusain A, Mohanty M P, Ghosh S, Chatterjee C, Karmakar S, 2020, Capturing Transformation of Flood Hazard Over a Large River Basin Under Changing Climate Using a Top-Down Approach, *Science of the Total Environment*, 726, 1-17.
- Gyawali R and Watkins D W, 2013, Continuous Hydrologic Modeling of Snow-Affected Watersheds in the Great Lakes Basin Using HEC-HMS, *Journal of Hydrologic Engineering*, 18, 29-39.
- Hailegeorgis T T, Abdella Y S, Alfredsen K and Kolberg S, 2015, Evaluation of Regionalization Methods for Hourly Continuous Streamflow Simulation Using Distributed Models in Boreal Catchments, *Journal of Hydrologic Engineering*, 20, 1-20.
- Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V, 2006, MODIS/Terra Snow Cover 5-Min L2 Swath 500m, Version 5, NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center, Boulder, Colorado USA.
- Hjelmfelt A T, 1982, Closure to Empirical Investigation of the Curve Number Technique, *Journal of the Hydraulics Division*, 108, 614-616.
- Hoblitt B C, Liu L and Curtis D C, 2002, Extreme Rainfall Estimation Using Radar for Tropical Storm Allison, *Proc. 2002 Water Resources Planning and Management Conf.*, Environmental and Water Resources Institute, Washington, DC, 1–8.
- Hong S J, Kim S J, Kim H S and Kyung M S, 2009, Dam Break Analysis with HEC-HMS and HEC-RAS, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 29, 347-356.
- Horritt M S and Bates P D, 2002, Evaluation of 1D and 2D Numerical Models for Predicting River Flood Inundation, *Journal of Hydrology*, 268, 87-99.
- Huffman G J, Stocker E F, Bolvin D T, Nelkin E J, Jackson T, 2019, GPM IMERG Final Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V06, Edited by Andrey

- Savtchenko, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Greenbelt, MD, USA, 10.5067/GPM/IMERGDF/DAY/06.
- IWMI, 2019, Küresel İklim Modeli, <http://wcatlas.iwmi.org/Default.asp>, Erişim Tarihi: 10.02.2019.
- IWR, 2017, Principles of Risk Analysis for Water Resources, USACE Institute for Water Resources (IWR) 2017-R-01 Report, USA.
- Jajarmizadeh M, Harun S and Salarpour M, 2012, A Review on Theoretical Consideration and Types of Models in Hydrology, *Journal of Environmental Science and Technology*, 5, 249-261.
- Jasper K, Gurtz J, Lang H, 2002, Advanced Flood Forecasting in Alpine Watersheds by Coupling Meteorological Observations and Forecasts with a Distributed Hydrological Model, *Journal of Hydrology*, 267, 40-52.
- Jongman B, Kreibich H, Apel H, Barredo J I, Bates P D, Feyen L, Gericke A, Neal J, Aerts J C J H, Ward P J, 2012, Comparative Flood Damage Model Assessment: Towards a European Approach, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3733-3752.
- Jonkman S N, van Gelder P H A J M, Vrijling J K, 2003, An Overview of Quantitative Risk Measures for Loss of Life and Economic Damage, *Journal of Hazardous Materials*, A99, 1-30.
- Jonkman S N, 2005, Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods, *Natural Hazards*, 34, 151-175.
- Jonkman S N, 2007, Loss of Life Estimation in Flood Risk Assessment, PhD Thesis, Delft University, Delft.
- Jonkman S N, Bočkarjova M, Kok M and Bernardini P, 2008a, Integrated Hydrodynamic and Economic Modelling of Flood Damage in the Netherlands, *Ecological Economics*, 66, 77-90.
- Jonkman S N, Vrijling J K, Vrouwenvelder A C W M, 2008b, Methods for the Estimation of Loss of Life due to Floods: A Literature Review and a Proposal for a New Method, *Natural Hazards*, 46, 353-389.

- Jónsdóttir J F and Þórarinnsson J S, 2004, Comparison of HBV Models Driven with Weather Station Data and with MM5 Meteorological Model Data, Orkustofnun Hydrological Services, Report No. OS-2004/017.
- JRC, 2007, Flood Damage Functions for EU Member States, European Commission Joint Research Centre (JRC) Technical Report.
- JRC, 2017, Global Flood Depth-Damage Functions, Methodology and the Database with Guidelines, European Commission Joint Research Centre (JRC) Technical Reports EUR 28552 EN, Luxembourg.
- Keskin F, 2012, Quantitative Flood Risk Assessment with Application in Turkey, PhD Thesis, METU, Ankara.
- KGM, 2012, Karayolu Planlama Bilgileri El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Ankara, Türkiye.
- Kirpich Z P, 1940, Time of Concentration in Small Agricultural Watersheds, Civil Engineering, 10, 362-368.
- Koch R and Bene K, 2013, Continuous Hydrologic Modeling with HMS in the Aggtelek Karst Region, Hydrology, 1, 1-7.
- Kreibich H, Piroth K, Seifert I, Maiwald H, Kunert U, Schwarz J, Merz B, Thielen A H, 2009, Is Flow Velocity a Significant Parameter in Flood Damage Modelling? Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 1679-1692.
- Kull D W, Feldman A D, 1998, Evaluation of Clark's Unit Graph Method to Spatially Distributed Runoff, Journal of Hydrologic Engineering, 3, 9-19.
- Kunstmann H and Stadler C, 2005, High Resolution Distributed Atmospheric Hydrological Modeling for Alpine Catchments, Journal of Hydrology, 314, 105-124.
- Kvocka D, Falconer R A, Bray M, 2016, Flood Hazard Assessment for Extreme Flood Events, Natural Hazards, 84, 1569-1599.
- Lenderink G, Buishand A, van Deursen W, 2007, Estimates of Future Discharges of the River Rhine Using Two Scenario Methodologies: Direct Versus Delta Approach, Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1145-1159.

- Linsley R K, Kohler M A, Paulhus J L H, 1958, Hydrology for Engineers, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Maidment D R, 1991, GIS and Hydrological Modeling, Proc. 1st Int. Symp./Workshop on GIS and Envir. Modeling, Boulder, Colorado, USA.
- Meselhe E A, Habib E H, Oche O C and Gautam S, 2009, Sensitivity of Conceptual and Physically Based Hydrologic Models to Temporal and Spatial Rainfall Sampling, Journal of Hydrologic Engineering, 14, 711-720.
- Mockus V, 1957, Use of Storm and Watershed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application, Transactions of the American Geophysical Union, 38, 418.
- Mockus V, 1965, National Engineering Handbook Hydrology Chapters, Chapter 21, Natural Resources Conservation Service (NRCS), USA.
- Moel H, Alphen J V and Aerts J C J H, 2009, Flood Maps in Europe – Methods, Availability and Use, Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 289-301.
- Moriasi D N, Arnold J G, Van Liew M W, Bingner R L, Harmel R D, Veith T L, 2007, Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50, 885-900.
- NASDA, 2001, TRMM Data Users Handbook, Japan.
- Nash J E, Sutcliffe J V, 1970, River Flow Forecasting Through Conceptual Models. Part I-A Discussion of Principles, Journal of Hydrology, 10, 282-290.
- National Ice Center, 2008, Updated Daily. IMS Daily Northern Hemisphere Snow and Ice Analysis at 1 km, 4 km, and 24 km Resolutions, NSIDC: National Snow and Ice Data Center, Boulder, Colorado, USA, doi:10.7265/N52R3PMC.
- NOAA NESDIS, 2019, Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System Version 3 (IMS V3) Algorithm Theoretical Basis Document Draft Version 2.5, National Oceanic and Atmospheric Administration National Environmental Satellite, Data and Information Service (NOAA NESDIS), Center for Satellite Applications and Research (STAR), Maryland, USA.

- Nofal O M, van de Lindt J W, 2020, Minimal Building Flood Fragility and Loss Function Portfolio for Resilience Analysis at the Community Level, *Water*, 12, 1-47.
- NSW SES, 2006, Designing Safer Subdivisions-Guidance on Subdivision Design in Flood Prone Areas, New South Wales State Emergency Service (NSW SES), Australia.
- Ogden F L, Garbrecht J, Debarry P A and Maidment A R, 2001, GIS and Distributed Watershed Models II: Modules, Interfaces, and Models, *Journal of Hydrologic Engineering*, 6, 515–523.
- Ongdas N, Akiyanova F, Karakulov Y, Muratbayeva A, Zinabdin N, 2020, Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan, *Water*, 12, 1-20.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016, Taşkın Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve İzlenmesi Hakkında Yönetmelik, 12.05.2016 Tarihli 29710 Sayılı Resmi Gazete.
- Özdemir H, 1978, Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi, DSİ Genel Müdürlüğü Matbası, Ankara.
- Panagoulia D, Mamassis N and Gkiokas A, 2013, Deciphering the Floodplain Inundation Maps in Greece, 8th International Conference "Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context", Porto, Portugal, 323-330.
- Paudel M, Nelson E J and Scharffenberg W, 2009, Comparison of Lumped and Quasi-Distributed Clark Runoff Models Using SCS Curve Number Equation, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14, 1098-1106.
- Patel K P, 2009, Watershed Modeling Using HEC-RAS, HEC-HMS, and GIS Models – A Case Study of the Wreck Pond Brook Watershed in Monmouth County, New Jersey, PhD Thesis, The State University of New Jersey, New Jersey.
- Peters J, Easton D, 1996, Runoff Simulation Using Radar Rainfall Data, *Water Resources Bulletin*, AWRA, 32, 753-760.

- Pignotti G, Rathjens H, Cibin R, Chaubey I and Crawford M, 2017, Comparative Analysis of HRU and Grid-Based SWAT Models, *Water*, 9, 272, 1-20.
- Raghunath H M, 2006, *Hydrology: Principles, Analysis and Design*, New Age International Publishers, New Delhi, India.
- Rahimi M, Saghaian B, Azadi M and Sedgi H, 2010, Flood Forecasting in Arid and Semi Arid Region Using Continuous Hydrological Modeling, *World Applied Sciences Journal*, 10, 645-654.
- Rezaeianzadeh M, Stein A, Tabari H, Abghari H, Jalalkamali N, Hosseinipour E Z and Singh V P, 2013, Assessment of a Conceptual Hydrological Model and Artificial Neural Networks for Daily Outflows Forecasting, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 1181-1192.
- Roy D, Begam S, Ghosh S and Jana S, 2013, Calibration and Validation of HEC-HMS Model for a River Basin in Eastern India, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8, 40-56.
- Saksena S and Merwade V, 2015, Incorporating the Effect of DEM Resolution and Accuracy for Improved Flood Inundation Mapping, *Journal of Hydrology*, 530, 180-194.
- Sampson C C, Smith A M, Bates P D, Neal J C, Alfieri L and Freer J E, 2015, A High-Resolution Global Flood Hazard Model, *Water Resources Research*, 51, 7358-7381.
- Savabi M R, Flanagan D C, Hebel B and Engel B A, 1995, Application of WEPP and GIS-GRASS to a Small Watershed in Indiana, *Journal of Soil and Water Conservation*, 50, 477-483.
- Sene K, 2009, *Hydrometeorology-Forecasting and Applications*, Springer, UK.
- Sensoy A, Uysal G and Sorman A A, 2016, Developing a Decision Support Framework for Real-Time Flood Management Using Integrated Models, *Journal of Flood Risk Management*, doi: 10.1002/jfr3.12280, 1-18.

- Singh W R and Jain M K, 2015, Continuous Hydrological Modeling Using Soil Moisture Accounting Algorithm in Vamsadhara River Basin, India, Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, 4, 398-408.
- Snyder F F, 1938, Synthetic Unit Graphs, Transactions American Geophysics Union, 19, 447-454.
- SoilGrids, 2019, Global Gridded Soil Information, www.soilgrids.org, Erişim Tarihi: 10.02.2019.
- Sorman A A, Sensoy A, Tekeli A E, Sorman A U and Akyurek Z, 2009, Modeling and Forecasting Snowmelt Runoff Process Using the HBV Model in the Eastern Part of Turkey, Hydrological Processes, 23, 1031-1040.
- Sorman A A, Tas E, Dogan Y O, 2020, Comparison of Hydrological Models in Upper Aras Basin, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 26, 1015-1022.
- SYGM, 2019, Aras Havzası Taşkın Yönetim Planı, Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), Ankara, Türkiye.
- Tassew B G, Belete M A, Miegel K, 2019, Application of HEC-HMS Model for Flow Simulation in the Lake Tana Basin: The Case of Gilgel Abay Catchment, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia, Hydrology, 6, 1-17.
- TBMM, 1943, Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Korunma Kanunu, 21.01.1943 Tarihli 5310 Sayılı Resmi Gazete.
- TÜİK, 2020, İlçeler Bazında Bitkisel Üretim İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Tarım Veri Portalı, Türkiye.
- TÜİK, 2021, İl Bazında Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, 2019, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Haber Bülteni, Türkiye.
- USACE, 1962, Statistical Methods in Hydrology, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, USA.
- USACE, 2000, Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.

- USACE, 2016, HEC-RAS 5.0 User's Manual, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.
- USACE, 2017, Workshop: Application of HEC-HMS Using Gridded Precipitation in Watersheds Outside of the United States, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, USA.
- USACE, 2018, Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.
- USACE, 2020a, HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 6.0 Beta CPD-69, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, USA.
- USACE, 2020b, HEC-RAS River Analysis System 2D Modeling User's Manual Version 6.0 Beta CPD-68A, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, USA.
- USACE, 2020c, HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 6.0 Beta CPD-68, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, USA.
- USACE, 2020d, Modeler Application Guidance for Steady vs Unsteady, and 1D vs 2D vs 3D Hydraulic Modeling, US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, USA.
- USDA (US Department of Agriculture), 1951, Soil Survey Manual, Soil Conservation Service, Washington, USA.
- USDA (US Department of Agriculture), 1972, National Engineering Handbook, Soil Conservation Service, Washington, USA.
- USDA (US Department of Agriculture), 1986, Urban Hydrology for Small Watersheds, Natural Resources Conservation Service Technical Release 55, Washington, USA.
- Uysal G, Şorman A Ü, 2021, Evaluation of PERSIANN Family Remote Sensing Precipitation Products for Snowmelt Runoff Estimation in a Mountainous Basin, Hydrological Sciences Journal, 66, 1790-1807.

- Vieux B E, 2004, Distributed Hydrologic Modeling Using GIS, Kluwer Academic Publishers, USA.
- Vo N D, Gourbesville P, Vu M T, Raghavan S V and Liong S Y, 2016, A Deterministic Hydrological Approach to Estimate Climate Change Impact on River Flow: Vu Gia-Thu Bon Catchment, Vietnam, *Journal of Hydro-environment Research*, 11, 59-74.
- Wang Z, Zhong R, Lai C and Chen J, 2017, Evaluation of the GPM IMERG Satellite-Based Precipitation Products and the Hydrological Utility, *Atmospheric Research*, 196, 151-163.
- Westrick K, Storck P, Mass C, 2002, Description and Evaluation of a Hydrometeorological Forecast System for Mountainous Watersheds, *Weather and Forecasting*, 17, 250-262.
- Wing O E, Bates P D, Sampson C C, Smith A M, Johnson K A, Erickson T A, 2017, Validation of a 30 m Resolution Flood Hazard Model of the Conterminous United States, *Water Resources Research*, 53, 7968-7986.
- Worqlul A W, Ayana E K, Maathuis B H P, MacAlister C, Philpot W D, Leyton J M O and Steenhuis T S, 2018, Performance of Bias Corrected MPEG Rainfall Estimate for Rainfall-Runoff Simulation in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia, *Journal of Hydrology*, 556, 1182-1191.
- Yen B C, 1970, Risks in Hydrologic Design of Engineering Projects, *ASCE Journal of the Hydraulics Division*, 96, 959-966.
- Yen B C, Cheng S T and Melching C S, 1986, First Order Reliability Analysis, Stochastic and Risk Analysis in Hydraulic Engineering, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA.
- Yevjevich V, 1972, Probability and Statistics in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.
- Yoe C, 2012, Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty, Taylor and Francis, USA.

- Yoshitani J, Chen Z Q, Kavvas M L and Fukami K, 2009, Atmospheric Model-Based Streamflow Forecasting at Small, Mountainous Watersheds by a Distributed Hydrologic Model: Application to a Watershed in Japan, Journal of Hydrologic Engineering, 14, 1107-1118.
- Yucel I, Onen A, Yilmaz K K and Gochis D J, 2015, Calibration and Evaluation of a Flood Forecasting System: Utility of Numerical Weather Prediction Model, Data Assimilation and Satellite-Based Rainfall, Journal of Hydrology, 523, 49-66.
- Zhao Q, Liu Z, Ye B, Qin Y, Wei Z and Fang S, 2009, A Snowmelt Runoff Forecasting Model Coupling WRF and DHSVM, Hydrology and Earth System Sciences, 13, 1897-1906.
- Zhang H I, Wang Y J, Wang J Q, Li D X and Wang X K, 2013, Quantitative Comparison of Semi- and Fully-Distributed Hydrologic Models in Simulating Flood Hydrographs on a Mountain Watershed in Southwest China, Journal of Hydrodynamics, 25, 877-885.

İnternet Kaynakları

- 1- milliyet.com.tr/yerel-haberler/erzurum/sel-sulari-erzurum-mus-karayolunu-ulasima-kapatti-10721817, 11.03.2021
- 2- Google Street View,
<https://www.google.com.tr/maps/@39.8191724,41.7616867,3a,75y,239.78h,86.19t/data=!3m9!1e1!3m7!1s2Fp4yri9RtdZidhhRrLTKQ!2e0!7i13312!8i6656!9m2!1b1!2i38?hl=tr>, 11.03.2021
- 3- habersoylem.com/tekman-da-heyelan/4002/, 11.03.2021
- 4- <http://www.gazeteguncel.com/tekmani-yine-sel-vurdu-115883h.htm>, 11.03.2021
- 5- <https://www.sondakika.com/haber/haber-tekman-da-sel-etkili-oldu-13380745/>, 11.03.2021
- 6- https://www.erzurumajans.com/tekman-da-sel-etkili-oldu_86529.html, 11.03.2021
- 7- memurlar.net/haber/265686/erzurum-da-sel-ulasimi-da-vurdu.html, 11.03.2021
- 8- iha.com.tr/haber-tekmani-sel-vurdu-113129, 11.03.2021
- 9- <https://mapio.net/pic/p-40472247/>, 11.03.2021

- 10- gazeteguncel.com/service/amp/tekmani-sel-vurdu-31179h.htm, 11.03.2021
- 11- hurriyet.com.tr/tekman-da-sel-zarara-yol-acti-37089969, 11.03.2021
- 12- milliyet.com.tr/yerel-haberler/erzurum-/tekman-da-sel-zarara-yol-acti-10721672, 11.03.2021
- 13- <https://www.gazetepusula.net/2020/06/28/erzurumda-dere-tasti-evleri-su-basti/>, 11.03.2021
- 14- <http://beyazgazete.com/video/webtv/guncel-1/yagis-sonrasi-dere-tasti-evleri-su-basti-844327.html>, 11.03.2021
- 15- sabah.com.tr/erzurum/2020/06/28/yagis-sonrasi-dere-tasti-evleri-su-basti, 11.03.2021
- 16- <https://www.erzurumhaber.com.tr/video/4932103/erzurum-il-genelinde-yagis-sonrasi-evleri-su-basti>, 11.03.2021
- 17- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü Version 2.9, <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, 23.03.2021
- 18- TÜİK Coğrafi İstatistik Portalı, <https://cip.tuik.gov.tr/#>, 12.04.2021
- 19- Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Enflasyon Hesaplayıcısı, http://www3.tcmb.gov.tr/enflasyonealc/enflasyon_hesaplayici.html, 12.04.2021
- 20- ArcGIS for Desktop, How Iso Cluster Works-Help, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-iso-cluster-works.htm>, 21.04.2021
- 21- Türkiye Afet Bilgi Bankası, <https://tabb.afad.gov.tr>, 09.06.2021
- 22- <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>, 28.11.2021
- 23- <https://chrsdata.eng.uci.edu/>, 28.11.2021
- 24- <https://hsaf.meteoam.it/Products/Detail?prod=H13>, 28.11.2021

Zarar Analizi: Akarçay Afyon Alt Havzası Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 16, 711-722.

Taş E, 2018, Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknikleri Kullanılarak Taşkın Risk Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Afyonkarahisar Çay Deresi Havzası, İklim Değişikliği ve Çevre, 3, 68-74.

Taş E, Şorman A A, 2020, Dağlık Bir Havzada Uydu Verisi Destekli Hidrolojik Modelleme, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25, 813-830.

Yayınları-Bildiriler

İçağa Y, Taş E, 2015, Akarçay Sinanpaşa Alt Havzası Akım Verilerinin Yağış Parametresine Bağımlılık Haritası, 4. Su Yapıları Sempozyumu, 19-21 Kasım, Antalya, Türkiye.

Icaga Y, Tas E, 2017, Spatial Interpolation of Precipitation in Akarcay Sinanpasa and Suhut Subbasins, Turkey, 3rd International Congress on Environmental Researches and Technology (ICERAT 2017), 8-12 Nov, Belgrade, Serbia.

Tas E, Mollamahmutoglu A, 2012, Engineering Education in Sustainable Use of Water Resources, 2nd International Engineering Education Conference, 31 Oct-3 Nov, Antalya, Turkey.

Tas E, 2013, Integrated Water Resources Management, 5th International Air and Water Components of the Environment, 22-23 Mar, Cluj-Napoca, Romania.

Tas E, 2013, Essentiality of Integrated Water Resources Management for Sustainable Water Management, 3rd International Bursa Water Congress and Exhibition, 22-24 Mar, Bursa, Turkey.

Tas E, 2014, Effects of Land Use on Ecosystem: A Case Study of Degirmendere River Basin, 4th International Conference of Ecosystems (ICE2014), 23-26 May, Tirana, Albania.

Taş E, Kilit M, 2015, Farklı Yaklaşımlarla Afyonkarahisar İlinin Kuraklık Analizi, 4. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 1-4 Eylül, Kahramanmaraş, Türkiye.

Taş E, Kilit M, 2015, Hazne Hacminin Belirlenmesinde Farklı Yöntemlerin Değerlendirilmesi: Afyonkarahisar Sandıklı Kızılca Barajı Örneği, 4. Su Yapıları Sempozyumu, 19-21 Kasım, Antalya, Türkiye.

Tas E, 2016, Flood Risk Potential Assessment in Akarcay Sinanpasa Subbasin Using GIS

Techniques, 3rd International Conference “Geography, Environment and GIS”, 19-21 May, Targoviste, Romania.

Taş E, 2016, Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi: Afyonkarahisar Çay Deresi Havzası, 1st International Academic Research Congress, 3-5 Kasım, Antalya, Türkiye.

Taş E, 2016, Havza Karakteristiklerine Konumsal Çözünürlüğün Etkisi: Afyonkarahisar Çay Deresi Havzası, 1st International Academic Research Congress, 3-5 Kasım, Antalya, Türkiye.

Taş E, 2017, Comparison of Areal Precipitation Estimation Methods in Akarçay Basin, Turkey, International Symposium On GIS Applications In Geography And Geosciences (ISGGG 2017), 18-21 Oct, Canakkale, Turkey.

Taş E, 2017, Comparison of Monthly TRMM and Ground-Based Precipitation Data in Akarçay Basin, Turkey, 8th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2017), 1-4 Nov, Istanbul, Turkey.

Taş E, 2017, Akarçay Havzası'nda E-HYPE (HypeWeb) Model Performansının Değerlendirilmesi, 4th International Water Congress: Water Management in Smart Cities, 2-4 Kasım, İzmir, Türkiye.

Taş E, 2018, Akarçay Havzasında TRMM ve Co-Kriging Yağış Verilerinin Karşılaştırılması, International Water and Environment Congress, 22-24 Mart, Bursa, Türkiye.

Taş E, 2018, Günlük Akımların Stokastik Modellemesi Üzerine Bir Uygulama, 5th International Symposium on Dam Safety, 27-31 Ekim, İstanbul, Türkiye.

Diğer

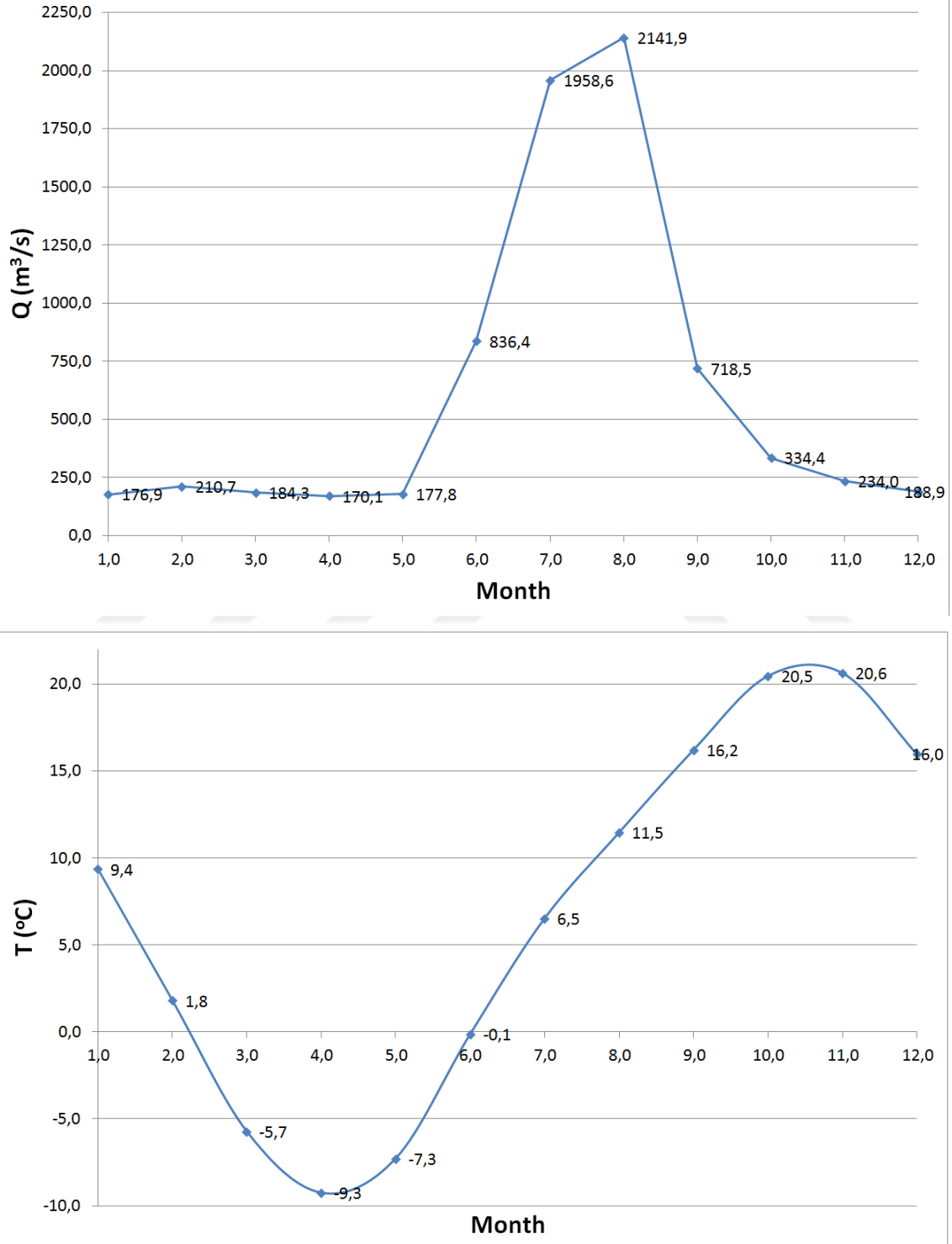
Lisans Tezi: Güncel Gözlemler Işığında Güney Ege Bölgesi'nde Yağış Şiddeti-Süre-Tekerrür Bağıntıları

Y. Lisans Tezi: Havza Planlaması ve Yönetimi: Trabzon Değirmendere Havzası Örneği

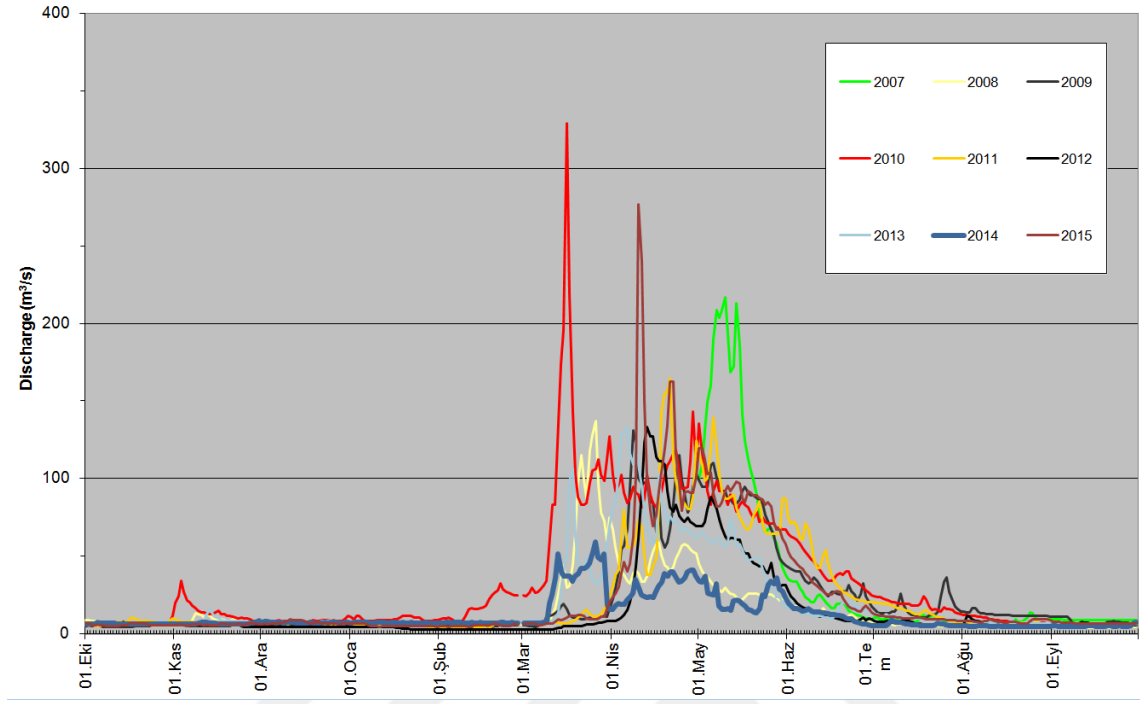
İMO Eskişehir Şubesi Üyeliği (2011 – Devam Ediyor)

EKLER

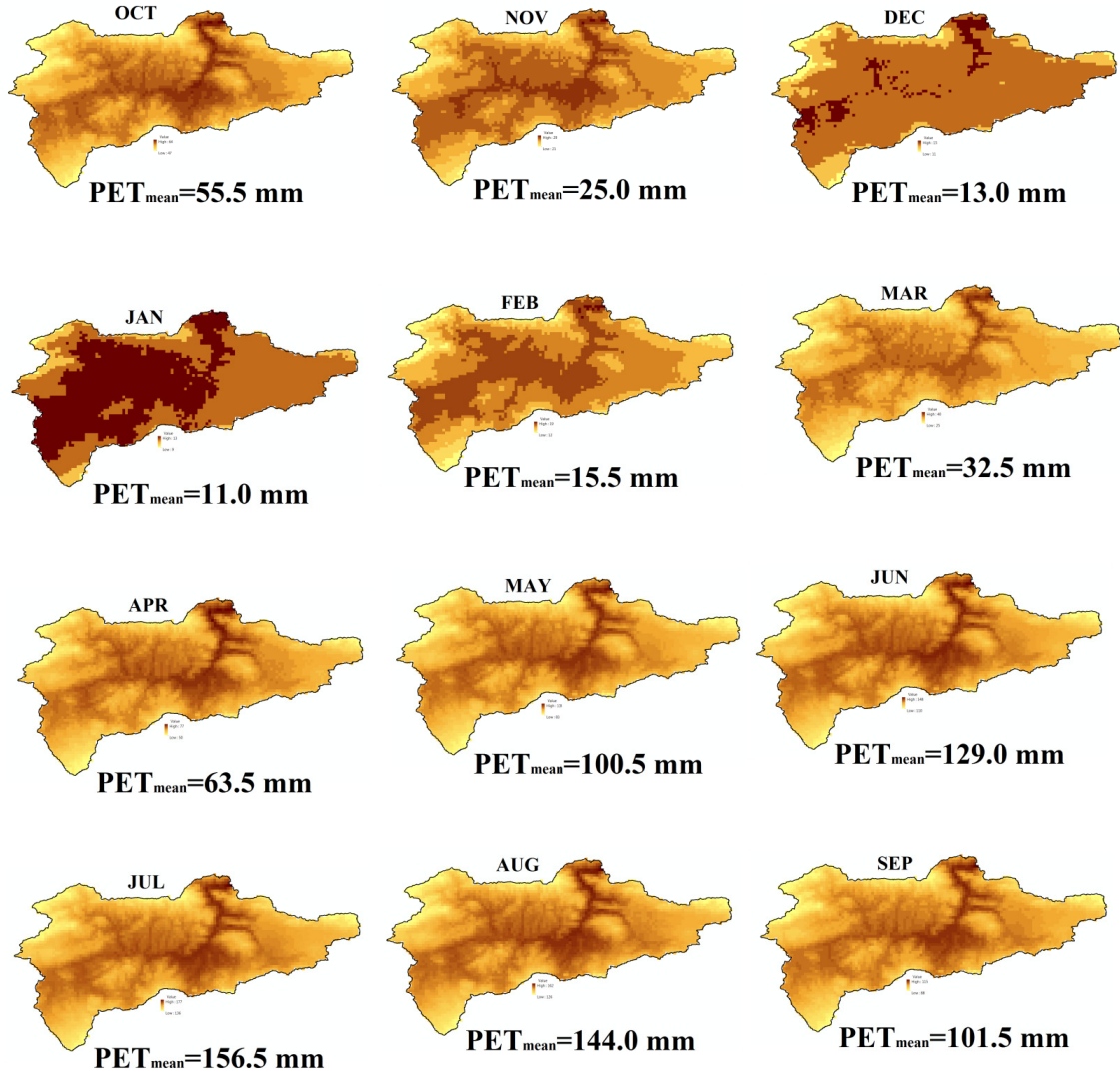
EK 1. Kayabaşı Havzası aylık akım ve ortalama sıcaklık değerleri (2007-2015)



EK 2. Kayabaşı Havzası günlük akım değerleri (2007-2015)



