



**DAĞLIK FIRAT ÇORUH VE ARAS HAVZALARINDA
SWAT HİDROLOJİK MODELİ İLE KAR
PARAMETRE KALİBRASYONUNUN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

Melek ZEĞEREK

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ**

2024

Her hakkı saklıdır.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DAĞLIK FIRAT ÇORUH VE ARAS HAVZALARINDA SWAT HİDROLOJİK
MODELİ İLE KAR PARAMETRE KALİBRASYONUNUN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

Melek ZEĞEREK

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2024

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

**DAĞLIK FIRAT ÇORUH VE ARAS HAVZALARINDA SWAT HİDROLOJİK
MODELİ İLE KAR PARAMETRE KALİBRASYONUNUN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ danışmanlığında, Melek ZEĞERЕК tarafından hazırlanan bu çalışma 25 / 07 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (3/3)** kabul edilmiştir.

Başkan	: Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ	İmza	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Doç. Dr. Bünyamin ÖZGERİŞ
Enstitü Müdürü

*Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

02 / 08 / 2024

İmzası

Melek ZEĞEREK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DAĞLIK FIRAT ÇORUH VE ARAS HAVZALARINDA SWAT HİDROLOJİK MODELİ İLE KAR PARAMETRE KALİBRASYONUNUN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Melek ZEĞEREC

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ

Dağlık havzalarda kar, su döngüsünün kritik bir bileşenidir. Türkiye'nin doğu kesimlerinde biriken kar, özellikle Fırat, Çoruh ve Aras nehirleri için büyük önem taşır. Kış aylarında biriken kar, ilkbahar ve yaz aylarında eriyerek nehirler ve göller için sürekli bir su kaynağı sağlar. Bu çalışmada, Fırat, Çoruh ve Aras havzalarının dağlık memba dört alt havzası çalışma alanı olarak seçilmiş ve SWAT ile hidrolojik modelleme yapılmıştır. Model çıktıları, SWAT-CUP otomatik kalibrasyon programıyla kalibre edilmiştir. Modelleme sürecinde akım, meteorolojik ve arazi kar ölçümlerinden yararlanılmıştır. Kar derinliği verileri, geliştirilen SNO_{laps} kar derinliği değişim oranı parametresiyle alt havza ölçeğinde dağıtılarak modelin kar çıktıları ile kalibre edilmiştir. Kar kalibrasyon işleminde E21A019, E23A016, E230A29 ve D24A029 havzaları için sırasıyla ortalama 0,70, 0,82, 0,81 ve 0,24 NSE değerleri elde edilmiştir. Doğrulama sürecinde ise sırasıyla ortalama 0,60, 0,60, 0,25 ve 0,64 NSE değerleri elde edilmiştir. Bulgulara göre, Kemah Boğazı ve Coşkunlar Havzası'nda kar daha erken yağarken, İspir ve Karakurt Havzası'nda kar yağışı daha geç gözlemlenmektedir. Kar parametrizasyon işleminden sonra havzaların akım çıktıları kalibre edilmiş ve kalibrasyon için sırasıyla 0,73, 0,63, 0,61, 0,73 NSE; doğrulama için ise sırasıyla 0,58, 0,50, 0,32, 0,36 NSE değerleri elde edilmiştir.

2024, 117 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik modelleme, SWAT, Kar parametrizasyonu, Fırat Havzası, Çoruh Havzası, Aras Havzası

ABSTRACT

MS. Thesis

COMPARATIVE ANALYSIS OF SNOW PARAMETER CALIBRATION IN THE MOUNTAINOUS EUPHRATES CORUH AND ARAS BASINS USING THE SWAT HYDROLOGICAL MODEL

Melek ZEĞEREK

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Cansaran ERTAŞ

In mountainous basins, snow is a critical component of the water cycle. Snow accumulation in eastern Turkey is particularly important for the Euphrates, Coruh and Aras rivers. The snow that accumulates in winter melts in spring and summer, providing a constant water supply for rivers and lakes. In this study, four mountainous upstream sub-basins of the Euphrates, Coruh and Aras basins were selected as the study area and hydrological modeling was performed with SWAT. Model outputs were calibrated with the SWAT-CUP automatic calibration program. Flow, meteorological and snow measurements were used in the modeling process. Snow depth data were distributed at the sub-basin scale with the developed SNOlaps snow depth change rate parameter and calibrated with the snow outputs of the model. In the snow calibration process, average NSE values of 0,70, 0,82, 0,81 and 0,24 were obtained for basins E21A019, E23A016, E230A29 and D24A029, respectively. In the validation process, average NSE values of 0,60, 0,60, 0,25 and 0,64 were obtained respectively. According to the findings, snow falls earlier in Kemah and Coşkunlar Basin, while snowfall is observed later in İspir and Karakurt Basins After the snow parameterization process, the flow outputs of the basins were calibrated and NSE values of 0,73, 0,63, 0,61, 0,73 were obtained for calibration and 0,58, 0,50, 0,32, 0,36 for validation, respectively.

2024, 117 page

Keywords: Hydrological modeling, SWAT, Snow parameterization, Fırat Basin, Çoruh Basin, Aras Basin

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında, bana araştırmayı ve öğrenmeyi sevdiren, bilgi ve tecrübelerini özenle benimle paylaşan, zorlandığım her aşamada motivasyonumu yüksek tutan, her danışmamda değerli vaktini ayırıp sabır ve ilgiyle yanımda olan, karşılaştığım her sorunda çekinmeden kapısını çalabildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini hiç esirgemeyen, yegâne akıl hocam Dr. Öğr. Üyesi Cansaran ERTAŞ'a,

Yetişmemde ve hayatımın her karesinde sevgi ve sabırla yanımda olan, eğitim yolculuğumun her anında varlıklarından güç aldığım canım AİLEME,

Hayatımıza girdiği andan itibaren tüm ailenin yaşama sevinci olan biricik yeğenim DEFNE'ye

tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Melek ZEĞEREC
Temmuz 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri	2
1.3. Tezin İçeriği ve Ana Hatları.....	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Çalışma Alanında Daha Önce Yapılan Çalışmalar	4
2.2. SWAT Hidrolojik Modeli Kullanılarak Daha Önce Yapılan Çalışmalar	9
3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI	14
3.1. Giriş.....	14
3.2. Veri.....	14
3.2.1. Akım gözlem verileri	14
3.2.2. Meteorolojik gözlem verileri	15
3.2.3. Kar gözlem verileri	16
3.3. Havzalar ve Havza Karakteristikleri	18
3.3.1. Yükseklik	20
3.3.2. Eğim	23
3.3.3. Bakı	26
3.3.4. Meteorolojik istasyonlar (MGİ ve OMGİ).....	28
3.3.5. Arazi kullanımı ve toprak sınıfı verisi	34
4. YÖNTEM	39
4.1. Giriş.....	39
4.2. SWAT Hidrolojik Modeli	39
4.2.1. SWAT hidrolojik modelinin tarihsel gelişimi.....	40

4.2.2. SWAT model yapısı ve çalışma prensibi	41
4.3. Modelin Uygulanması.....	43
4.3.1. Model verilerinin hazırlanması	43
4.3.2. Baz model kurulumu	48
4.4. SWAT CUP.....	49
4.4.1. Kalibrasyon programının yapısı ve çalışma prensibi	49
4.4.2. Kalibrasyon öncesi kar parametrizasyonu	50
4.4.3. Hassasiyet analizi	52
4.4.4. Akım parametrelerinin kalibrasyonu ve doğrulaması	54
5. BULGULAR	55
5.1. E21A019 - Kemah Boğazı Havzası	58
5.1.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu.....	58
5.1.2. Kar parametrelerinin doğrulaması	67
5.1.3. Hassasiyet analizi	68
5.1.4. Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması.....	69
5.2. E23A016 - İspir Köprüsü Havzası	71
5.2.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu.....	71
5.2.2. Kar parametrelerinin doğrulaması	76
5.2.3. Hassasiyet analizi	78
5.2.4 Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması.....	79
5.3. E23A029 – Coşkunlar Havzası	81
5.3.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu.....	81
5.3.2. Kar parametrelerinin doğrulaması	84
5.3.3. Hassasiyet analizi	85
5.3.4 Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması.....	86
5.4. D24A029 - Karakurt Havzası	88
5.4.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu.....	88
5.4.2. Kar parametrelerinin doğrulaması	92
5.4.3 Hassasiyet analizi	92
5.4.4. Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması.....	93
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR	103
EKLER.....	106
EK 1.....	106

EK 2.....	112
EK 3.....	114
EK 4.....	116



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

%	Yüzde
cm	Santimetre
<i>g</i>	Gram
m	Metre
<i>mm</i>	Milimetre
sa	Saniye
Σ	Toplam
σ	Standart Sapma
°	Derece
μ	Ortalama
ρ	Rho
ω	Omega

Kısaltmalar

95PPU	95 Percent Prediction Uncertainty
AKİ	Akım Kuraklık İndeksi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EPS	Ensemble Prediction System
FAO	Food and Agriculture Organization
GAP	Genetic Algorithm and Powell
HBV	Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System
HİB	Hidrolojik İşlem Birimi

IMS	Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System
KD	Kar Derinliği
KSE	Kar Su Eşdeğeri
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSG-SEVIRI	Meteosat Second Generation - Spinning Enhanced Visible and Infrared
NSE	Nash Sutcliffe Efficiency
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
SRM	Snowmelt Runoff Model
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SUFI-2	Sequences Uncertainty and Fitting-2
SWAT	Soil and Water Assessment Tool MGM Meteoroloji
SWAT-CUP	Soil and Water Assessment Tool Calibration and Uncertainty Program
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SWRRB	Simulator for Water Resources in Rural Basins

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma alanında yer alan akım gözlem istasyonları.....	15
Şekil 3.2. Çalışma alanında yer alan meteoroloji gözlem istasyonları	16
Şekil 3.3. Çalışma alanında yer alan otomatik meteoroloji kar gözlem istasyonları	17
Şekil 3.4. Çalışma alanı olarak seçilen alt havzalar	19
Şekil 3.5. E21A019 Kemah Boğazı Havzası yükseklik haritası.....	20
Şekil 3.6. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait hipsometrik eğri.....	21
Şekil 3.7. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzaları yükseklik haritası	21
Şekil 3.8. E23A016 İspir Köprüsü Havzası'na ait hipsometrik eğri.....	22
Şekil 3.9. E23A029 Coşkunlar Havzası'na ait hipsometrik eğri	22
Şekil 3.10. D24A029 Karakurt Havzası yükseklik haritası	23
Şekil 3.11. D24A029 Havzası'na ait hipsometrik eğri	23
Şekil 3.12. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait eğim haritası	24
Şekil 3.13. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait eğim haritası	25
Şekil 3.14. D24A029 Karakurt Havzası'na ait eğim haritası.....	25
Şekil 3.15. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait bakı haritası	27
Şekil 3.16. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait bakı haritası	27
Şekil 3.17. D24A029 Karakurt Havzası'na ait bakı haritası.....	28
Şekil 3.18. Havzalar için baz alınan AGİ, OMGİ ve MGİ' ler	30
Şekil 3.19. Erzurum istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği	30
Şekil 3.20. Erzincan istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği	31
Şekil 3.21. Bayburt istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği	31
Şekil 3.22. Kars istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği.....	32
Şekil 3.23. Erzurum istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği	32
Şekil 3.24. Erzincan istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği	33
Şekil 3.25. Bayburt istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği	33
Şekil 3.26. Kars istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği.....	34
Şekil 3.27. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait arazi kullanımı haritası	35

Şekil 3.28. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait arazi kullanımı haritası.....	36
Şekil 3.29. D24A029 Karakurt Havzası'na ait arazi kullanımı haritası	36
Şekil 3.30. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait toprak sınıfı haritası.....	37
Şekil 3.31. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait toprak sınıfı haritası	38
Şekil 3.32. D24A029 Karakurt Havzası'na ait toprak sınıfı haritası	38
Şekil 4.1. SWAT modelinin tarihsel gelişim şeması	40
Şekil 4.2. SWAT modeli akış şeması	42
Şekil 4.3. Latin hiperküp örneklemeşi	50
Şekil 5.1. 2017 kar sezonu yükseklik-kar derinliği ilişkisi.....	56
Şekil 5.2. 2018 kar sezonu yükseklik-kar derinliği ilişkisi.....	56
Şekil 5.3. 2019 kar sezonu yükseklik-kar derinliği ilişkisi.....	57
Şekil 5.4. OMGİ'lerin E21A019 Havzası'na dağılımı	59
Şekil 5.5. 17777 no'lu Palandöken Kayak Merkezi istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği.	60
Şekil 5.6. 17777 no'lu Palandöken Kayak Merkezi istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği.	60
Şekil 5.7. 17777 no'lu Palandöken Kayak Merkezi istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği.	61
Şekil 5.8. 19067 no'lu Palandöken Konaklı istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği	61
Şekil 5.9. 19067 no'lu Palandöken Konaklı istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği	62
Şekil 5.10. 19067 no'lu Palandöken Konaklı istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği	62
Şekil 5.11. 19071 no'lu Erzincan Sakaltutan istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği	63
Şekil 5.12. 19071 no'lu Erzincan Sakaltutan istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği	63
Şekil 5.13. 19071 no'lu Erzincan Sakaltutan istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği	64
Şekil 5.14. 19074 no'lu Aşkale Ovacık istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği ..	64
Şekil 5.15. 19074 no'lu Aşkale Ovacık istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği ..	65

Şekil 5.16. 18203 no'lu Çat istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği	65
Şekil 5.17. E21A019 Havzası 2017 - 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı.	66
Şekil 5.18. 17669 no'lu Yakutiye Kırkgöze istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği	67
Şekil 5.19. 17691 no'lu Aşkale Kop istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği.....	67
Şekil 5.20. 17687 no'lu Aziziye Ilıca istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği	68
Şekil 5.21. E21A019 Havzası 1985-2000 yılları günlük akım	70
Şekil 5.22. E21A019 Havzası 2006 - 2022 yılları günlük akım	71
Şekil 5.23. OMGI'lerin E23A016 Havzası'na dağılımı	72
Şekil 5.24. 19052 no'lu Bayburt Üzengili istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği	73
Şekil 5.25. 19052 no'lu Bayburt Üzengili istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği	73
Şekil 5.26. 19052 no'lu Bayburt Üzengili istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği	74
Şekil 5.27. 19234 no'lu Bayburt Kemertaş istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği	74
Şekil 5.28. 19234 no'lu Bayburt Kemertaş istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği	75
Şekil 5.29. 2017 – 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı	75
Şekil 5.30. 19236 no'lu Bayburt Kop istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği.....	77
Şekil 5.31. 19241 no'lu Kelkit Çamur istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği.....	77
Şekil 5.32. 19241 no'lu Bayburt Ballıkaya istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği	78
Şekil 5.33. E23A016 Havzası 1985 - 2002 yılları günlük akım	80
Şekil 5.34. E23A016 Havzası 2008 - 2022 yılları günlük akım	81
Şekil 5.35. OMGI'lerin E23A029 Havzası'na dağılımı	82
Şekil 5.36. 19047 no'lu Yusufeli Yamaçüstü istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği.	82
Şekil 5.37. 19047 no'lu Yusufeli Yamaçüstü istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği.	83

Şekil 5.38. 19047 no'lu Yusufeli Yamaçüstü istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği.	83
Şekil 5.39. 2017 – 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı	84
Şekil 5.40. 19256 no'lu Selim Beyköy istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği...	85
Şekil 5.41. E23A029 Havzası 1986 - 2000 yılları günlük akım	87
Şekil 5.42. E23A029 Havzası 2006 - 2017 yılları günlük akım	88
Şekil 5.43. OMGİ'lerin D24A029 Havzası'na dağılımı.....	89
Şekil 5.44. 18196 no'lu Sarıkamış Kayak M. istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği	89
Şekil 5.45. 18196 no'lu Sarıkamış Kayak M. istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği	90
Şekil 5.46. 18196 no'lu Sarıkamış Kayak M. istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği	90
Şekil 5.47. 19076 no'lu Sarıkamış Karakurt istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği	91
Şekil 5.48. 2017 - 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı	91
Şekil 5.49. 19072 no'lu Tekman Hacıömer istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği	92
Şekil 5.50. D24A029 Havzası 1994 - 2000 yılları günlük akım.....	94
Şekil 5.51. D24A029 Havzası 2007-2015 yılları günlük akım.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışma alanı olarak seçilen alt havzalara ait akım gözlem istasyonları	18
Çizelge 3.2. Havzaların yükseklik ve alan bilgileri hakkındaki veriler	20
Çizelge 3.3. Havzaların ortalama eğimleri	24
Çizelge 3.4. Havzalara ait eğim sınıfı ve alan yüzdesi dağılımı	26
Çizelge 3.5. Havzalara ait bakı sınıfı ve alan yüzdesi dağılımı	28
Çizelge 3.6. Çalışma alanı civarında bulunan meteoroloji gözlem istasyonları	29
Çizelge 3.7. Havzalara ait alan yüzdesi fazla olan arazi kullanımı sınıfları	35
Çizelge 4.1. Hidrolojik döngüde yer alan ifadeler ve açıklamaları	41
Çizelge 4.2. Kemah Boğazı Havzası yükseklik bantları (m)	44
Çizelge 4.3. İspir Köprüsü Havzası yükseklik bantları (m).....	45
Çizelge 4.4. Coşkunlar Havzası yükseklik bantları (m)	46
Çizelge 4.5. Karakurt Havzası yükseklik bantları (m).....	47
Çizelge 4.6. Baz modellere ait bilgiler.....	48
Çizelge 4.7. SWAT CUP'ta parametre değiştirme yöntemi ve açıklaması	49
Çizelge 4.8. SWAT kar modülü ve yağış-sıcaklık değişim oranı parametreleri	51
Çizelge 4.9. Denklem parametrelerinin açıklamaları	52
Çizelge 4.10. Hassasiyet analizinde kullanılan parametreler ve açıklamaları	53
Çizelge 5.1. Kar sezonuna göre elde edilen yıllık SNO_{laps} değerleri	57
Çizelge 5.2. E21A019 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGI'leri ..	58
Çizelge 5.3. Kar parametreleri ve değişim aralığı	59
Çizelge 5.4. E21A019 Havzası sabitlenen kar parametresi değerleri.....	66
Çizelge 5.5. E21A029 Havzası'na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları	69
Çizelge 5.6. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.	70
Çizelge 5.7. E23A016 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGI'leri ..	72
Çizelge 5.8. E23A016 Havzası kar kalibrasyonu kalibrasyon sonucu sabitlenen kar parametresi değerleri.	76
Çizelge 5.9. E23A016 Havzası'na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları	79

Çizelge 5.10. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.	80
Çizelge 5.11. E23A029 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGI'leri	81
Çizelge 5.12. E23A029 Havzası kar kalibrasyonu kalibrasyon sonucu sabitlenen kar parametresi değerleri.	84
Çizelge 5.13. E23A029 Havzası'na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları	86
Çizelge 5.14. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.	87
Çizelge 5.15. D24A029 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGI'leri	88
Çizelge 5.16. D24A029 Havzası kar kalibrasyonu sonucu sabitlenen kar parametresi değerleri.	92
Çizelge 5.17. D24A029 Havzası'na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları	93
Çizelge 5.18. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.	94
Çizelge 6.1. Kar kalibrasyon sonuçları	98
Çizelge 6.2. Kalibrasyon sonucu elde edilen parametre setleri	99

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Su, insanlık için yaşamsal öneme sahip bir kaynaktır ve su kaynaklarının etkin yönetimi, küresel ısınma ve artan nüfus gibi çağımızın büyük zorluklarıyla baş etmemizi sağlayacak kritik bir unsurdur. Özellikle su stresinin arttığı bugünlerde, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve verimliliği ön planda tutulmalıdır. Bu bağlamda, hidrolojik modelleme yöntemleri, su kaynaklarının akılcı yönetimi ve korunması için önemli araçlar sunmaktadır. Karasal bölgelerde yapılan detaylı hidrolojik modellemeler, su döngüsünün karmaşıklığını anlamamıza ve su kaynaklarının yönetimini optimize etmemize yardımcı olur. Bu modellemeler aynı zamanda, kuraklık gibi doğal afetlerin etkilerini azaltarak su güvenliğini artırmada kritik bir rol oynar.

Türkiye, su kaynakları açısından zengin ve karla beslenen dağlık bölgelerle karakterizedir. Yüksek kesimlerinde biriken kar, özellikle Fırat, Çoruh ve Aras nehirleri üzerinde büyük öneme sahiptir. Bu nehirler, ülkenin su kaynaklarının yaklaşık %36,5'ini oluşturur ve üzerlerinde inşa edilen barajlar, enerji üretimi ve su yönetimi açısından stratejik bir rol oynar. Bu bağlamda, SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hidrolojik modeli gibi teknik yöntemler, söz konusu nehir havzalarında su kaynaklarının yönetimi, akım tahmini ve su kalitesi analizlerinde güçlü araçlar sunar.

Bu tez çalışması, Fırat, Çoruh ve Aras nehirlerinin alt havzalarında SWAT modeli kullanarak yapılan detaylı hidrolojik analizler üzerine odaklanarak, bölgenin su kaynaklarının yönetimi ve sürdürülebilirliği açısından kritik bilgiler sağlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, karasal bölgelerde su kaynaklarının modellenmesi ve yönetimi konusunda mevcut bilgileri derinleştirmeyi ve pratik uygulamalara yol göstermeyi hedeflemektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri

Bu tez çalışmasının temel amacı, Türkiye'nin Fırat, Çoruh ve Aras Havzalarında SWAT hidrolojik modelini kullanarak akım modellemesi yapmaktır. SWAT, dünya çapında ve Türkiye'de yaygın olarak kullanılan fiziksel tabanlı bir modeldir. Ancak, Türkiye'deki mevcut çalışmalarda genellikle düşük rakımlı ve kar baskın olmayan havzalar üzerine odaklanılmıştır. Yüksek rakımlı bölgelerde yapılan çalışmalarda ise karın akıma olan etkisi genellikle dikkate alınmamıştır ve çalışma alanı olarak genellikle tek bir havza seçilmiştir.

Bu çalışma, özgün olarak Fırat, Çoruh ve Aras Havzalarında kar parametrelerinin akım modellemesi sürecine etkin bir şekilde dahil edilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, SWAT modeli ile yapılan akım modellemesi öncesinde kar parametризasyonu süreci gerçekleştirilmiş ve bu parametreler havzalar arası karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, kar parametreleri akım verileri yerine bölgede bulunan otomatik kar derinliği ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler ile kalibre edilmiştir.