EK 3. Kayabaşı Havzası aylık potansiyel ET dağılımı



1950-2000 Period Monthly Average PET calculated by Hargreaves Method

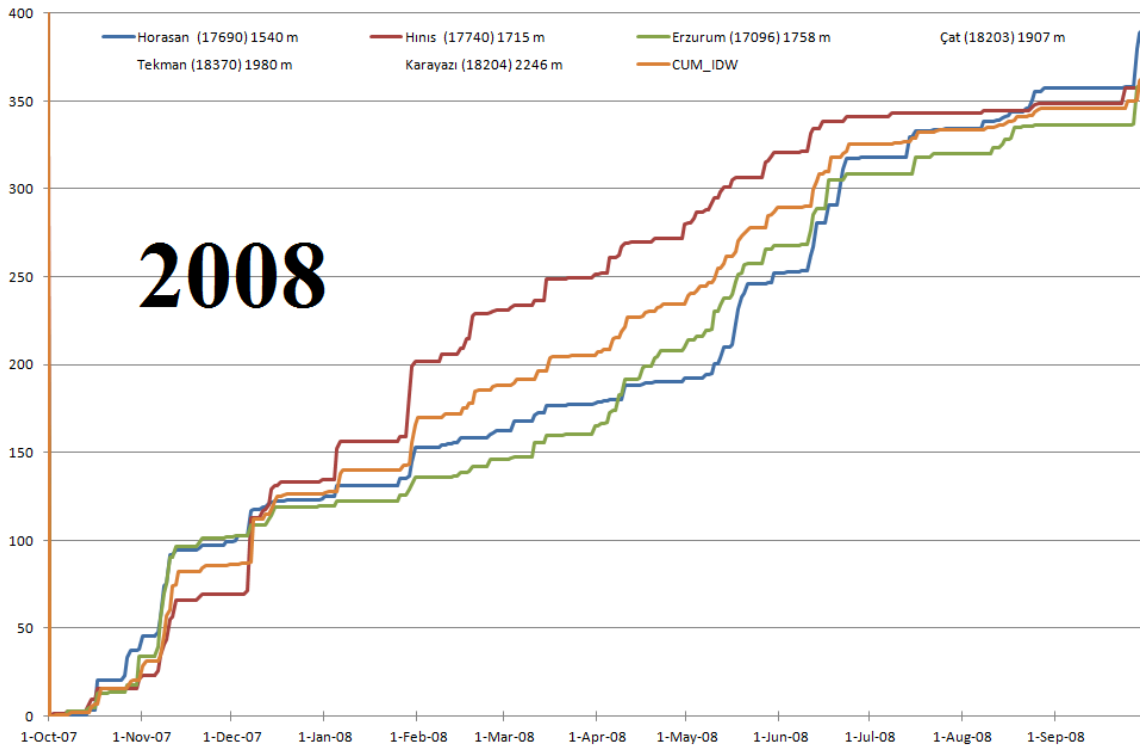
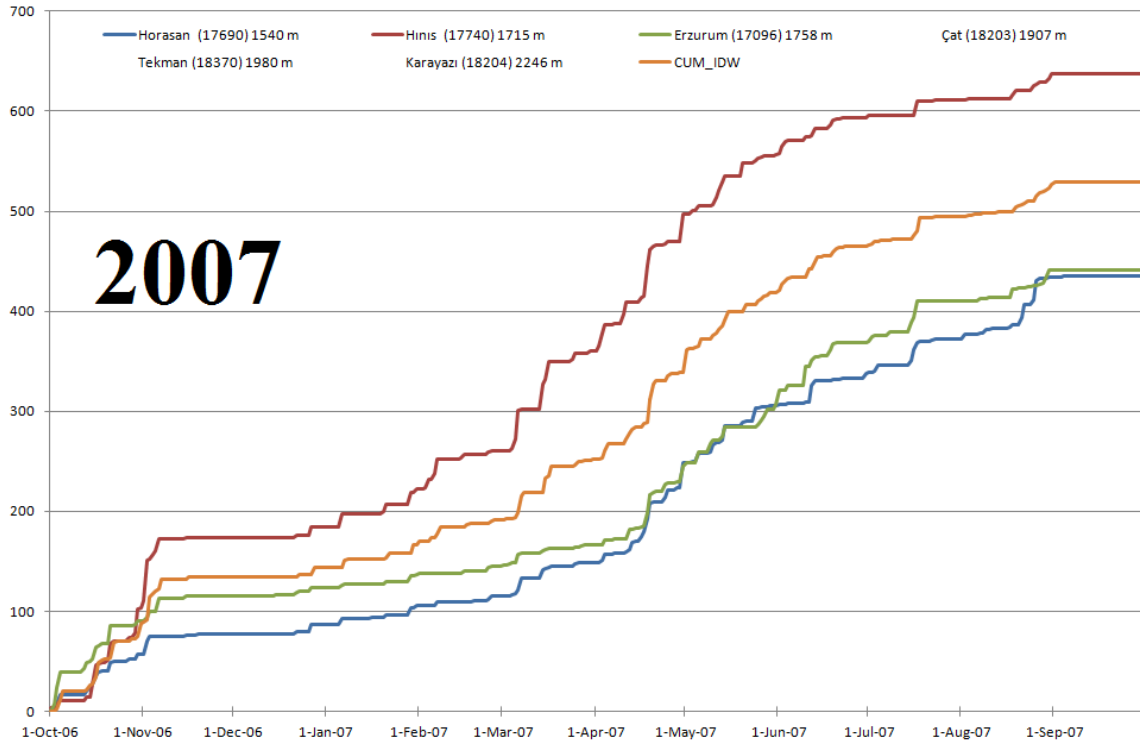
Hargreaves (1985) uses mean monthly temperature (T_{mean}), mean monthly temperature range (TD) and mean monthly extra-terrestrial radiation (RA, radiation on top of atmosphere) to calculate mean PET, as shown below:

$$PET = 0.0023 * RA * (T_{mean} + 17.8) * TD^{0.5} \text{ (mm / day)}$$

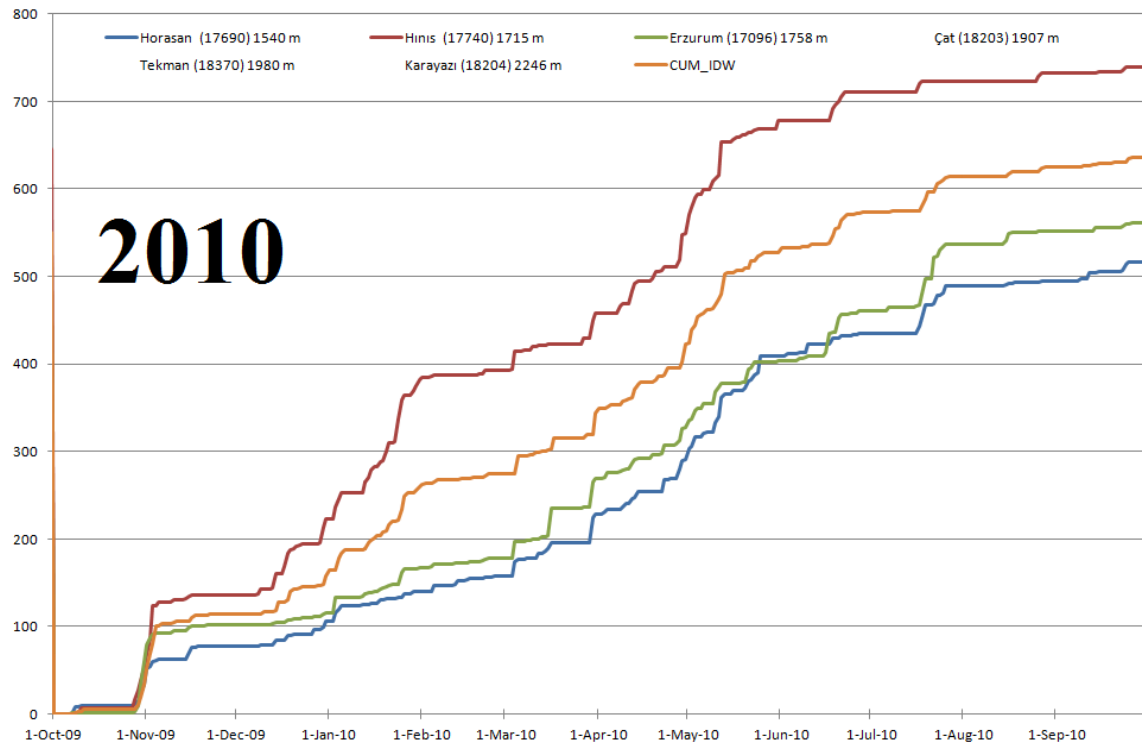
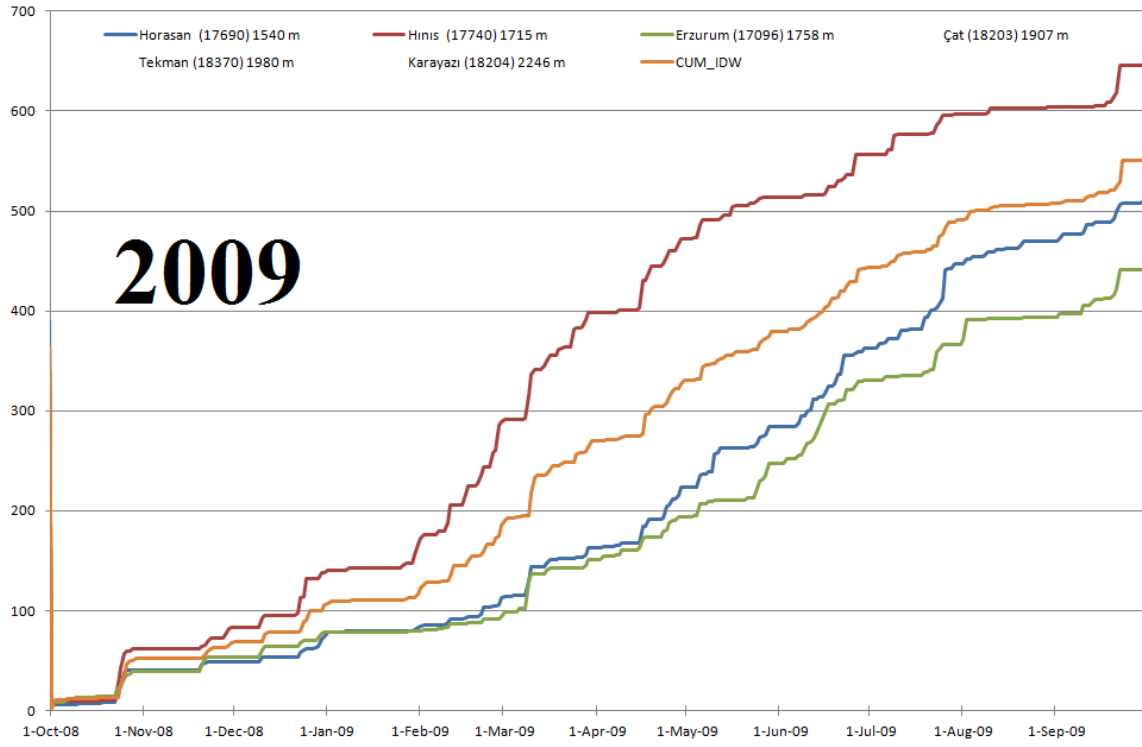
www.cgiar-csi.org

Spatial Resolution: 1km

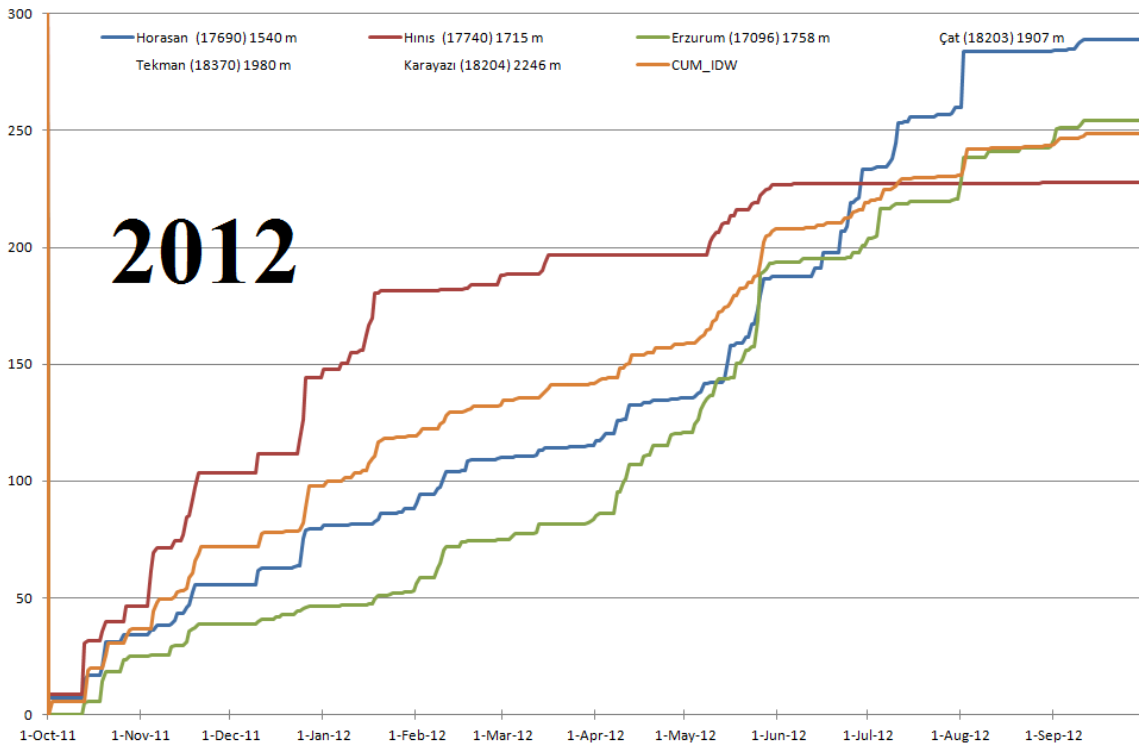
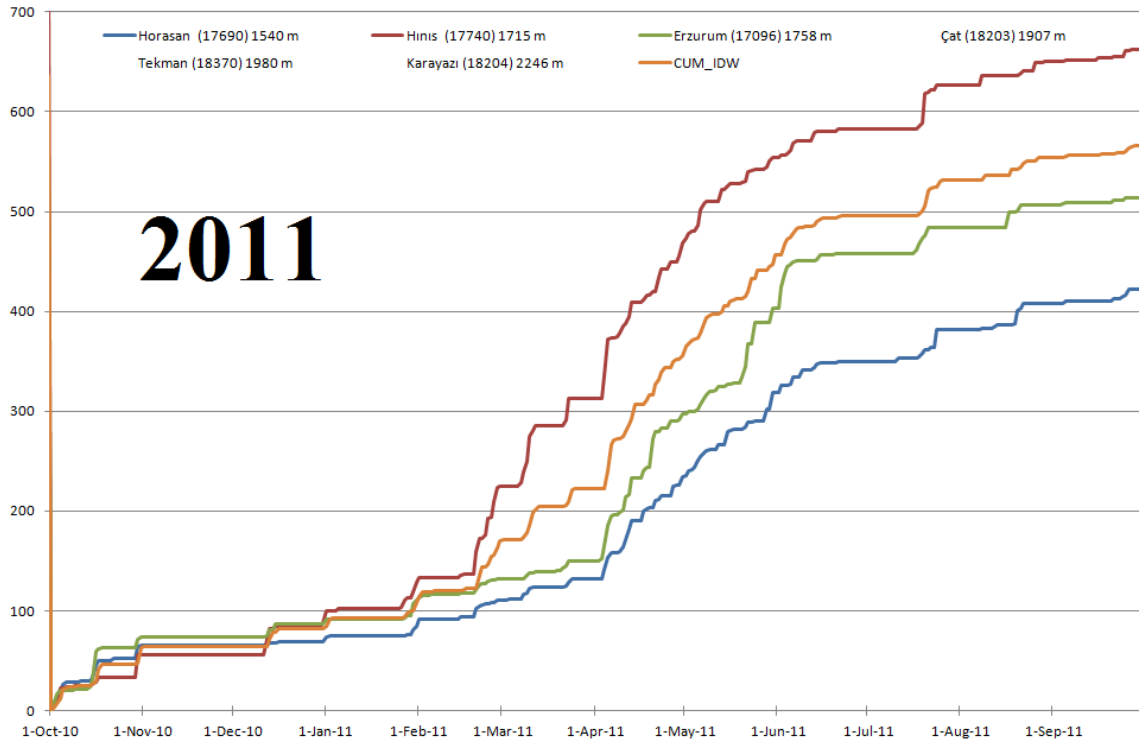
EK 4. Eklenik grid tabanlı (IDW) ve noktasal yağış zaman serileri (2007-2015)



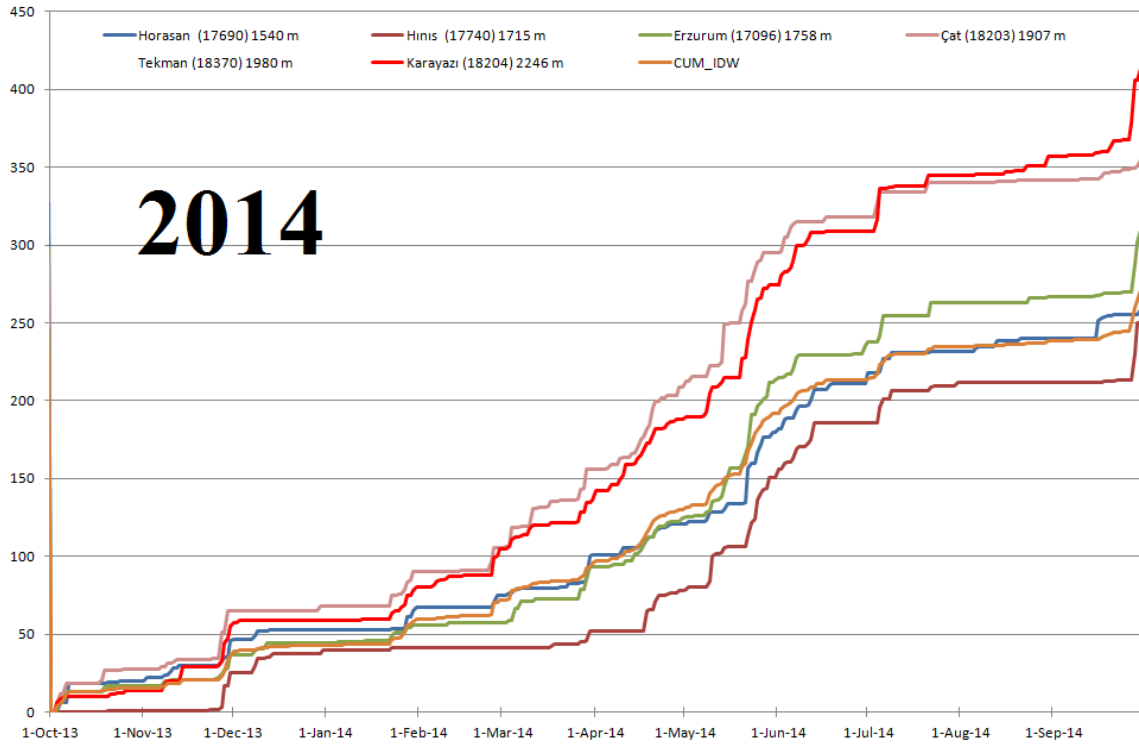
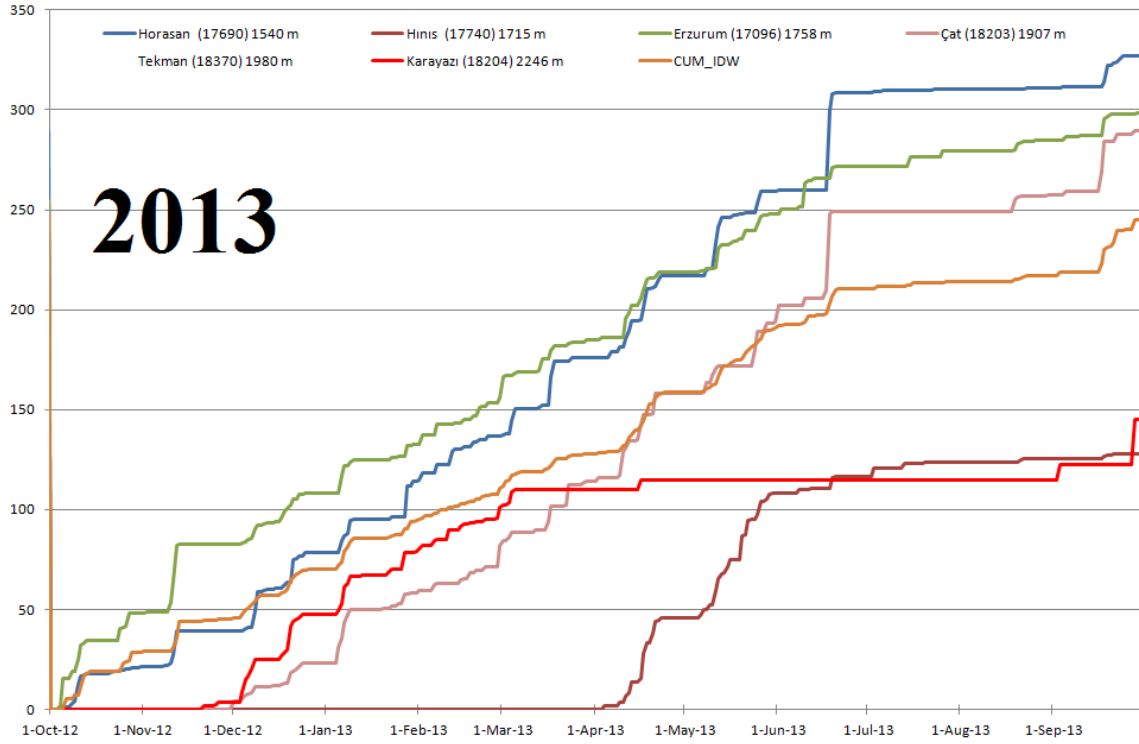
EK 4. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve noktasal yağış zaman serileri (2007-2015)



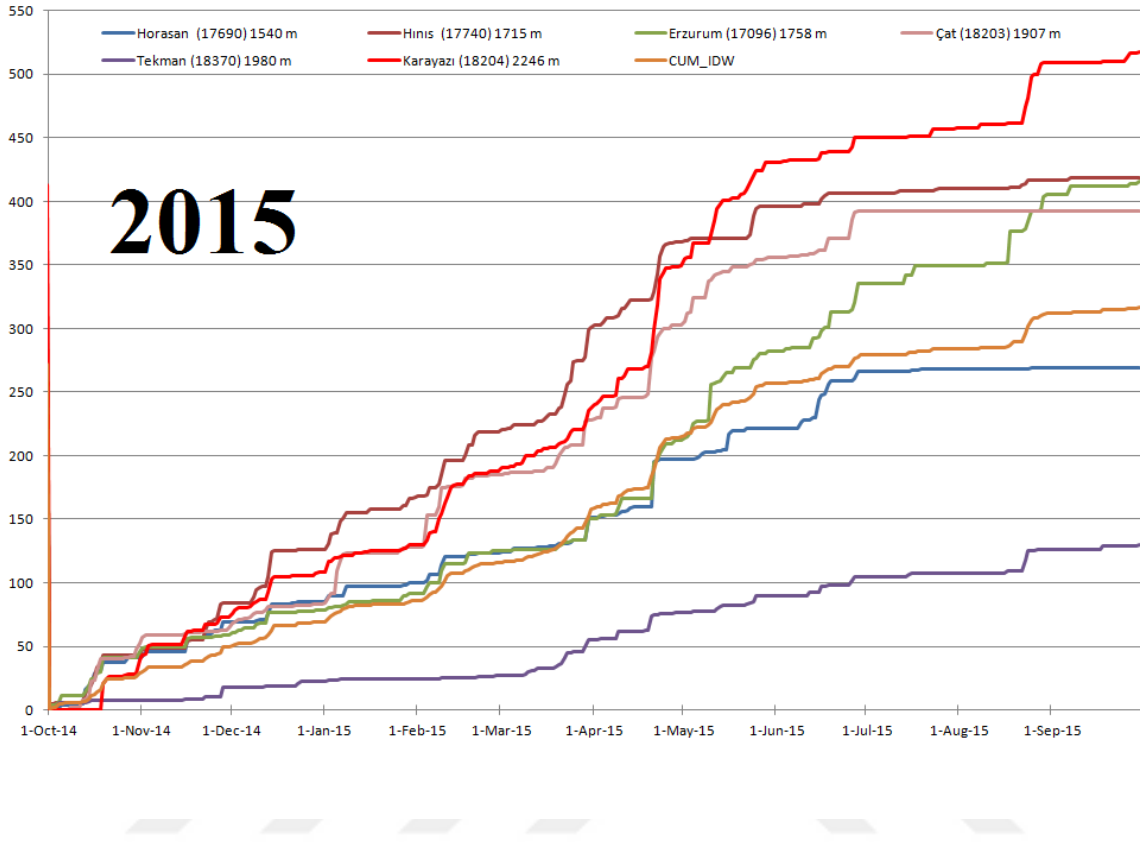
EK 4. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve noktasal yağış zaman serileri (2007-2015)



EK 4. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve noktasal yağış zaman serileri (2007-2015)



EK 4. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve noktasal yağış zaman serileri (2007-2015)



EK 5. Dağılımlı HEC-HMS SCS CN havza modeli ve model parametreleri

Subbasin	Canopy	Loss	Transform	Baseflow	Options
Basin Name: ARAS_GageInterp_SCSCN Element Name: W20 Description: Downstream: Outlet1 *Area (KM2): 2767.4 Latitude Degrees: Latitude Minutes: Latitude Seconds: Longitude Degrees: Longitude Minutes: Longitude Seconds: Canopy Method: Simple Canopy Surface Method: --None-- Loss Method: Gridded SCS Curve Number Transform Method: ModClark Baseflow Method: Linear Reservoir					
Basin Name: ARAS_GageInterp_SCSCN Element Name: W20 *Initial Storage (%): 100 *Max Storage (MM): 38 Crop Coefficient: 0.88 Evapotranspiration: Only Dry Periods Uptake Method: --None--					
Basin Name: ARAS_GageInterp_SCSCN Element Name: W20 *Curve Number Grid: Grid 1 *Ratio: 0.9 *Factor: 8					
Basin Name: ARAS_GageInterp_SCSCN Element Name: W20 *Time of Concentration (HR): 6 *Storage Coefficient (HR): 850 *Grid Region: ARAS_GageInterp					
Basin Name: ARAS_GageInterp_SCSCN Element Name: W20 Initial Type: Discharge *GW 1 Initial (M3/S): 3.9 *GW 1 Coefficient (HR): 155 GW 1 Reservoirs: 2 GW 2 Initial (M3/S): 2.6 GW 2 Coefficient (HR): 190 GW 2 Reservoirs: 2					

EK 6. Dağılımlı HEC-HMS SCS CN meteoroloji modeli

Meteorology Model

Basins

Met Name: Met_SCSCN
 Description:
 Unit System: **Metric**
 Shortwave: **--None--**
 Longwave: **--None--**
 Precipitation: **Gridded Precipitation**
 Evapotranspiration: **Monthly Average**
 Snowmelt: **Gridded Temperature Index**
 Replace Missing: **Set To Default**

Monthly Average

Month	Rate (MM/MONTH)	Coefficient
January	10	0.7
February	10	0.7
March	30	0.7
April	60	0.7
May	90	0.7
June	120	0.7
July	150	0.7
August	140	0.7
September	100	0.7
October	50	0.7
November	20	0.7
December	10	0.7

Gridded Temperature Index

Met Name: Met_SCSCN
 *Temperature Gridset: **Grid 1**
 Time Shift (HR): **0**
 Initial Values: **Default Values**
 *PX Temperature (C): **3.7**
 *Base Temperature (C): **3**
 *Wet Meltrate (MM/DEG C-DAY): **7.9**
 Rain Rate Limit (MM/DAY): **1.2**
 ATI-Meltrate Coefficient: **1**
 *ATI-Meltrate Function: **Table 1**
 Meltrate Pattern: **--None--**
 Cold Limit (MM/DAY): **1.5**
 ATI-Coldrate Coefficient: **0.99**
 ATI-Coldrate Function: **Table 1**
 Water Capacity (%): **0**
 Groundmelt Method: **Fixed Value**
 Groundmelt (MM/DAY): **0.2**

Paired Data

Table

Graph

ATI (DEG C-DAY)	Meltrate (MM/DEG C-DAY)
-40.0	0.00
-30.0	0.00
-20.0	0.00
-10.0	0.00
-5.0	0.00
-2.5	3.50
0.1	4.00
5.0	4.50
10.0	5.00
20.0	5.40
50.0	6.00
100.0	6.50
170.0	7.00
250.0	7.25
400.0	7.50

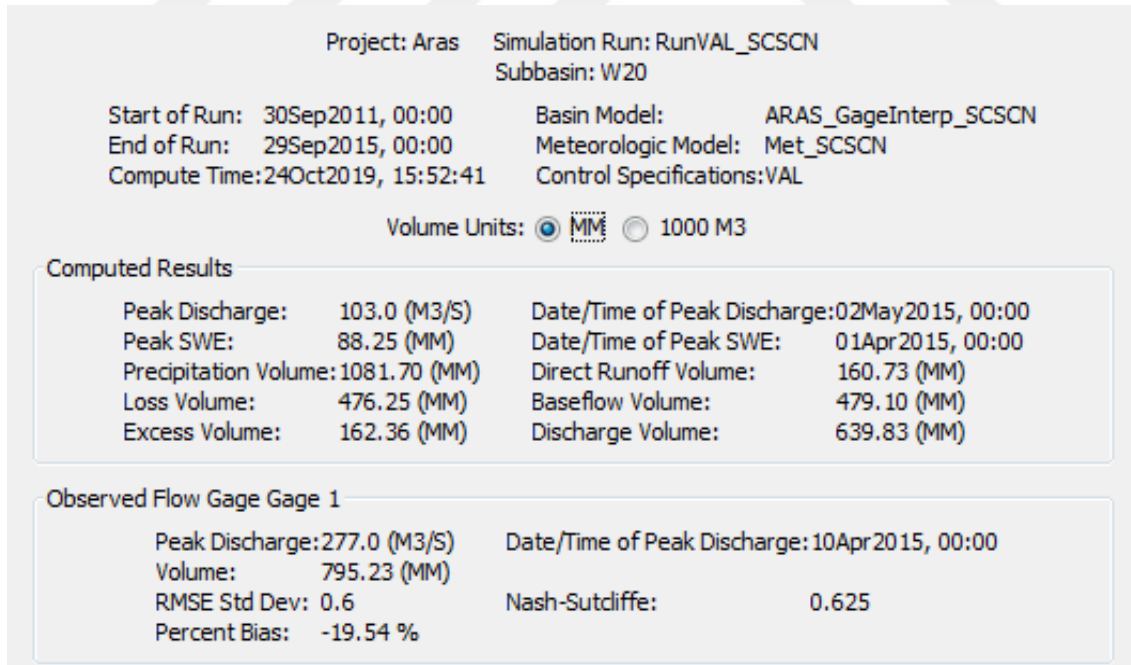
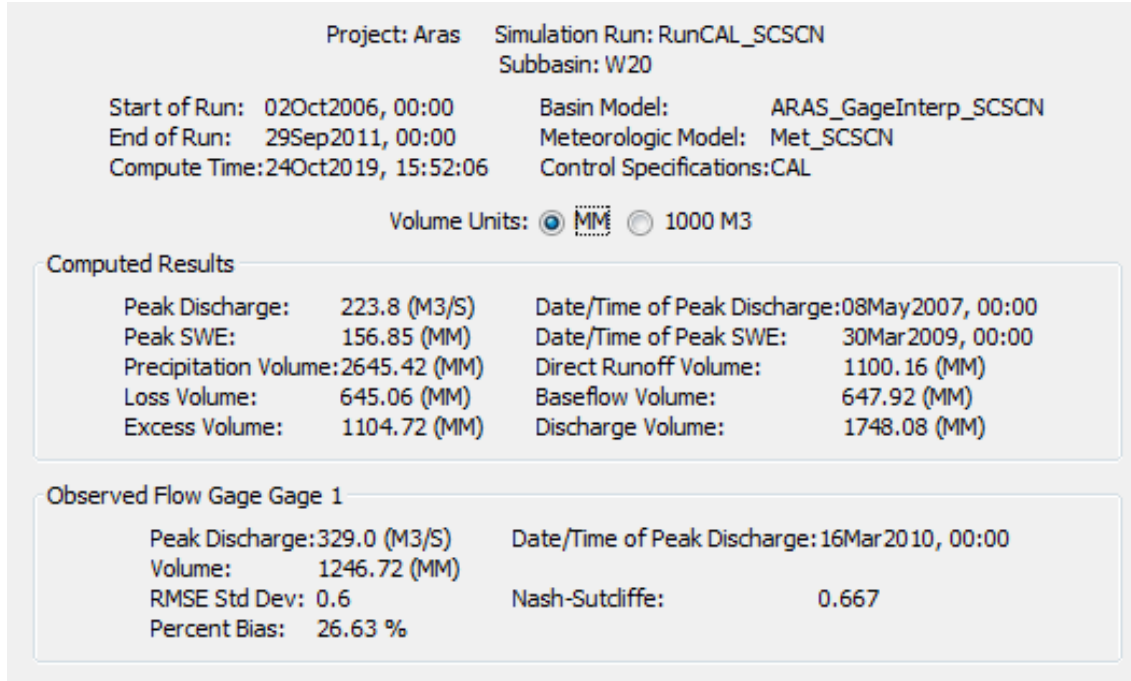
Paired Data

Table

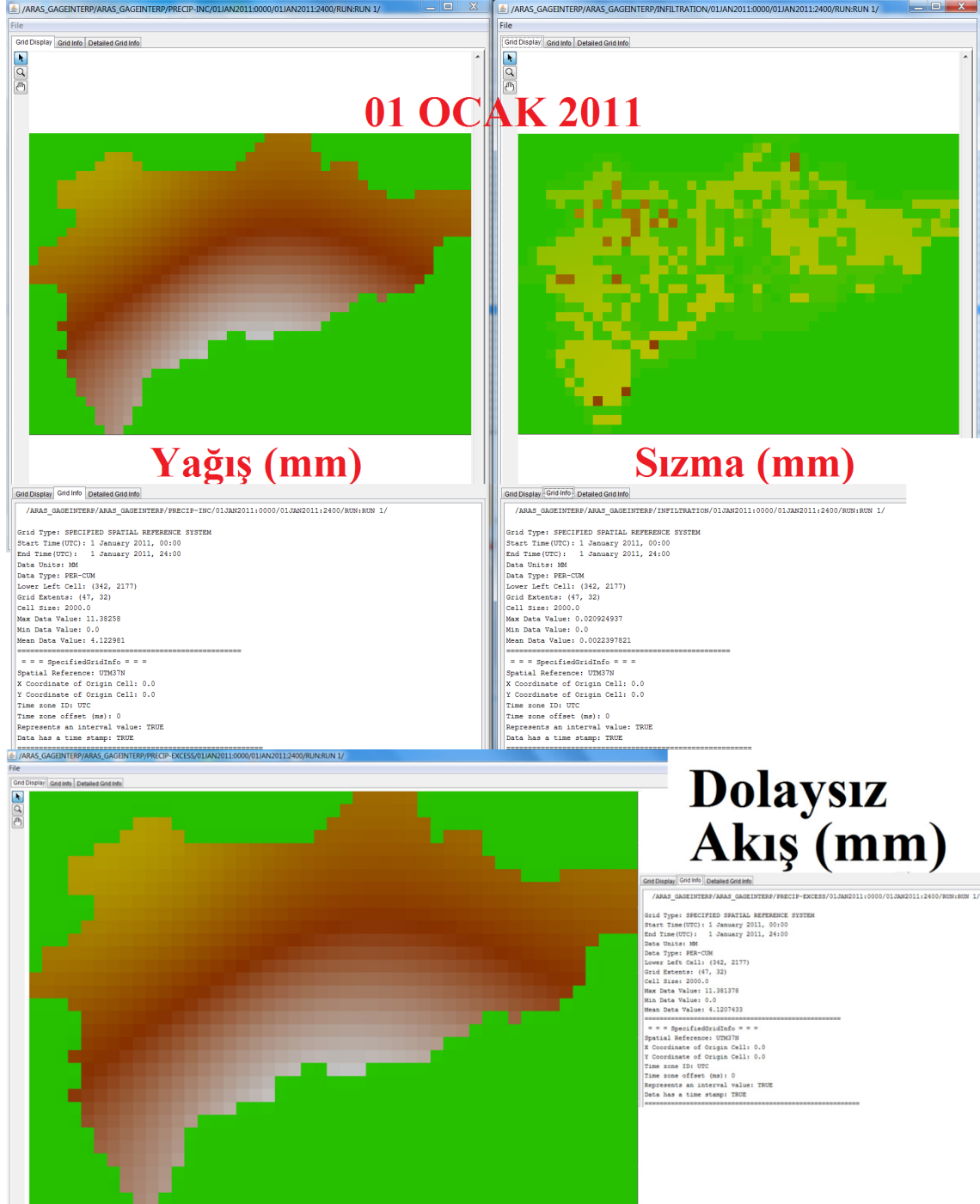
Graph

ATI (DEG C-DAY)	Coldrate (MM/DEG C-DAY)
-500.0	1.32
500.0	1.32

EK 7. Dağılımlı HEC-HMS SCS CN modeli kalibrasyon ve validasyon periyodu performans sonuçları



EK 8. Dağılımlı HEC-HMS SCS CN grid tabanlı yağış (girdi), sızma ve dolaysız akış (çıktılar) verileri (01.01.2011)



EK 9. Dağılımlı HEC-HMS SMA havza modeli ve model parametreleri

Subbasin | Loss | Transform | Baseflow | Options

Basin Name: ARAS_GageInterp_SMA
Element Name: W20

Description:

Downstream:

*Area (KM2)

Latitude Degrees:

Latitude Minutes:

Latitude Seconds:

Longitude Degrees:

Longitude Minutes:

Longitude Seconds:

Canopy Method:

Surface Method:

Loss Method:

Transform Method:

Baseflow Method:

Subbasin | Loss | Transform | Baseflow | Options

Basin Name: ARAS_GageInterp_SMA
Element Name: W20

*Max Infiltration Grid:

*Initial Soil (%)

*Soil Storage Grid:

*Tension Storage Grid:

*Soil Percolation Grid:

*Initial GW 1 (%)

*GW 1 Storage Grid:

*GW 1 Percolation Grid:

*GW 1 Coefficient Grid:

*Initial GW 2 (%)

*GW 2 Storage Grid:

*GW 2 Percolation Grid:

*GW 2 Coefficient Grid:

Storage Capacity Grids

- GW1Storage
- GW2Storage
- SoilStorage
- TensionStorage

Percolation Rate Grids

- GW1Percolation
- GW2Percolation
- MaxInfiltration
- SoilPercolation

Storage Coefficient Grids

- GW1Coefficient
- GW2Coefficient

Subbasin | Loss | Transform | Baseflow | Options

Basin Name: ARAS_GageInterp_SMA
Element Name: W20

*Time of Concentration (HR)

*Storage Coefficient (HR)

*Grid Region:

Subbasin | Loss | Transform | Baseflow | Options

Basin Name: ARAS_GageInterp_SMA
Element Name: W20

*January (M3/S)	7
*February (M3/S)	9
*March (M3/S)	20
*April (M3/S)	47
*May (M3/S)	50
*June (M3/S)	20
*July (M3/S)	10
*August (M3/S)	9
*September (M3/S)	7
*October (M3/S)	7
*November (M3/S)	7
*December (M3/S)	7

EK 10. Dağılımlı HEC-HMS SMA meteoroloji modeli

Meteorology Model

Basins

Met Name: Met_SMA
 Description:
 Unit System: **Metric**
 Shortwave: **--None--**
 Longwave: **--None--**
 Precipitation: **Gridded Precipitation**
 Evapotranspiration: **Monthly Average**
 Snowmelt: **Gridded Temperature Index**
 Replace Missing: **Set To Default**

Gridded Temperature Index
Met Name: Met_SMA
 *Temperature Gridset: **Grid 1**
 Time Shift (HR):
 Initial Values: **Default Values**
 *PX Temperature (C):
 *Base Temperature (C):
 *Wet Meltrate (MM/DEG C-DAY):
 Rain Rate Limit (MM/DAY):
 ATI-Meltrate Coefficient:
 *ATI-Meltrate Function: **Table 1**
 Meltrate Pattern: **--None--**
 Cold Limit (MM/DAY):
 ATI-Coldrate Coefficient:
 ATI-Coldrate Function: **Table 1**
 Water Capacity (%):
 Groundmelt Method: **Fixed Value**
 Groundmelt (MM/DAY):

Monthly Average

Met Name: Met_SCSCN

Month	Rate (MM/MONTH)	Coefficient
January	10	0.7
February	10	0.7
March	30	0.7
April	60	0.7
May	90	0.7
June	120	0.7
July	150	0.7
August	140	0.7
September	100	0.7
October	50	0.7
November	20	0.7
December	10	0.7

Paired Data

Table

Graph

ATI (DEG C-DAY)	Meltrate (MM/DEG C-DAY)
-40.0	0.00
-30.0	0.00
-20.0	0.00
-10.0	0.00
-5.0	0.00
-2.5	3.50
0.1	4.00
5.0	4.50
10.0	5.00
20.0	5.40
50.0	6.00
100.0	6.50
170.0	7.00
250.0	7.25
400.0	7.50