Bu çalışmanın özgün katkısı, Fırat, Çoruh ve Aras Havzalarının kar parametrelerinin SWAT modeli içinde nasıl entegre edildiğini ve bu parametrelerin akım modellemesi üzerindeki etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemesidir. Elde edilen sonuçlar, benzer coğrafi özelliklere sahip diğer havzalarda su kaynaklarının yönetimi ve modelleme çalışmalarında kullanılabilir önemli bilgiler sağlayabilir.

1.3. Tezin İçeriği ve Ana Hatları

Bu yüksek lisans tezi, kolay anlaşılabilirlik ve takip edilebilirlik amacıyla beş bölümden oluşmaktadır, her biri çalışmanın hedeflerine yönelik olarak yapılandırılmıştır.

Giriş bölümü, çalışmanın genel amacını ve kapsamını tanımlayan genel bilgileri içerecek şekilde başlamaktadır. İkinci bölümde, çalışma alanında daha önce yapılan modelleme çalışmalarını inceleyen bir literatür taramasıyla başlayıp daha sonra SWAT hidrolojik modeli detaylı bir şekilde tanıtılarak ulusal ve uluslararası literatürde yer alan SWAT uygulamaları kronolojik olarak sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, bölgedeki hidro-meteorolojik veriler ile modelleme için gerekli fiziksel girdiler ayrıntılı bir şekilde analiz edilerek çalışma alanı detaylı bir şekilde tanıtılmaktadır.

Dördüncü bölümde, Modelin uygulanması sürecinde model girdilerinin hazırlanması ve baz modelin kurulumu detaylı olarak açıklanmıştır. SWAT-CUP programı tanıtılarak kar parametrelerinin kalibrasyonu, hassasiyet analizi gibi konular ele alınmıştır.

Beşinci bölümde, çalışmadan elde edilen temel bulgular, her bir havza için ayrıntılı olarak sunulmuştur. Havza bazında analiz edilen sonuçlar, SWAT modelinin performansı ve kar parametrelerinin etkinliği üzerine detaylı değerlendirmeler içermektedir.

Altıncı bölüm ise, model çıktıları değerlendirilerek her bir havza için elde edilen sonuçların analiz edildiği bir kısımdır. Ayrıca, gelecek çalışmalar için öneriler ve tavsiyeler sunularak tezin sonuçlarına dayalı olarak potansiyel araştırma yolları belirtilmiştir.

Bu yapı, tezin içeriğinin bütünlüğünü ve okuyucunun çalışmanın her aşamasını anlamasını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Tezin her bölümü, metodolojik yaklaşımlarını, bulgularını ve sonuçlarını ayrıntılı bir şekilde sunarak su kaynakları yönetimi ve hidrolojik modelleme alanında ilgili uzmanlara katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Çalışma Alanında Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Çalışma alanı, birçok önemli nehir ve akarsuya ev sahipliği yapması ve çeşitli barajlar ve göletlerle donatılması nedeniyle su kaynakları açısından zengin bir coğrafyadır. Bu nedenle, bölgede su yönetimi ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılması büyük bir öneme sahiptir. Bu durum, bölgeyi birçok tez ve makale çalışması için odak haline getirmiştir. Bölgede daha önce yürütülen çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Şensoy (2005) tarafından Yukarı Fırat Havzası'nda kar erimesi modellenmiş ve bu süreçlerin dağlık bölgelerdeki su akışına olan etkileri araştırılmıştır. Kar kütlesinin 2002 - 2004 kar sezonları süresince enerji ve kütle dengesinin hesaplanabilmesi için iki katmanlı fiziksel bir nokta modeli kullanılmıştır. Model performansı, model sonuçları gözlenmiş kar su eşdeğeri, kar derinliği ve lizemetre akım değerleri ile karşılaştırılarak, doğru olarak değerlendirilmiştir. Kar su eşdeğeri, güneşlenme, yansıma ve hava sıcaklığının alansal dağılımı kullanılarak, havzadaki her bir hücrede erime tahmin edilmiştir. Sonuçlar, uydudan elde edilen karla kaplı alan görüntüleri, istasyonlarda gözlenen kar su eşdeğerleri ve havza çıkışındaki akım istasyonunda gözlenen debi değerleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Şorman (2005) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Türkiye'nin Yukarı Fırat Havzası'nda yer gözlem istasyonlarından ve MODIS uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan verileri HBV hidrolojik modelinde kullanılarak kar erimesinden oluşan akım 2002 - 2004 su yılları için tahmin edilmektedir. Ayrıca ECMWF ve MM5 sayısal hava tahmin modellerinden sağlanan veriler HBV modeline girdi olarak kullanılarak 2004 su yılının kar erime periyodunda bir gün öncesinden akım tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma; model simülasyonları, uygulanan süre ve seçilen uydu görüntülerinin sonuçları etkilediğini göstermektedir.

Ertaş (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Dağlık Fırat Havzası'nda Ensemble Tahmin Sistemine dayalı hidrolojik modelleme yapılmıştır. Çalışmanın

odaklandığı bölge Yukarı Fırat (Karasu) Havzası olup, temel amacı orta vadeli akım tahminleri oluşturmaktır. Akım tahminleri için HBV kavramsal hidrolojik modeli kullanılmıştır. Hava tahmin verileri için Avrupa Merkez Hava Tahmini Modeli (ECMWF) tarafından üretilen Ensemble Tahmin Sistemi (EPS) verileri kullanılmıştır. Bu EPS verileri, HBV modeli içinde kullanılarak, gelecek 1 ila 9 gün boyunca akım tahminleri oluşturulmuştur. Sonuç olarak bu çalışma, olasılıklı akım tahminlerini ve bu tahminlerin benzeşimini mevcut akım verileri ile sunmuştur.

Coşkun (2016) tarafından Hidrolojik modellemeyle 3 uydu çeşidi karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir. MODIS, MSG-SEVIRI ve IMS kar uydu görüntülerinden elde edilen veriler Türkiye'nin doğu bölgesinde bulunan 50 gözlem istasyonundan elde edilen veriler ile doğrulanmıştır. Doğrulama çalışmasında noktasal yer gözlem verisi ile alansal uydu ürünlerinin daha iyi karşılaştırılabilmesi için istasyonlar farklı özelliklere göre sınıflandırılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Karasu ve Murat Havzalarına ait karla kaplı alan grafikleri de yine bu üç farklı özellikteki uydular ile belirlenmiştir. Havzaların hidrolojik modellemesi için Snowmelt Runoff Model (SRM) kullanılmıştır.

Kaçar (2017) tarafından yapılan çalışmada Aras Nehri'nin membasında yer alan Kayabaşı Havzası çalışma alanı seçilmiştir. 2008 - 2015 yıllarına ait hidro-meteorolojik veriler kullanılarak HEC-HMS programı vasıtasıyla "Soil Moisture Accounting" ve "Deficit and Constant" kayıp metotlarıyla sürekli modelleme yapılmıştır. Modellemenin NSE kalibrasyon ve validasyon değer aralığı sırasıyla şu şekildedir 0,63 – 0,74, 0,61 – 0,67 . Akım verilerinin yanısıra uydu görüntülerinden çıkarılan kar kaplı alan ile kar su eşdeğeri verileri karşılaştırılmış ve tutarlılık analizi yapılmıştır. Ayrıca 2015 yılının Mart - Haziran ayları üzerinde WRF sayısal hava tahmin verileriyle akım tahmini gerçekleştirilmiştir.

Doğan (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Çoruh Havzası'nda çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin çalışması yapılmıştır. Çalışma için Çoruh Havzası'nın memba bölümü seçilmiştir. Bölgenin yüzey analizleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile kar potansiyeli Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ve Landsat uydu görüntüleri ile belirlenmiştir. 2003 - 2015 yıllarına ait hidro-meteorolojik veriler kullanılarak HBV ile hidrolojik modelleme çalışmasına ait akım verileri Genetic

Algorithm and Powell (GAP) yöntemiyle kalibre edilmiştir. Elde edilen modelin performans değerleri, kalibrasyon dönemi için 0,86, validasyon döneminde ise 0,77 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca uydu görüntülerinden elde edilen kar kaplı alan değerleri kullanılarak çok kriterli hidrolojik modelleme çalışması Monte Carlo yöntemi ile denenmiştir. Çok kriterli yönteminin model parametre belirsizliğini azaltmada etkisinin olduğu gözlenmiştir.

Gümüş vd (2018) tarafından yapılan çalışmada sadece aylık ortalama akım verilerini kullanarak hidrolojik kuraklık indisi hesaplayan akım kuraklık indeksi (AKİ) kullanılarak, Fırat Havzası'nda bulunan Murat Nehri - Palu istasyonunun hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Verilere göre en yüksek kurak dönem %36 ile kasım, şubat ve mart aylarında gerçekleşirken, en düşük kurak dönem ise %18 ile mayıs ayında meydana gelmiştir.

Özkan (2019) tarafından Aras Nehri'nin Kayabaşı Havzası'na ait kar erimesi ağırlıklı günlük yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bölgede otomatik kalibrasyon yöntemi ile çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada kar verileri; Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ve Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) uydu görüntülerinden, toprak nemine ait veriler European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ve EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H-SAF) ile temin edilmiştir. Modelleme çalışması HBV çok kriterli hidrolojik model uygulaması ile yapılmıştır.

Tosunuğlu et al. (2020) tarafından yapılan bu çalışma, düşük akışların iki değişkenli modellemesi ve tehlike değerlendirmesini Copula fonksiyonları kullanarak gerçekleştirmiştir. Türkiye'nin Çoruh Havzası'nın üst, orta ve alt kısımlarında gözlemlenen 7 günlük düşük akışlar, farklı alt havzalarda bulunan üç çift sertifikalı istasyon göz önüne alınarak incelenmiştir. Kapsamlı bir istatistiksel analiz, düşük akışın marjinal davranışını modellemek için GEV dağılımının kullanılabileceğini göstermektedir. Her bir kısımdaki ortak dağılımlar, bir düzine Copula ailesi aracılığıyla modellenmiştir. Sonuç olarak, Husler-Reiss Copula üst kısımdaki ortak düşük akışlara uygun bir şekilde uyum sağlarken, t-Student Copula diğer kısımlar için en iyi uyumu

göstermiştir. Düşük akış tehlikesini değerlendirmek için bu Copulalar, kritik iki değişkenli "VE" tehlike senaryosu altında ortak geri dönüş süreleri ve arıza olasılıklarını hesaplamak için kullanılmıştır. Sonuçlar, Çoruh Havzası'nın orta ve alt kısımlarının en büyük kuraklık tehlikelerini yaşama olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Yenilik olarak, kullanılan istatistiksel araçlar, dağılım analizi, frekans analizi (geri dönüş süreleri) ve tehlike analizi (arıza olasılıkları) içeren kapsamlı çok değişkenli bir perspektifte kuraklık tehditini nesnel olarak ölçmeyi sağlamaktadır.

Yalçın (2020) tarafından karlı ve dağlık bir alan olan Fırat - Dicle Havzası'na ait Bitlis Çayı alt havzasının akım değerleri SWAT hidrolojik modeli ile simüle edilmiştir. Baykan istasyonunun ölçüm verileri kullanılarak günlük ve aylık akım simülasyonları için ayrı ayrı kalibre edilip doğrulanmıştır. Hem kalibrasyon hem de doğrulama periyodunda günlük akım değerleri için iyi, aylık akım değerleri için ise çok iyi olarak nitelendirilebilecek simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Uygulanan modelin sadece meteorolojik veriler kullanılarak günlük ve aylık akımları tahmin etmede iyi performanslar sunabildiği görülmüştür.

Peker (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Fırat Havzası'nın Karasu ve Murat alt havzaları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Modelleme işlemi için ArcSWAT yazılımı kullanılmıştır. Araştırmada akım ölçümleri, arazi kar ölçümleri ve MODIS kar kaplı alan (KKA) uydu verileri kullanılmıştır. Model tarafından üretilen kar sonuçları, uydu görüntüleriyle kalibre edilmiş ve istasyonlardan elde edilen noktasal ölçümlerle doğrulanmıştır. Ardından, akım sonuçları SWAT-CUP ile kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyon ve doğrulama süreçleri sonucunda, Nash-Sutcliffe Performans Katsayısı (NSE) değerlerine göre ortalama günlük 0,70'in üzerinde, aylık 0,80'in üzerinde kalibrasyon ve doğrulama sonuçları elde edilmiştir. Geliştirilen hidrolojik modellerle, farklı iklim senaryolarına dayalı iki dönem için projeksiyonlar oluşturulmuş ve iklim değişikliğinin kar erimeleri ve akımlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Uysal vd (2021) tarafından Fırat ve Seyhan Nehirleri'nin doğduğu dağlık bölgelerde iki örnek havza seçilmiştir ve kısa dönemli tahmin çalışması yapılmıştır. Çalışma alanında sayısal hava tahmin verisini girdi alan bir hidrolojik model (HBV) ile 4 farklı yılda kısa vadeli (1 - 2 gün) akım tahmin çalışması yapmışlardır. Delft-Flood Early

Warning System (Delft-FEWS) platformu altında tahminler her bir zaman aralığı (günlük) için ayrı ayrı çalıştırılarak gerçek-zamanlı tahmin sistemi kurgulanmıştır.

Tosunoğlu and Slater (2022) tarafından yapılan bu çalışma, Türkiye'nin nehir havzalarındaki değişen taşkın tehlikesini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, taşkın akışlarının nedenlerini incelemek için dağılımsal regresyon modelleri kullanılmıştır. Özellikle, konum, ölçek ve şekil için genelleştirilmiş eklemeli modeller (GAMLSS) kullanılarak, Orta Doğu'nun en önemli nehir havzası olan Fırat Havzası'ndaki 12 gözlem istasyonundan elde edilen yıllık ani maksimum akışlar (AIMF) analiz edilmiştir. İlk olarak, Pettitt testi AIMF veri serisinde ani değişiklikleri tespit etmek için, Mann–Kendall testi ise zamansal eğilimleri değerlendirmek için kullanılmıştır. İki istasyonda önemli değişim noktaları ve yedi istasyonda önemli azalan zamansal değişiklikler gözlemlenmiştir. AIMF veri serisine üç pozitif sürekli dağılım (Gamma, Lognormal ve Weibull) uygulanmış ve dağılım parametreleri zaman ve fiziksel tabanlı değişkenler (yağış, sıcaklık ve iklim osilasyon indeksleri) fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Aday dağılımlar arasında Lognormal, havzadaki taşkın akışlarını en iyi açıklayan model olarak bulunmuştur. Yıllık yağış, mevsimsel sıcaklık ve yıllık osilasyon indeksleri en ilgili değişkenler olarak belirlenmiştir. İklim indeksleri arasında, Doğu Atlantik Osilasyonu havzanın alt kısmında, Güney ve Kuzey Atlantik Osilasyonları orta kısmında, Doğu Atlantik-Batı Rusya modeli ise üst kısmında en ilgili indekslerdir. Modeller, çeşitli geri dönüş periyotlarında (10, 20, 50, 100 ve 200 yıl) tarihi sabit taşkın kantillerini (fiziksel tabanlı değişkenlerle tanımlanan) sabit olmayan kantillerle karşılaştırmak için kullanılmıştır. Sonuçlar, taşkın süreçlerinin fiziksel değişkenlerle dağılımsal regresyon modelleri kullanılarak daha iyi tanımlanabileceğini ve bu çalışmanın havzadaki bölgesel su kaynakları yönetimi ve diğer nehir havzaları için bir referans olabileceğini göstermektedir.

Ata (2022) tarafından yapılan çalışmada Berta Havzası'nın yağış-akış ilişkisi HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılarak incelenmiştir. Havzadaki hesaplamalar SCS eğri numarası yöntemi ile yapılmıştır. Etkili yağıştan akışa dönüşüm için SCS birim hidrografi yöntemi seçilmiştir. Model performansını belirlemek için Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) ve Determinasyon Katsayısı (R^2) istatistiksel ölçütleri kullanılmıştır. Bu

çalışmada NSE değeri 0,81 ve R^2 değeri 0,88 olarak hesaplanmıştır. Gözlem ve HEC-HMS hidrolojik model değerleri arasında iyi bir uyum elde edilmiştir.

Açıkyol (2022) tarafından Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt Havzalarında yapılan çalışmada, NOAA/NESDIS tarafından sağlanan 1, 4 ve 24 km çözünürlükteki günlük kar kaplı alan IMS görüntüleri 2019 su yılı referans alınarak ilk etapta 292 adet yer istasyonun verisi yardımıyla, kategorik istatistik yöntemlerle (POD, FAR, HR) Türkiye ve coğrafi bölgelerinin doğrulaması yapılmıştır. Türkiye genelinde 1, 4 ve 24 km'lik IMS görüntülerinde sırasıyla, POD değeri 0,81, 0,80 ve 0,67, FAR ise 0,19, 0,23 ve 0,28 olarak bulunmuştur. İkinci aşamada, 2004 - 2020 periyodunda 4 km çözünürlüğündeki IMS görüntüleri kullanılarak CBS'de elde edilen KKA eğrileri, ortalama yükseltileri 2000 m'nin üzerinde Çoruh, Fırat ve Aras memba havzalarında (E21A054, E21A022, D24A096 ve E23A004) SRM hidrolojik modeline temel değişken girdisini oluşturmuştur. R^2 sonuçları sırasıyla, 0,86, 0,86, 0,88 ve 0,89, Dv ise, %1,11, %0,99, %0,92 ve %2,91 olarak hesaplanmıştır.

2.2. SWAT Hidrolojik Modeli Kullanılarak Daha Önce Yapılan Çalışmalar

SWAT ile ilgili literatürde, dünya çapında kabul görmüş birçok makale, uluslararası konferans bildirisi ve tez çalışması bulunmaktadır. Aşağıda modelin çeşitli uygulamalarını konu alan bilimsel çalışmalardan bazıları kronolojik olarak listelenmiştir.

Abbaspour et al. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada İsviçre'nin kuzeydoğusunda yer alan 1.700 km² alana sahip Thur Nehri Havzası, SWAT programı kullanılarak modellenmiştir. Havzada akımı etkileyen sediment, fosfat, azot, nitrat miktarı incelenmiştir.

Abbaspour et al. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, İran'ın su kaynaklarının üzerinde gelecekteki iklim etkisini incelemek için SWAT hidrolojik modeli kullanılmıştır. Alt havza düzeyinde günlük nehir debileri kullanılarak 1980 ile 2002 yılları arası kalibre edilmiştir. Ülke boyunca konumlanan 37 iklim istasyonu farklı senaryolar için kullanılarak gelecek 2010 - 2040 ve 2070 - 2100 zaman periyodları için

iklim verisi üretilmiştir. Bu iklim senaryoları kurak bölgelerde farklı sonuçlar üretirken, ıslak bölgelerde benzer sonuçlar üretmiştir.

Boskidis et al. (2012) tarafından Kuzey Yunanistan'daki Aşağı Nestos Nehri Havzası'na SWAT hidrolojik modeli uygulanmıştır. Model, 3 yıl boyunca (Ekim 2006 - Ekim 2009) gözlenen verilerinin kullanılmasıyla kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Doğrulan model daha sonra nehir akımını (Bulanık mantık yaklaşımıyla) ve kimyasal maddeler üzerinde çeşitli iklim senaryolarının etkisini test etmek için kullanılmıştır. Çalışma, hem SWAT modelinin hem de bulanık mantık tekniğinin uygun şekilde kalibre edilirse su kaynakları yönetiminde kullanışlı ve güvenilir araçlar olabileceğini göstermiştir.

Yang et al. (2015) tarafından Üst Huai Nehri Havzası'nda yapılan çalışmada SWAT Hidrolojik modelinde yağış girdilerinin zamansal çözünürlüğünün model performansına etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, saatlik verilerin günlük verilere göre model performansını iyileştirdiğini göstermiştir. Saatlik modelde taban akışının günlük akıma %58 katkı sağladığı görülürken günlük model bu değeri %34 olarak vermiştir.

Ateka et al. (2021) tarafından Etiyopya'nın Abelti Havzası'nda arazi kullanımı/arazi örtüsü değişikliğinin yüzey akışına etkileri SWAT modeli kullanılarak değerlendirmiştir. 2000, 2010 ve 2017 yıllarına ait uydu arazi kullanımı haritaları kullanılmıştır. Model performansı, R^2 , NSE ve Bias olmak üzere üç amaç fonksiyonuna göre oldukça başarılı bulunmuştur. Kalibrasyon dönemi için sırasıyla 0,79, 0,78 ve 0,63 değerleri; doğrulama dönemi için ise 0,92, 0,85 ve 0,41 değerleri elde edilmiştir.

Tuo et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada İtalya Üst Adige Nehri Havzası'nda bulunan kar derinliği ölçüm istasyonu ağları kullanılarak hesaplanan kar suyu eşdeğeri SWAT hidrolojik modeli sonucu elde edilen kar parametreleri ile 3 farklı yaklaşım kullanılarak kalibre edilmiştir. İlk olarak alt havza ve yükseklik bandı ölçeğinde iki farklı parametre seti kalibrasyon için birbirinden bağımsız olarak kullanılmış ve model çıktısı olarak alınan KSE değerleri ile ölçüm istasyonlarına ait değerler karşılaştırılmıştır. Daha sonra üçüncü bir parametre seti fiziksel anlamlar da hesaba katılarak elde edilen yeni kar

derinliği verileri ile oluşturulmuştur. Yükseklik bandı ölçeğinde hesaplanan veriler SWAT modelinde en iyi kalibrasyonu sağlamıştır. Bu son model, ölçüm istasyonlarının kotlarını ve kar erimesini daha iyi temsil ettiği için anlamlı görülmüştür. Sonuç olarak, kar erimesinin etkili olduğu havzalar için kalibrasyon sürecinin sadece akım verileriyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda Kar Su Eşdeğeri (KSE) verilerinin de kullanılarak iyileştirilebileceği belirlenmiştir.

Irvem and El-Sadek (2018) tarafından yapılan çalışmada SWAT hidrolojik modeli kullanılarak Türkiye'de bulunan Seyhan Nehri Havzası'nın hidrolojik işlemleri su bütçesi temel alınarak simüle edilmiştir. Model duyarlılık analizi ve otomatik kalibrasyonlar SWAT-CUP kalibrasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Duyarlılık analizi sonucunda, Baz Akış Alfa Faktörü (ALPHA_BF) ve CS akış eğri numarasının (CN2) bu havza için akıma etki eden en hassas parametreler olduğunu tespit edilmiştir. Akım kalibrasyonu, 2001 - 2007 dönemi için aylık zaman adımında yapılmıştır. Sonuçlar, ParaSol algoritmasının Nash Sutcliffe Performans Katsayısı (NSE) açısından SUFI-2 ve GLUE'ya göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Tüm kalibre edilmiş yerler ve çeşitli kalibrasyon algoritmaları arasında, en yüksek NSE 0,74 olarak bulunmuştur.