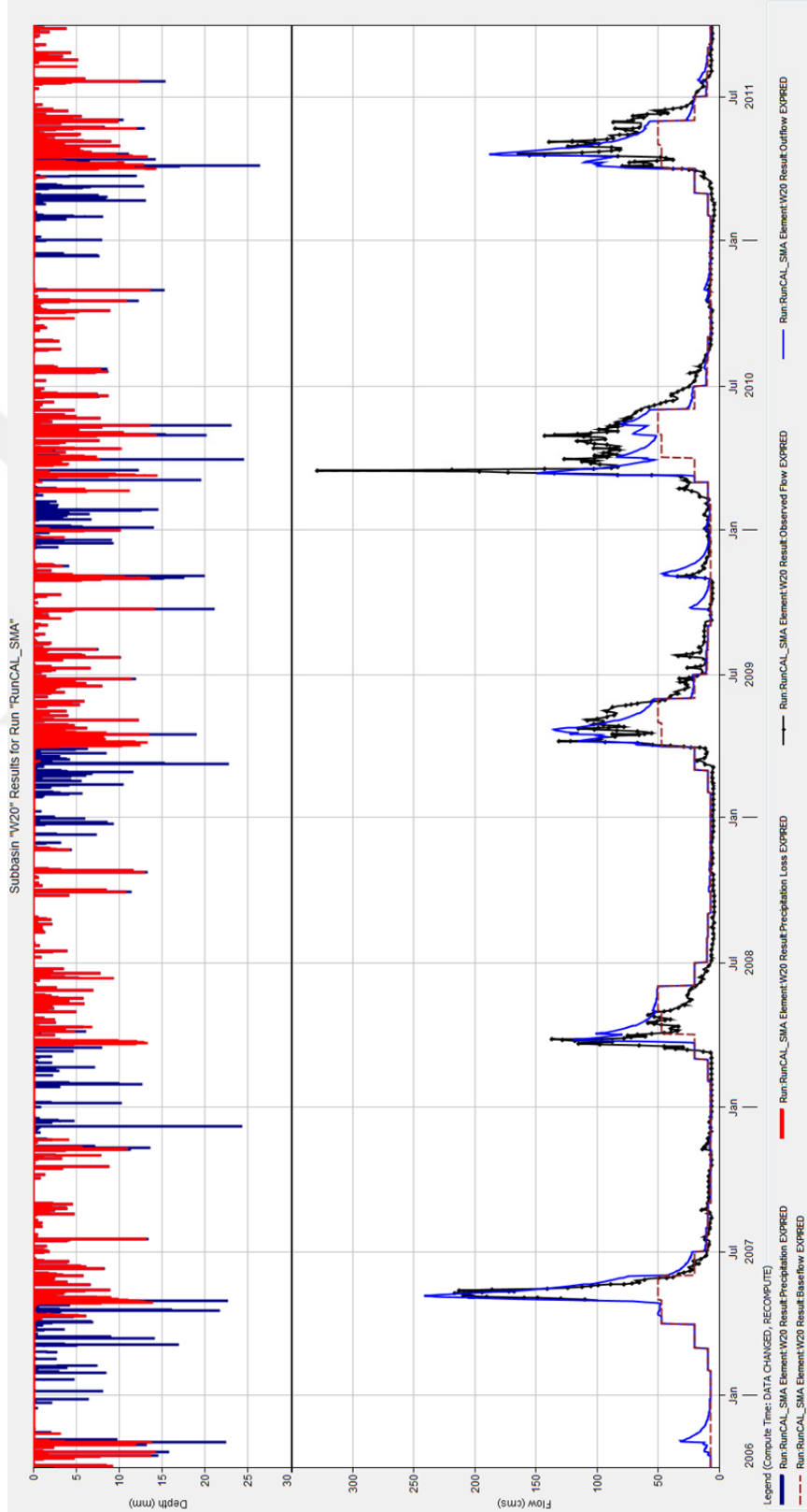
Paired Data

Table

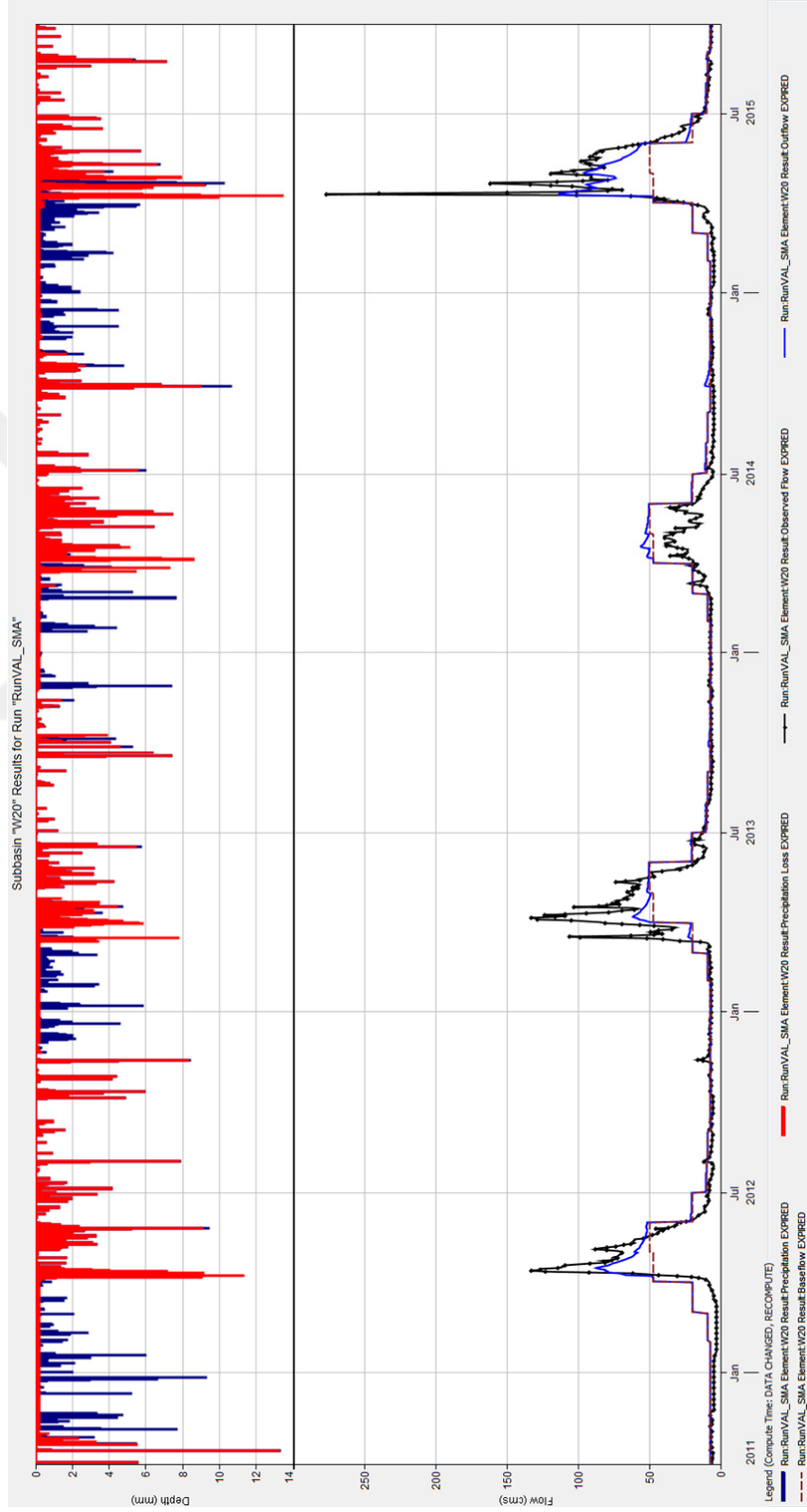
Graph

ATI (DEG C-DAY)	Coldrate (MM/DEG C-DAY)
-500.0	1.32
500.0	1.32

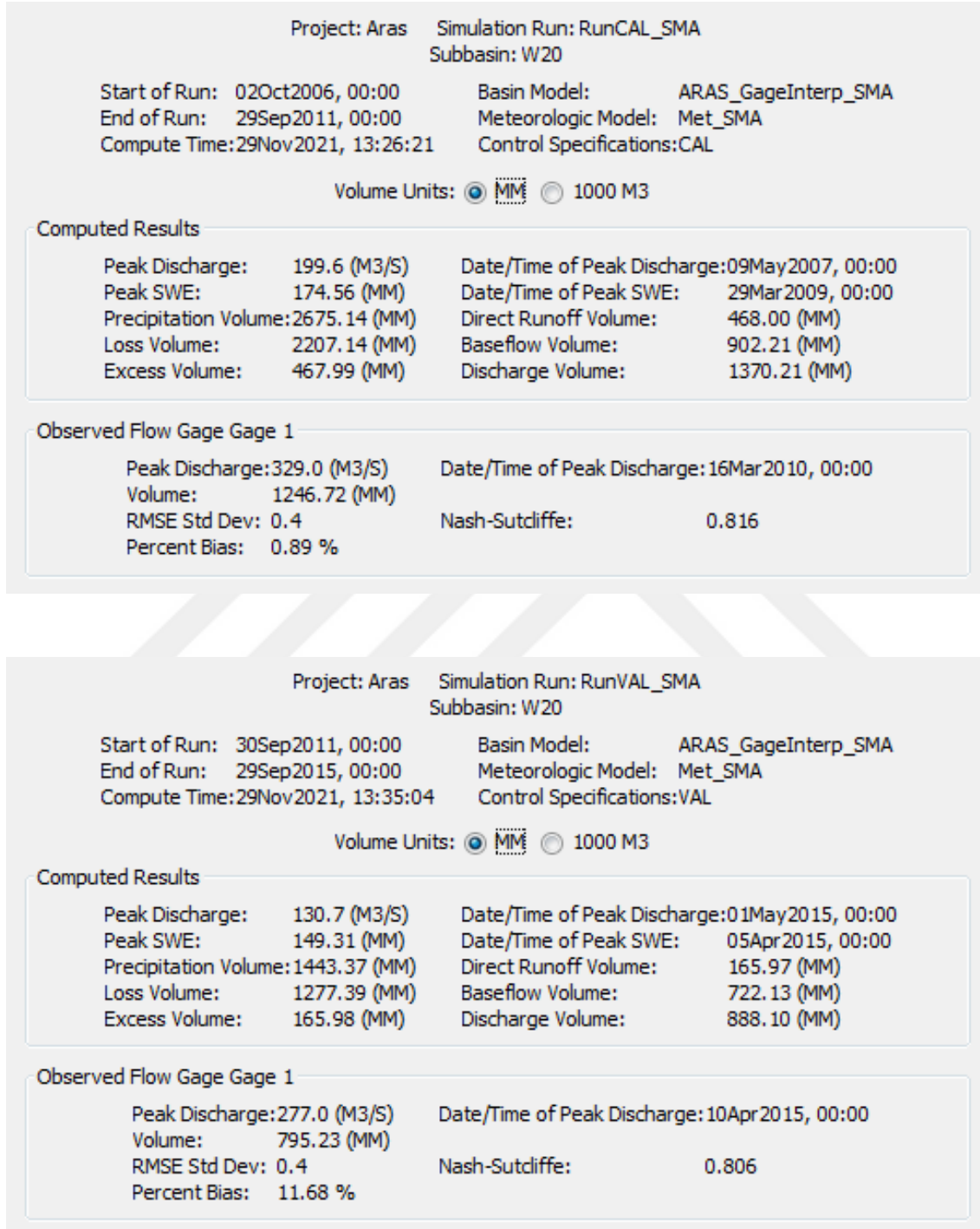
EK 11. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon periyodu hidrograf karşılaştırması



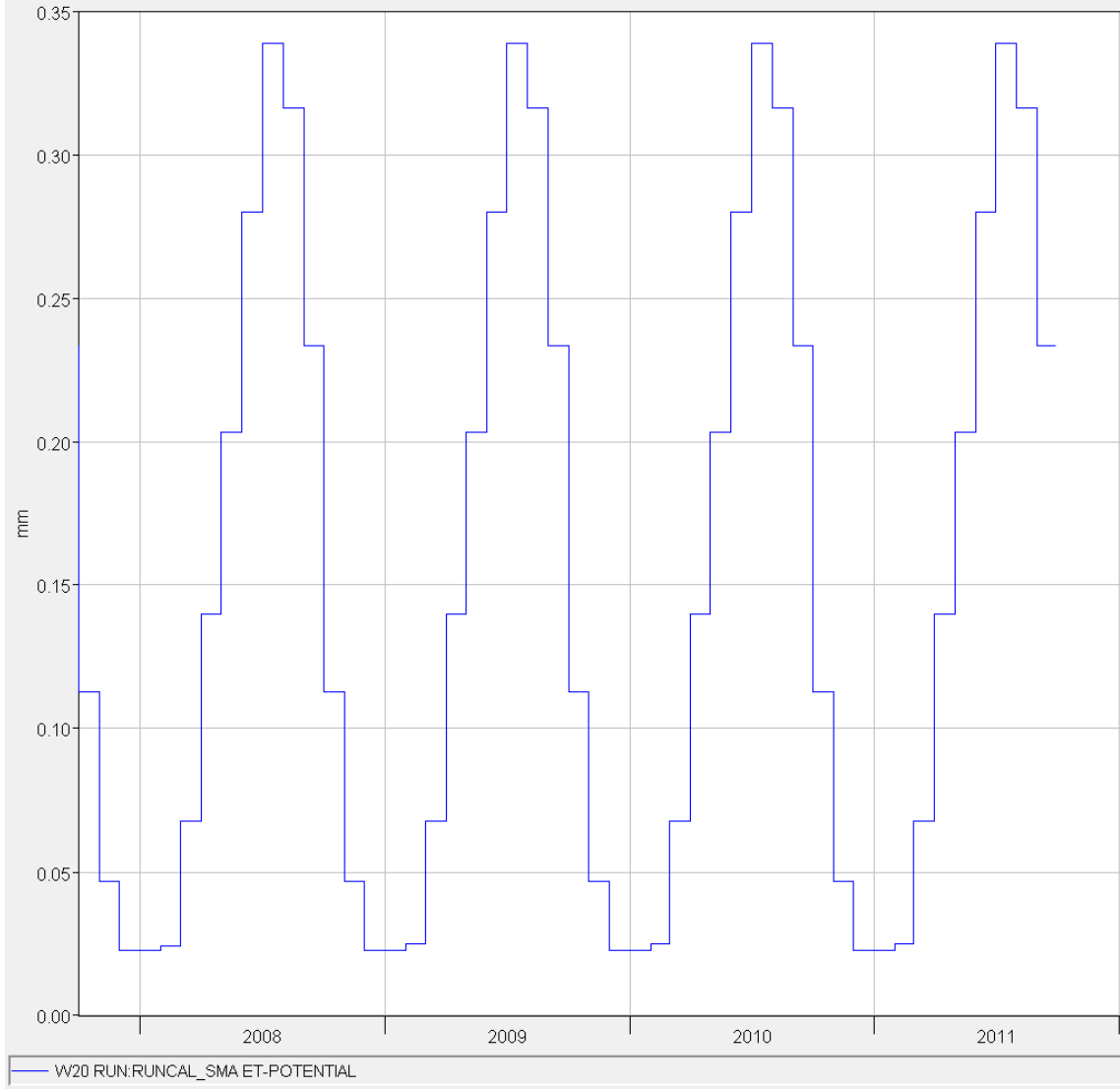
EK 11. (Devam) Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli validasyon periyodu hidrograf karşılaştırması



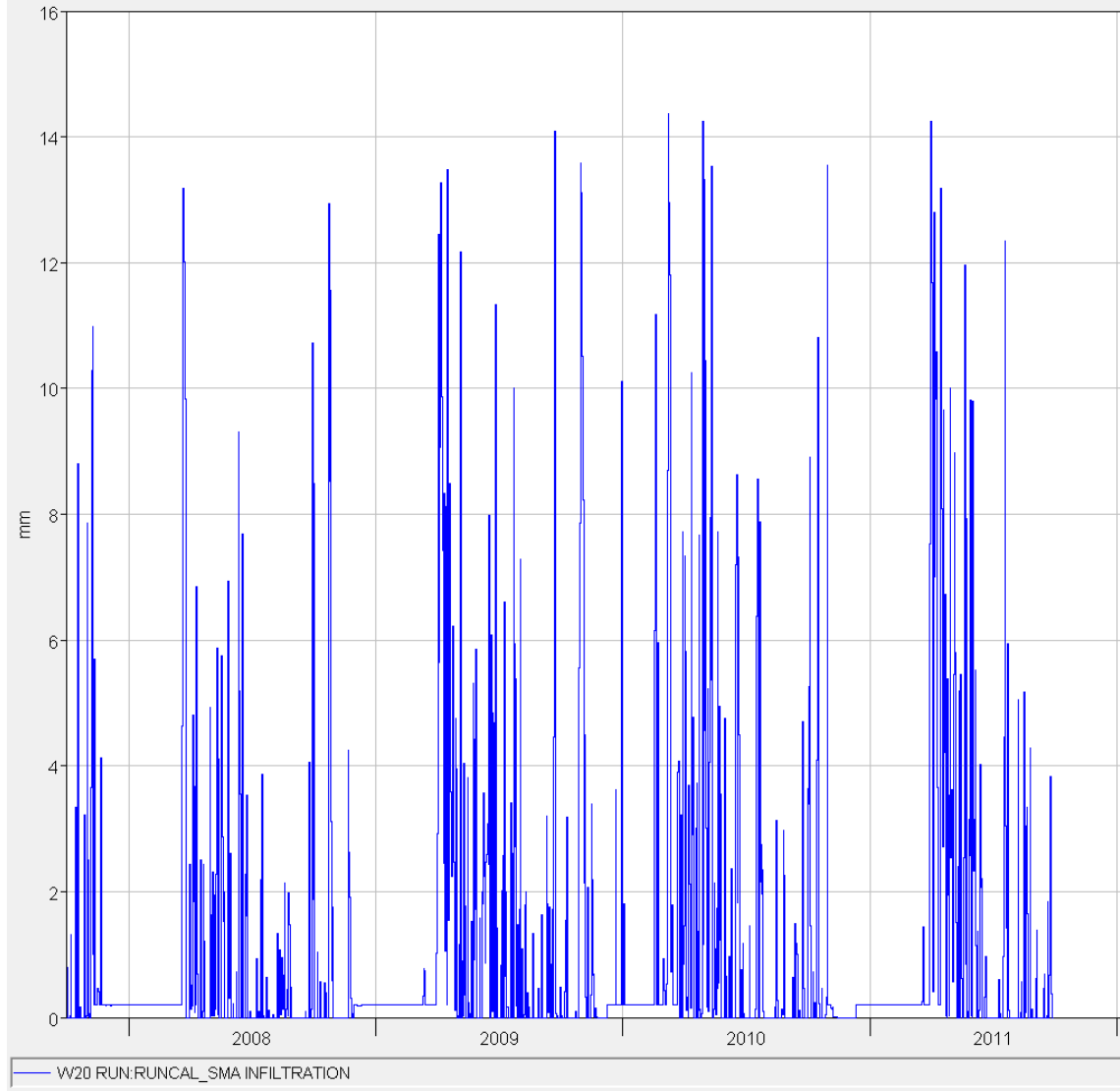
EK 12. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon ve validasyon periyodu performans sonuçları



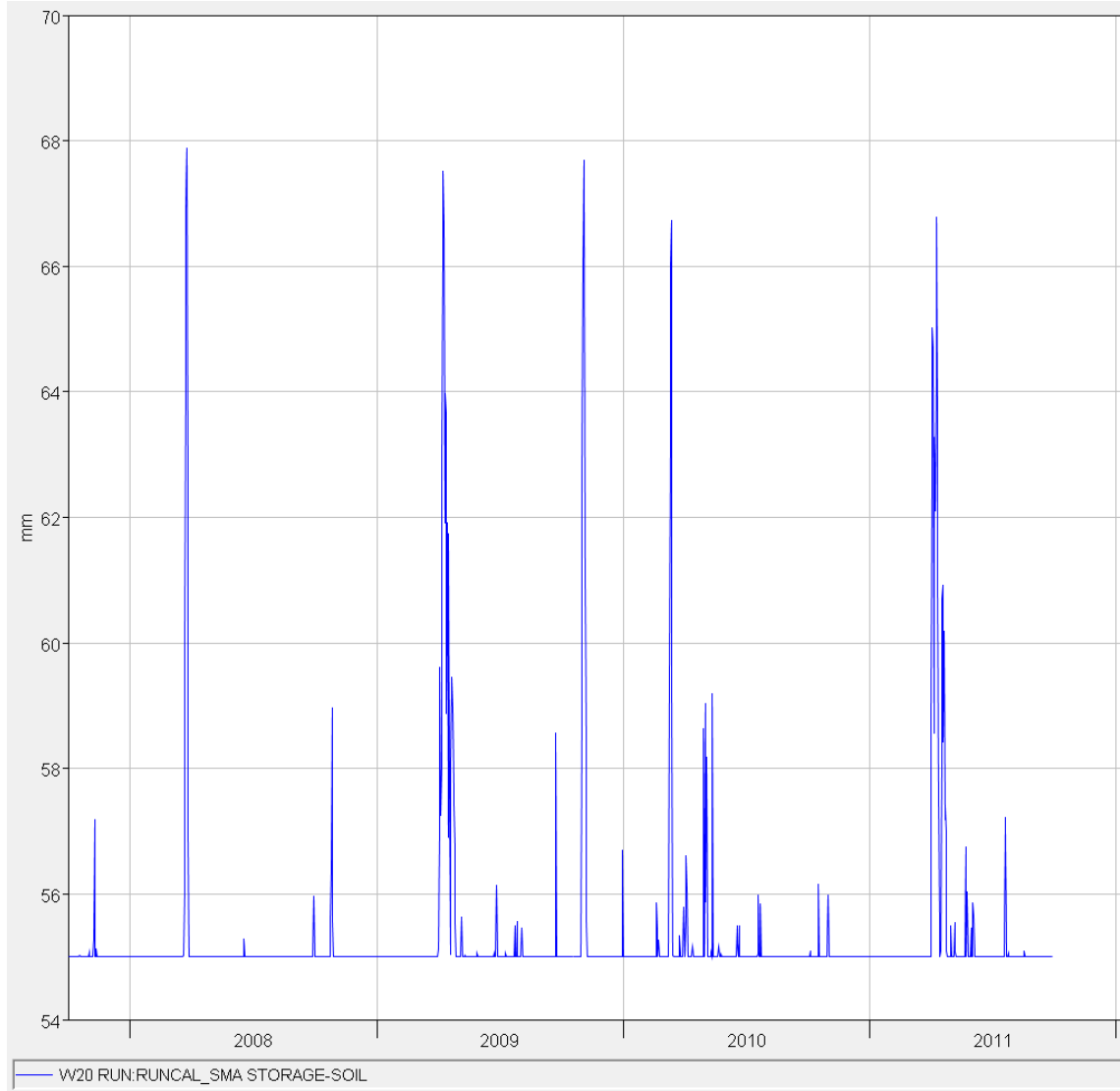
EK 13. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon periyodu potansiyel ET değerleri



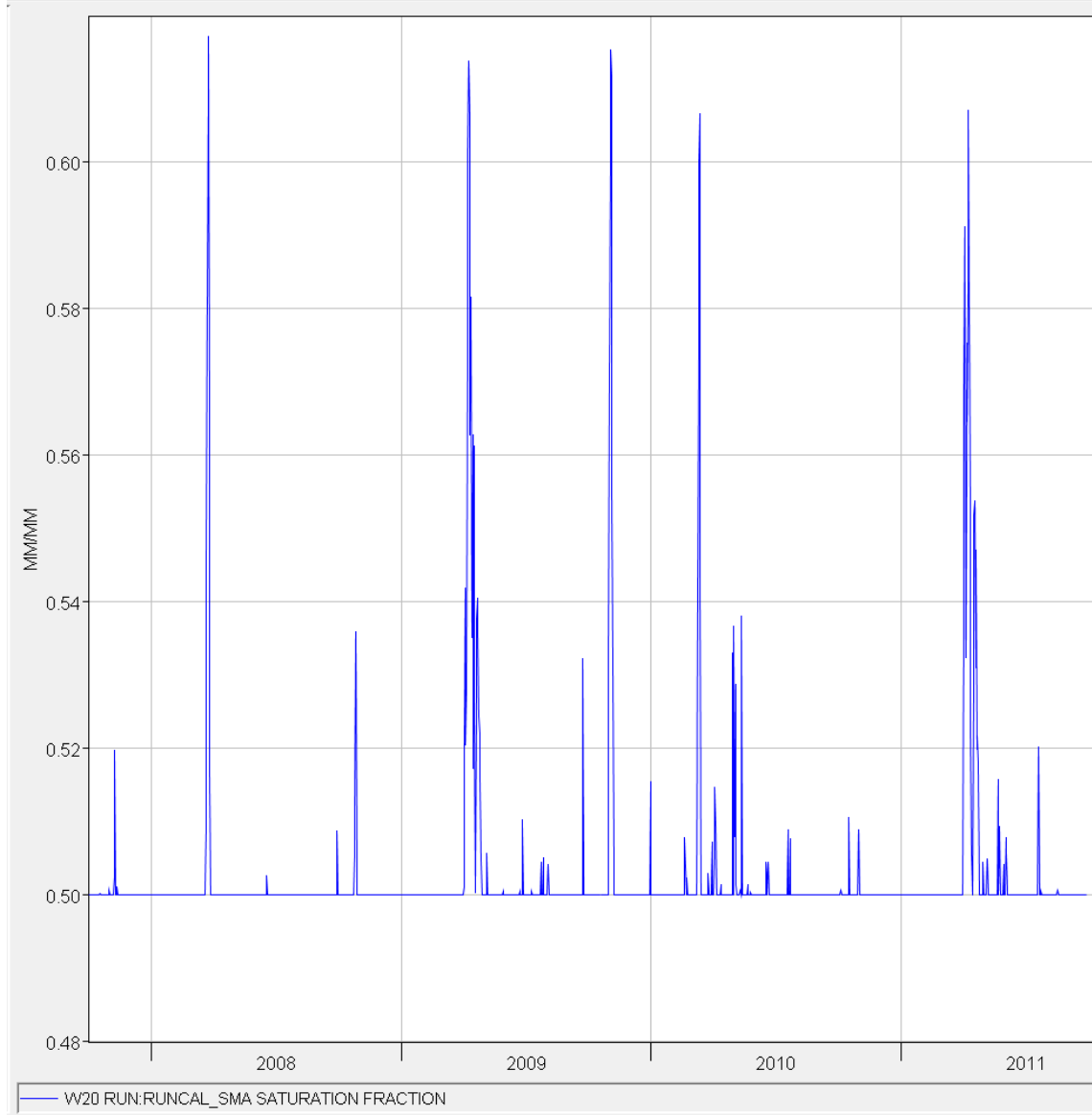
EK 14. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon periyodu sızma kayıpları



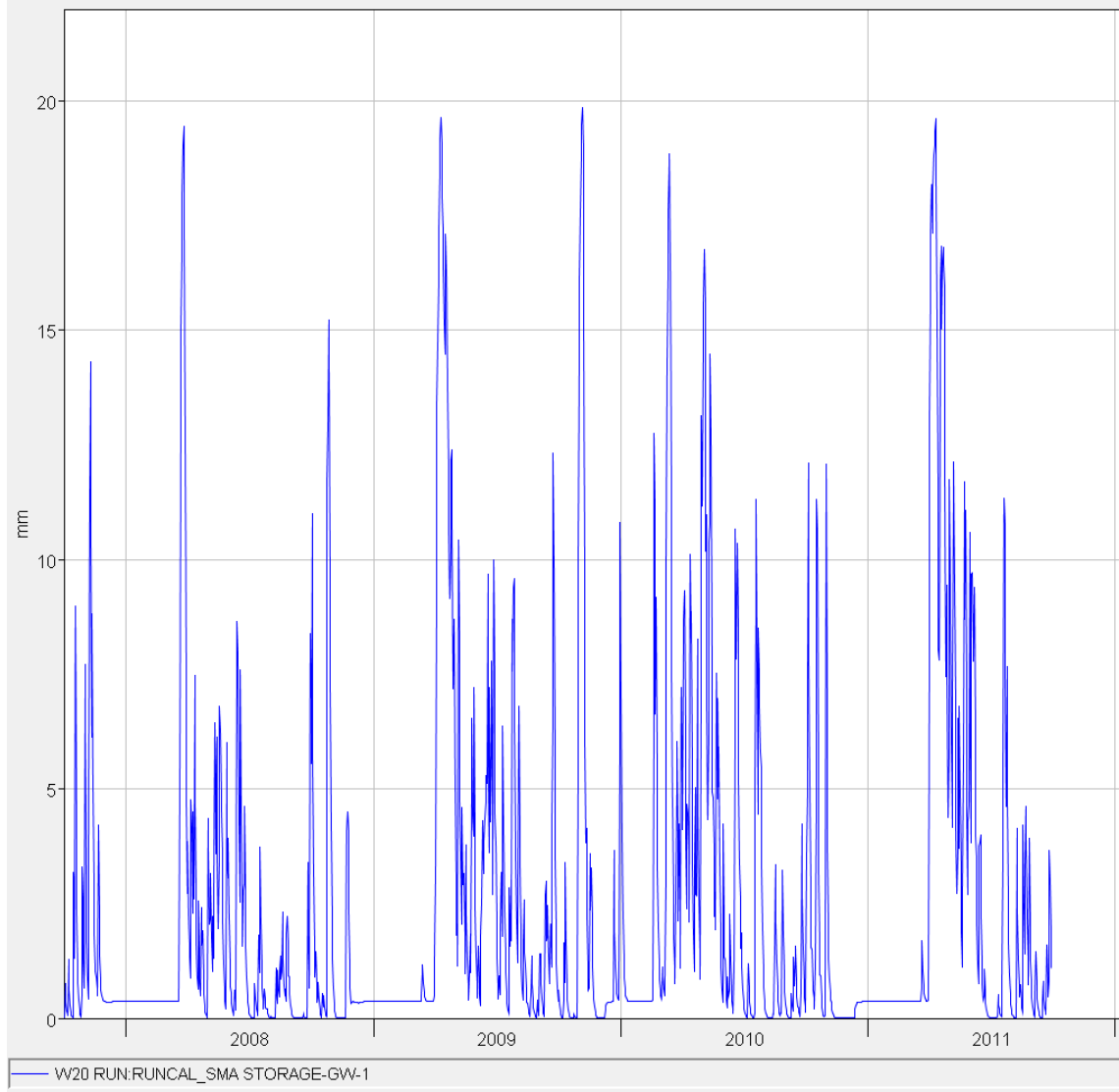
EK 15. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon periyodu zemin depolaması



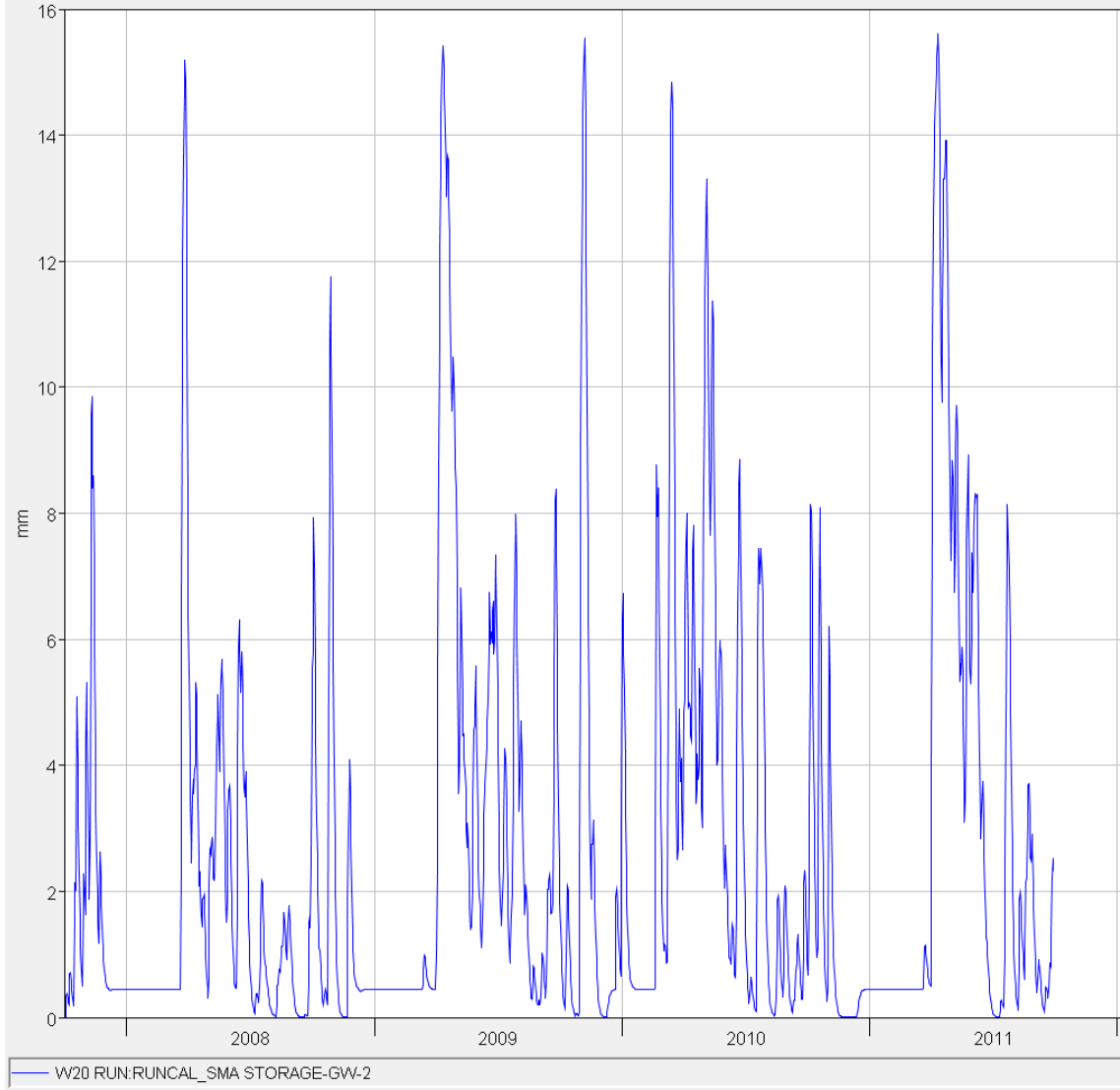
EK 16. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon periyodu zemin doygunluk oranı



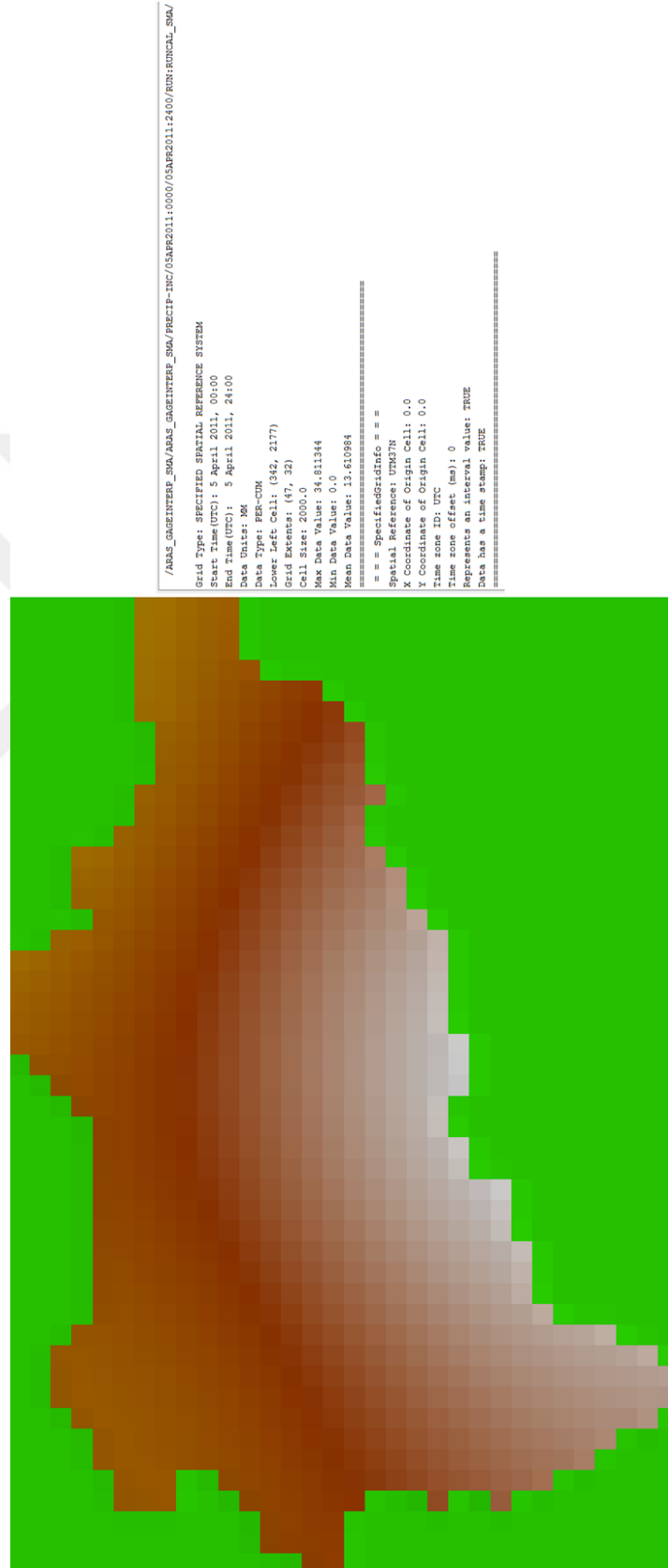
EK 17. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon periyodu YAS tabakası-1 depolaması



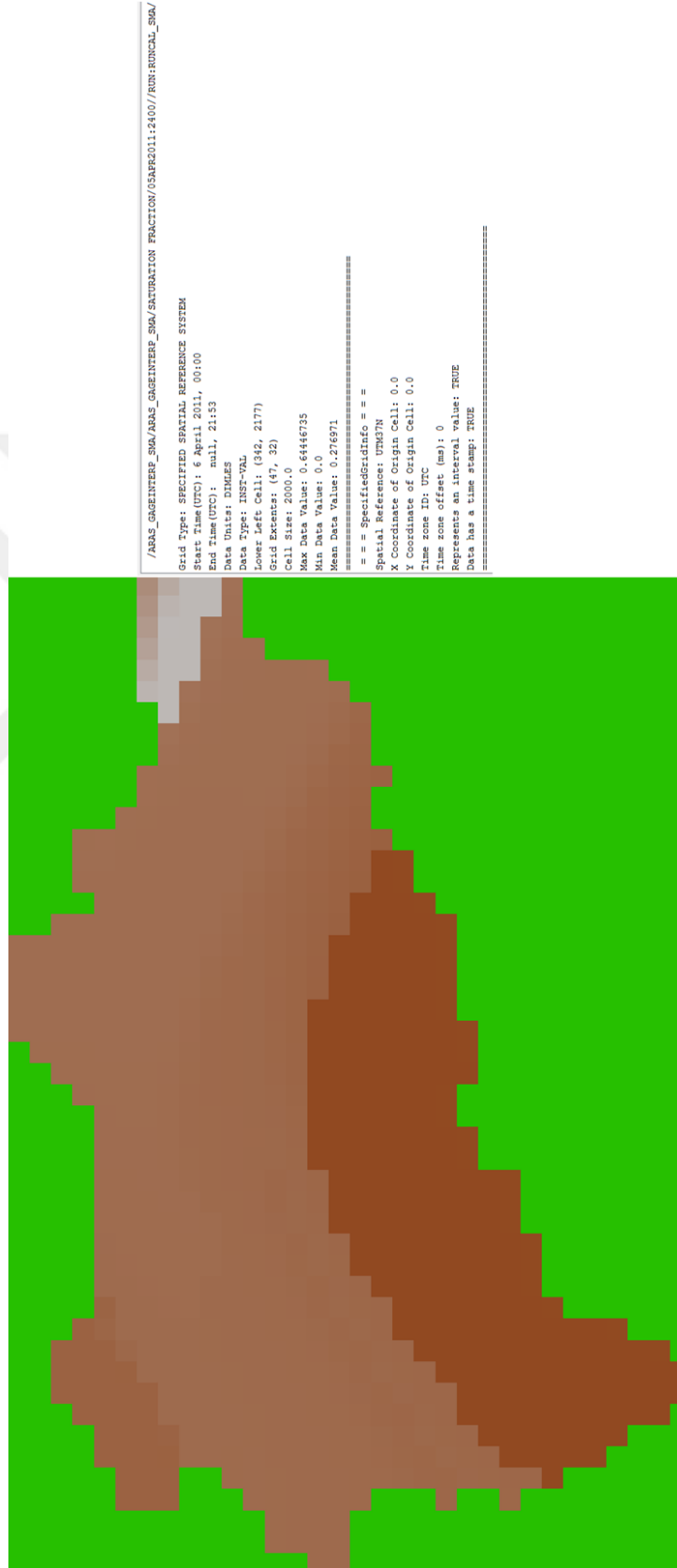
EK 18. Dağılımlı HEC-HMS SMA modeli kalibrasyon periyodu YAS tabakası-2 depolaması



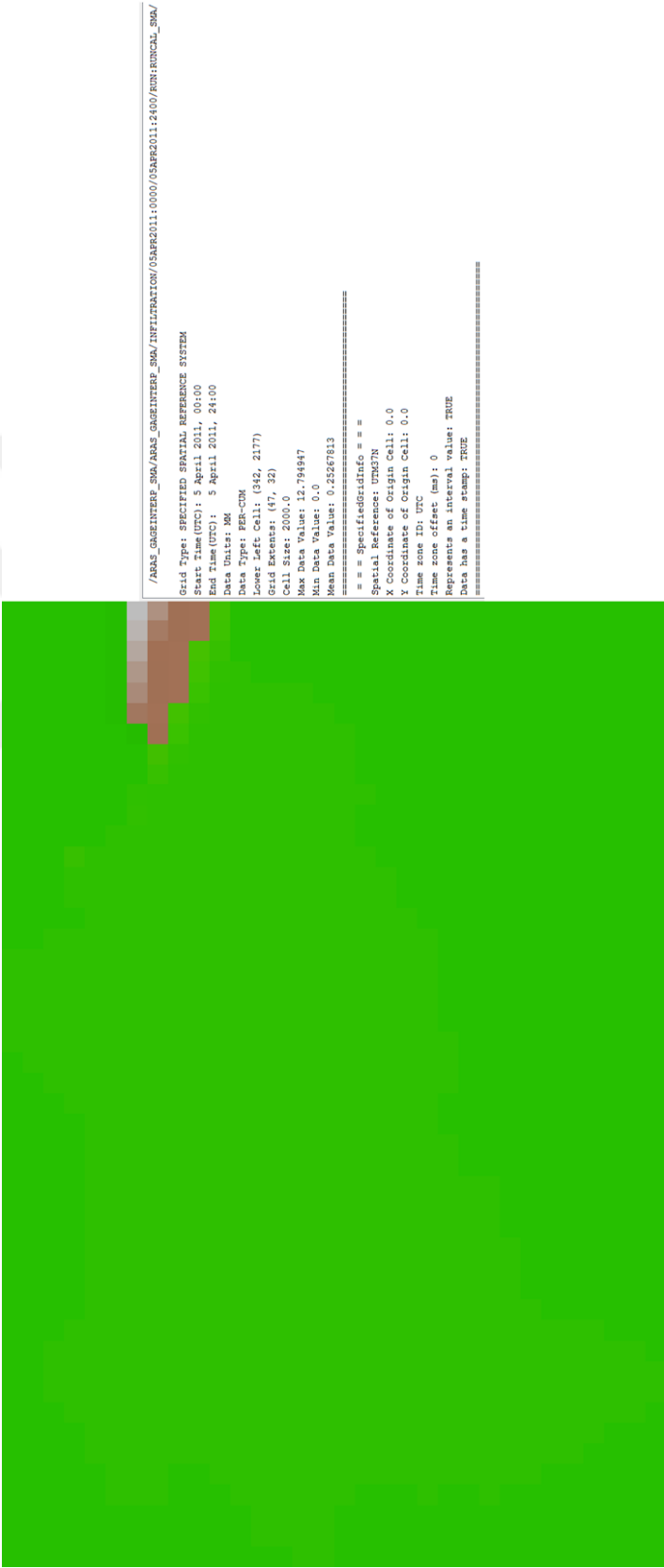
EK 19. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı yağış verisi (5 Nisan 2011)