Peker and Şorman (2021) tarafından Fırat ve Dicle Nehirlerinde yapılan çalışmada iklim değişikliğinin mevsimsel kar ve akım üzerindeki etkileri SWAT hidrolojik modeli kullanılarak araştırılmıştır. Model kalibrasyonu ve doğrulaması kar ve akım için kademeli bir şekilde yürütülmüştür. Kar modellemesi için MODIS karla kaplı alan görüntüleri kullanılmış ve SWAT ile %95'den fazla uyum elde edilmiştir. Daha sonra diğer akım parametreleri kalibre edilip doğrulanarak her iki havzada da 0,64 - 0,82 NSE değerlerine ulaşılmıştır. Modelleme aşamasından sonra, farklı iklim senaryosu altında 2041 - 2070 ve 2071 - 2099 peryodları için iklim değişikliği etkisine odaklanılmıştır.

Suhaila et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada SWAT hidrolojik modeli kullanılarak Malezya'da bulunan Langkawi Havzası modellenmiştir. Model girdisi olarak kullanılan temel verilerden biri de toprak çeşidi verisidir. Bu çalışmada SWAT model simülasyonları için okunabilir biçimde toprak bilgi veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen toprak verisi tanımı ArcSWAT modeline uyumlu olarak entegre edilmiştir.

Cüceloğlu et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada SWAT hidrolojik modeli kullanılarak Ömerli Havzası'nın hidrolojik bileşenleri üzerinde iki farklı arazi kullanım (LULC) veri setinin etkisi analiz edilmiştir. Model çıktıları SUFI-2 algoritması kullanılarak SWAT-CUP kalibrasyon programı ile kalibre edilmiştir. Çalışma, suyun akışı ve buharlaşma açısından farklı LULC veri setlerinin oldukça benzer sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur; ancak özellikle kentleşmiş alt havzalarda farklı mekansal dağılımlar gözlemlenmiştir.

Yılmaz et al. (2022) tarafından yapılan bu çalışma, kuraklığın hidrolojik döngünün neredeyse her bileşeninde meydana gelen çok yönlü bir doğal afet olduğunu vurgulayarak, Türkiye'nin Yukarı Çoruh Havzası'nda gelecekteki hidro-meteorolojik kuraklıkları araştırmıştır. Çalışmada, 2030 - 2059 ve 2070 - 2099 dönemleri için iki farklı temsilci konsantrasyon yolu senaryosu (RCP 4.5 ve RCP 8.5) altında, Avrupa Koordineli Bölgesel İndirgeleme Deneyleri (CORDEX) kümesinden 13 iklim projeksiyonu kullanılmıştır. Önyargı düzeltmesi yapılan CORDEX iklim projeksiyonları, Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) hidrolojik modeline entegre edilmiştir. Bu çalışmada, çalışma alanında SWAT modelinin otomatik parametre kalibrasyonu için iki optimizasyon algoritması (SWAT kalibrasyon ve belirsizlik için ardışık belirsizlik uyum algoritması ve parametre tahmin aracı (PEST) içinde karmaşık evrim algoritması (SCE)) test edilmiştir. Sonuçlar, SCE'nin diğer algoritmaya göre daha iyi parametre çözümleri sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye'nin Yukarı Çoruh Havzası'nda projeksiyonlu kuraklıkların kapsamlı bir analizini ilk kez araştırmıştır. Meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları değerlendirmek için sırasıyla standartlaştırılmış yağış indeksi ve standartlaştırılmış akış indeksi kullanılmıştır. Genel olarak, gelecekteki yıllık yağış ve maksimum ve minimum sıcaklıkların sırasıyla % -15,46 ila % 8,74, 0.02 °C ila 8,74 °C ve -2,69 °C ila 5,27 °C arasında değişmesi öngörülmektedir. Sonuçlar, 2030 - 2059 döneminde RCP4.5 ve RCP8.5 altında hidrolojik kuraklık sürelerinin sıklığının artacağını göstermektedir. Ayrıca, 2030 - 2059 ve 2070 - 2099 dönemlerinde sırasıyla RCP4.5 ve RCP8.5 altında yüksek şiddetli kuraklıkların ($> \sim 5$) ve düşük şiddetli kuraklıkların ($< \sim 2$) daha olası olacağı öngörülmektedir. Bunun dışında, hidrolojik ve meteorolojik kuraklıkların yirmi birinci yüzyılda daha belirgin hale geleceğine dair yeterli kanıt bulunmamaktadır.

Peker and Gülbaz (2023) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Porsuk Havzası'nın üst kısmı SWAT hidrolojik modeli ile modellenmiştir. Analizde Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan verilerin yanı sıra GEMStat veri portalından serbestçe erişilebilen akım ve su kalitesi verileri kullanılmıştır. Modelin akım çıktıları hem DSİ hem de GEMStat verileri için kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Sonuç olarak, günlük zaman adımında NSE değerine göre akım kalibrasyonu ve doğrulama başarıları sırasıyla 0,64 ve 0,44 olarak bulunmuştur.

Ballesteros et al. (2023) tarafından MapSWAT yazılımı geliştirilmiştir. MapSWAT, Google Earth Engine'e bağlanarak dünya genelinde herhangi bir konum için SWAT+ girdi haritalarını hazırlamak üzere Python ile yazılmış açık kaynaklı bir eklentidir. MapSWAT'ın potansiyeli ve uygulanabilirliği, Güneydoğu İspanya'da yürütülen bir çalışma ile gösterilmiştir. Sonuçlar, MapSWAT'ın SWAT+ giriş haritalarını verimli bir şekilde üretmek için kullanışlı bir yazılım olduğunu ve hidrolojik modelleme sürecini iyileştirdiğini göstermektedir.

3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

3.1. Giriş

Türkiye'nin doğusu, ağır kış koşullarının hakim olduğu kar baskın bir bölgedir ve karasal iklime sahiptir. Bu iklim, sert kışlar ve sıcak yazlarla karakterizedir. Aynı zamanda iklim ve yer şekillerinin etkisiyle az nüfusa sahiptir. Ancak, su kaynakları açısından büyük bir öneme sahiptir ve Türkiye'nin önemli nehirlerine ev sahipliği yapar. Sınır aşan sular kategorisinde yer alan Fırat, Çoruh ve Aras Nehirleri bu bölgeden geçerek; sulama, enerji üretimi ve içme suyu sağlama gibi hayati fonksiyonlar için su temin ederler. Bu havzalarda kurulu olan barajlar, hidroelektrik enerji üretimi amacıyla kullanılır ve Türkiye'nin enerji ihtiyacının bir kısmını karşılar. Karasal iklim, nehirlerin akış rejimini büyük ölçüde etkiler; kış aylarında yoğun kar yağışı görülür ve kar erimesi, ilkbahar ve yaz aylarında nehirlerin su debisini artırır. Bu nedenle, nehirlerin akışı mevsimsel olarak büyük dalgalanmalar gösterir.

3.2. Veri

Hidrolojik modelleme çalışmalarında, verilerin doğruluğu ve kapsamı çalışmanın temelini oluşturur. Özellikle dağlık bölgelerde, hidro-meteorolojik verilerin seçimi ve kullanımı, bölgenin iklimsel özelliklerini ve su kaynaklarını doğru bir şekilde yansıtmak için kritik öneme sahiptir. Bu veriler; yağış ve sıcaklık ölçümleri, kar örtüsü analizleri, akım verileri ve toprak özellikleri gibi parametreleri içerir. Modelleme sürecinde bu verilerin hassas bir şekilde toplanması ve işlenmesi, modelin güvenilirliğini belirler. Bu nedenle, hidrolojik modelleme çalışmalarında veri toplama, analiz etme ve yorumlama süreçleri büyük bir titizlikle yürütülmektedir.

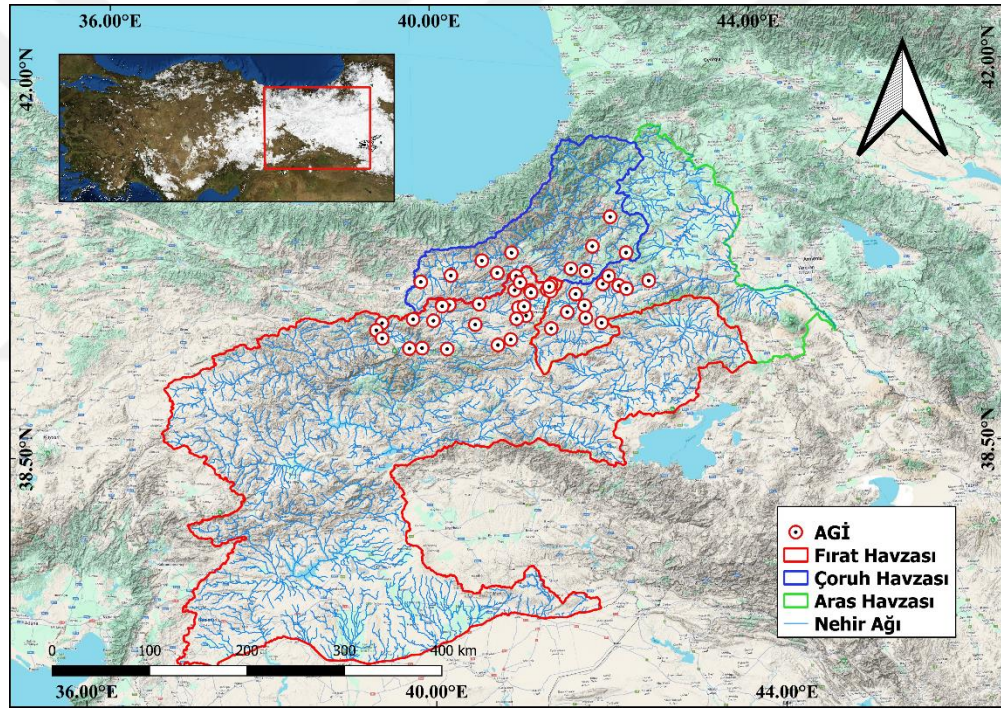
3.2.1. Akım gözlem verileri

Hidrolojideki akım gözlem verileri, suyun bir akış yüzeyi veya su kaynağından ne kadar su taşıdığını veya akıttığını ölçmek amacıyla sistemli bir şekilde yapılan ölçümler ve kayıtlardır. Bu veriler; su kaynaklarının hacmi, akım rejimi, mevsimsel değişimleri ve uzun vadeli trendleri analiz etmek için kullanılır. Ayrıca su kaynaklarının etkili bir şekilde

3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

yönetilmesine ve su temini, enerji üretimi, çevresel sürdürülebilirlik, sel tahminleri gibi konularda stratejik kararlar alınmasına katkı sağlar.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü; ülkemizdeki bütün su kaynaklarının plânlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu, Merkezi Yönetim Bütçesine tabii özel bütçeli yatırımcı bir kuruluştur. Ülkemizdeki hidrolojik (akım) verileri sağlar ve kaydeder. Hidrolojik modelleme alanında yapılan mühendislik çalışmaları için ilk olarak hidrolojik veriye ihtiyaç duyulur. Bunun için de verinin doğru bir şekilde ve kesintisiz olması oldukça önemlidir. Bu tez çalışması için belirlenen çalışma bölgesinde bulunan akım gözlem istasyonları Şekil 3.1’de verilmiştir.



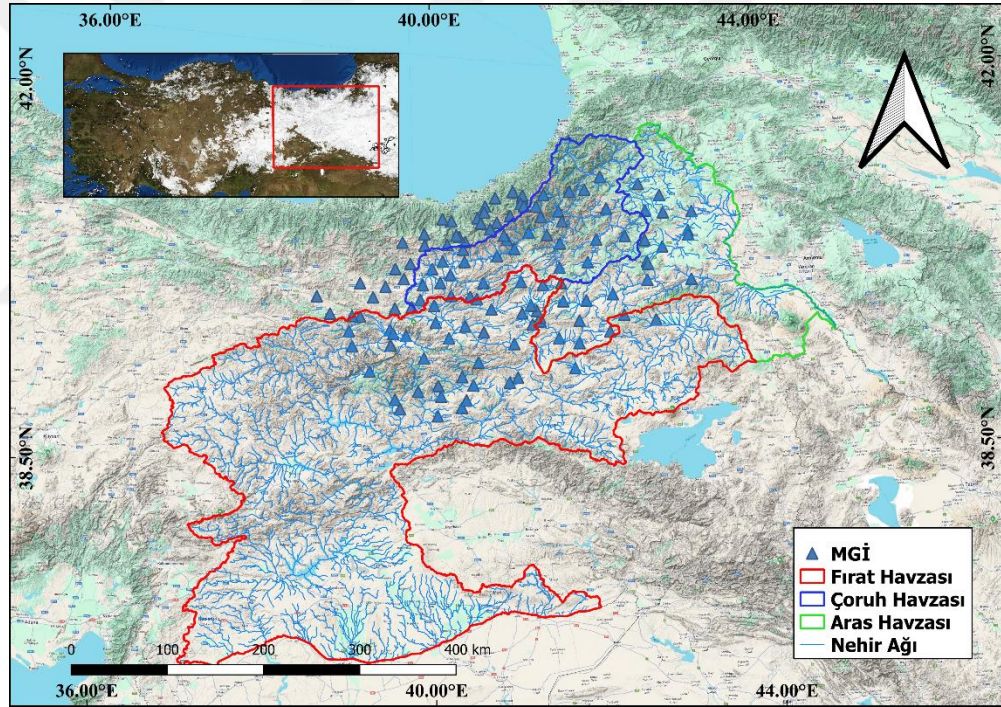
Şekil 3.1. Çalışma alanında yer alan akım gözlem istasyonları

3.2.2. Meteorolojik gözlem verileri

Hidrolojik modelleme çalışmalarının temel yapı taşlarından biri de meteorolojik verilerdir. Bu veriler; yağış yüksekliği, en yüksek ve en düşük hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş ışıınımı ve rüzgâr hızı gibi önemli bileşenleri içerir. Yağış verileri bölgedeki su kaynaklarının hacmini ve akışını belirlemek için kullanılır. Sıcaklık verileri ise suyun buharlaşma oranını ve kar erimesini etkileyerek akış rejimini etkiler. Aynı zamanda

rüzgâr hızı, güneş ışınlamı ve bağıl nem gibi veriler de su buharının atmosferdeki taşınmasını ve yağış oluşumunu etkileyen faktörlerdir.

Ülkemizde, hidrolojik modelleme çalışmalarında kullanılan meteorolojik girdiler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından sağlanan çeşitli istasyonlardan elde edilen verilerle oluşturulmaktadır. Bu süreç, yerel iklim koşullarının ve hidrolojik özelliklerin detaylı bir şekilde belirlenmesini sağlar. MGM istasyonlarından toplanan bu veriler, hidrolojik modellemelerde temel girdi parametreleri olarak kullanılarak, akımların tahmin edilmesi ve su kaynaklarının yönetimi konularında güvenilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlar. Bu tez çalışması için belirlenen çalışma bölgesinde bulunan meteoroloji gözlem istasyonları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışma alanında yer alan meteoroloji gözlem istasyonları

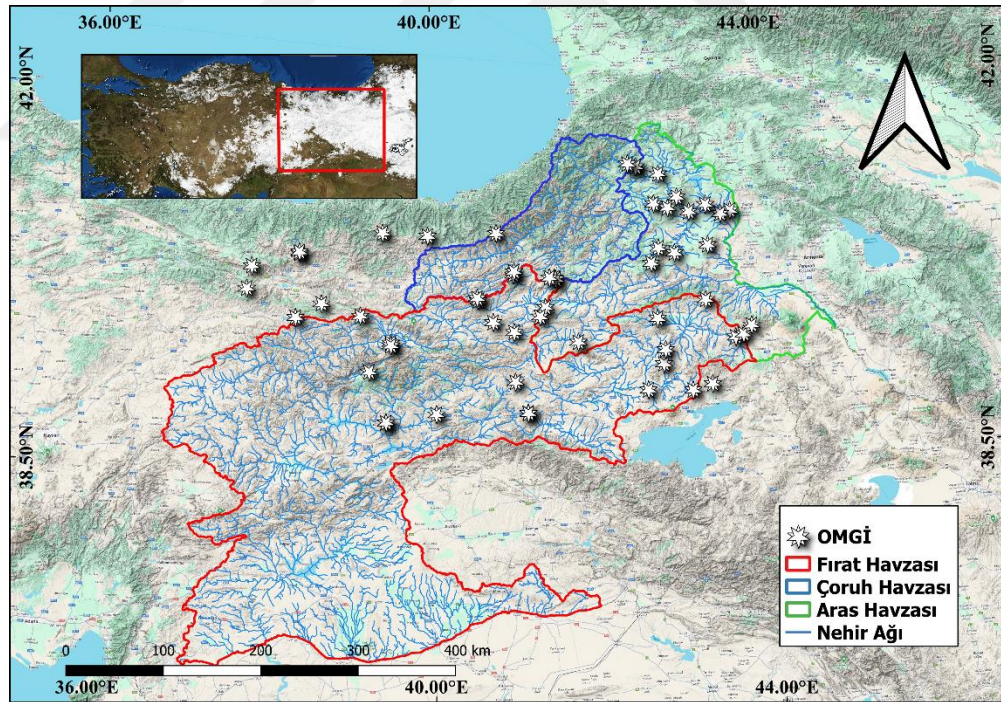
3.2.3. Kar gözlem verileri

Kar; erime sonucu akarsulara, göllere ve yeraltı su kaynaklarına su tedarik eder. Özellikle dağlık bölgelerde karın erimesi, yaz aylarında su ihtiyacını karşılamak için önemli bir kaynaktır. Bu nedenle kar, yerleşim bölgeleri ve tarım için temel su kaynaklarından biridir. Kar erimesi sonucu oluşan akarsular, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerji üretimi için kullanılabilir.

3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

Türkiye’de kar verileri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) gibi devlet kurumları tarafından çeşitli bölgelerde toplanmaktadır. Bu veriler, hem yerleşim bölgelerinin bulunduğu genellikle alçak kotlarda hem de barajların su toplama alanlarının uzandığı yüksek kotlarda ölçülmektedir.

Kar örtüsünün derinliği ve yoğunluğu ile ilgili veriler, özel aletler kullanılarak elde edilir. Bu cihazlar, karın derinliğini ve yoğunluğunu sürekli olarak ölçerek veri toplarlar. Ayrıca, bu veriler kullanılarak kar su eşdeğeri (KSE) hesaplanabilir. Kar su eşdeğeri, eriyen karın sıvı suya dönüşerek toplam su miktarını ne kadar etkilediğini gösterir. Bu hesaplamalar, kar yağışlarının potansiyel su kaynaklarına olan katkısını ve su temini için ne kadar suyun kullanılabileceğini anlama konusunda önemli bilgiler sağlar. Bu açıdan kar verilerinin doğru ve sürekli olarak ölçülmesi su kaynakları yönetimi için önemlidir. Bölgede bulunan otomatik kar gözlem istasyonları Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışma alanında yer alan otomatik meteoroloji kar gözlem istasyonları

Veri toplama süreci, seçilen araştırma bölgesinin yüksek rakımlı dağlık havzalarda olmasından kaynaklı bazı zorluklarla karşı karşıyadır. Özellikle kış aylarında bu bölgelerde mevsimsel koşulların sertliği ve ulaşım zorlukları veri toplama işini karmaşık ve riskli bir görev haline getirirken, aynı zamanda maliyetlerin de yükselmesine

neden olmaktadır. Bu tez çalışmasının konu edindiği çalışma alanı da dağlık ve yüksek kotlu bir bölgedir. Özellikle kış aylarında bölgedeki donma, yoğun kar yağışı ve sert hava koşullarının veri elde etme sürecini zorlaştırdığı açıktır.

3.3. Havzalar ve Havza Karakteristikleri

Türkiye'nin dağlık doğu bölgesinde bulunan Fırat, Çoruh ve Aras Havzaları, bölgenin hidrolojik yapısında önemli bir role sahiptir. Bu havzalar, bölgenin su kaynakları açısından zenginliğini ve çeşitliliğini yansıtmaktadır. Karasal iklimin etkisi altında olan bu havzalar, yoğun kar yağışlarına ve kar erimelerine sahiptir, bu da mevsimsel su rejiminde belirgin dalgalanmalara yol açmaktadır. Bu nedenle söz konusu havzalarda; enerji üretim, sulama, içme suyu ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi gibi konular için hidrolojik model çalışmaları oldukça önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması için Fırat Nehri'nden E21A019, Çoruh Nehri'nden E23A016 ve E23A029, Aras Nehri'nden D24A029 numaralı akım gözlem istasyonları çıkış noktası olarak seçilmiştir ve havzalar bu istasyon adları ile isimlendirilmiştir (Çizelge 3.1).

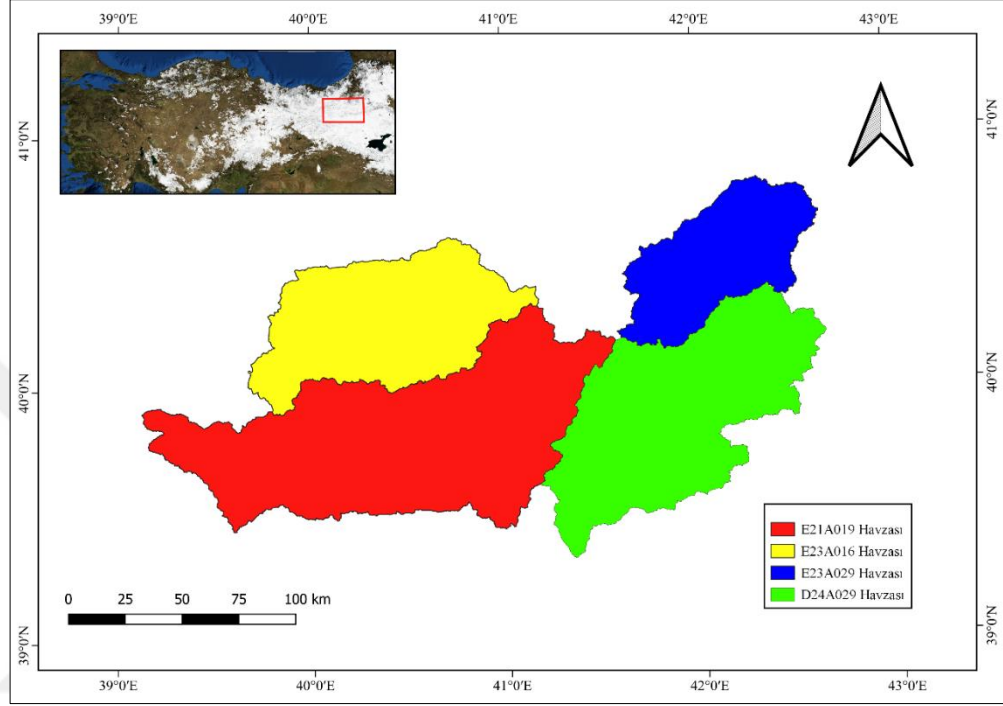
Çizelge 3.1. Çalışma alanı olarak seçilen alt havzalara ait akım gözlem istasyonları