EK 20. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı zemin doygunluk oranı (5 Nisan 2011)



EK 21. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı sızma (5 Nisan 2011)



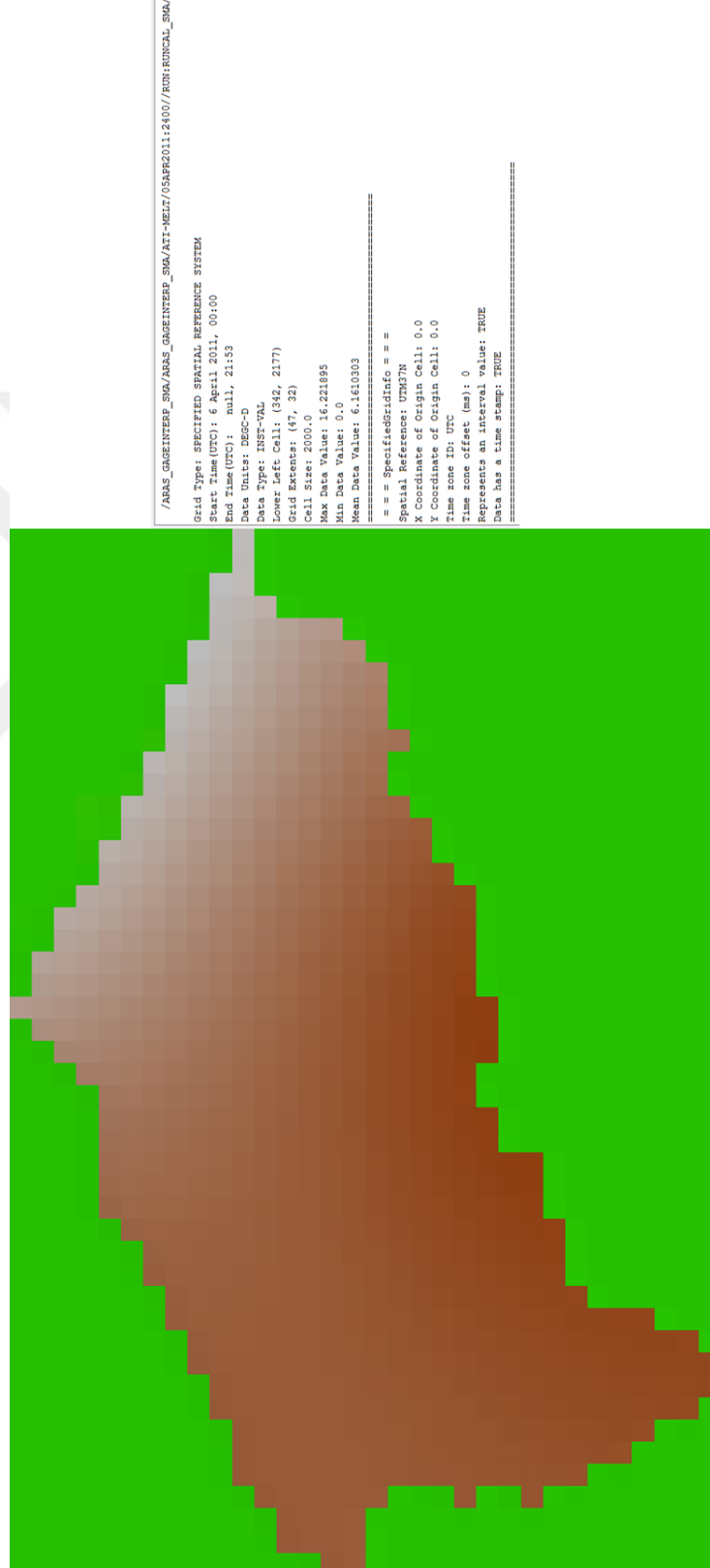
EK 22. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı sıcaklık indeksi donma durumu (5 Nisan 2011)



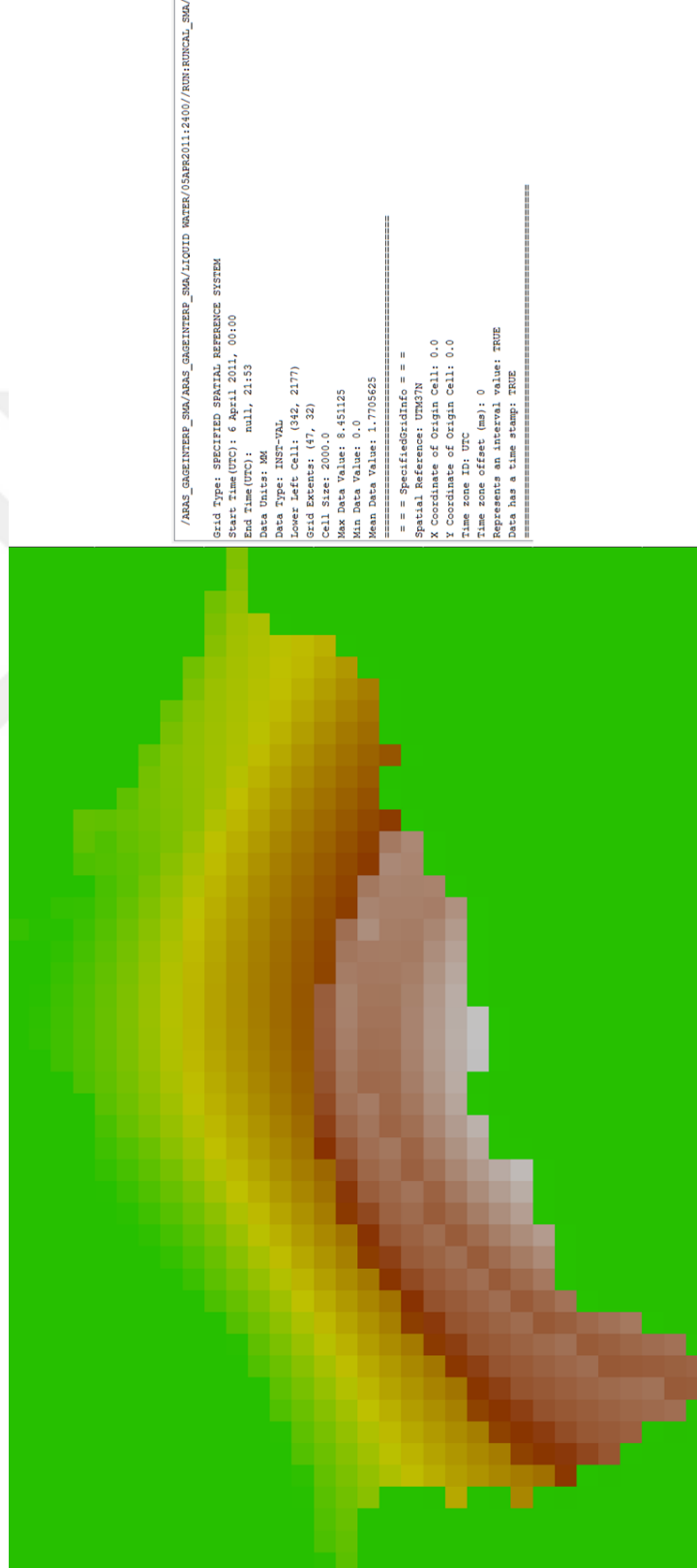
EK 23. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı donma miktarı (5 Nisan 2011)



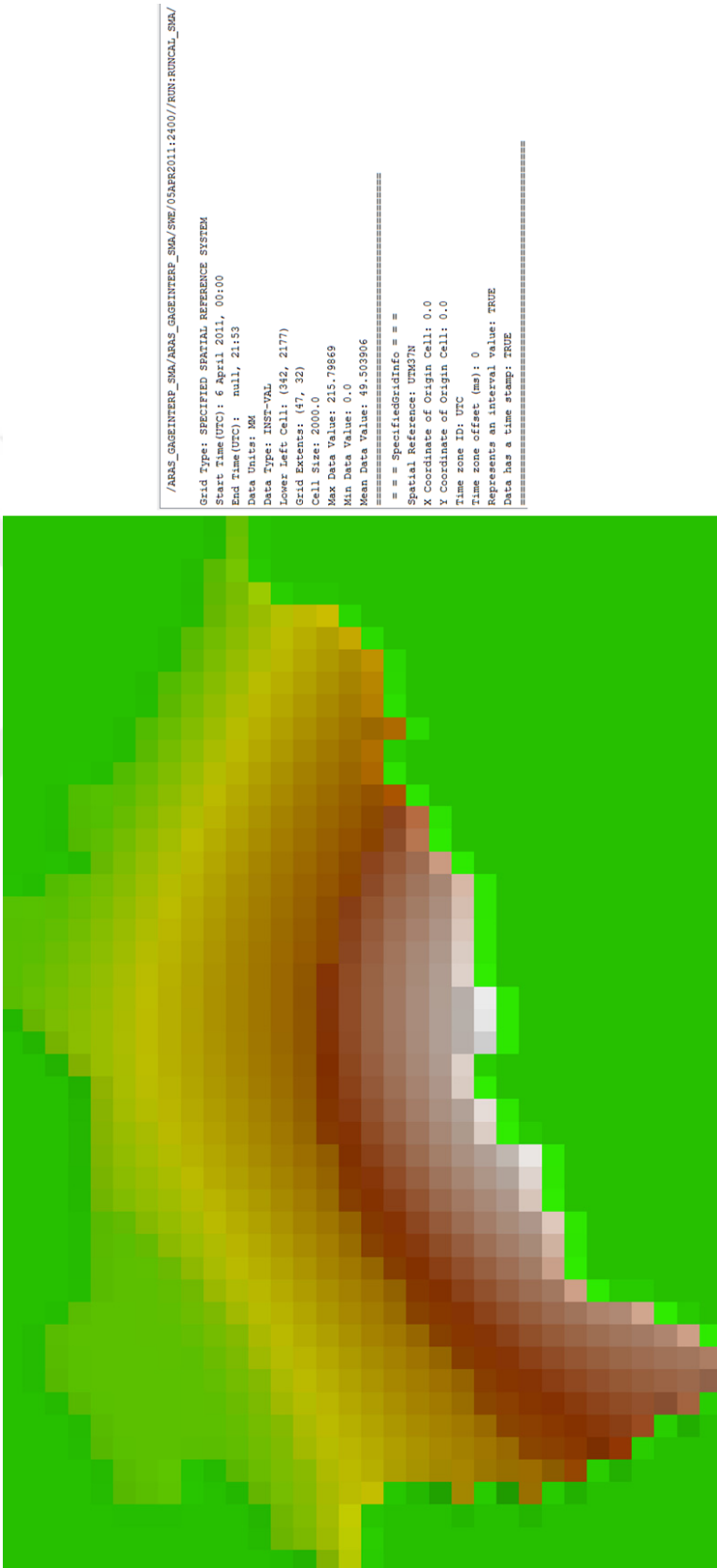
EK 24. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı sıcaklık indeksi erime durumu (5 Nisan 2011)



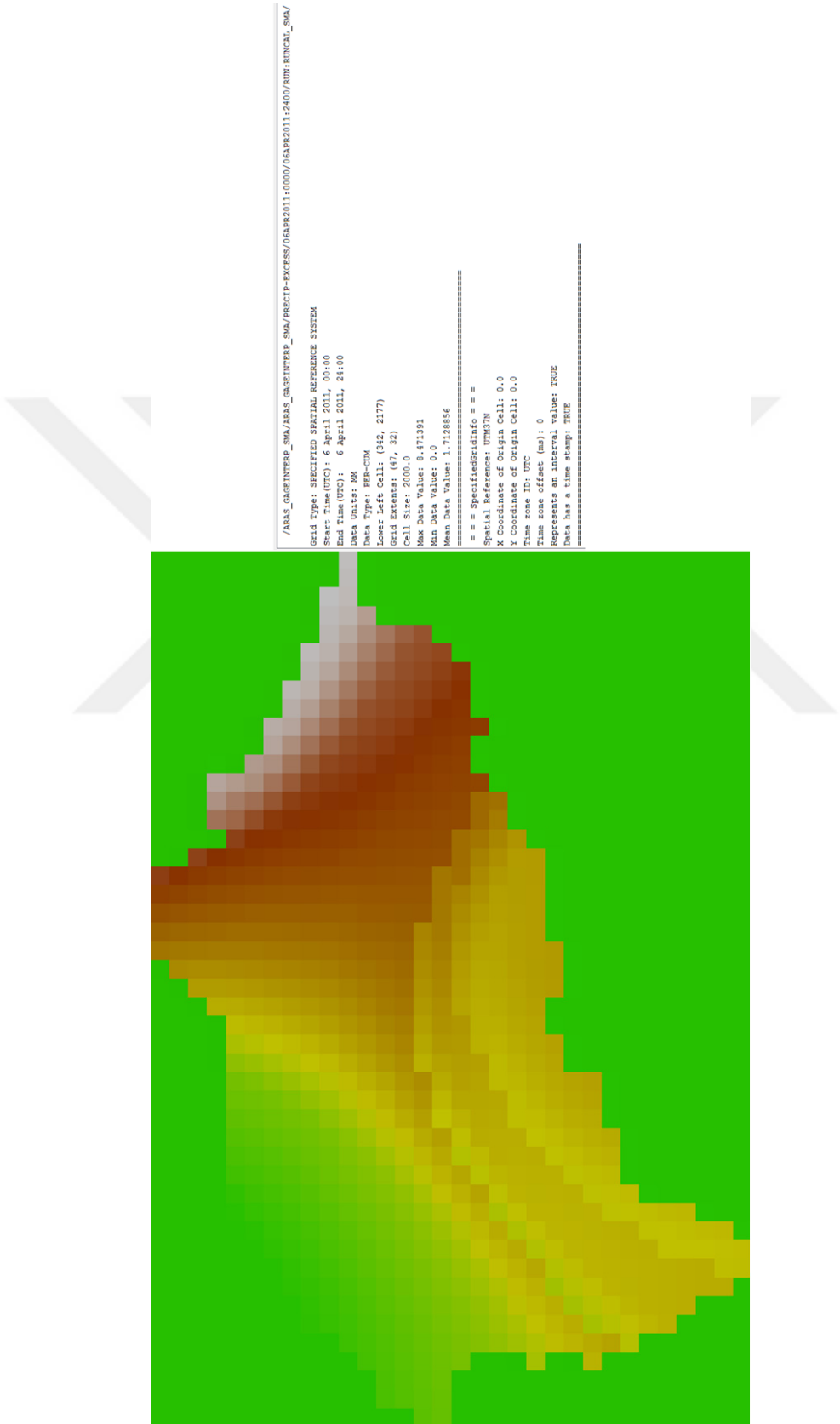
EK 25. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı kar erimesi likit su miktarı (5 Nisan 2011)



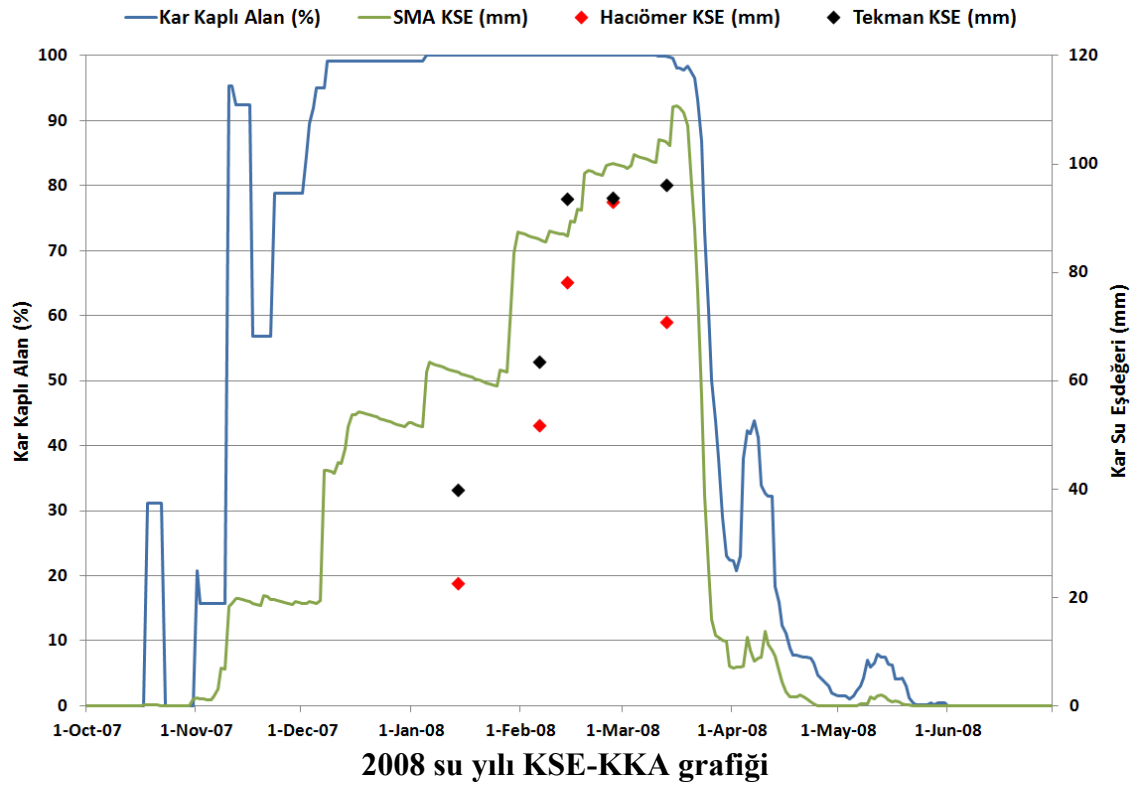
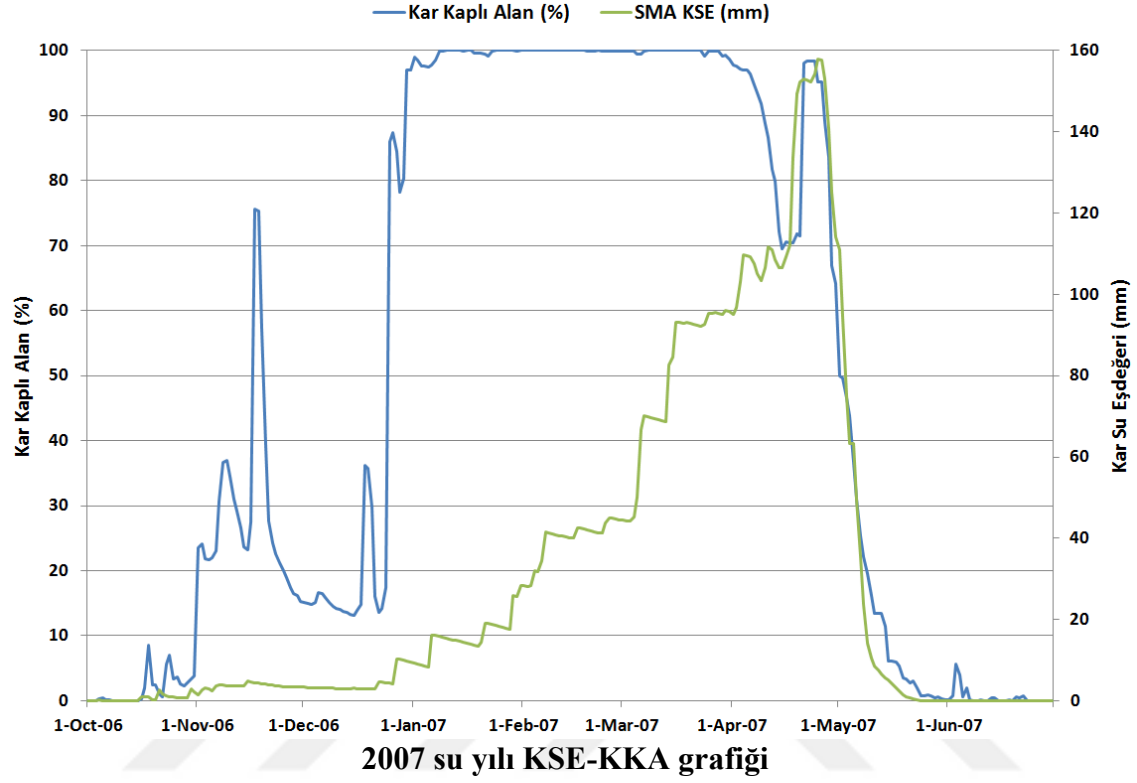
EK 26. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı KSE (5 Nisan 2011)



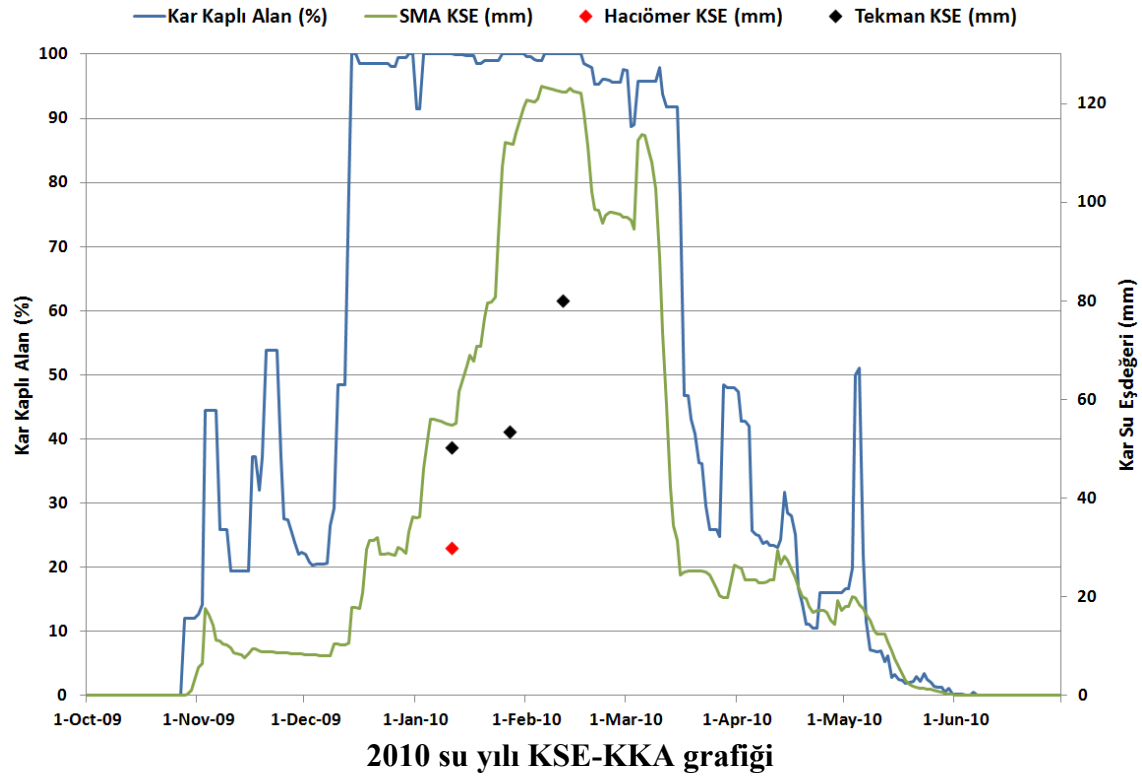
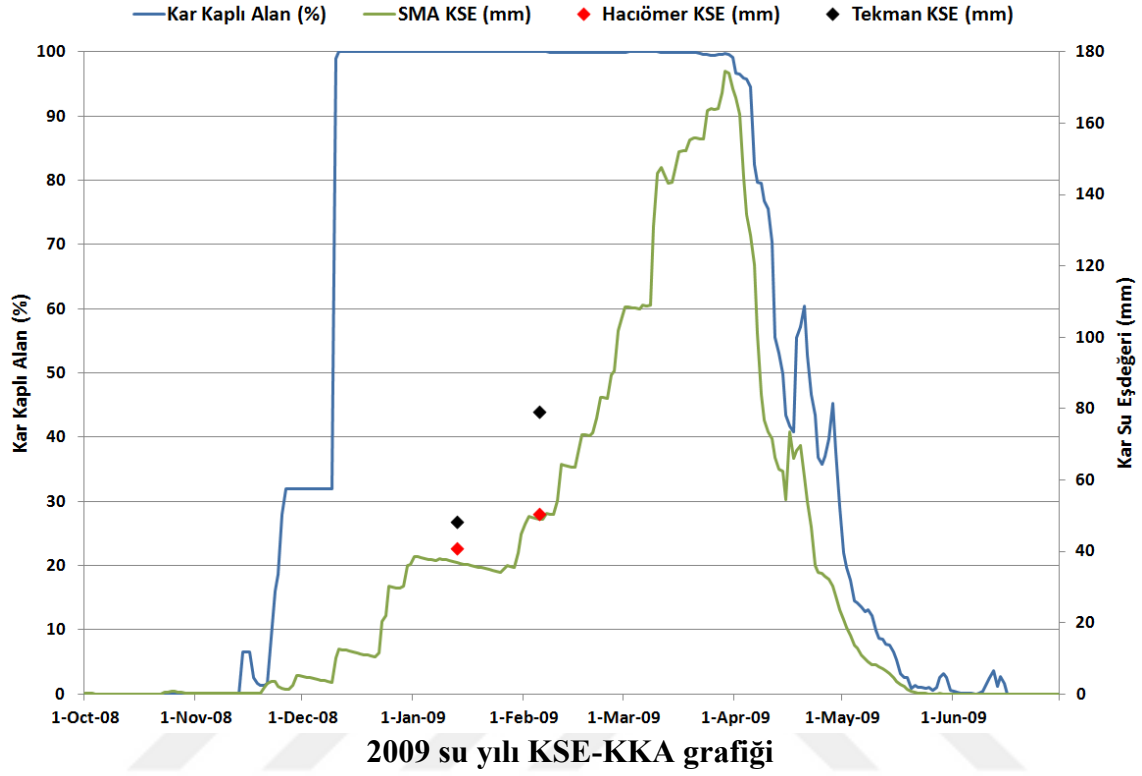
EK 27. Dağılımlı HEC-HMS SMA grid tabanlı dolaysız akış çıktısı (6 Nisan 2011)



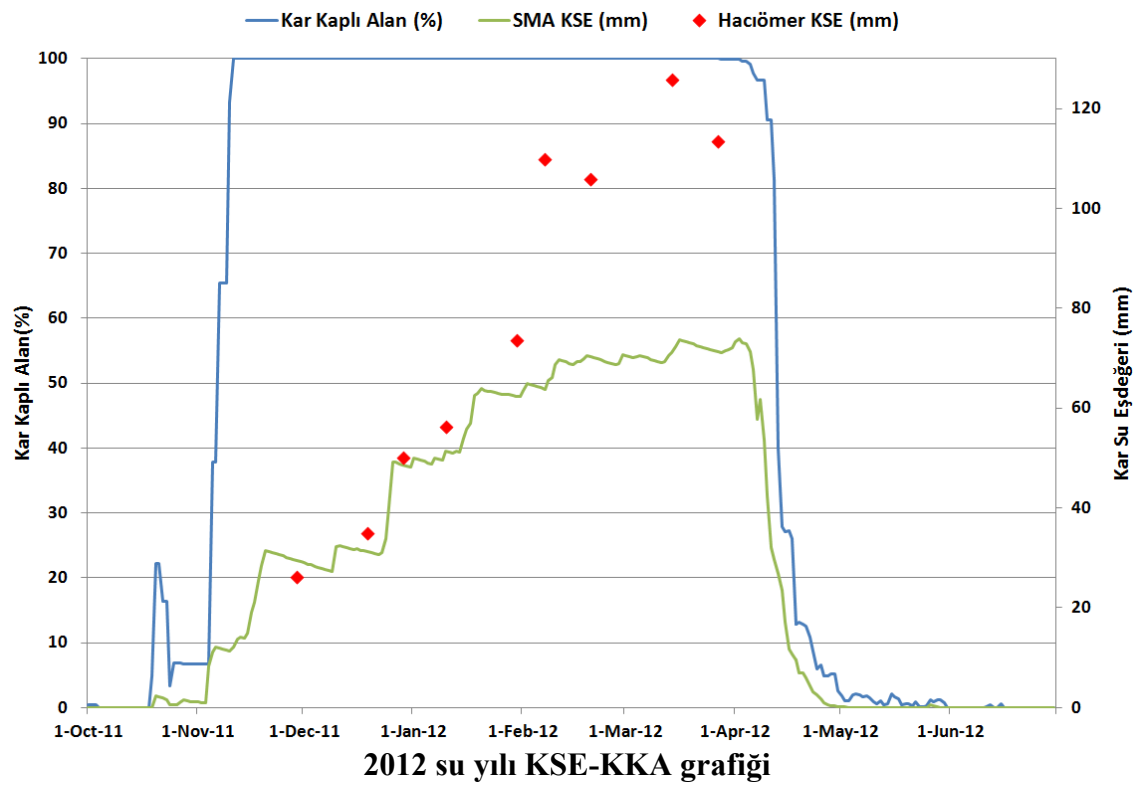
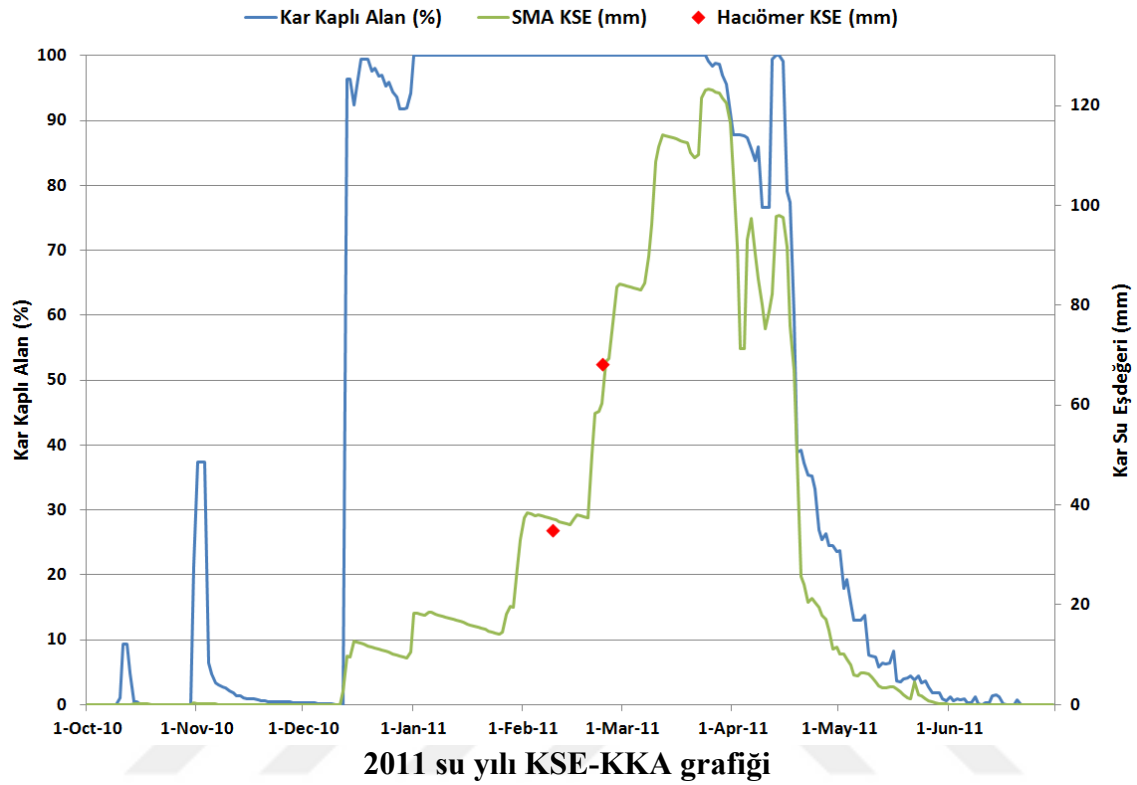
EK 28. Dağılımlı HEC-HMS SMA-yer gözlem ve uydu kar karşılaştırmaları (2007-2015)



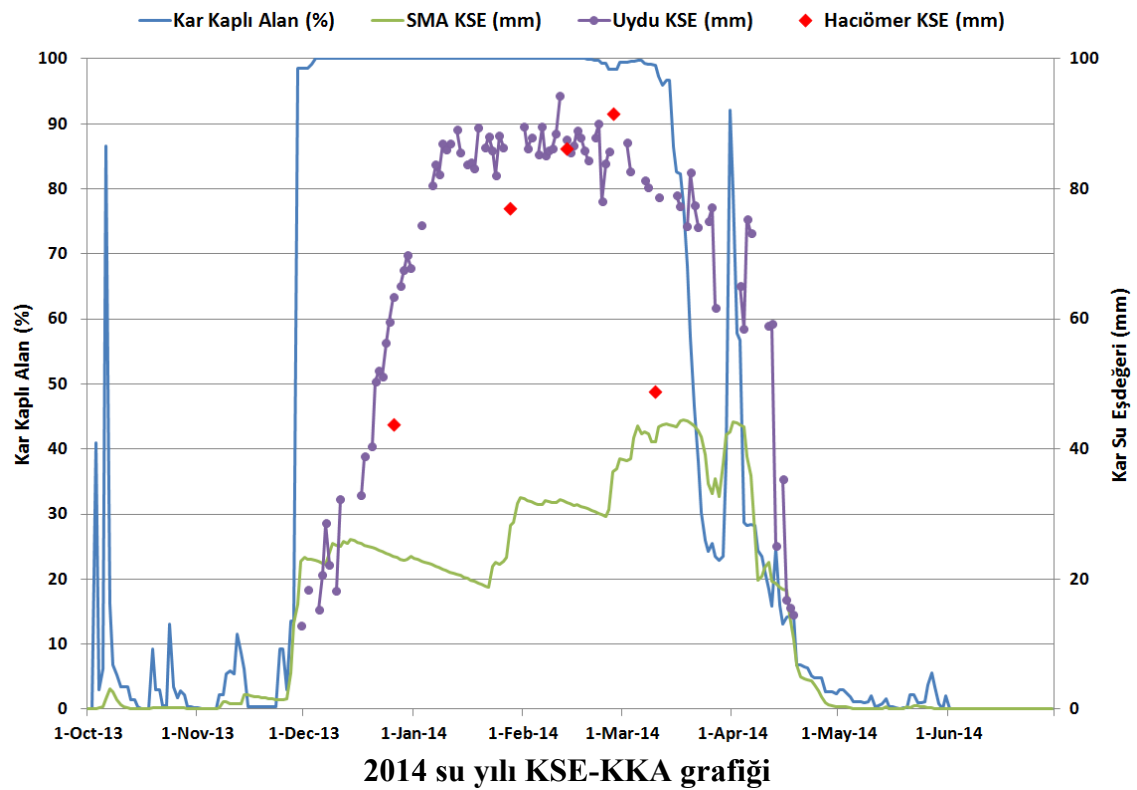
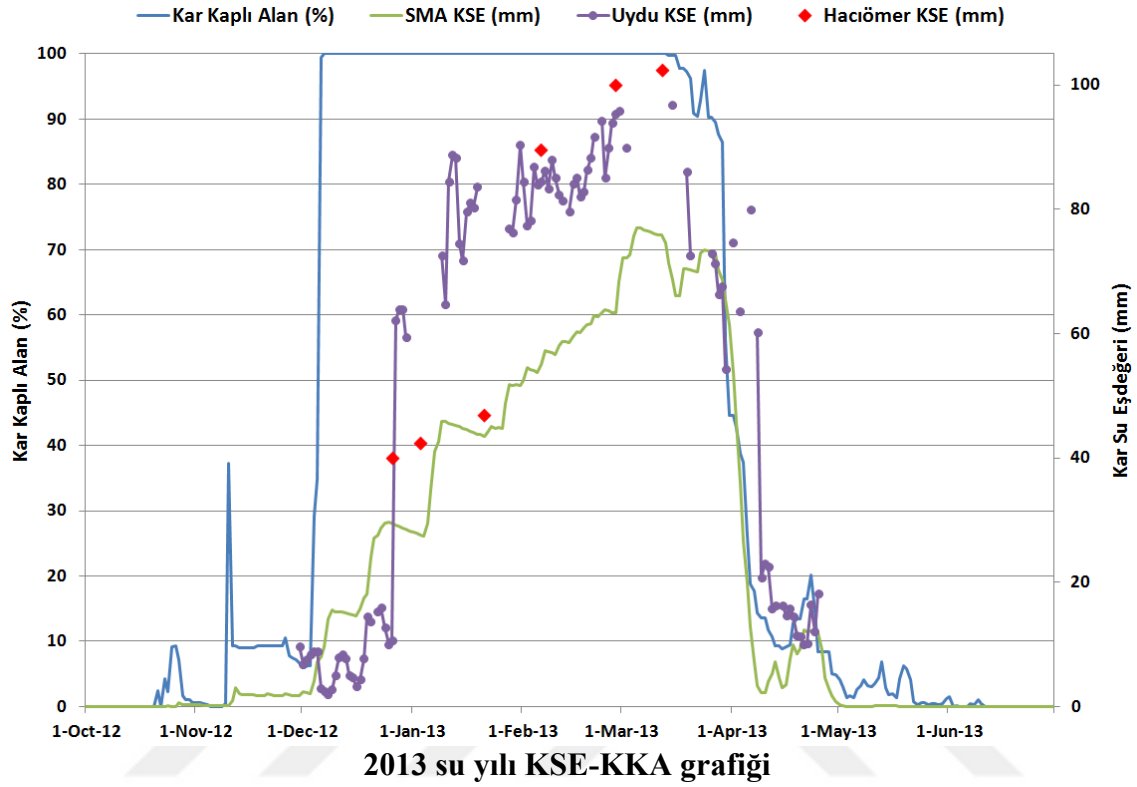
EK 28. (Devam) Dağılımlı HEC-HMS SMA-yer gözlem ve uydu kar karşılaştırmaları
(2007-2015)