İstasyon	Yükseklik (m)	Ölçüm Aralığı	Su Adı	İstasyon Adı
E23A029	1.004	1981-2019	Çoruh Nehri	Çoşkunlar
E21A019	1.123	1953-2020	Fırat Nehri	Kemah Boğazı
E23A016	1.170	1964-2022	Çoruh Nehri	İspir Köprüsü
D24A029	1.443	1991-2015	Aras Nehri	Karakurt

Bu havzalar, çeşitli coğrafi özelliklere sahiptir. Fırat Nehri vadisi sıcak ve kurak bir iklimle karakterizedir. Çoruh Nehri ise yüksek dağlar ve yeşil vadileri içerir. Aras Nehri, yüksek dağlardan kaynaklanır ve ovalarda akar. Seçilen çalışma alanları coğrafi bakımdan birbirlerine yakındır. Ortalama yükseklik, eğim ve meteorolojik koşullar açısından benzerlikler gösteren dört havzadır. Türkiye'nin dağlık ve kar baskın bölgelerinde yer almaları bu havzaların çalışma alanı olarak seçilmesine etkili olmuştur. Bu bölgelerde, meteoroloji ve akım gözlem istasyonları uzun yıllardır faaliyet göstermektedir ve bu istasyonlar aracılığıyla elde edilen kapsamlı veriler, geçmiş yıllara

3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

ait iklim ve akım bilgilerini içermektedir. Bu veri kaynakları, çeşitli disiplinlerde yapılan araştırmalara ve analizlere olanak sağlayarak bu havzaların bilimsel çalışmalar için ideal bir seçenek olmasını sağlar. Fırat, Çoruh ve Aras Havzalarından çalışma alanı olarak seçilen alt havzalar Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışma alanı olarak seçilen alt havzalar

Havzaları temsil eden ve sonuçların doğruluğunu etkileyen yükseklik, eğim, baki analizleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) platformunda yapılmıştır. Bunun için ücretsiz ve açık kaynak CBS olan QGIS yazılımının 3.16 sürümü kullanılmıştır. Analizler aracılığı ile çalışma alanına ait coğrafi ve topoğrafik özellikler incelenmiştir ve bölge detaylı olarak tanınmıştır.

Analizin ilk aşaması olarak havzaya ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi elde edilmiştir. SYM yeryüzünün sürekli bir biçimde değişen topoğrafik yüzeyini göstermek için uygun bir yapıdır. SYM için SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) tarafından sağlanan 30 x 30 m mekansal çözünürlüklü veri kullanılmıştır.

Topoğrafik özelliklerin ve karakteristiklerin ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi, gelecekte yapılacak çalışmalar için havzanın davranışını anlamak açısından önemlidir. Bu

nedenle her havza için yükseklik, eğim, bakı, arazi kullanımı ve toprak sınıfı haritaları oluşturulmuş. Bu veri setleri; havzanın hidrolojik, jeomorfolojik ve ekolojik süreçlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır.

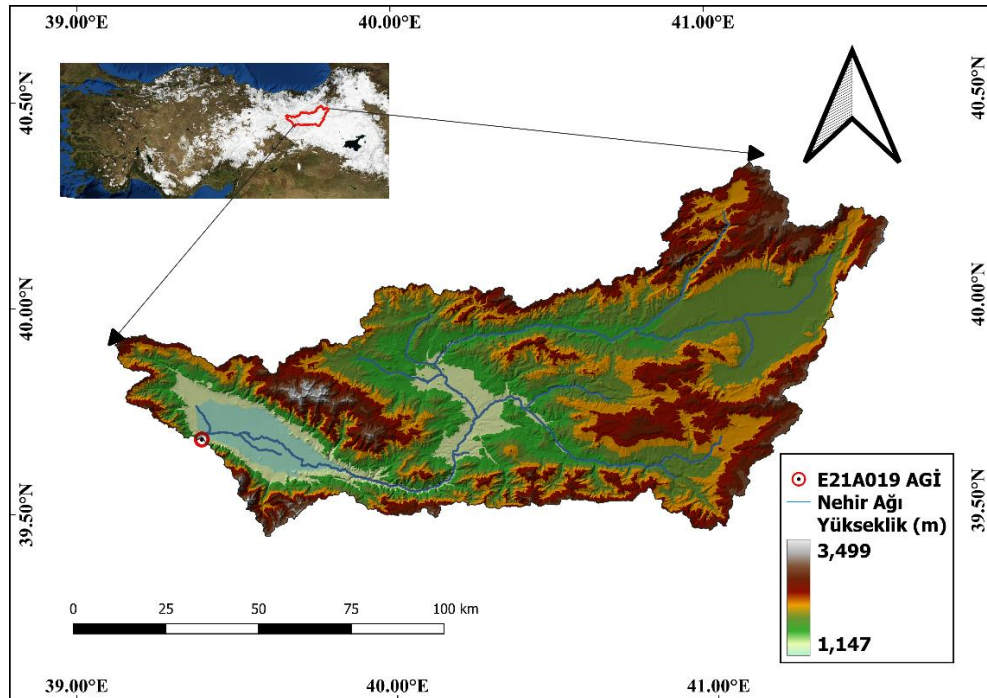
3.3.1. Yükseklik

Bu tez çalışmasında incelenen havzaların yüksek rakımlı olduğu CBS analizleri de desteklemektedir. Havzaların yükseklik ve alan bilgileri Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

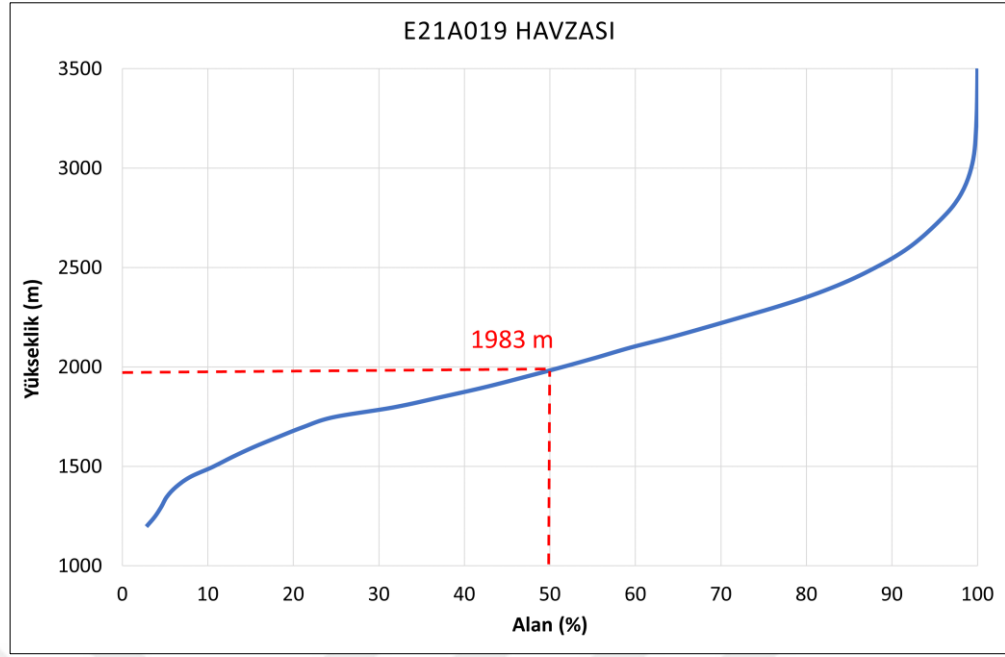
Çizelge 3.2. Havzaların yükseklik ve alan bilgileri hakkındaki veriler

Havza	Drenaj Alanı (km ²)	Yükseklik Değişimi (m)	Ortalama Yükseklik (m)
E21A019	10.258	1.147-3.499	1.983
E23A016	5.540	1.174-3.327	1.966
E23A029	3.575	1.174-3.327	2.043
D24A029	7.343	1.462-3.135	2.098

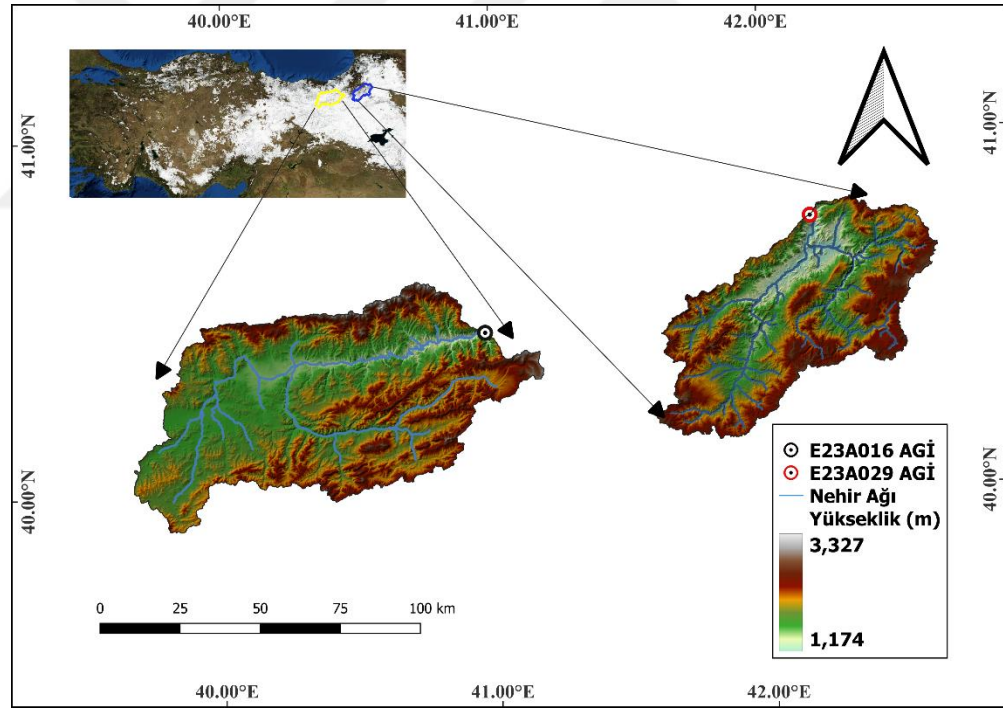
CBS analizleri ile yükseklik haritaları ve havza alanının %50’sinin bulunduğu yüksekliği gösteren hipsometrik eğri adı verilen grafikler üretilmiştir (Şekil 3.5, Şekil 3.6, 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11).