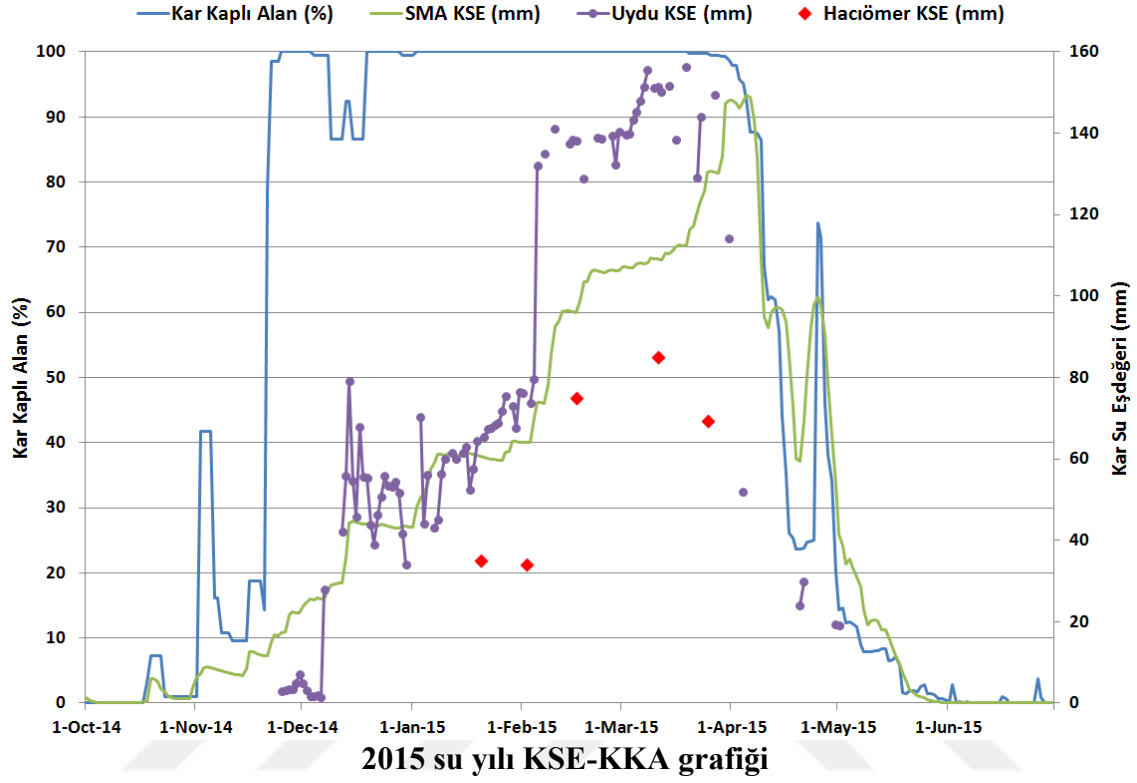
EK 28. (Devam) Dağılımlı HEC-HMS SMA-yer gözlem ve uydu kar karşılaştırmaları
(2007-2015)



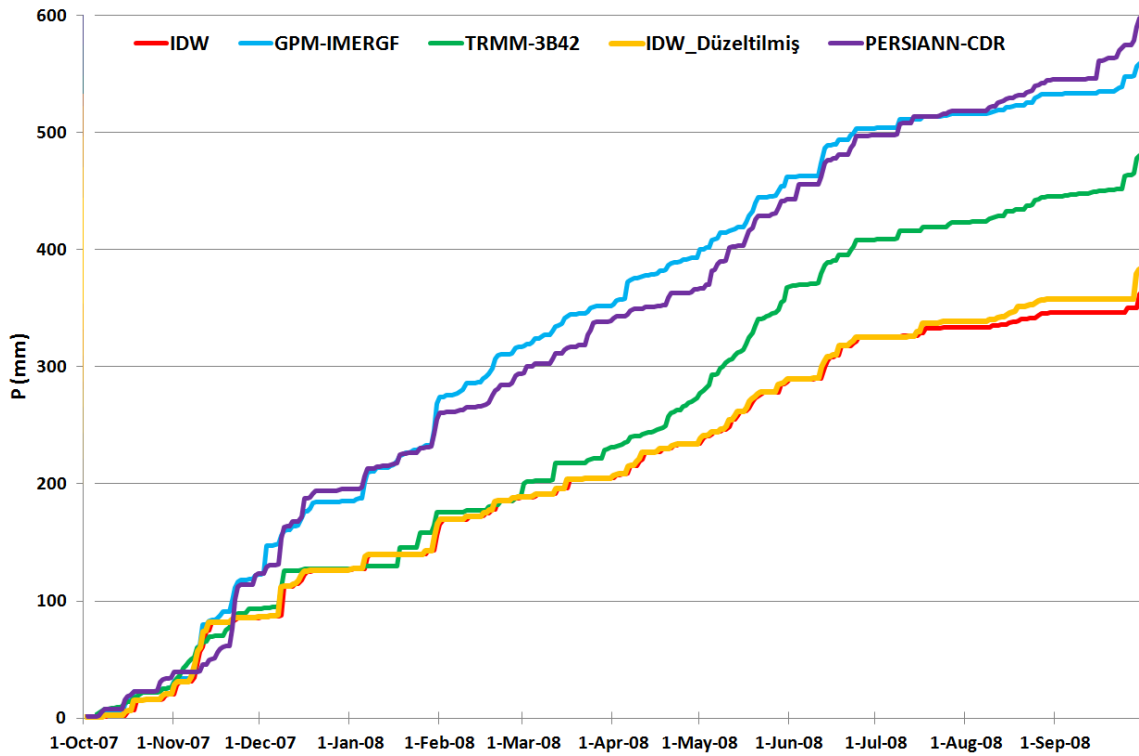
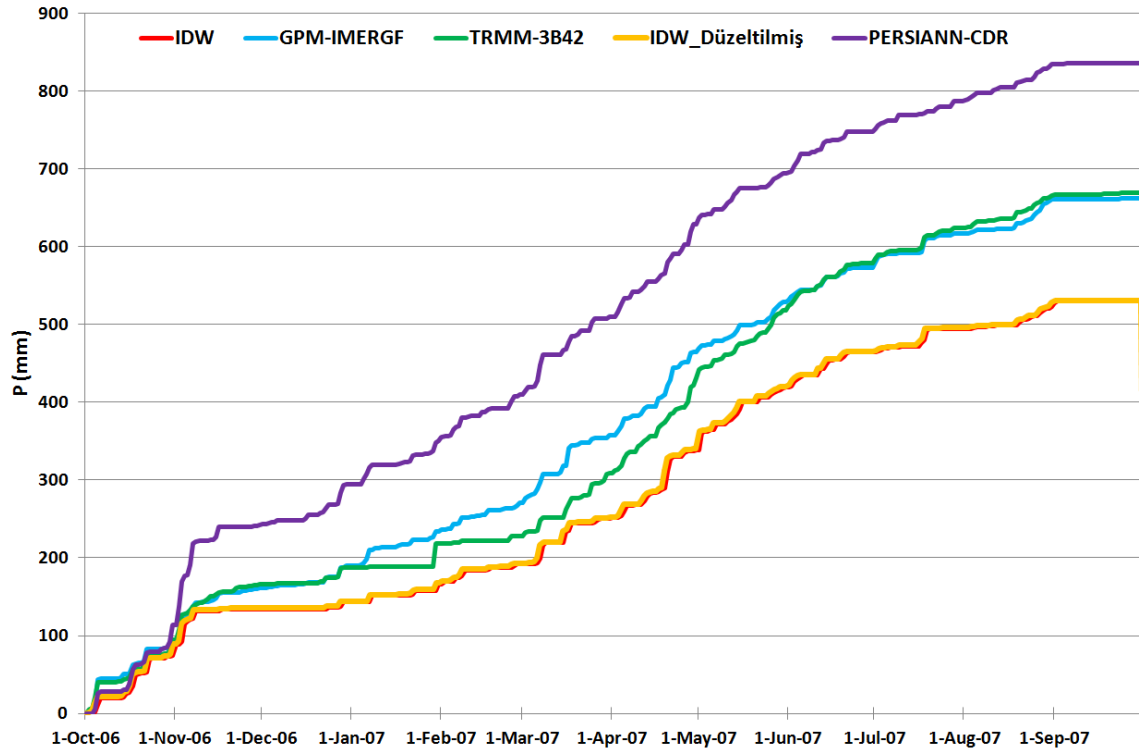
EK 28. (Devam) Dağılımlı HEC-HMS SMA-yer gözlem ve uydu kar karşılaştırmaları
(2007-2015)



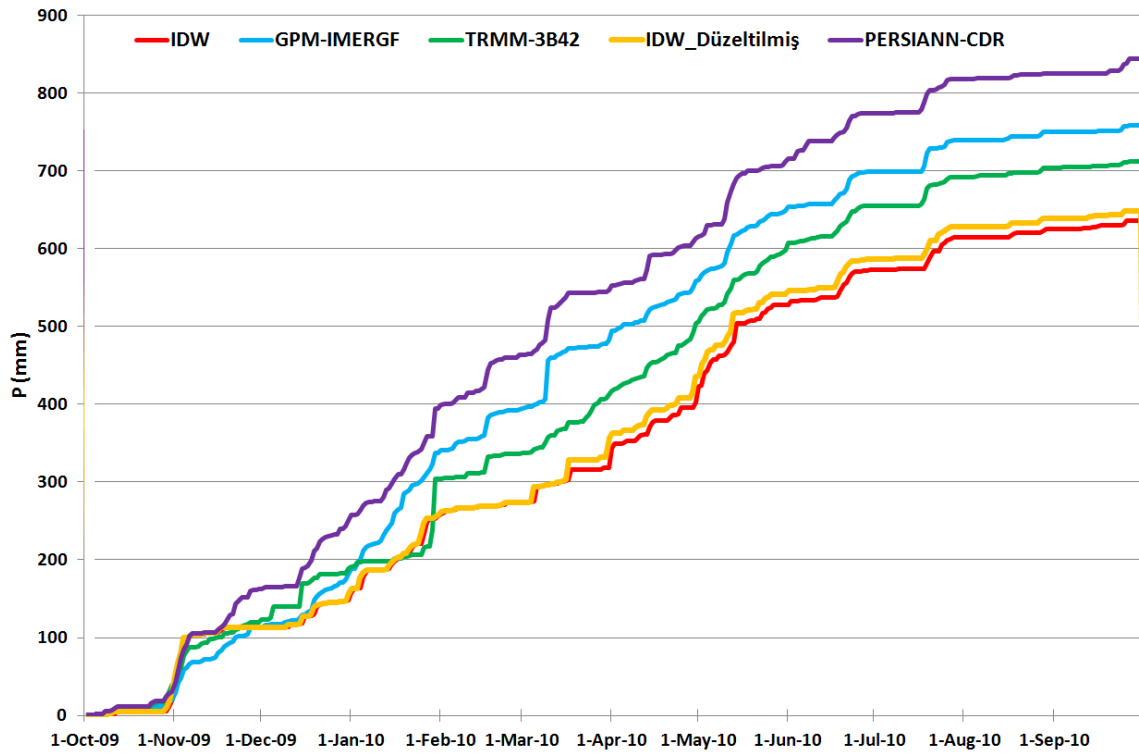
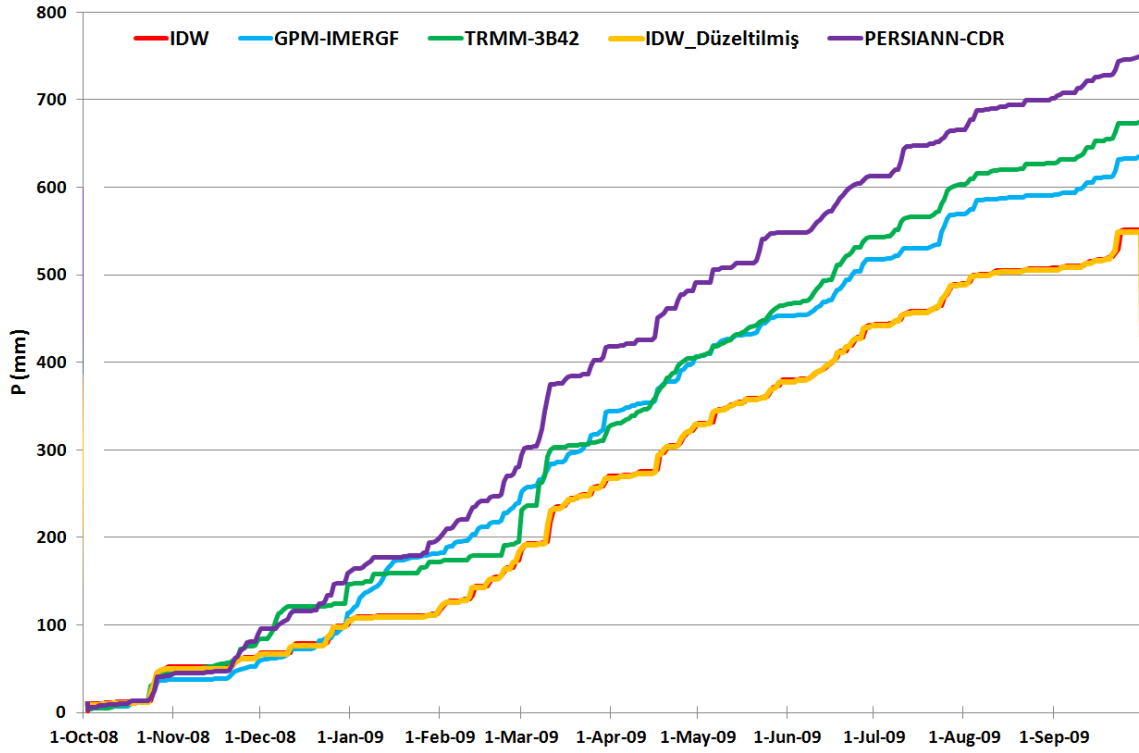
EK 28. (Devam) Dağılımlı HEC-HMS SMA-yer gözlem ve uydu kar karşılaştırmaları
(2007-2015)



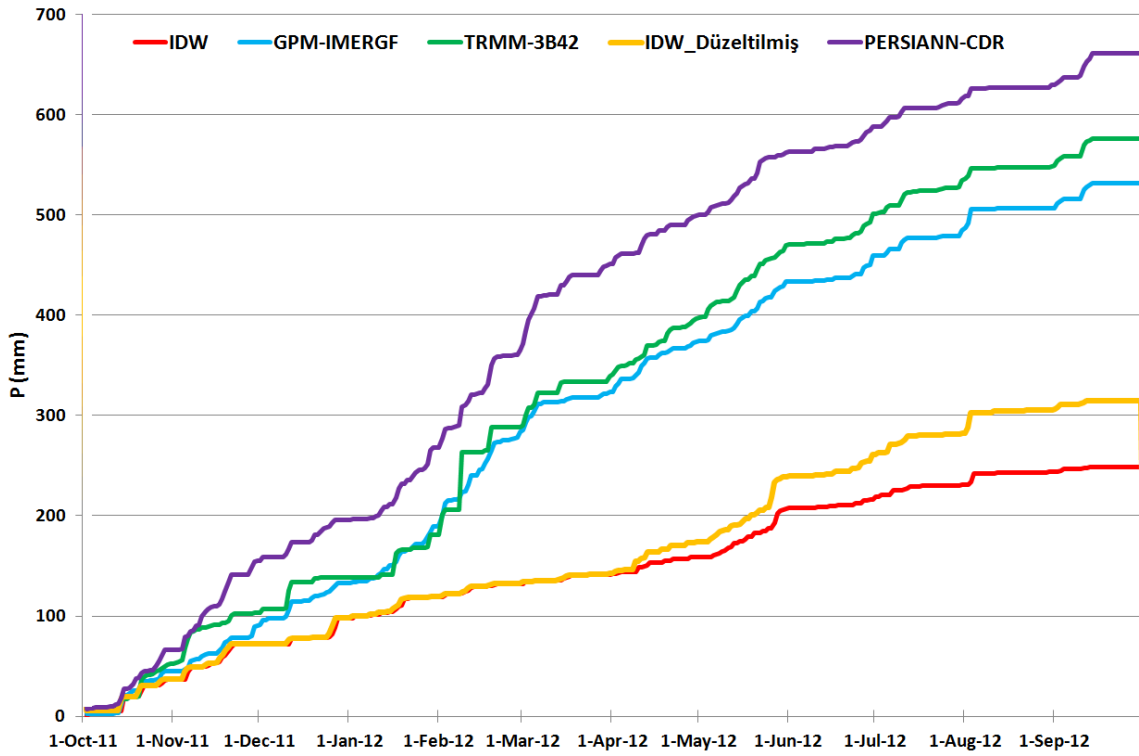
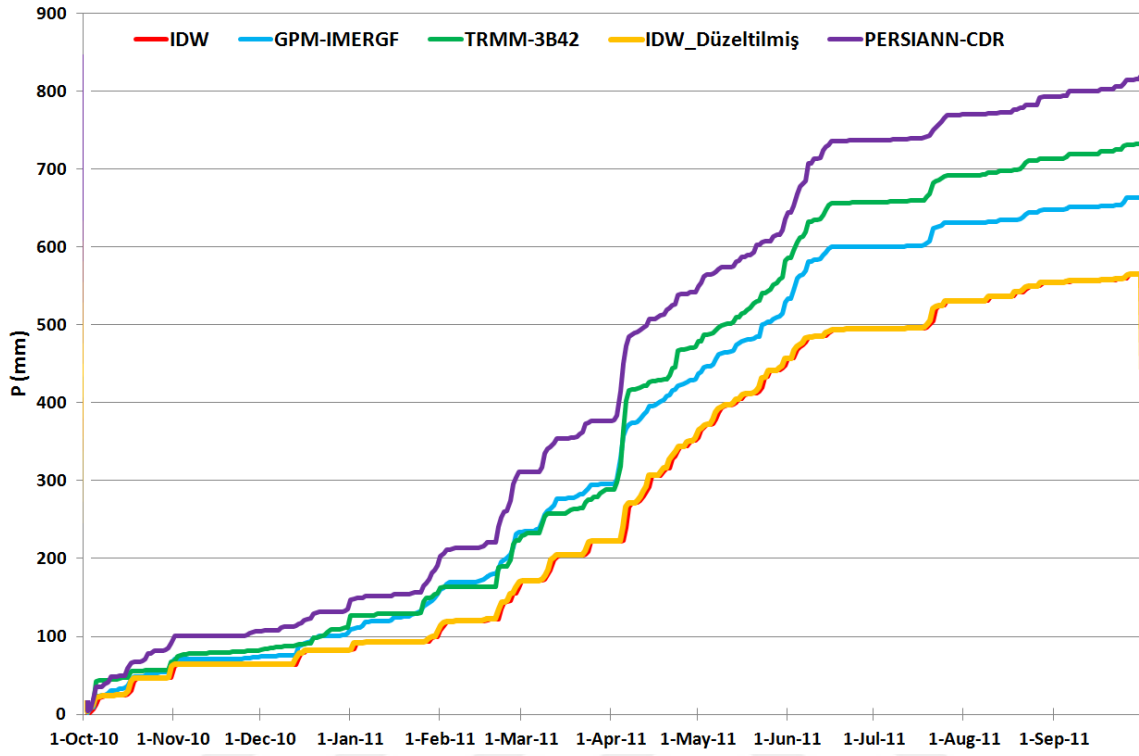
EK 29. Eklenik grid tabanlı IDW ve uydu yağış zaman serileri (2007-2015)



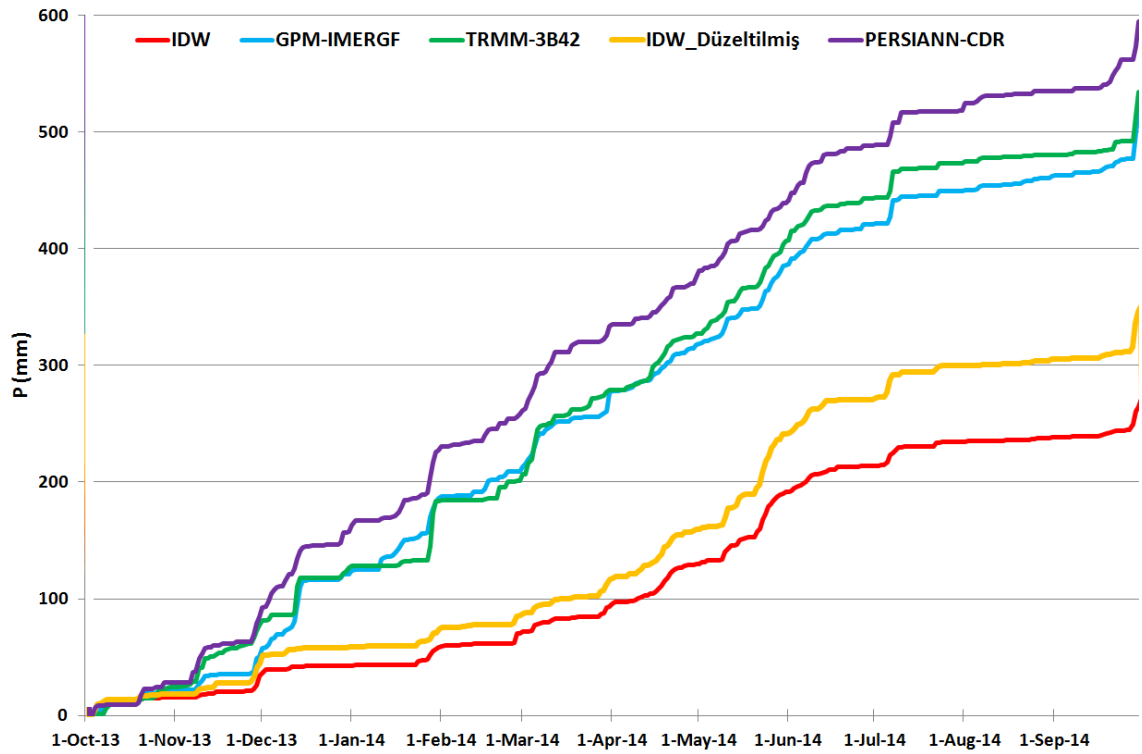
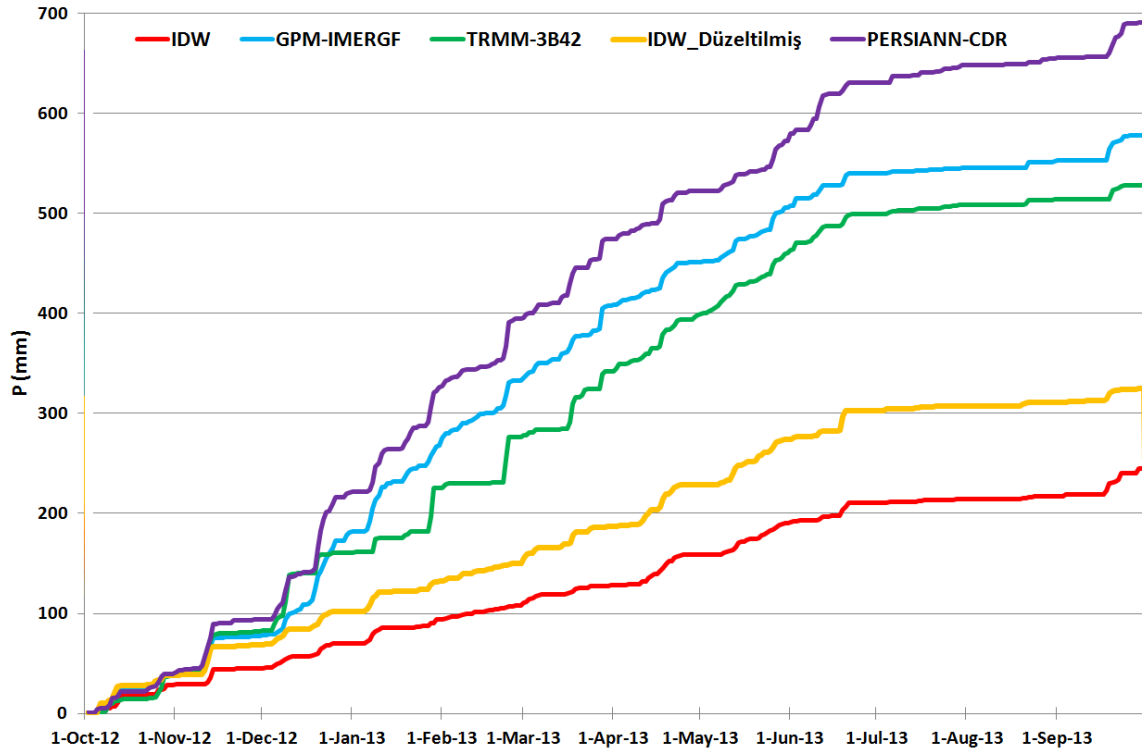
EK 29. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve uydu yağış zaman serileri (2007-2015)



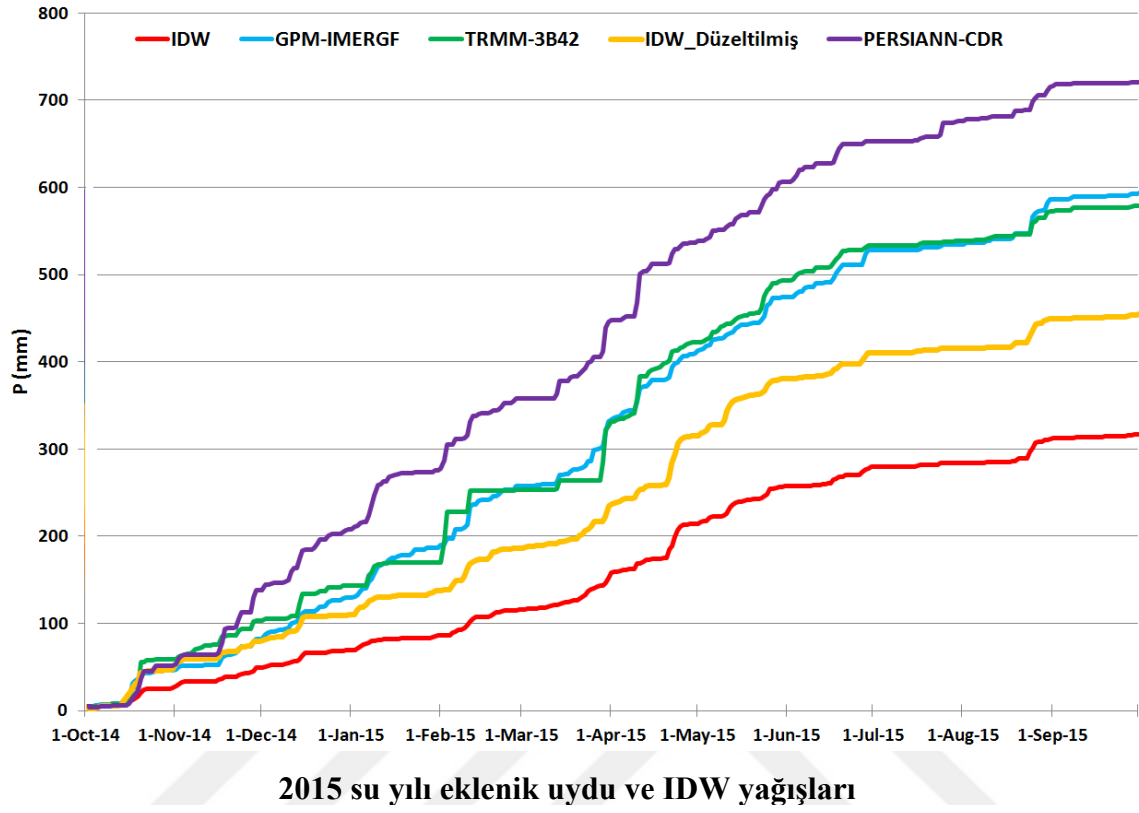
EK 29. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve uydu yağış zaman serileri (2007-2015)



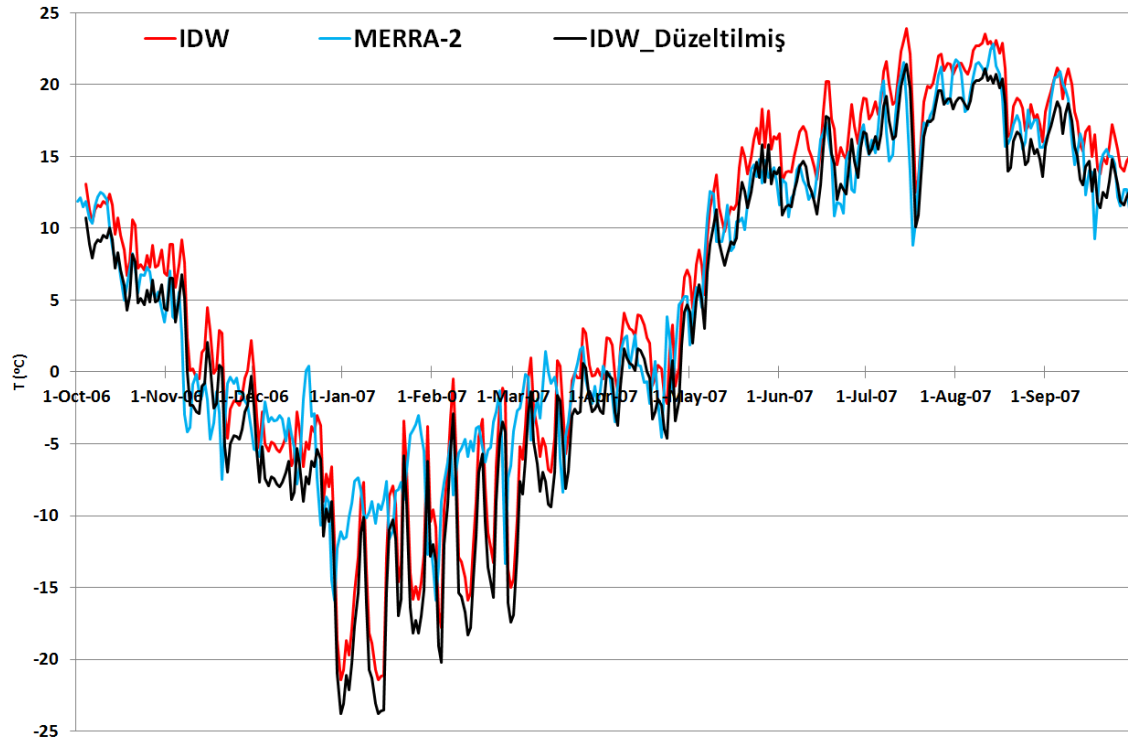
EK 29. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve uydu yağış zaman serileri (2007-2015)



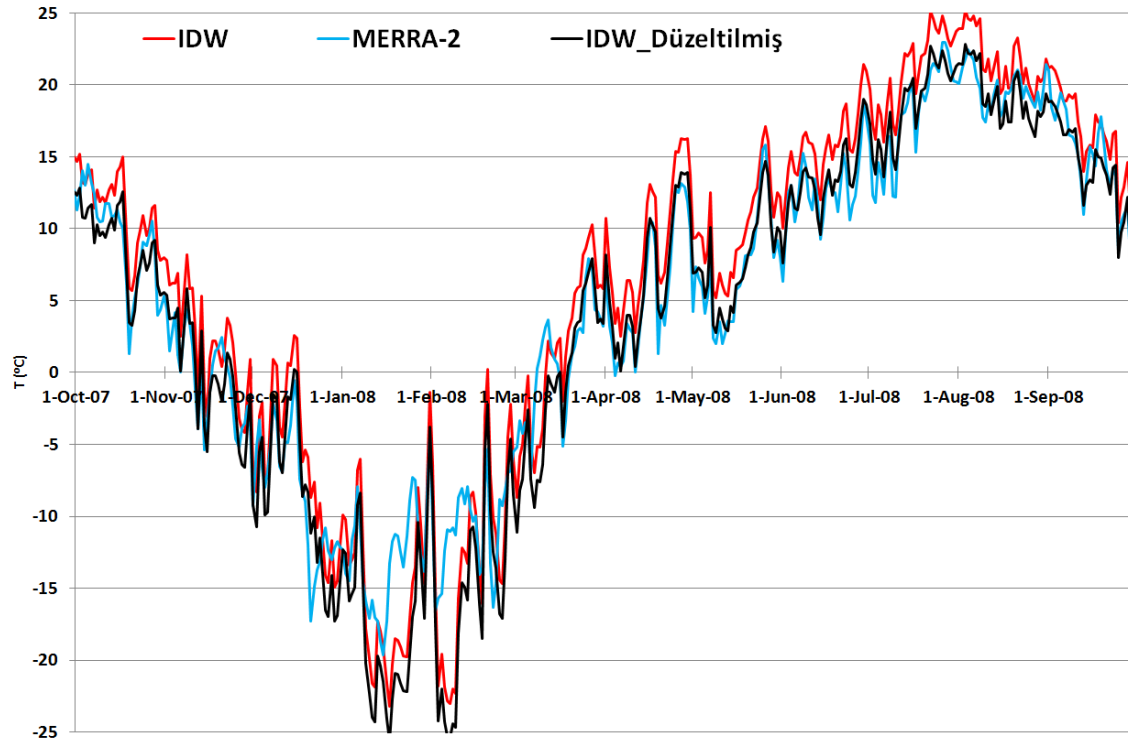
EK 29. (Devam) Eklenik grid tabanlı IDW ve uydu yağış zaman serileri (2007-2015)



EK 30. Grid tabanlı IDW ve uydu sıcaklık zaman serileri (2007-2015)

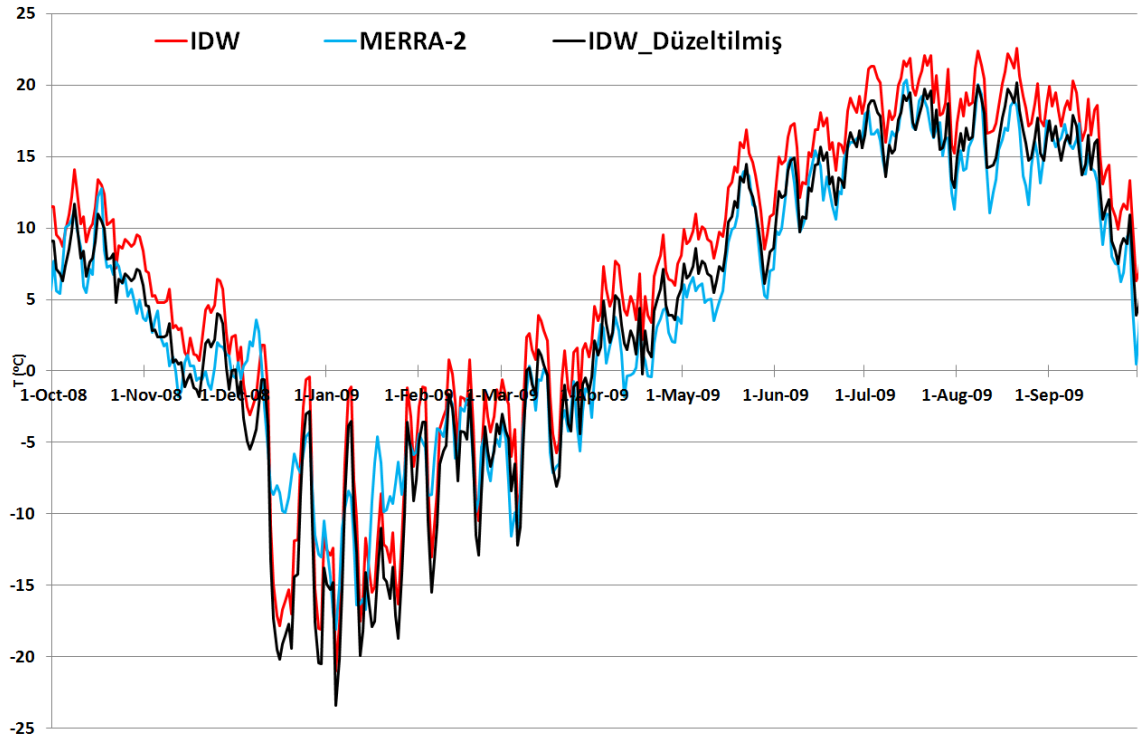


2007 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

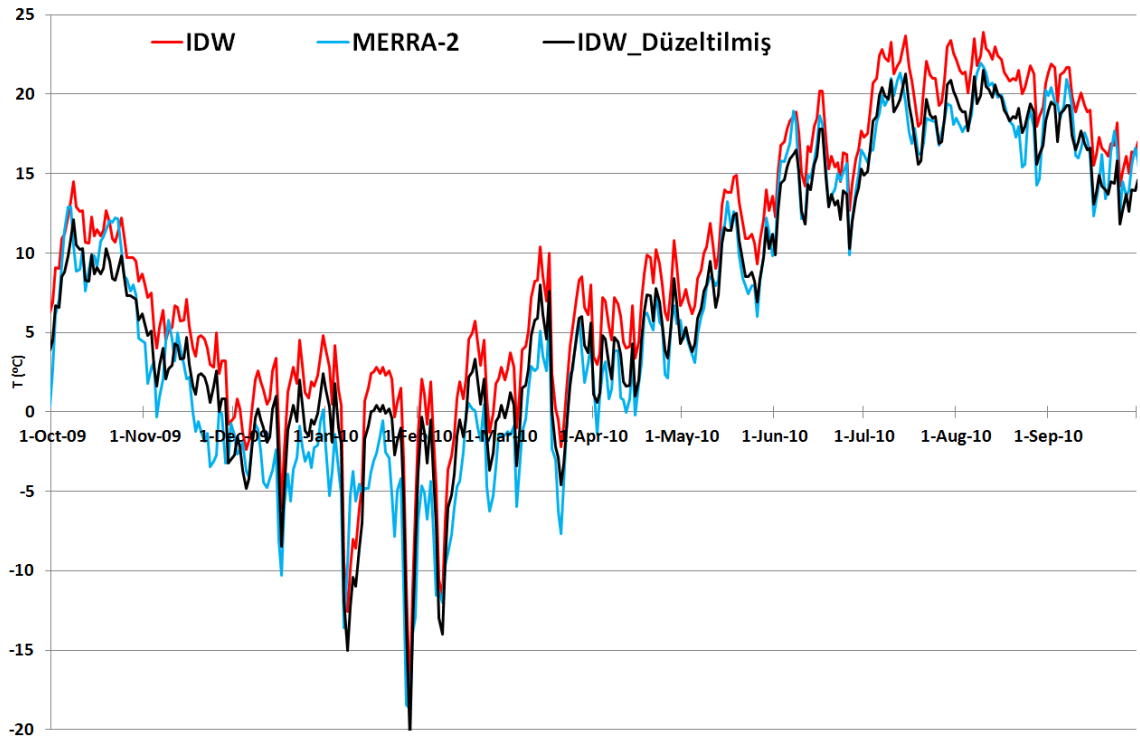


2008 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

EK 30. (Devam) Grid tabanlı IDW ve uydu sıcaklık zaman serileri (2007-2015)

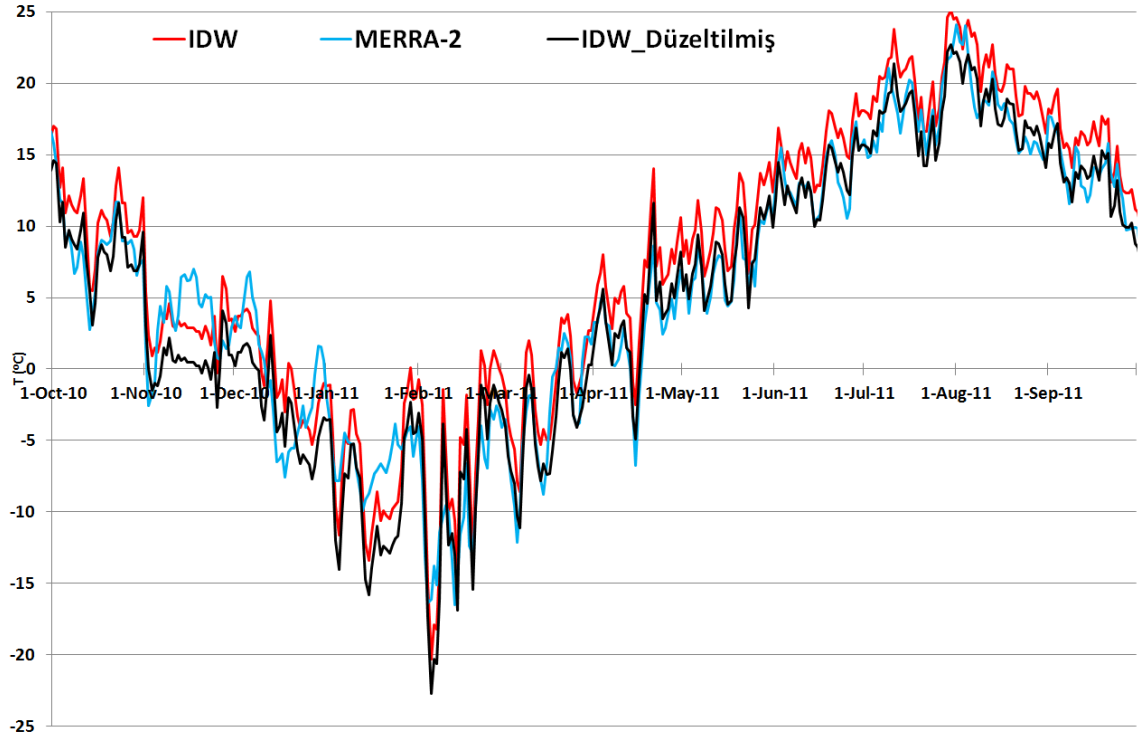


2009 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

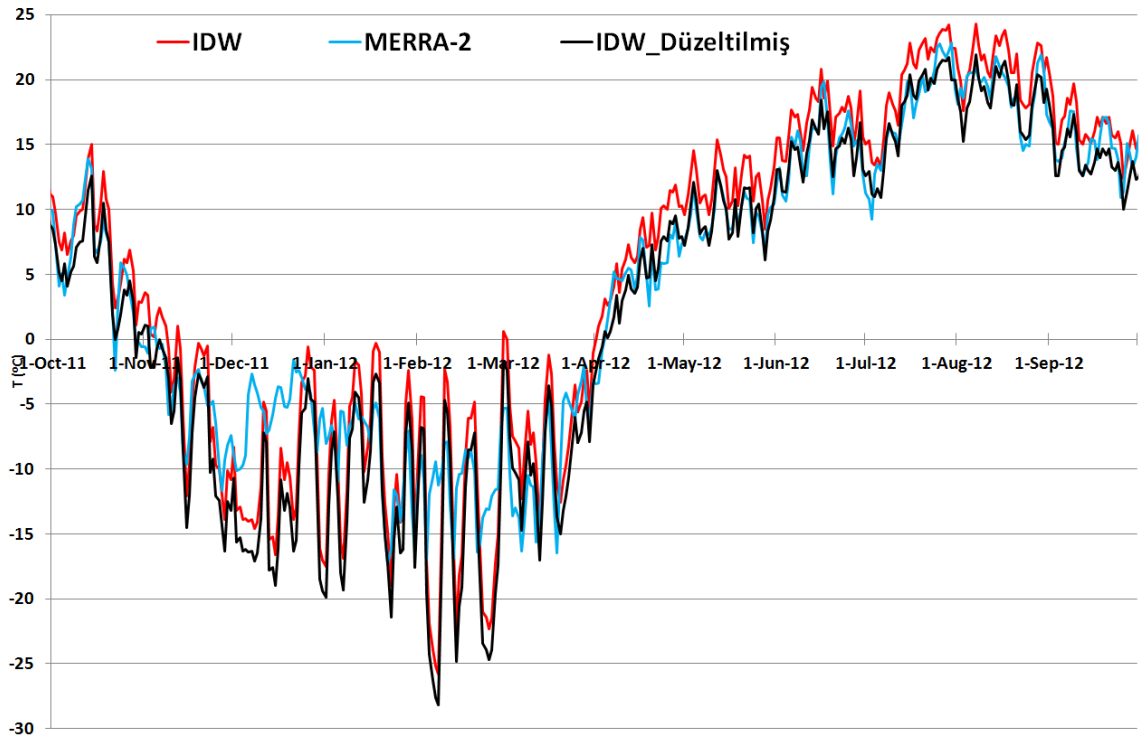


2010 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

EK 30. (Devam) Grid tabanlı IDW ve uydu sıcaklık zaman serileri (2007-2015)

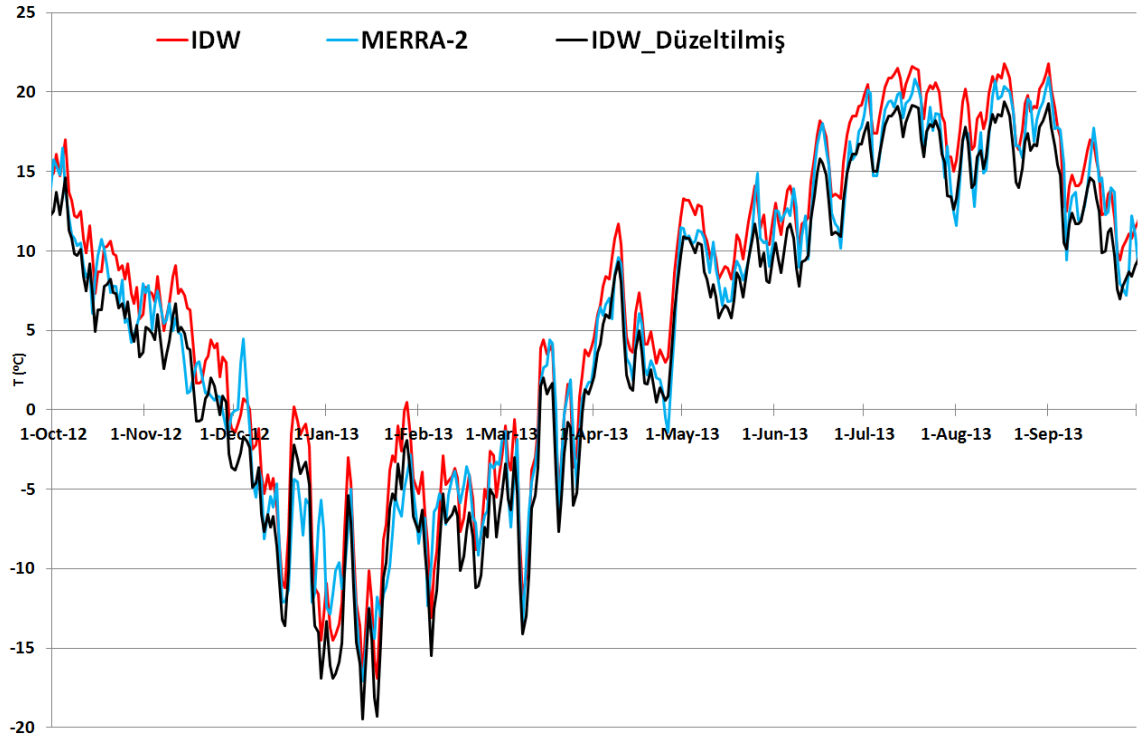


2011 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

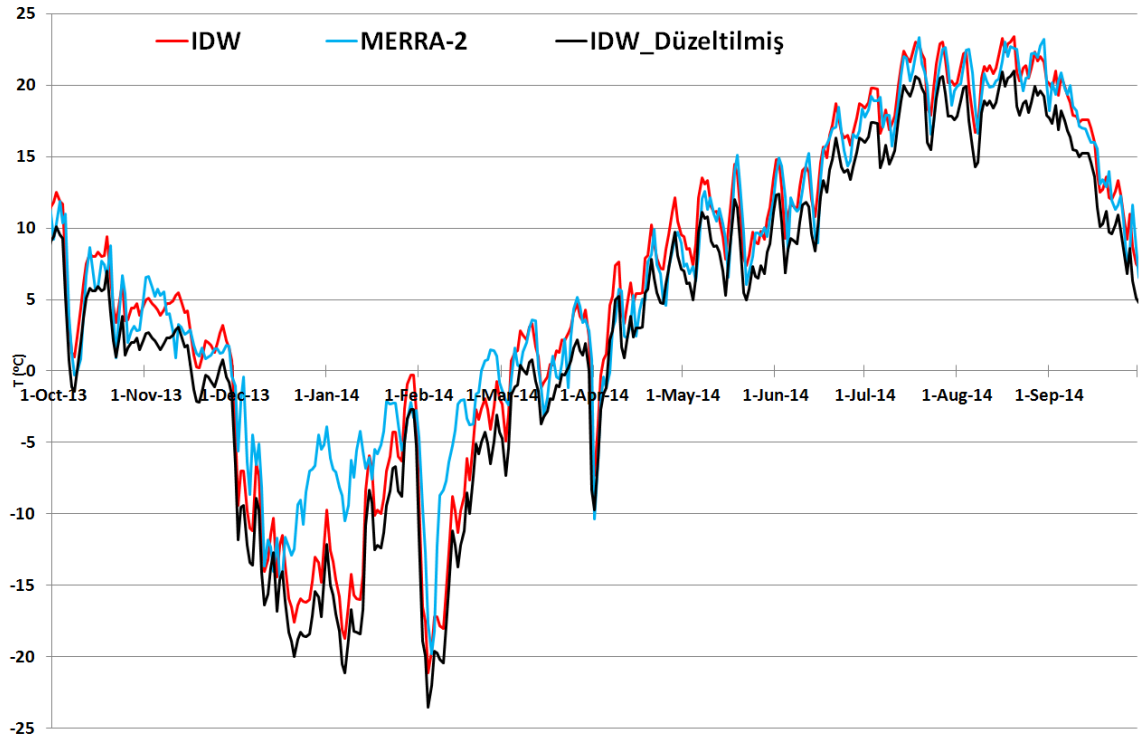


2012 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

EK 30. (Devam) Grid tabanlı IDW ve uydu sıcaklık zaman serileri (2007-2015)

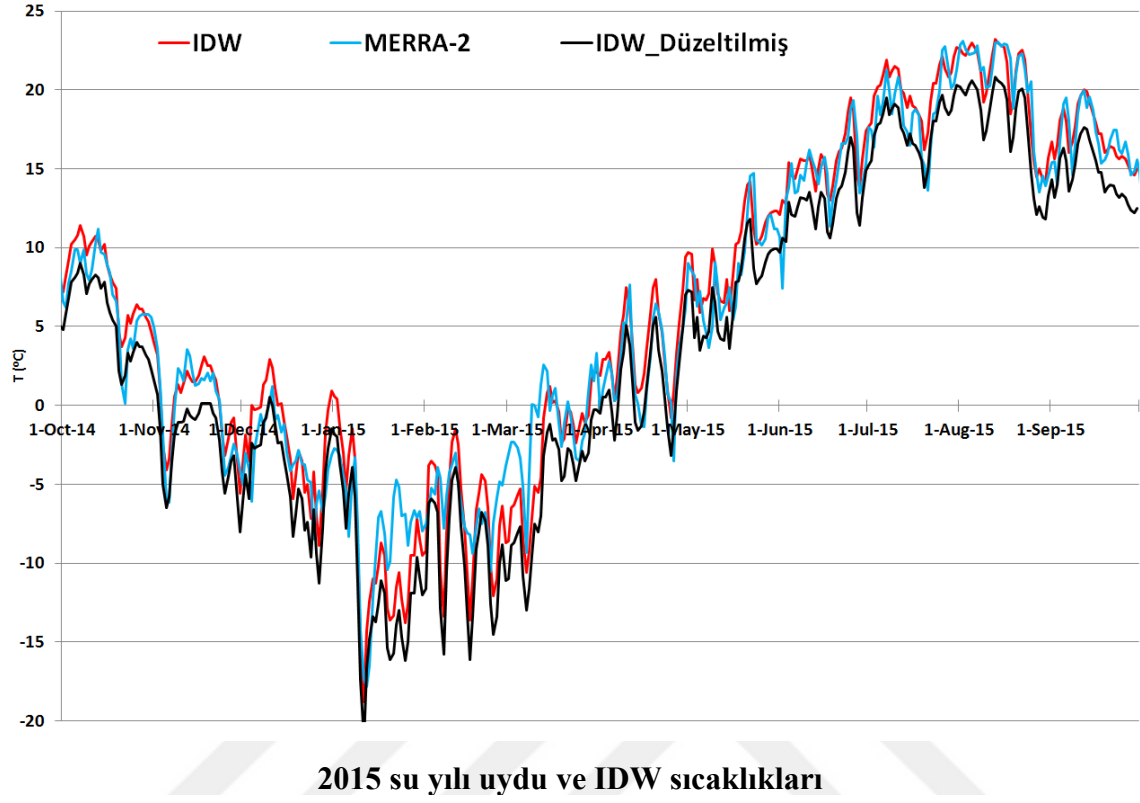


2013 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

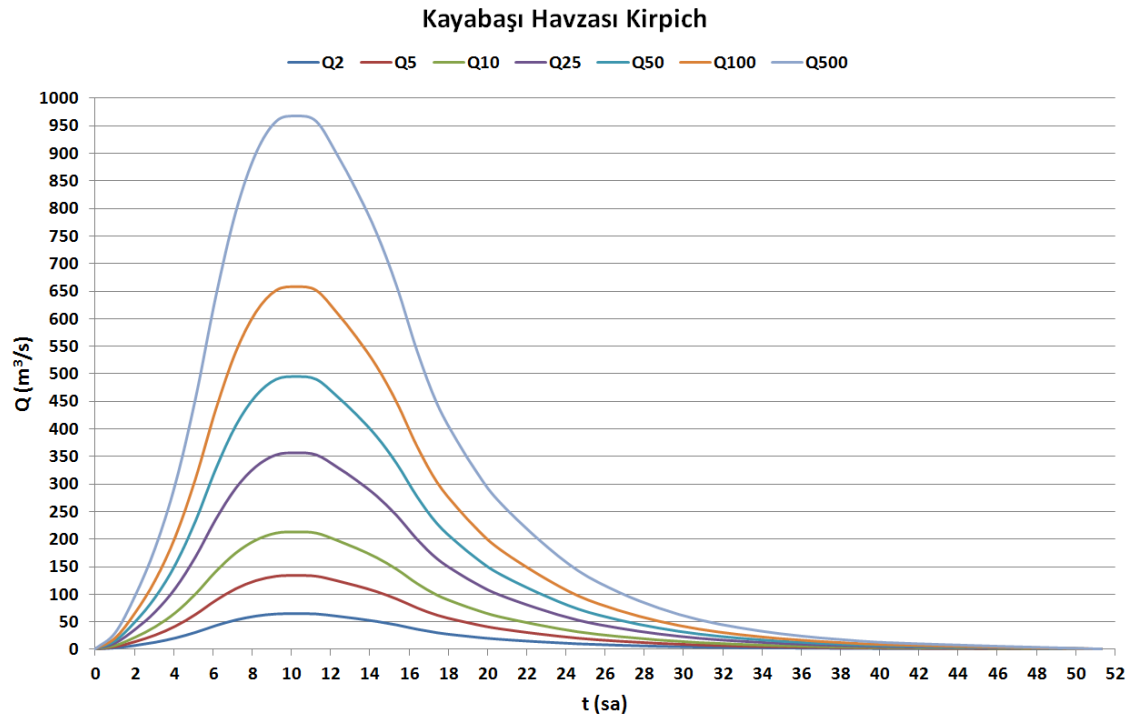
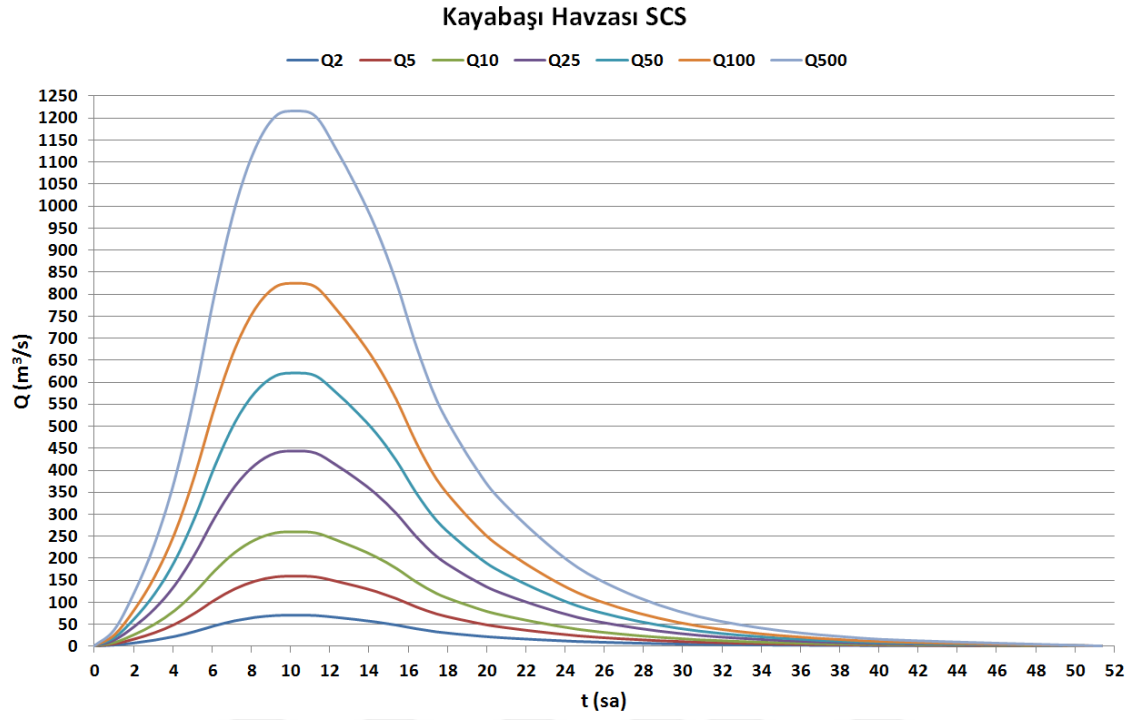


2014 su yılı uydu ve IDW sıcaklıkları

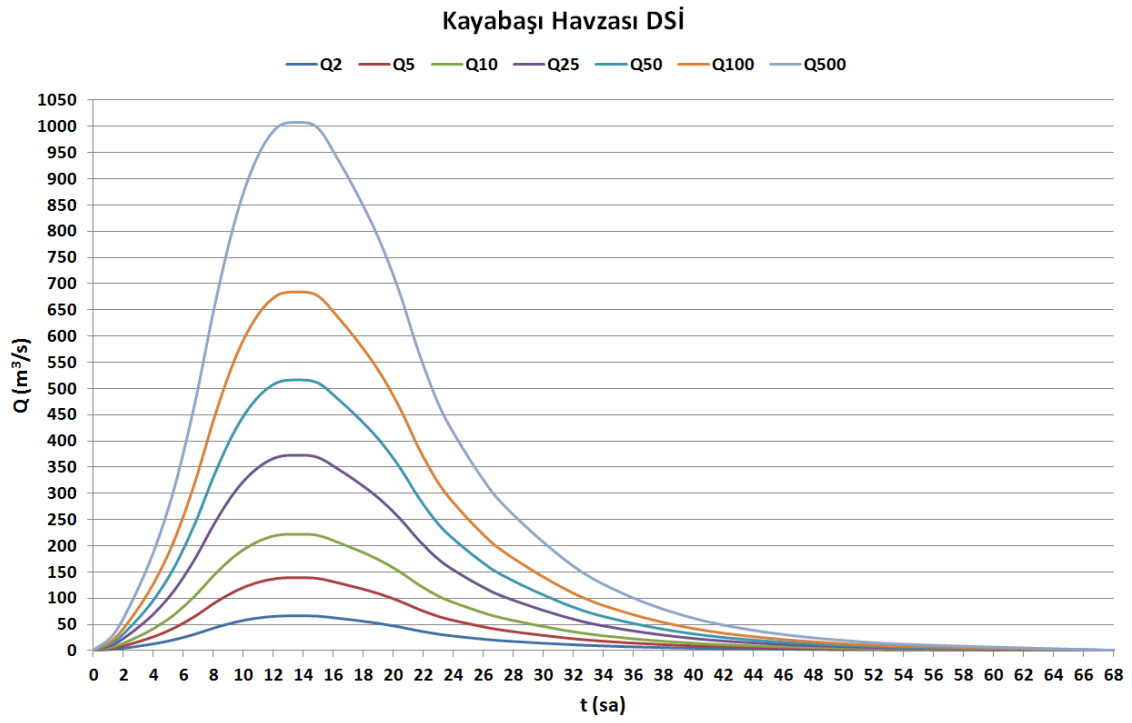
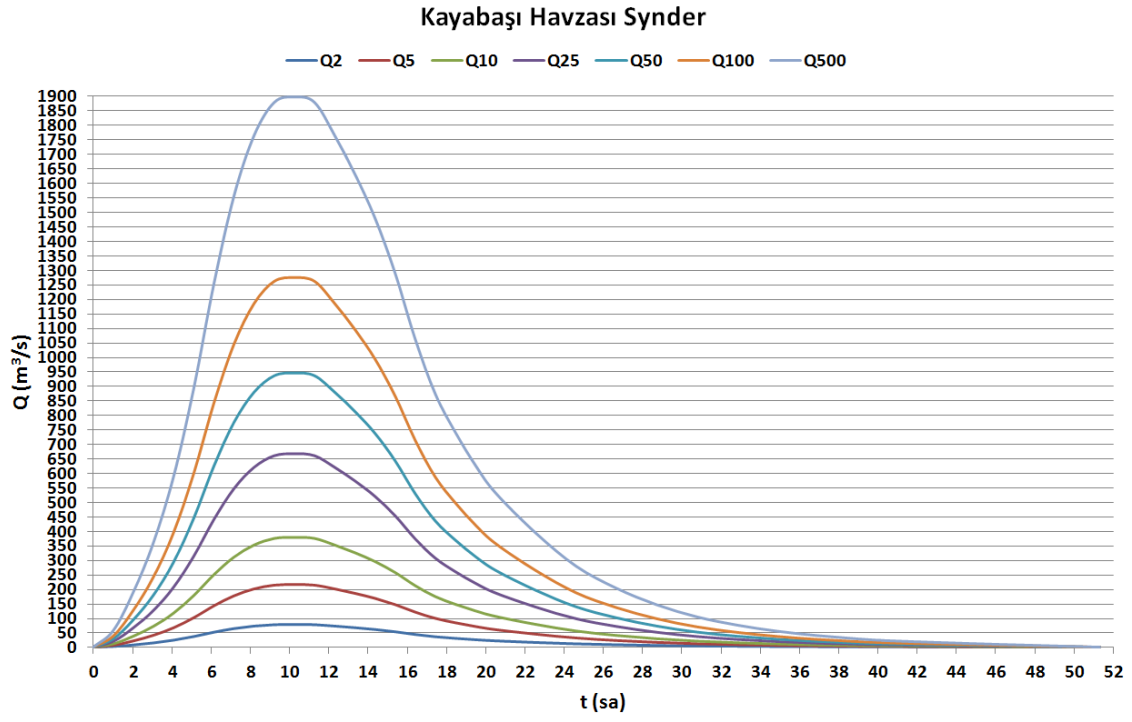
EK 30. (Devam) Grid tabanlı IDW ve uydu sıcaklık zaman serileri (2007-2015)



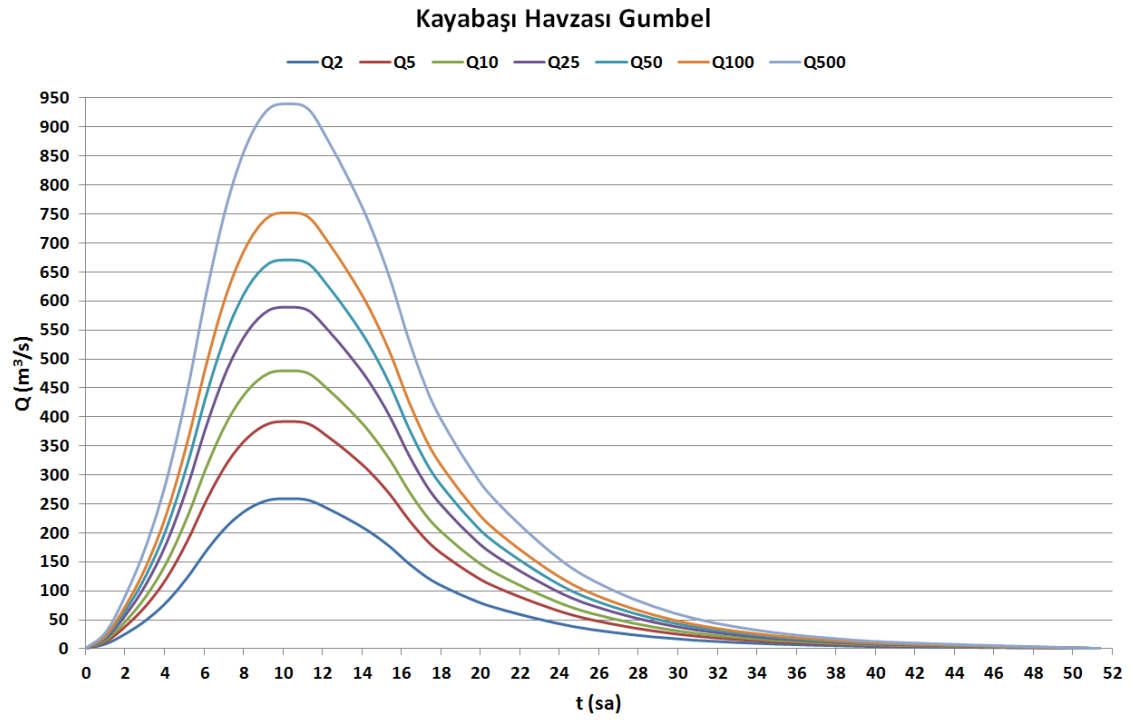
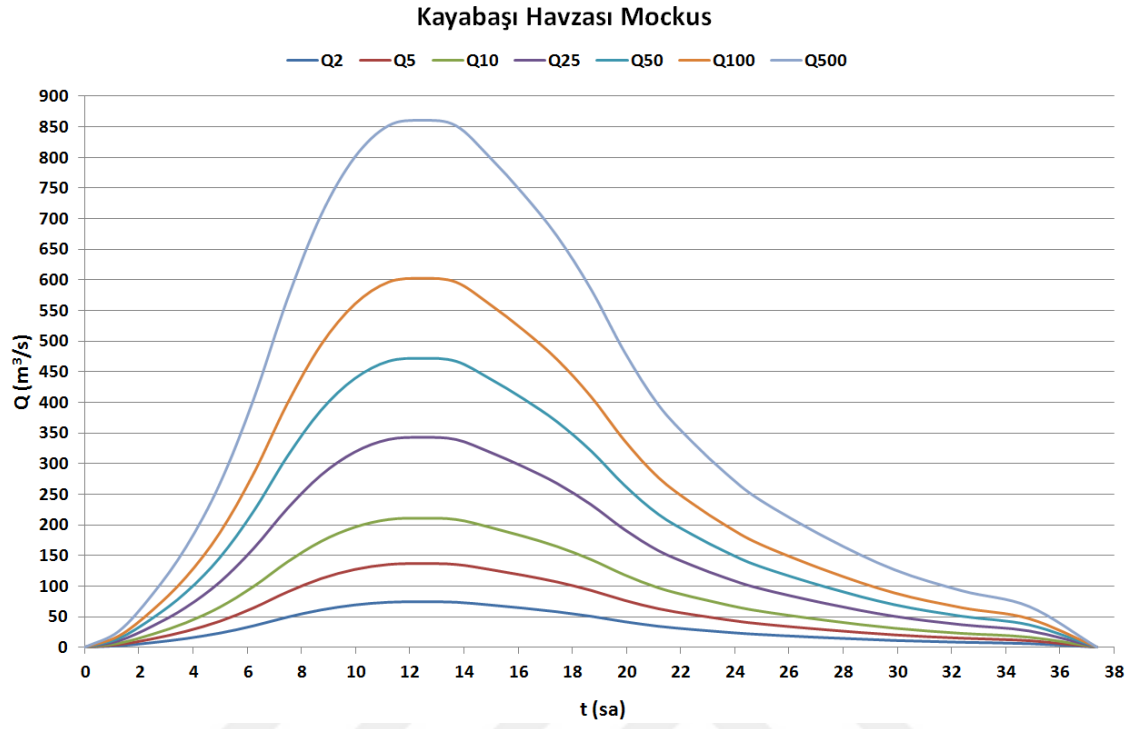
EK 31. Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



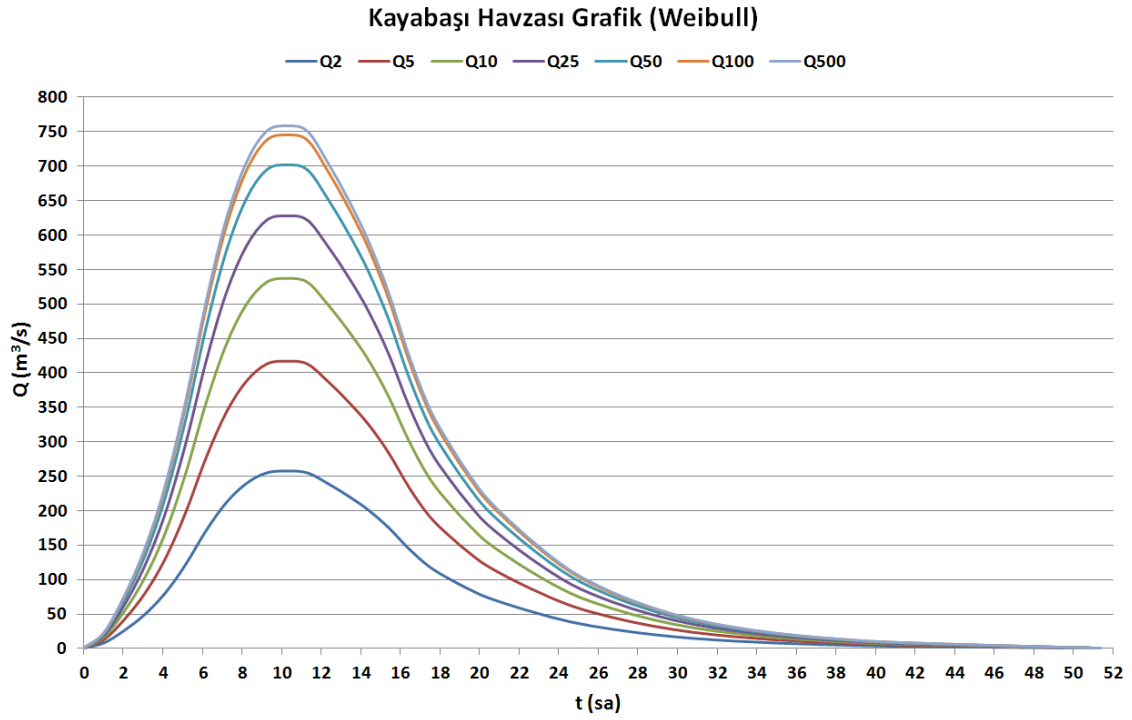
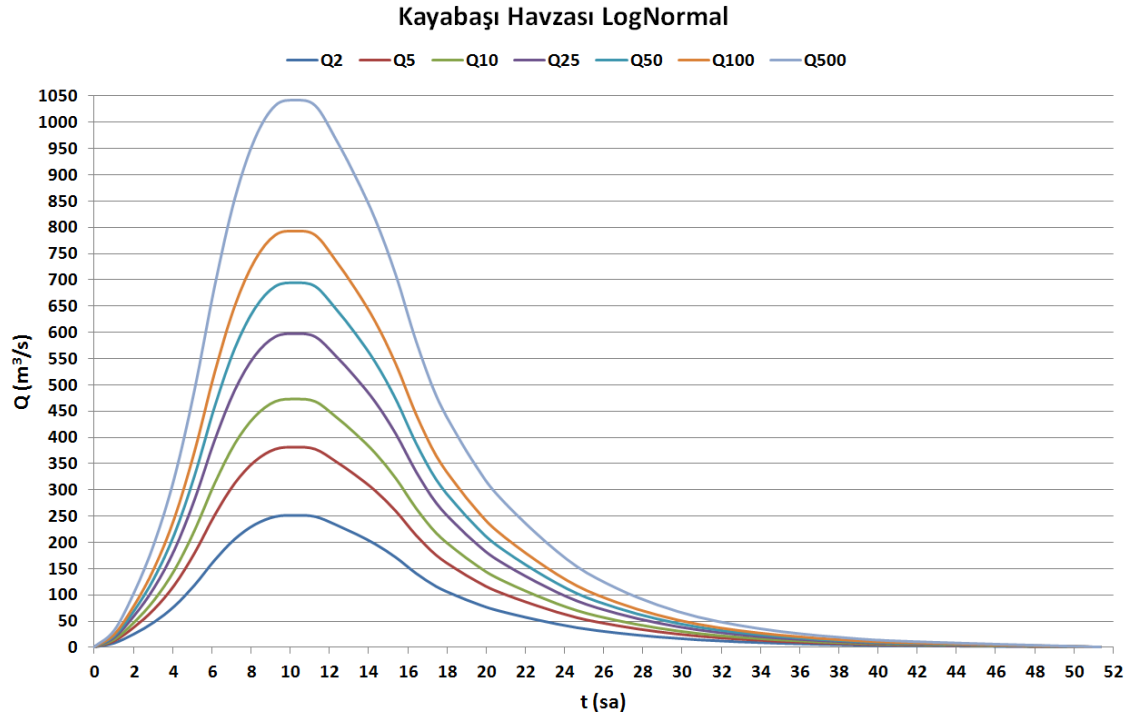
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



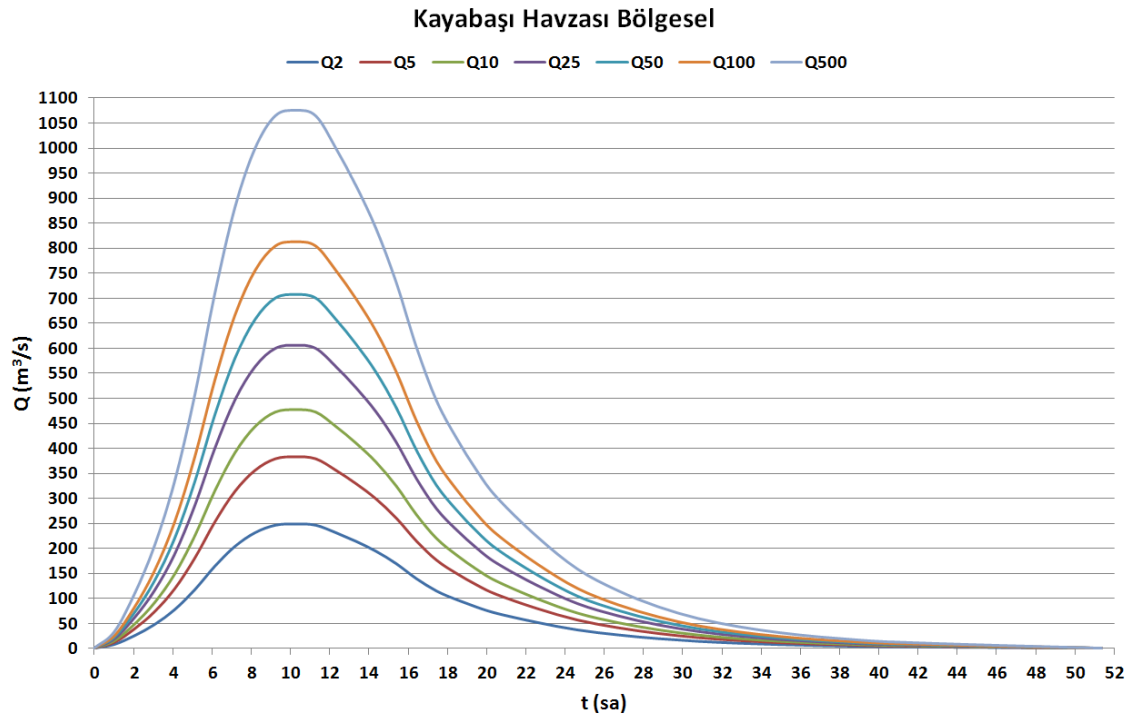
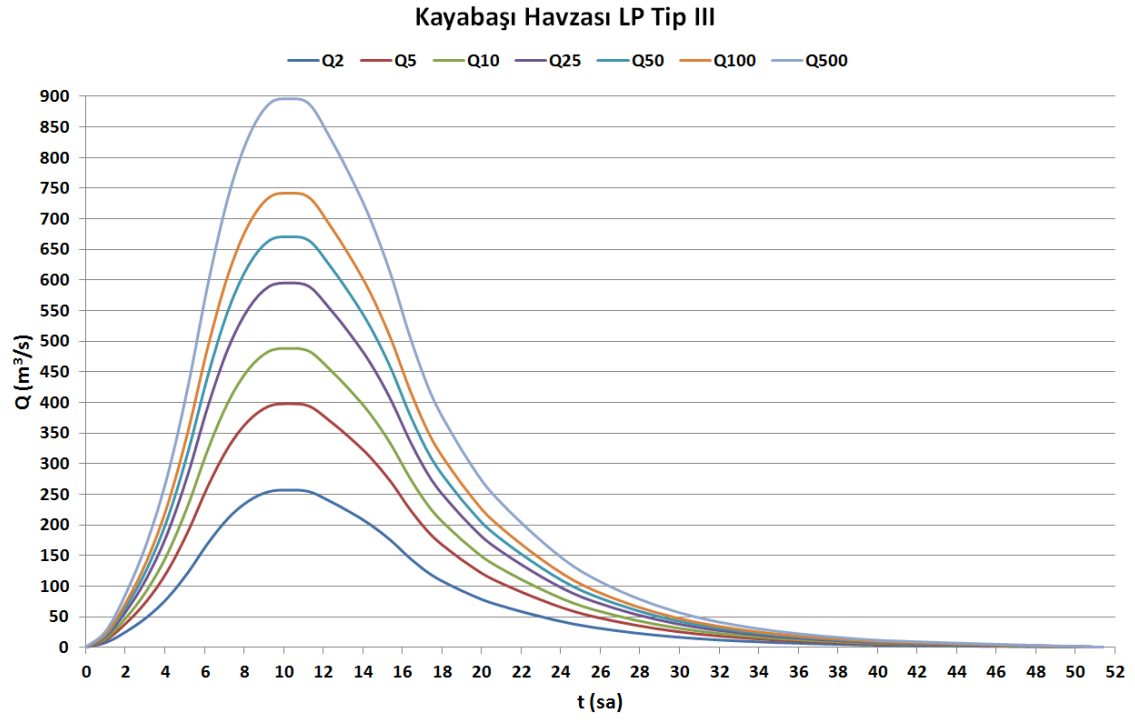
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



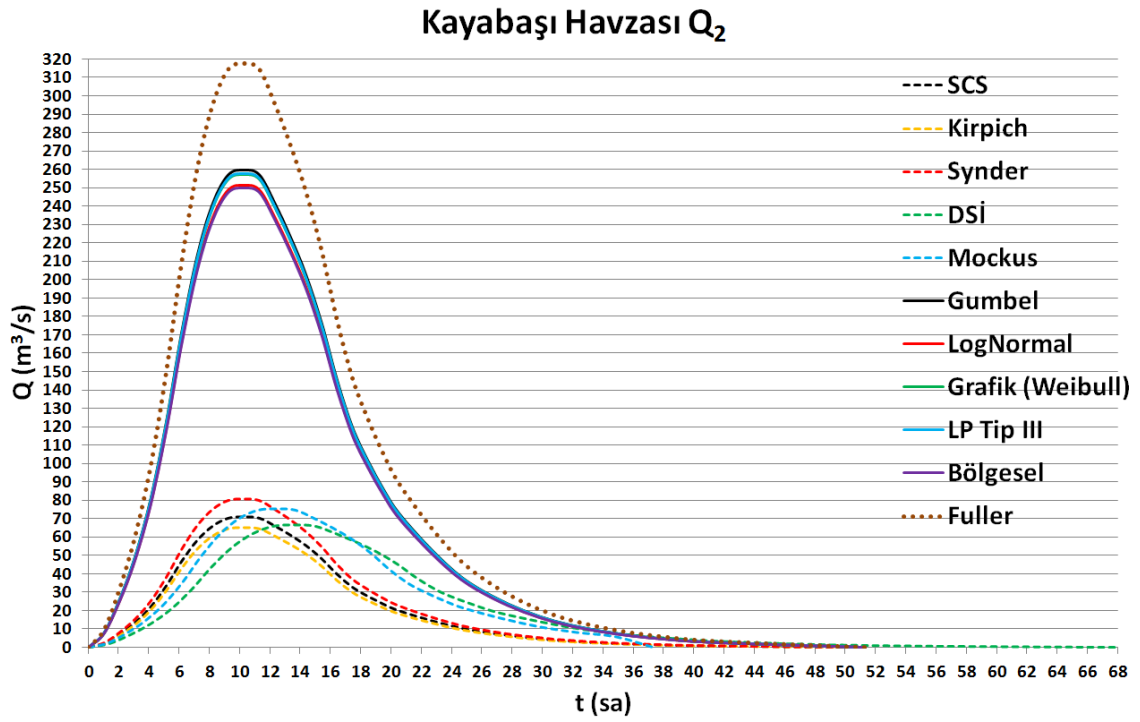
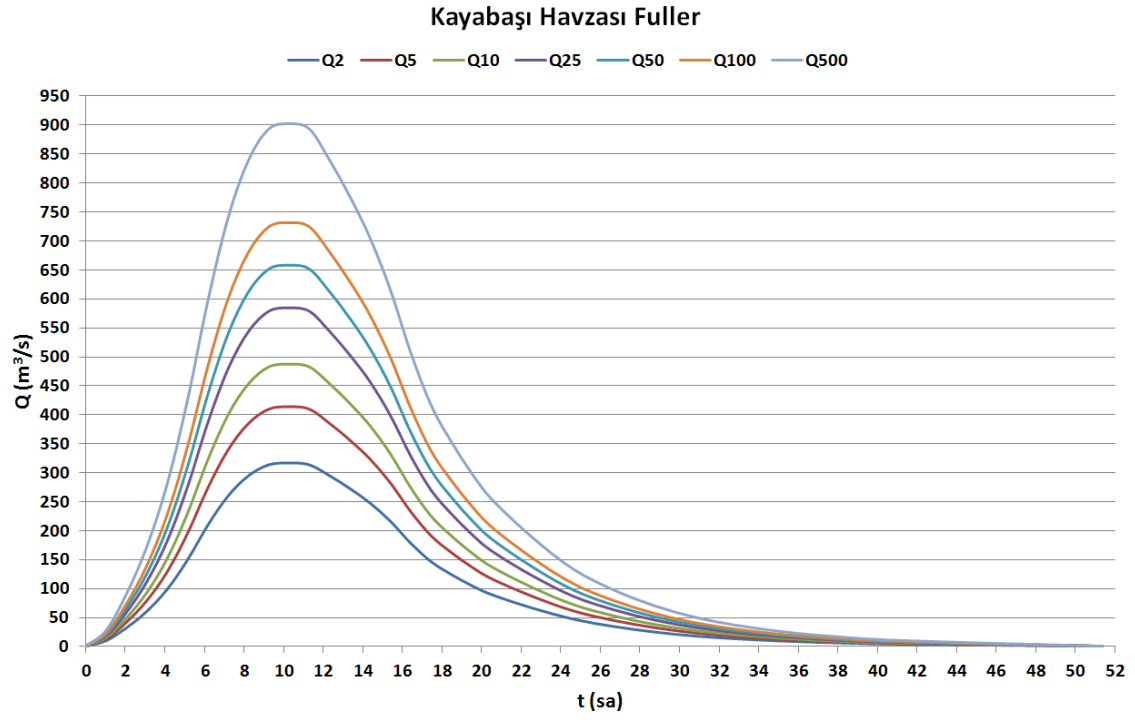
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



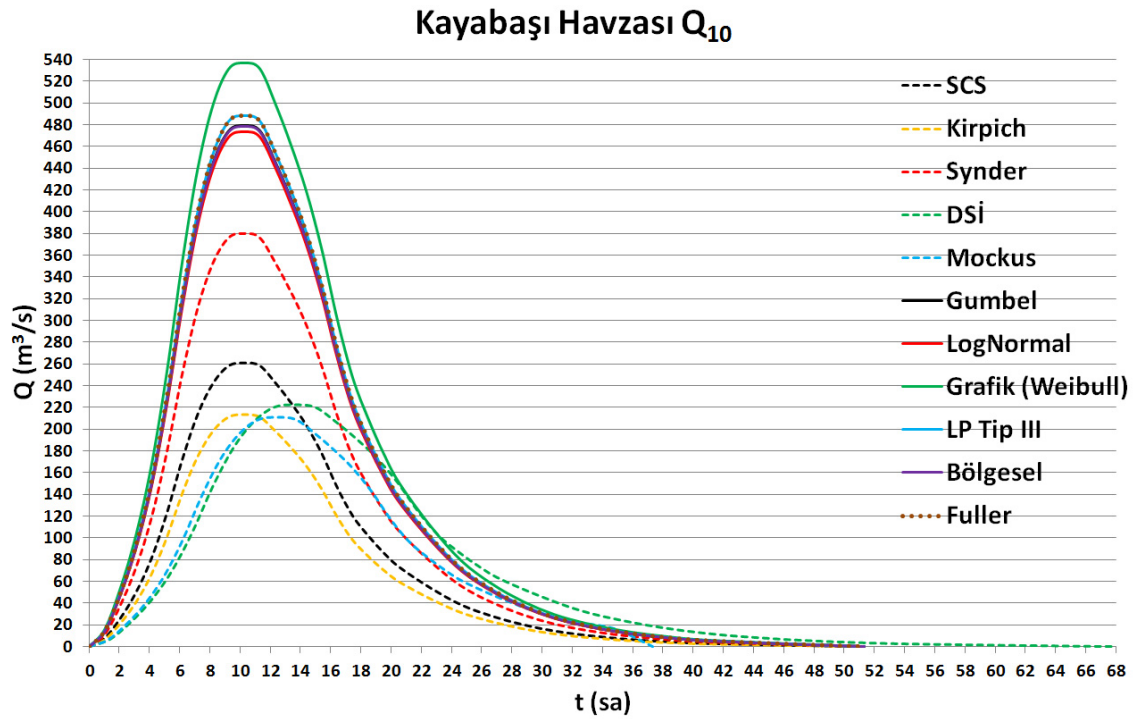
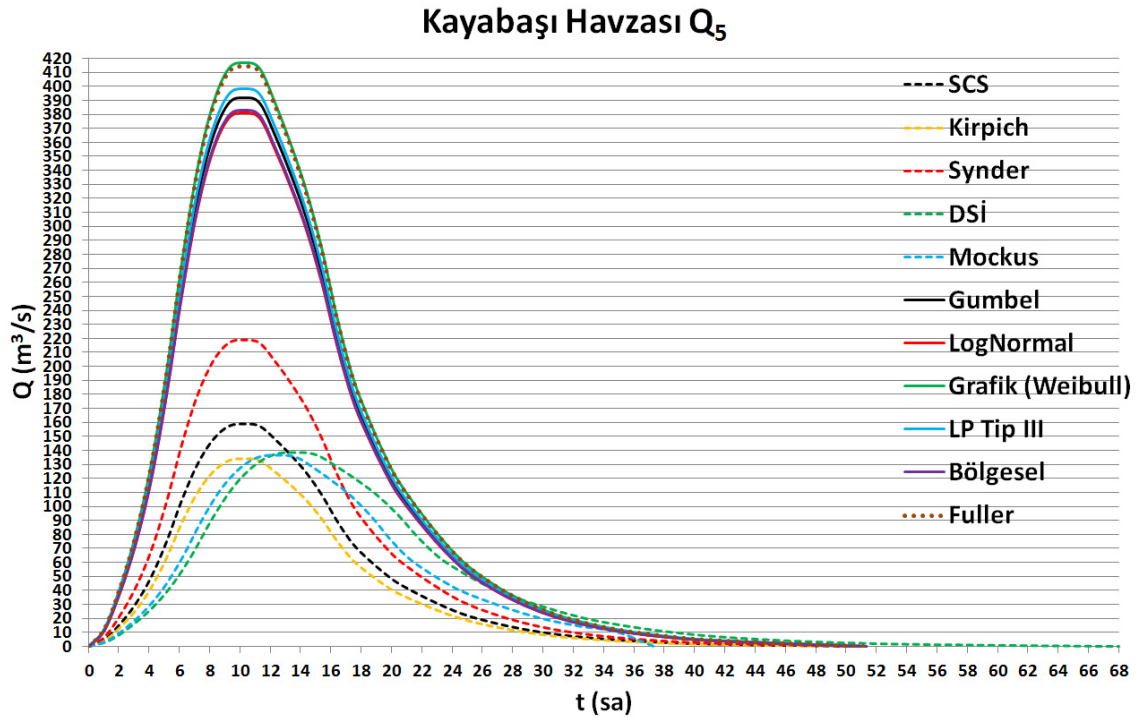
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



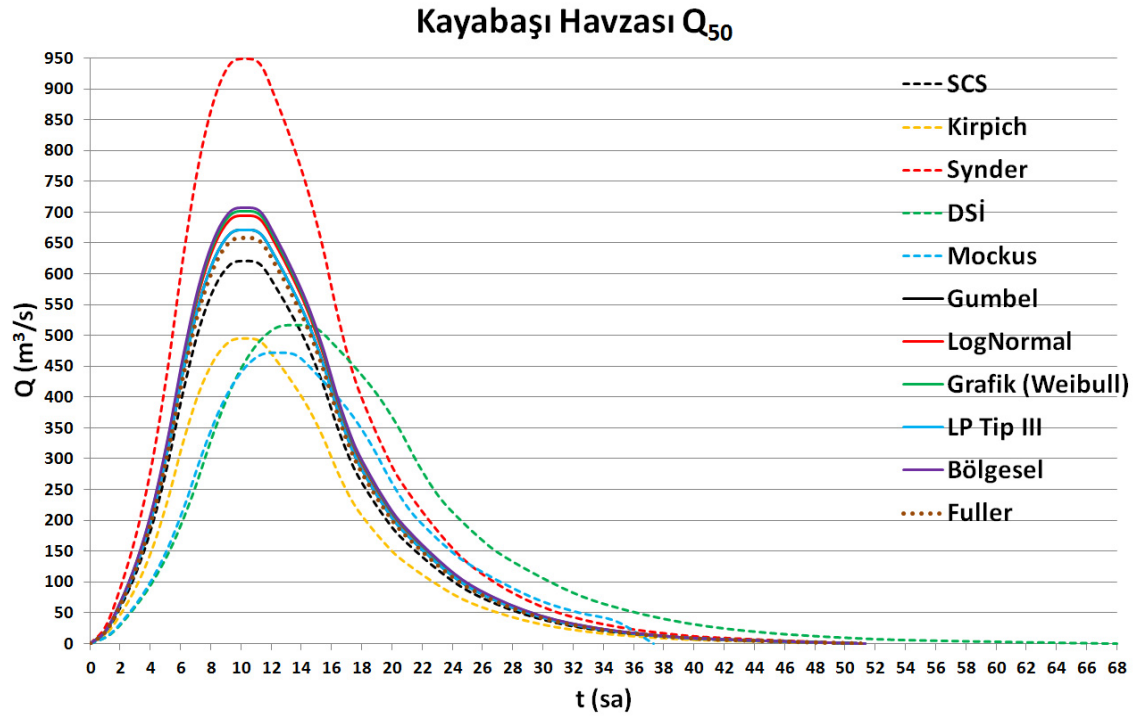
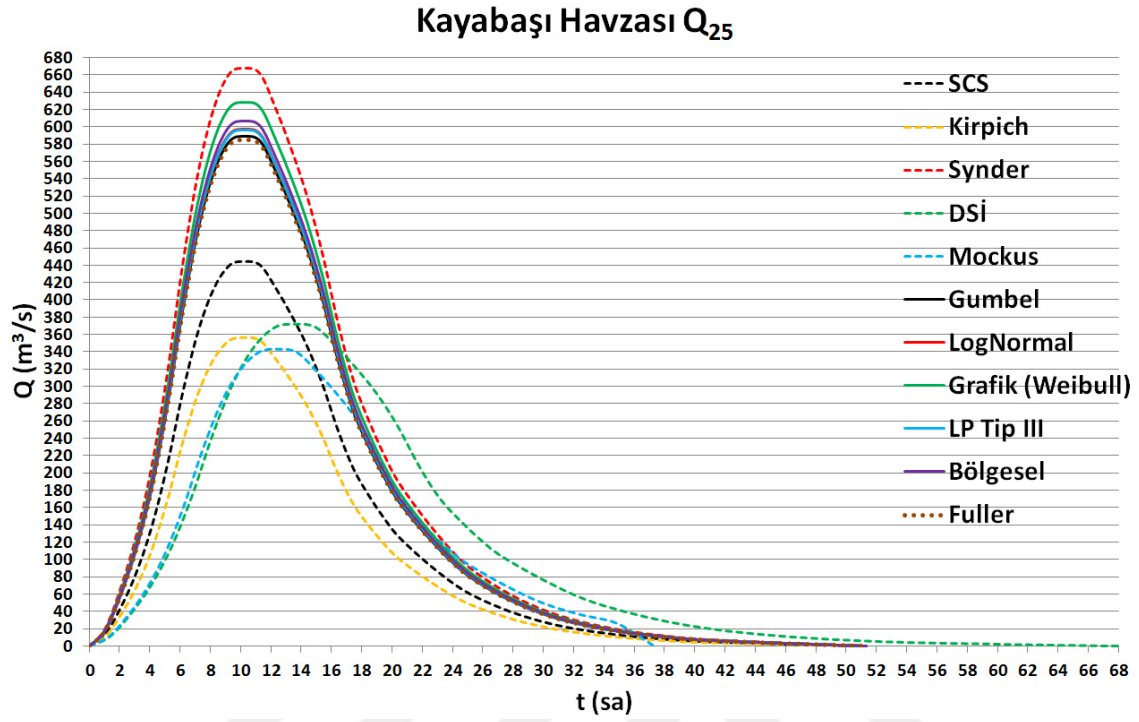
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



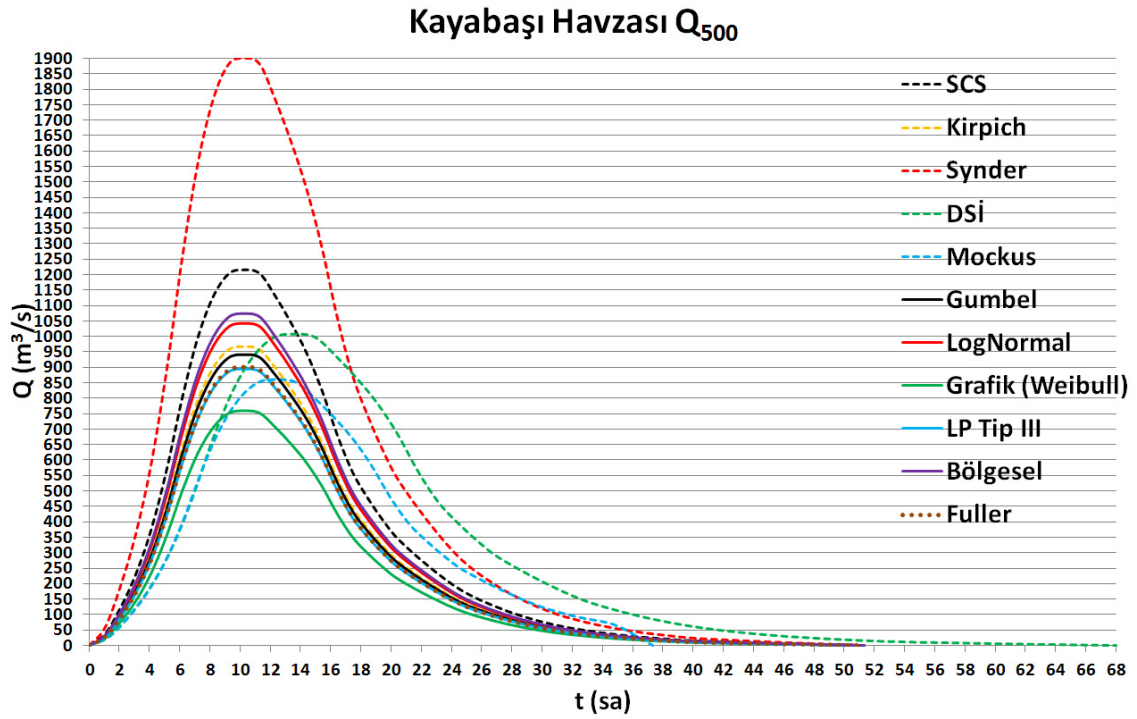
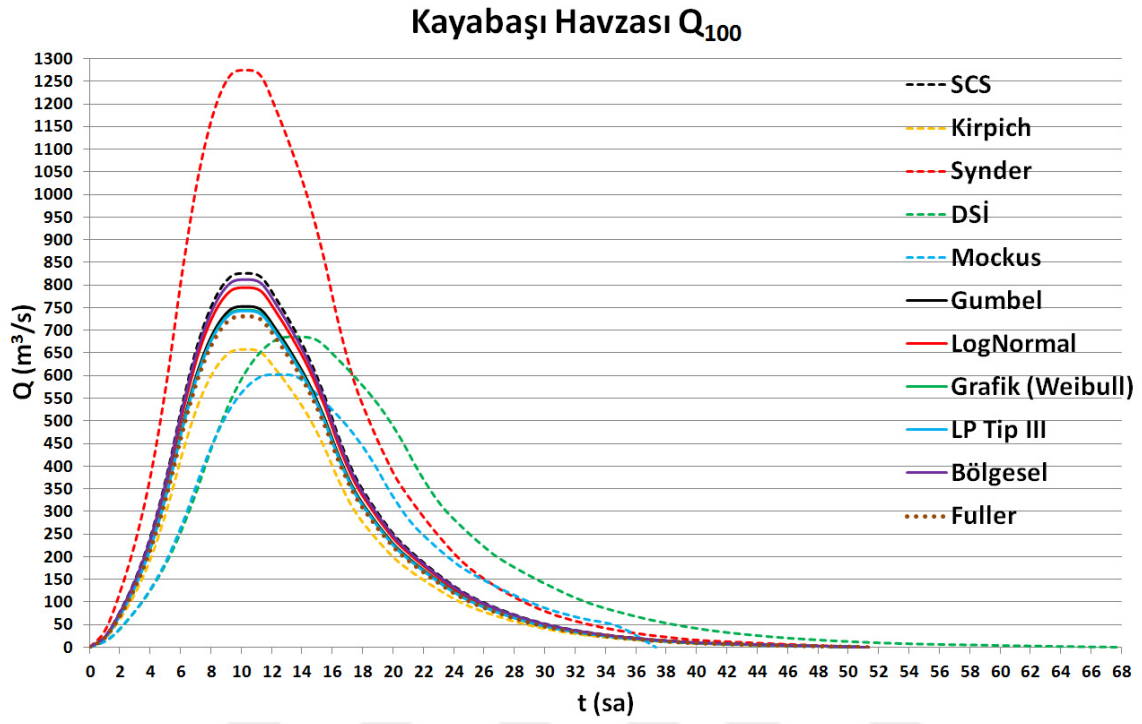
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



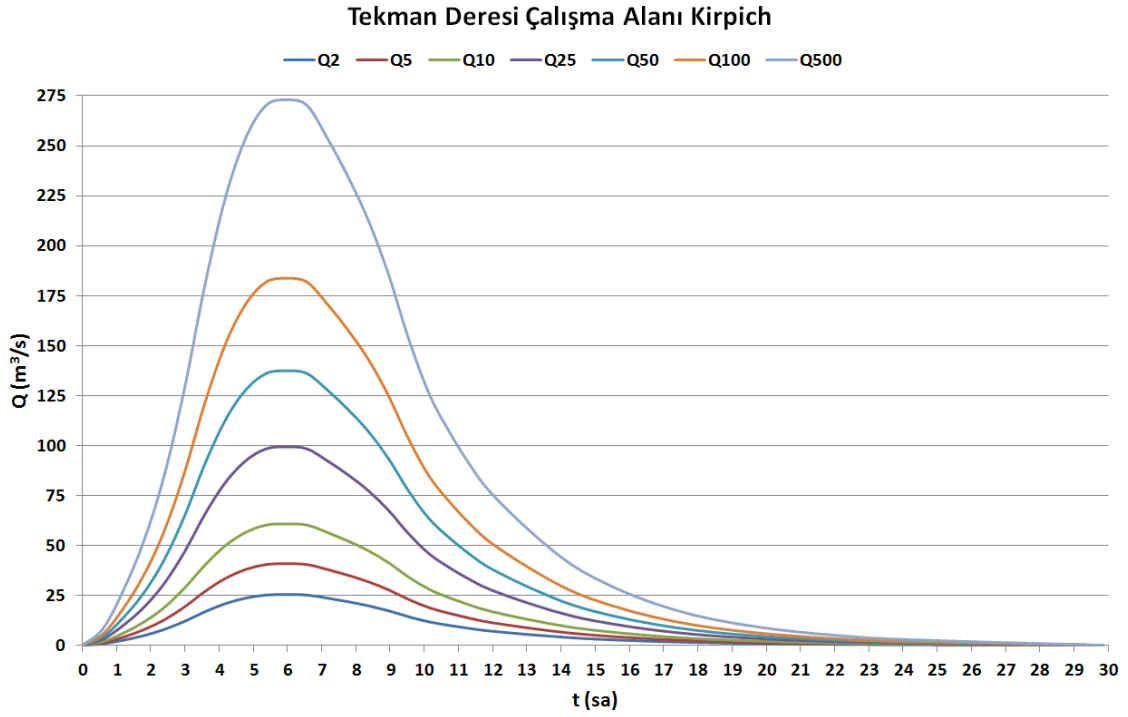
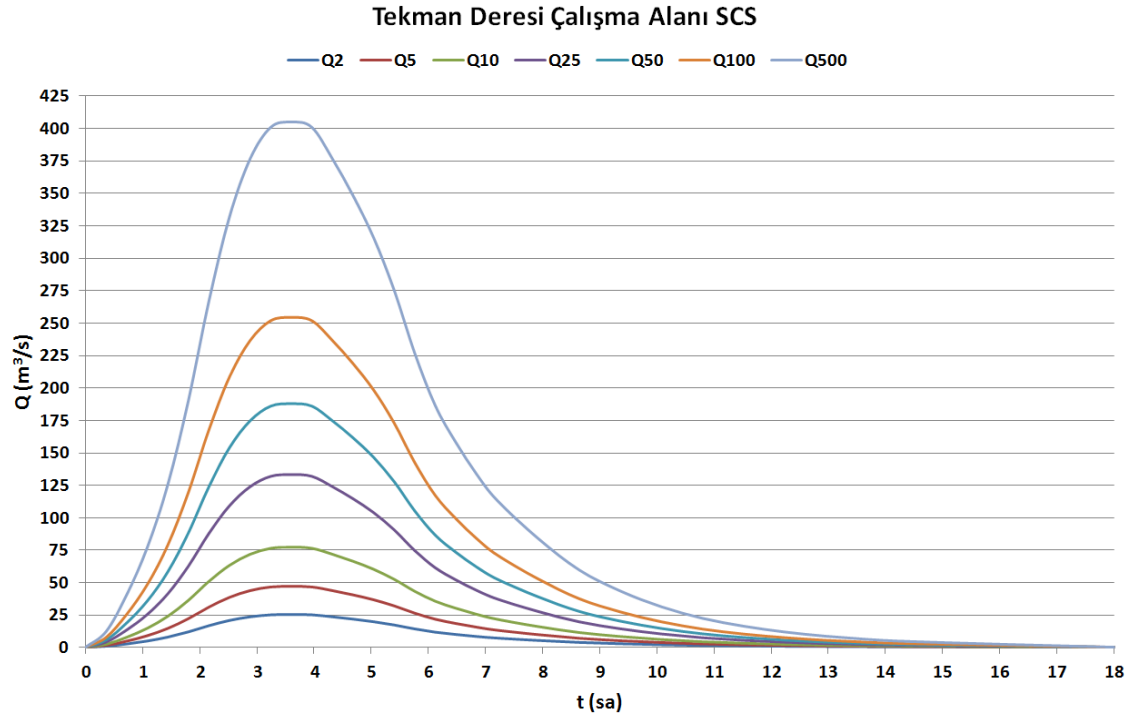
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



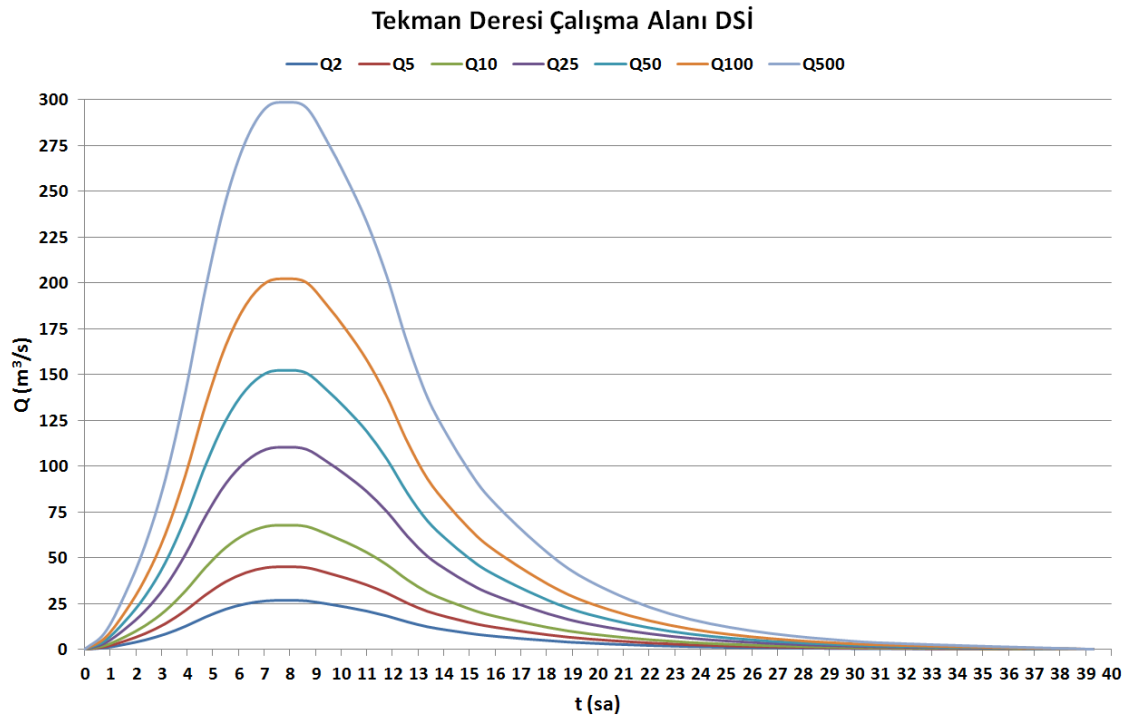
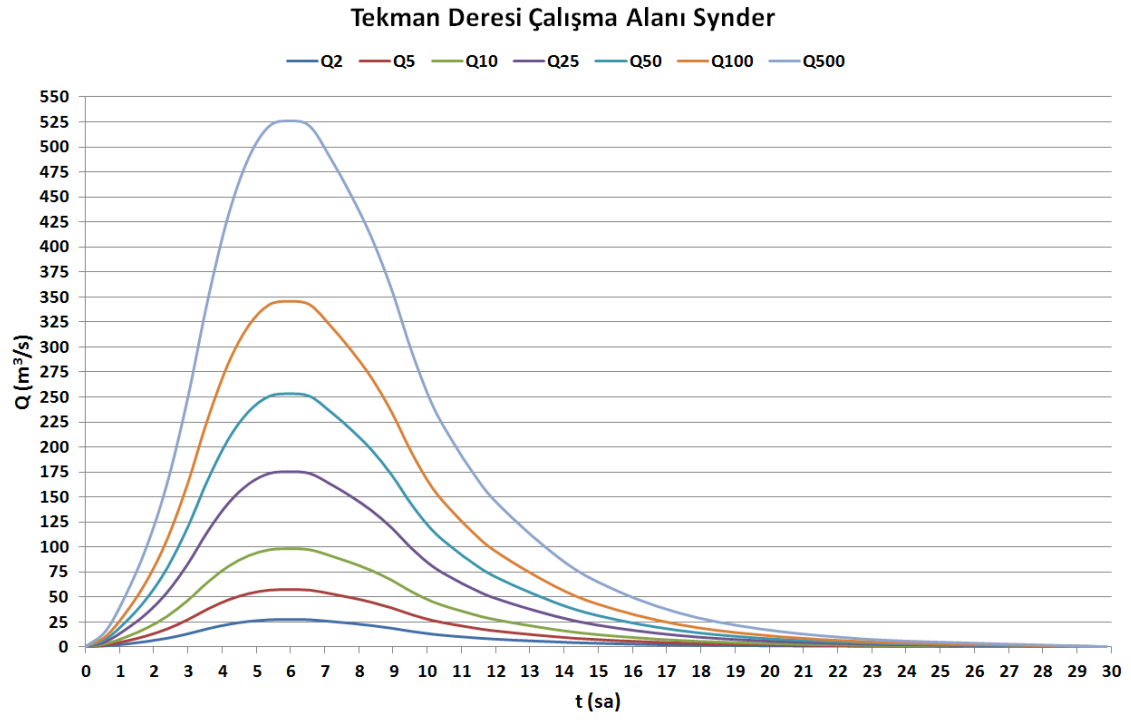
EK 31. (Devam) Kayabaşı Havzası taşkın hidrografları



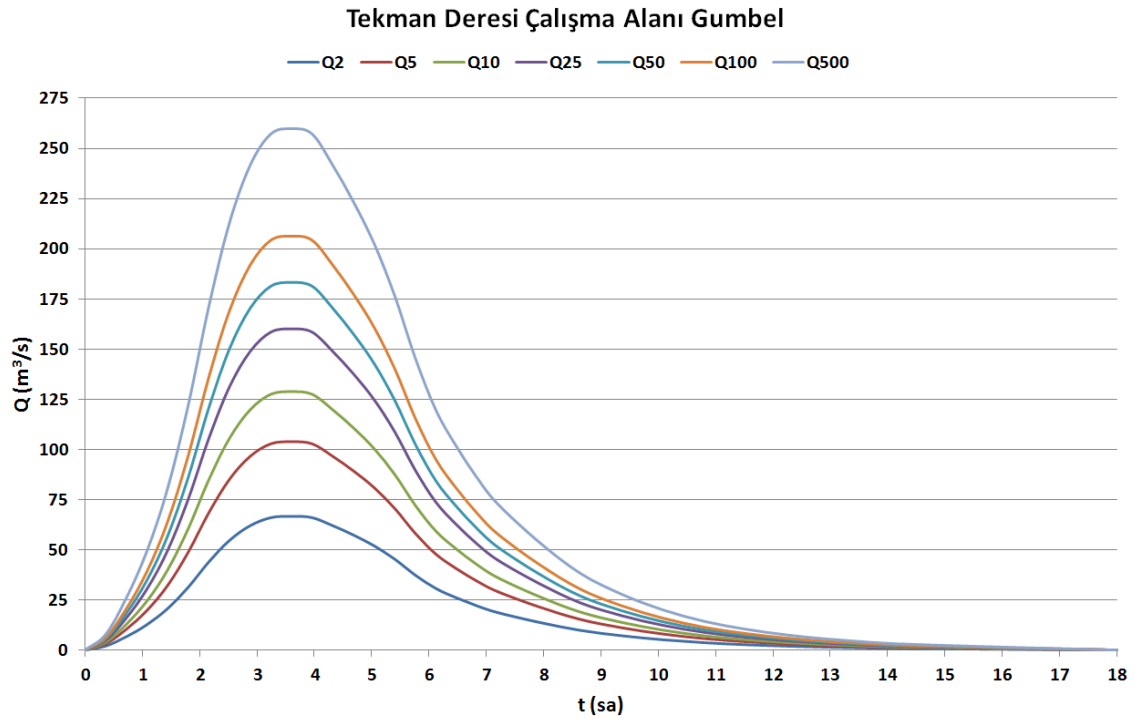
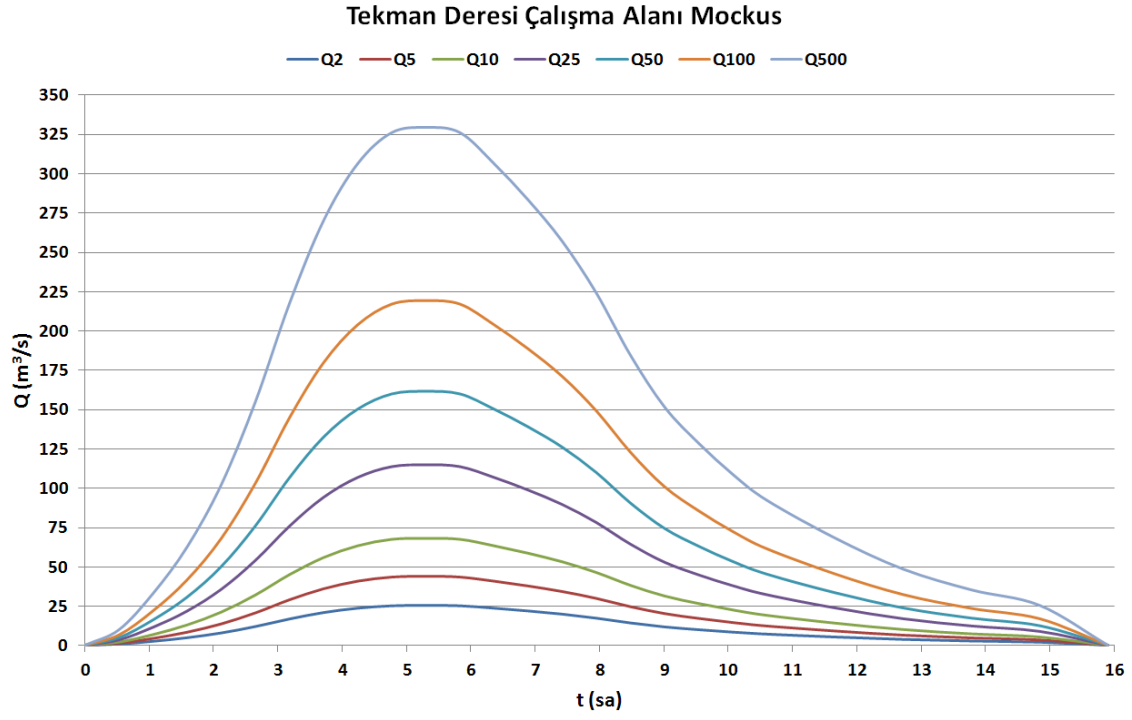
EK 32. Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



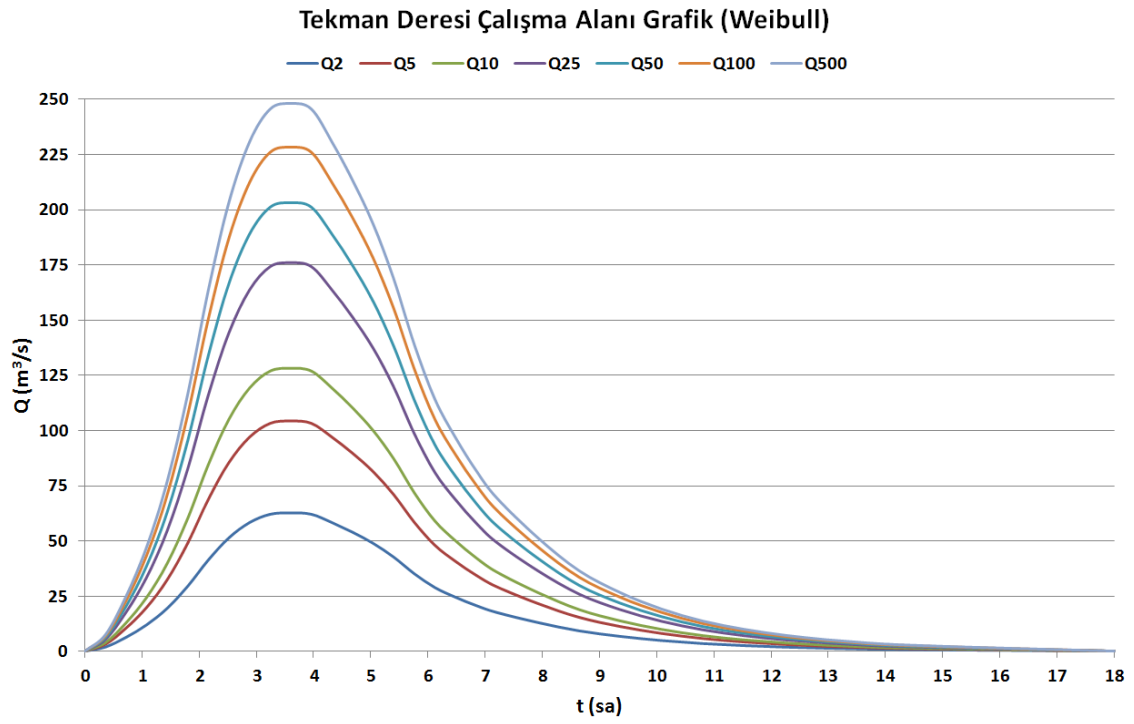
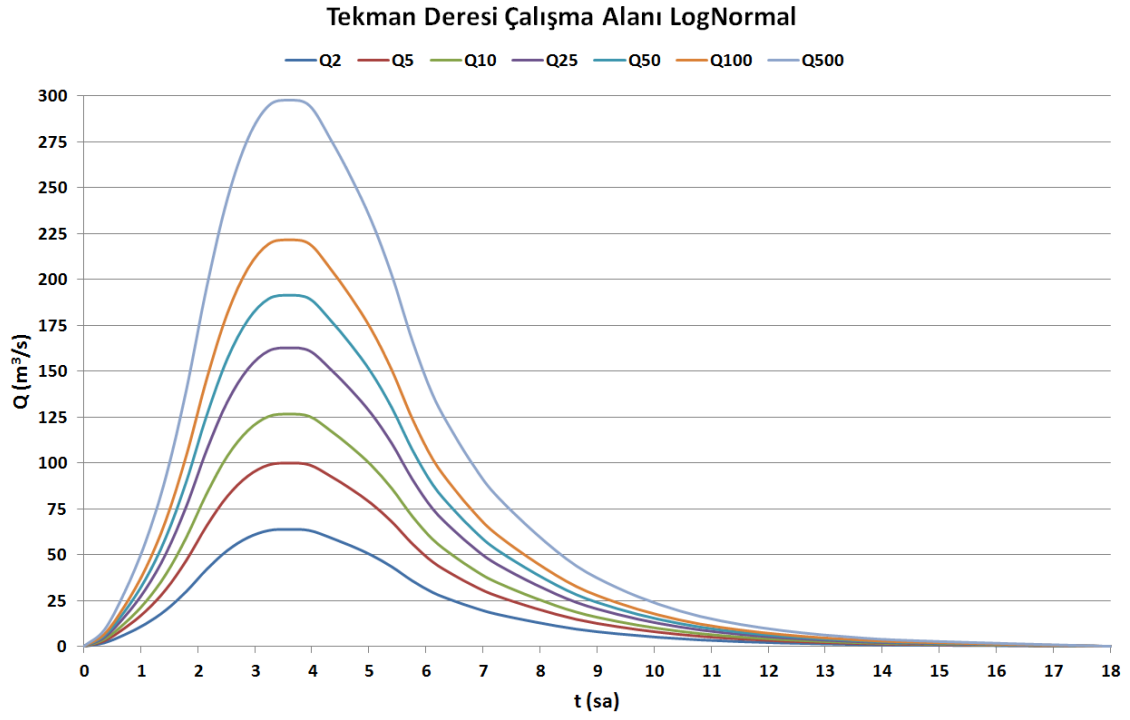
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



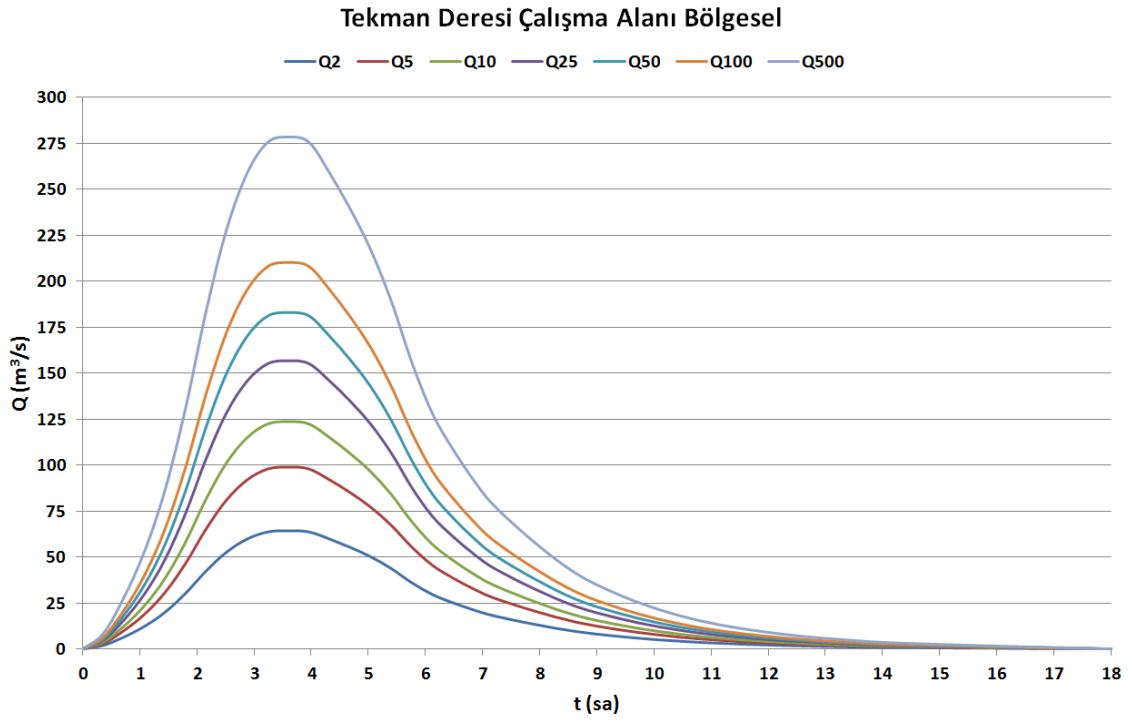
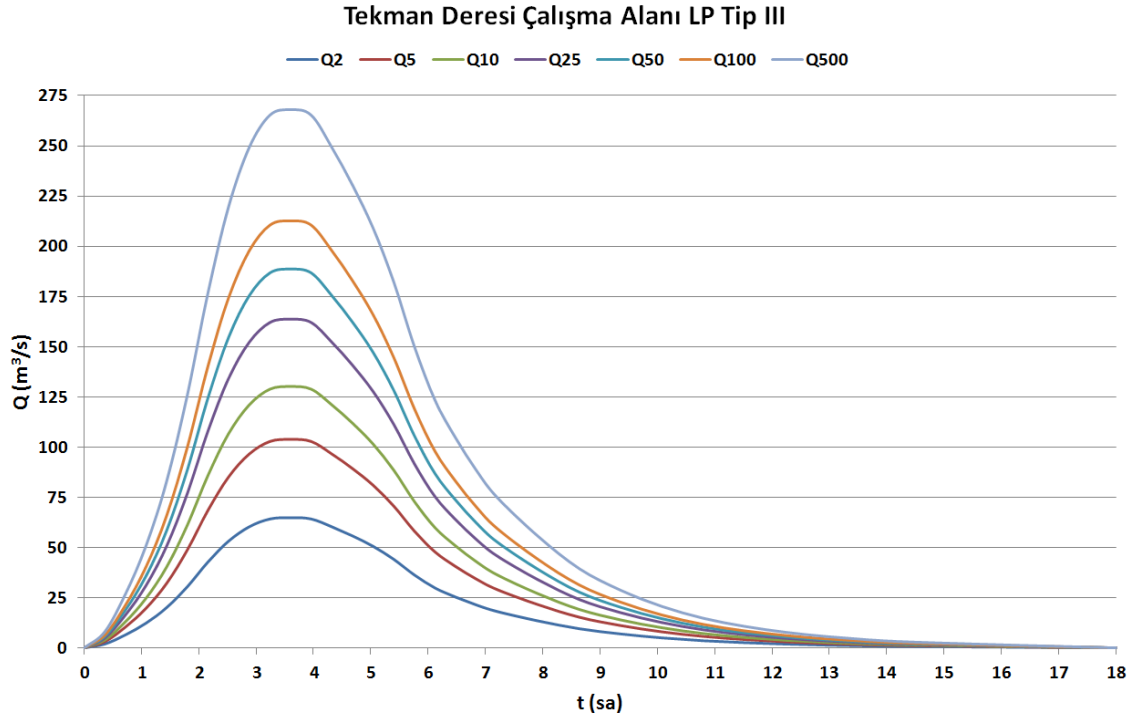
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



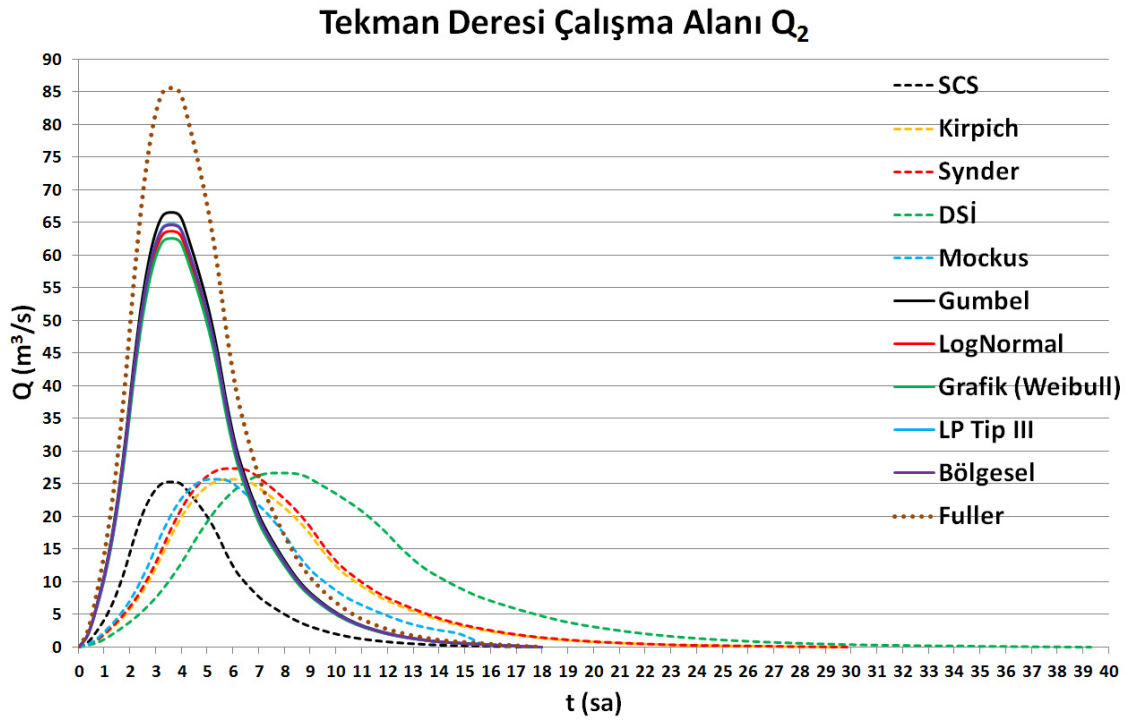
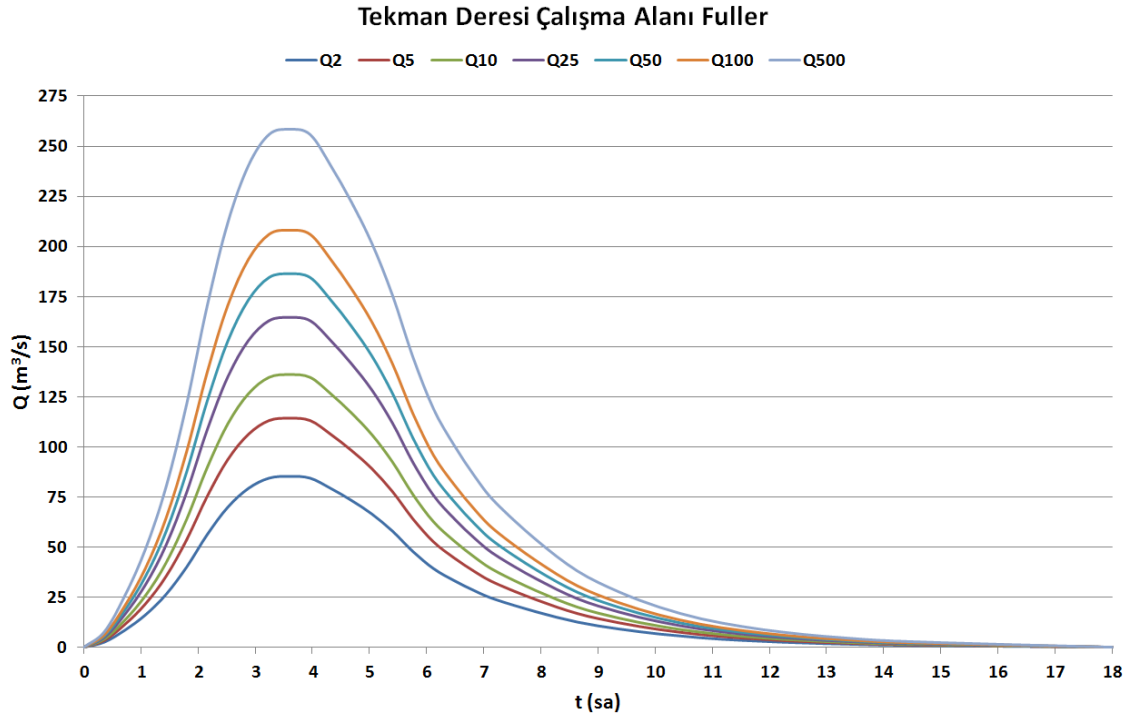
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



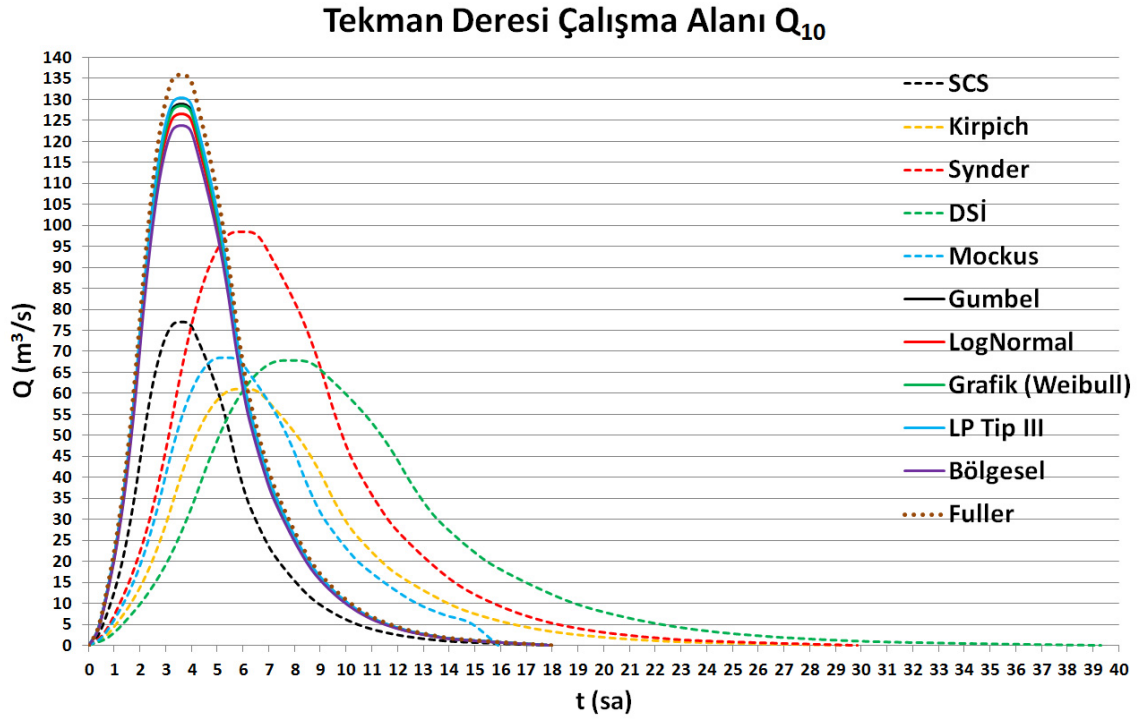
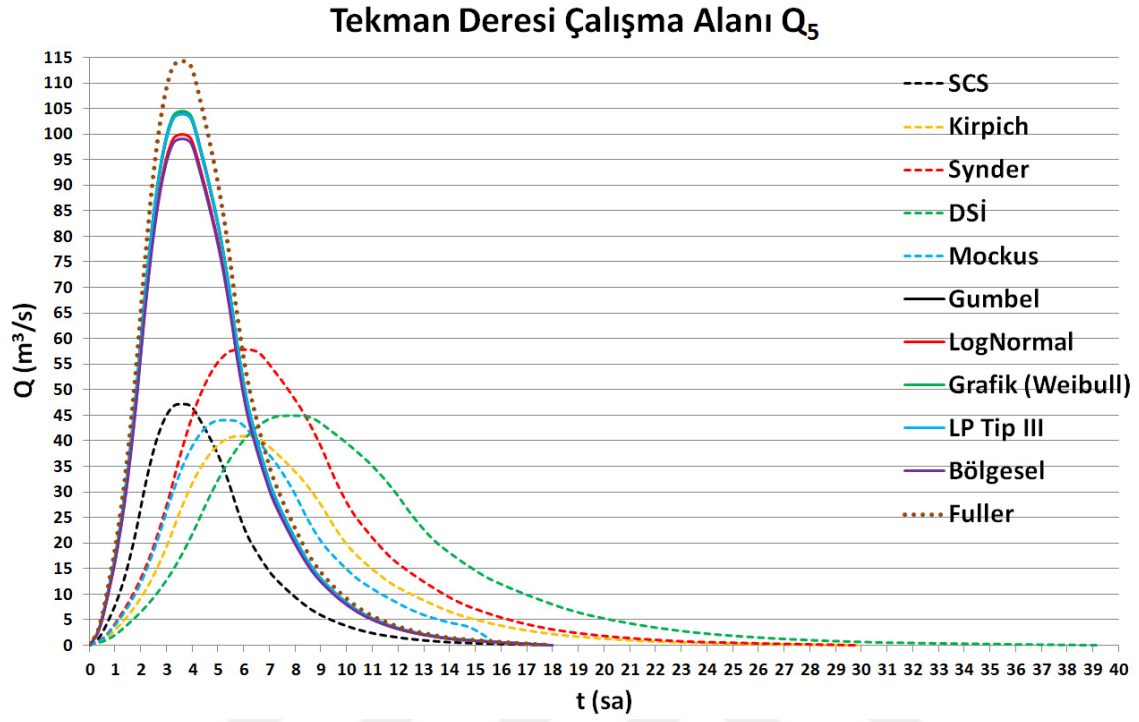
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



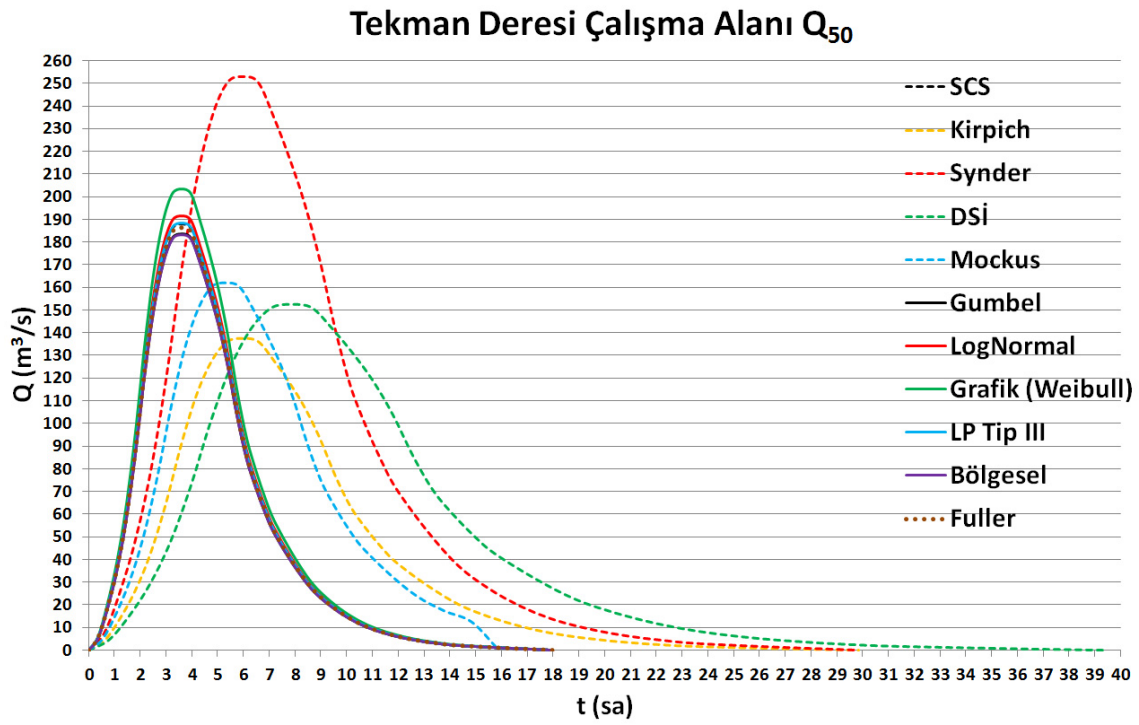
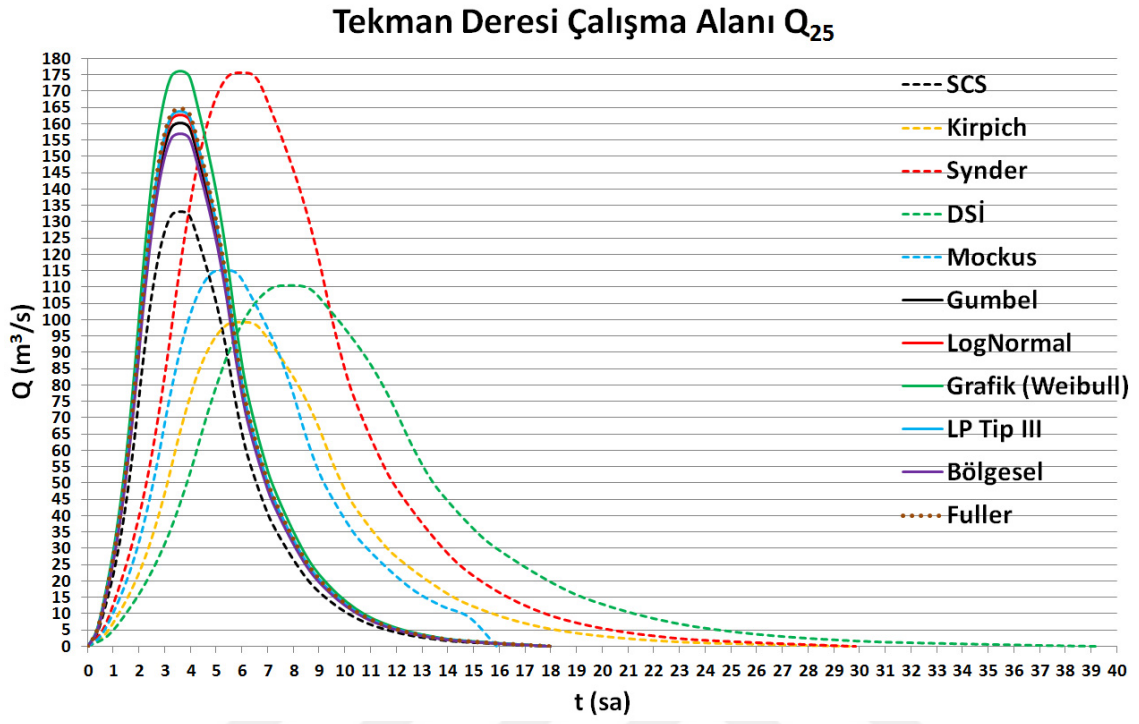
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



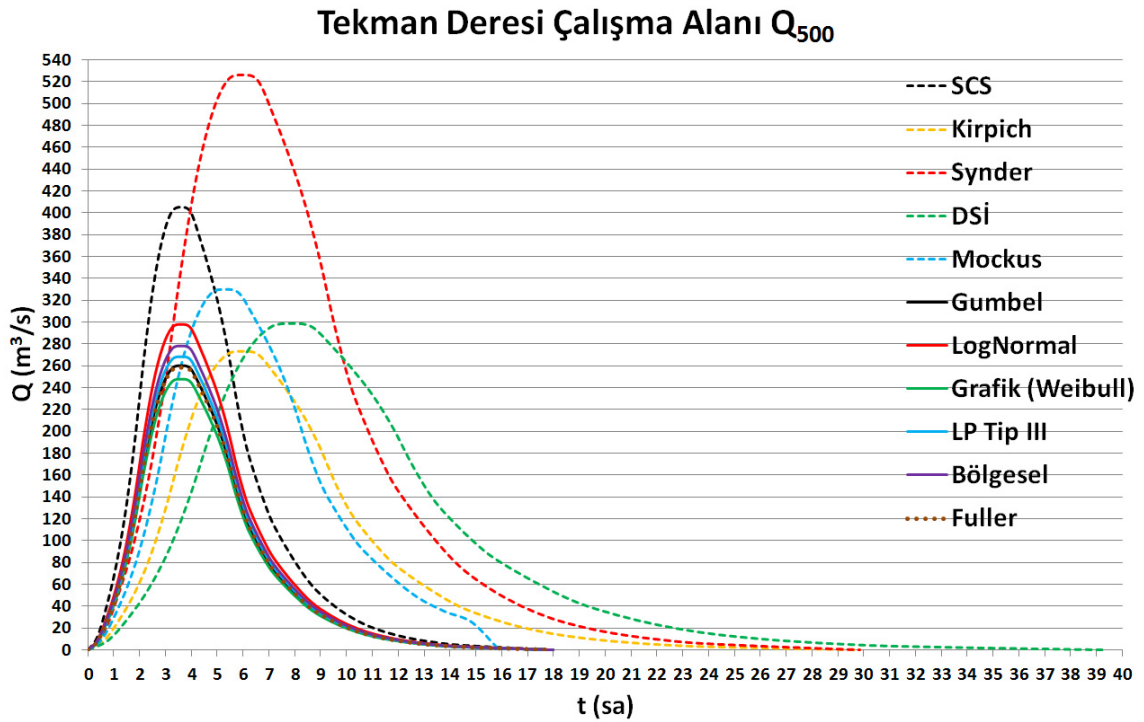
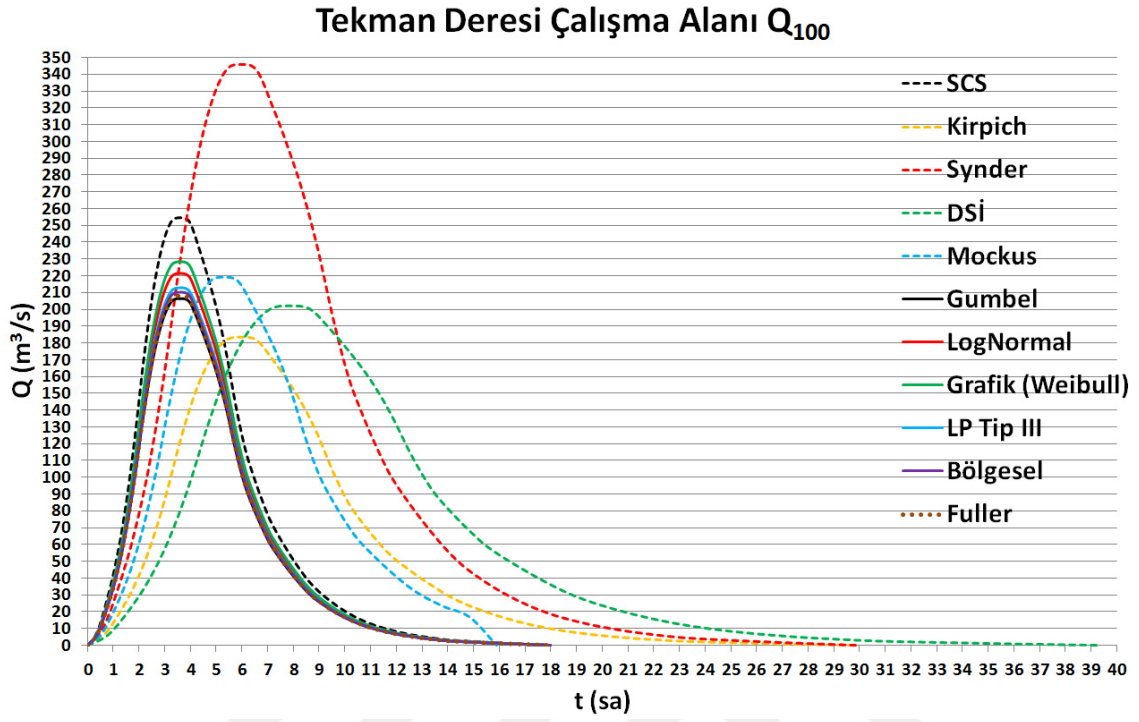
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



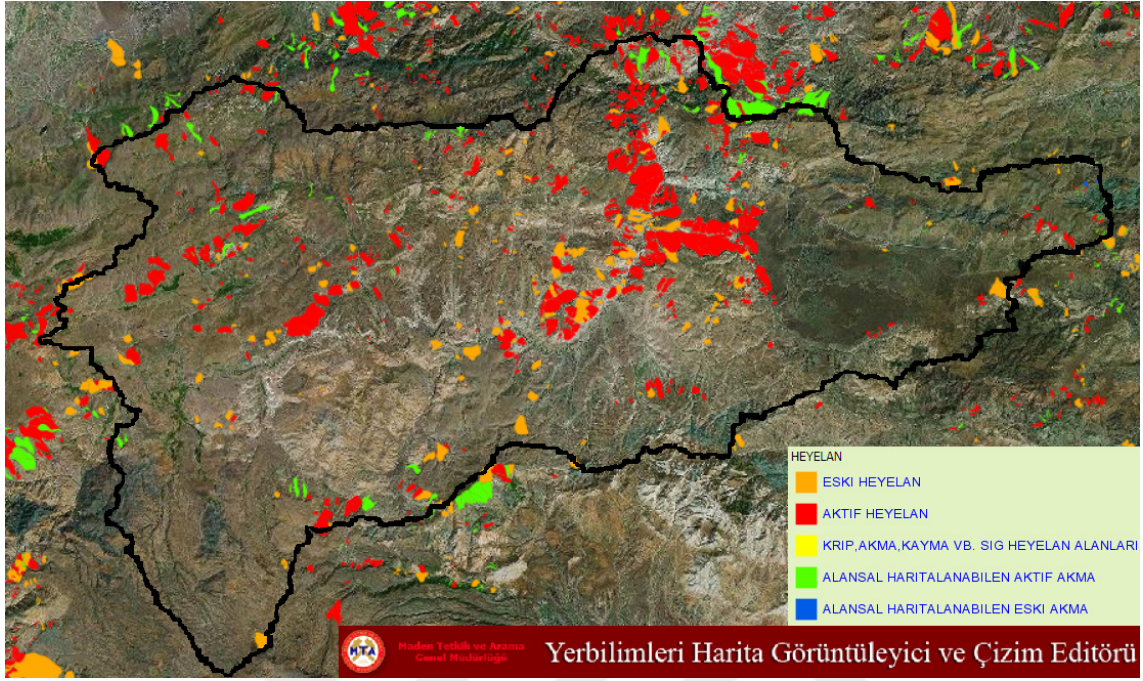
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



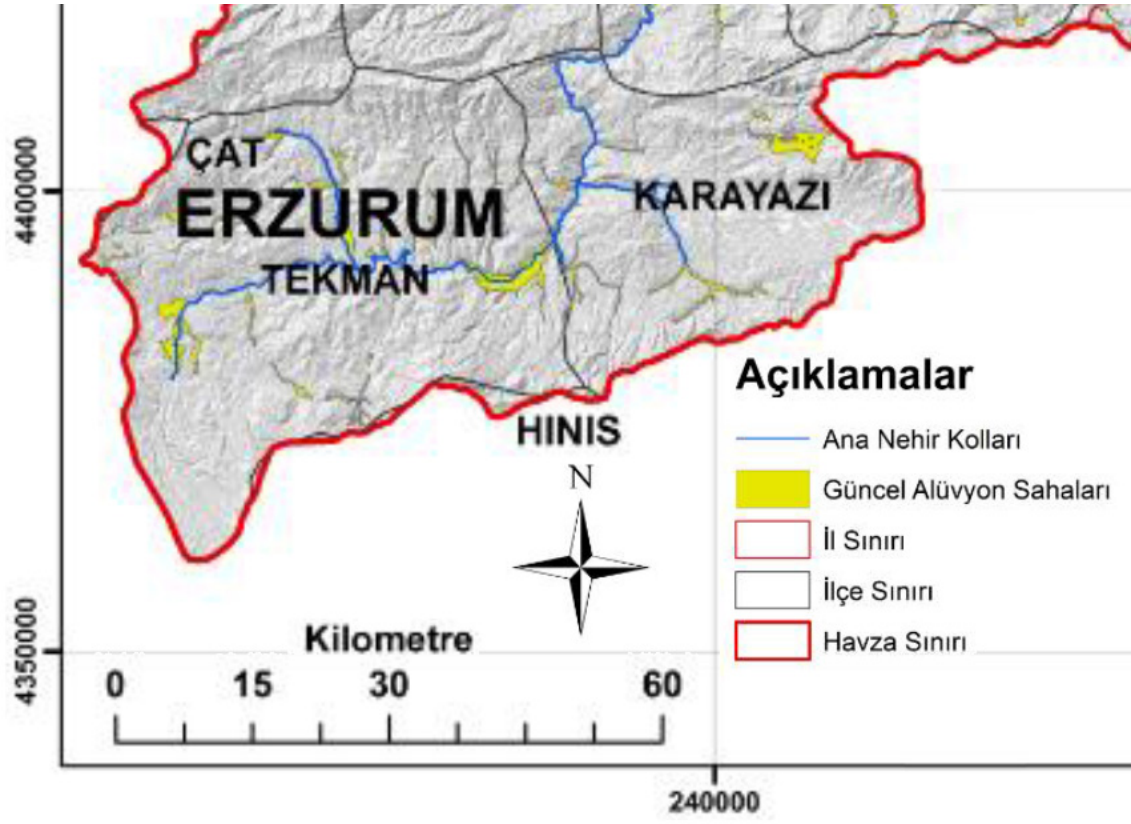
EK 32. (Devam) Tekman Deresi çalışma alanı taşkın hidrografları



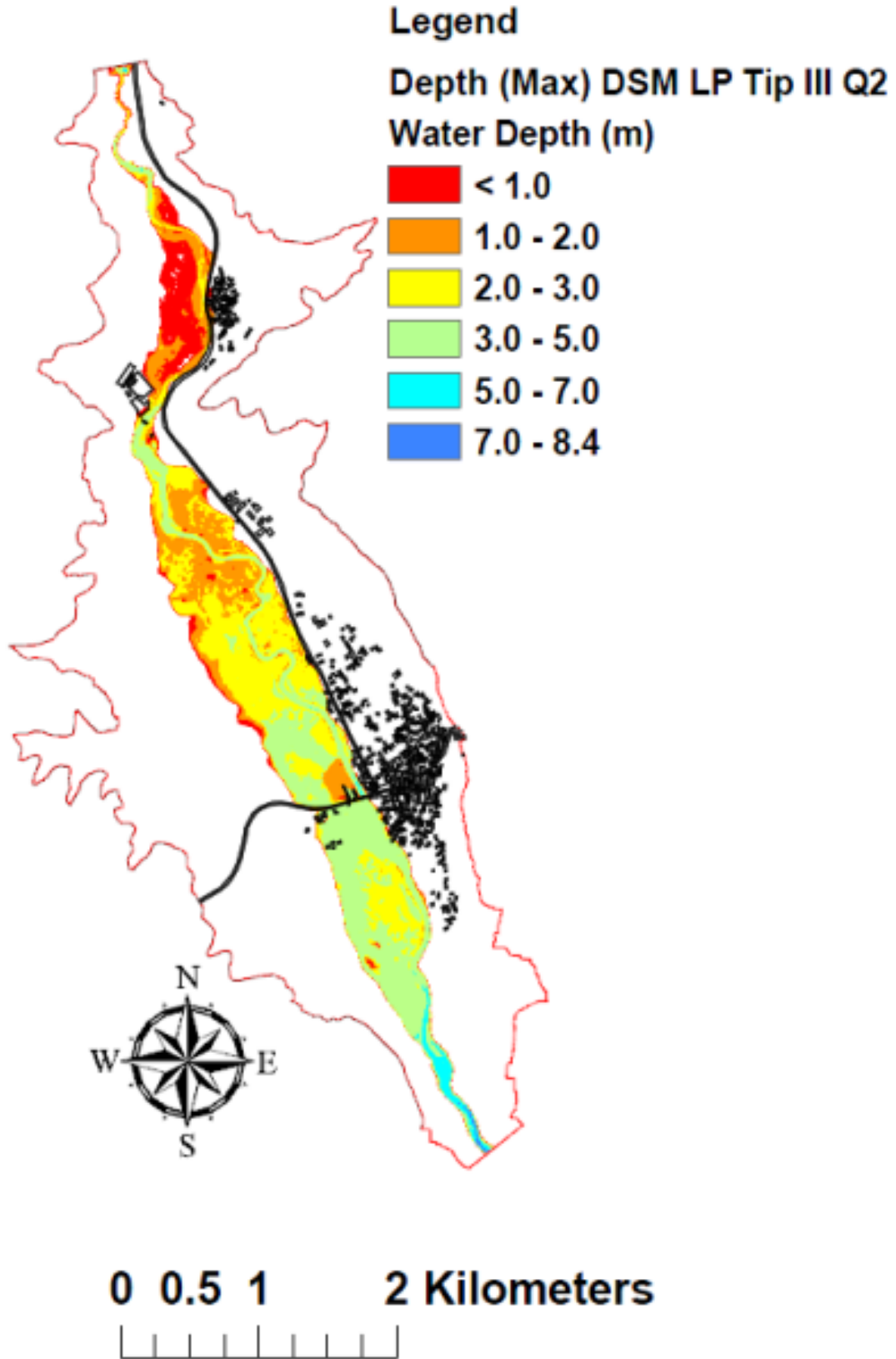
EK 33. Kayabaşı Havzası heyelan haritası (İnt. Kyn. 17, Duman vd. 2011)



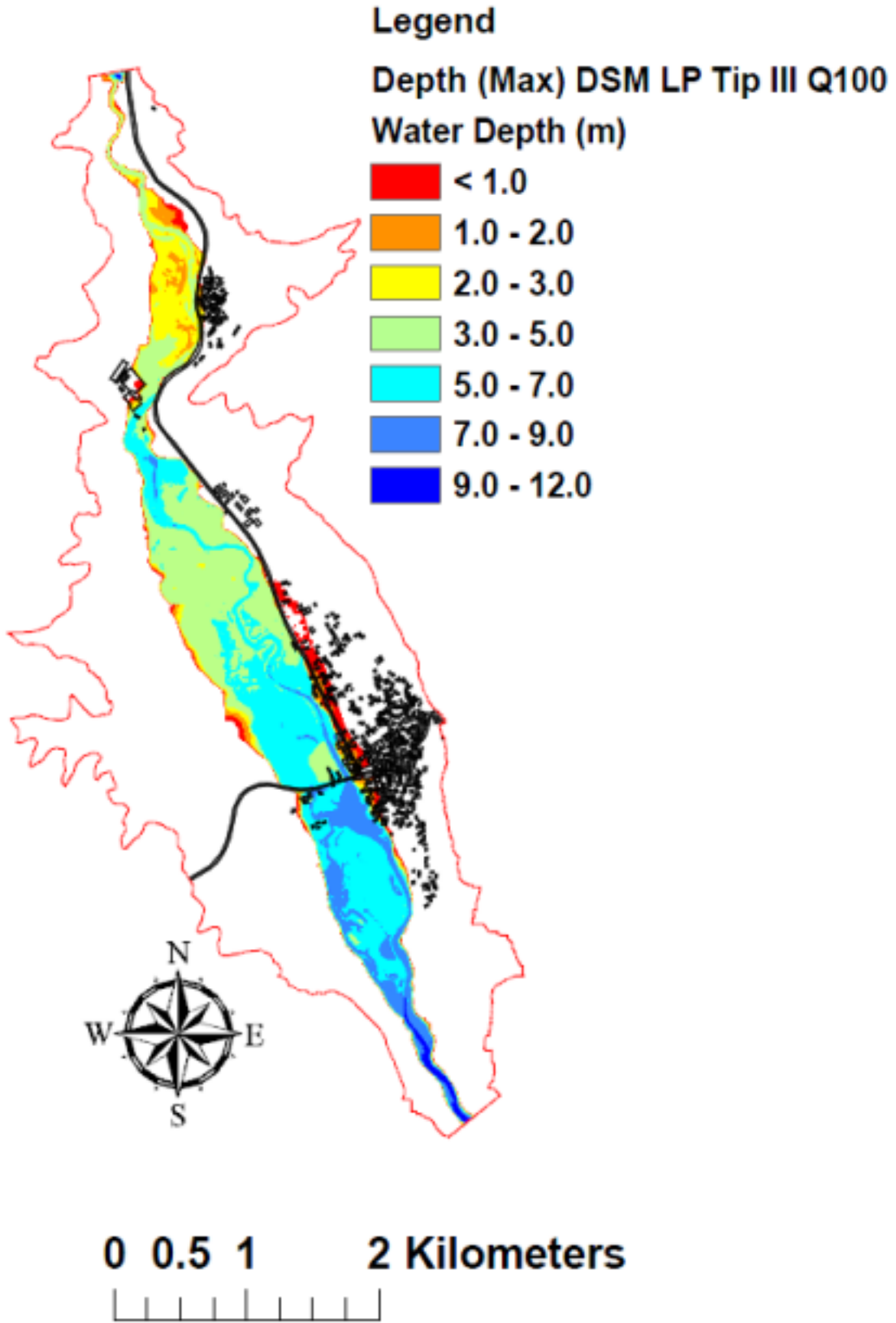
EK 34. Kayabaşı Havzası güncel alüvyon haritası (SYGM 2019)



EK 35. DSM RBF tabanında LP Tip III taşkın derinlik haritaları



EK 35. (Devam) DSM RBF tabanında LP Tip III taşkın derinlik haritaları



EK 35. (Devam) DSM RBF tabanında LP Tip III taşkın derinlik haritaları