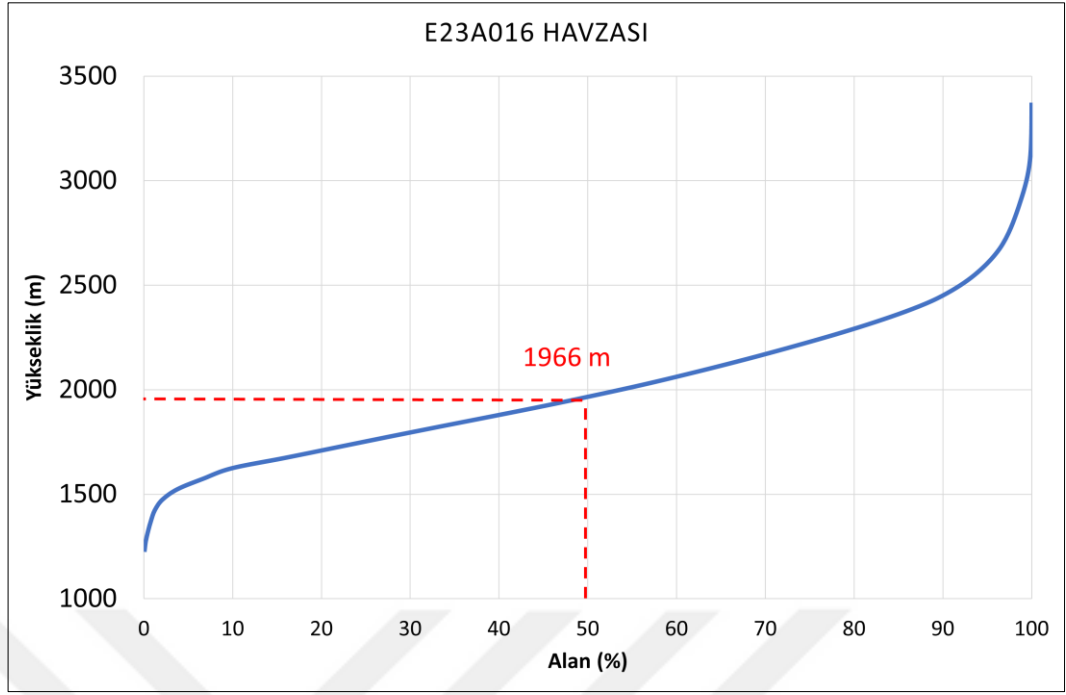
Şekil 3.5. E21A019 Kemah Boğazı Havzası yükseklik haritası



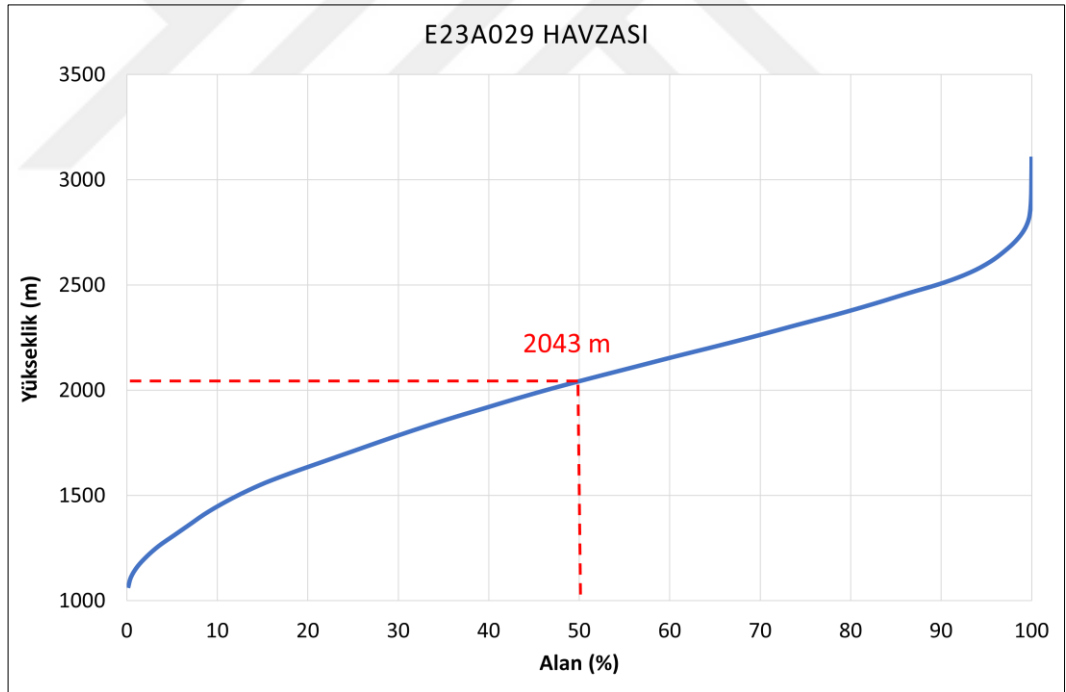
Şekil 3.6. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait hipsometrik eğri



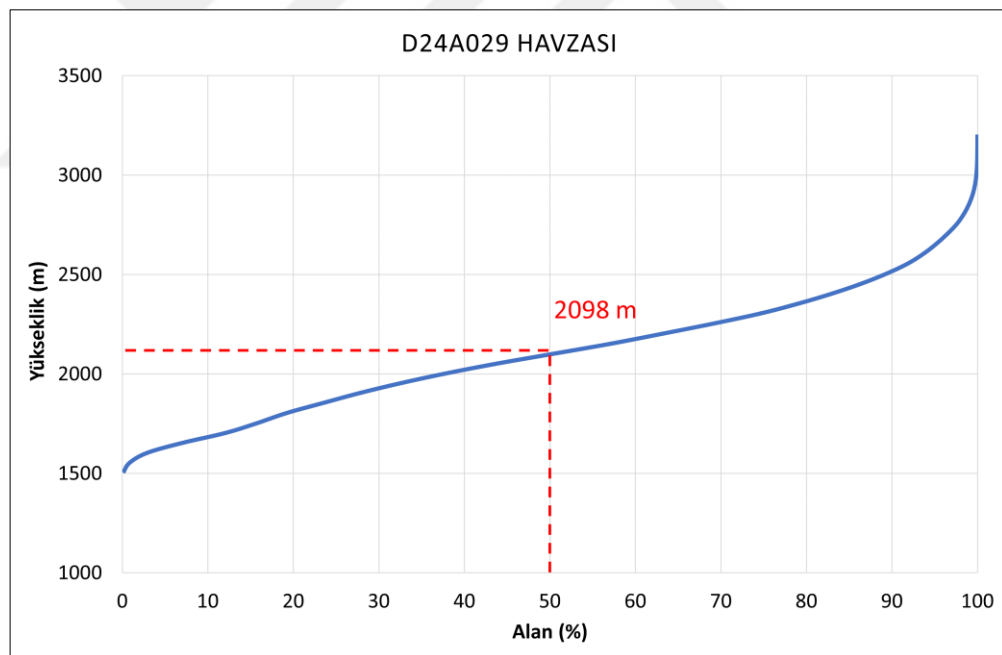
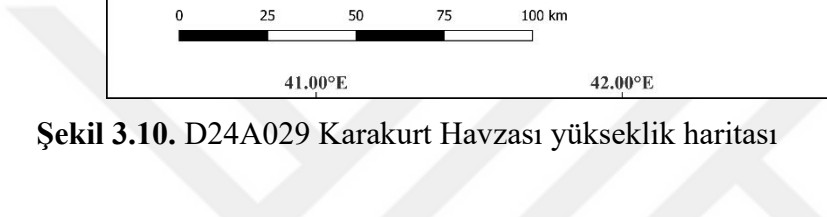
Şekil 3.7. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzaları yükseklik haritası



Şekil 3.8. E23A016 İspir Köprüsü Havzası'na ait hipsometrik eğri



Şekil 3.9. E23A029 Coşkunlar Havzası'na ait hipsometrik eğri

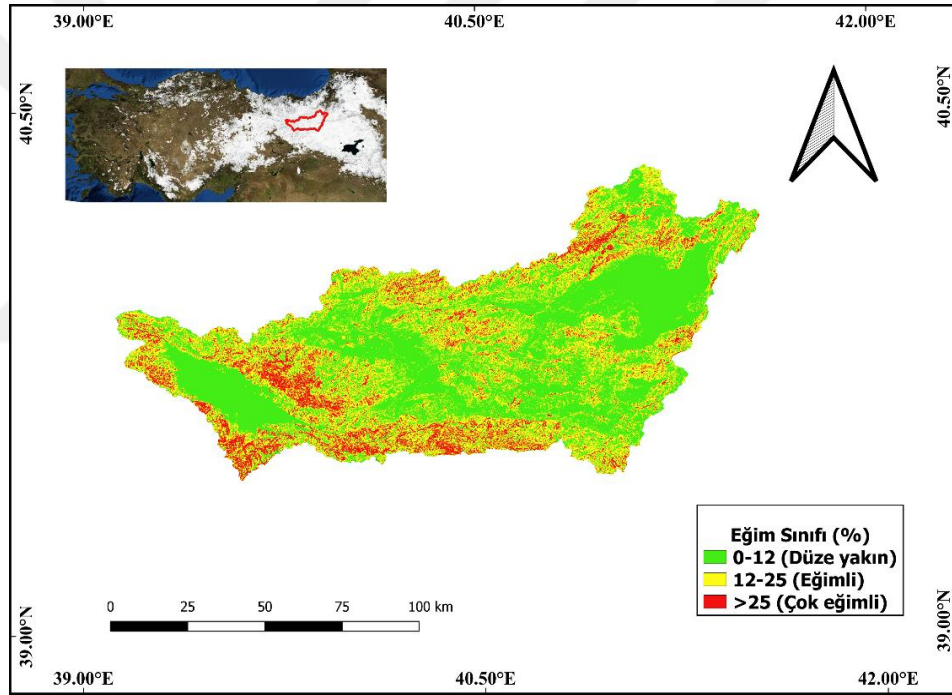


Eğim bilgisi arazi kullanım planlamasında ve su kaynakları yönetiminde önemlidir. Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde Sayısal yükseklik modeli verisinde eğim, bir hücrenin yüzeyinin ne kadar dik veya eğimli olduğunu belirlememize yardımcı olur.

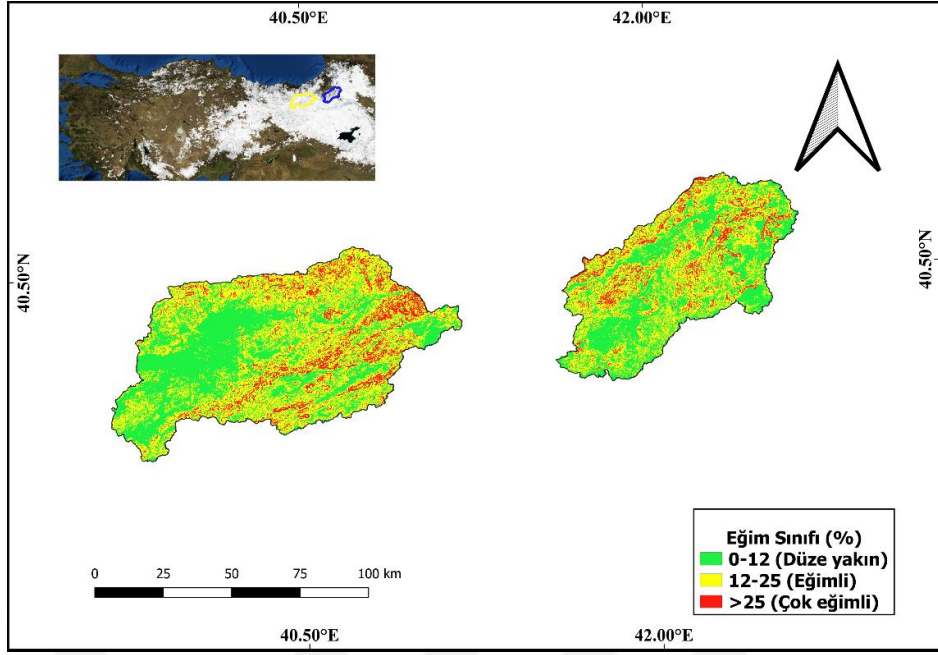
E21A019, E23A016, E23A029, D24A029 havzaları %(0-12), %(12-25) ve %(>25) olmak üzere 3 eğim sınıfına ayrılmıştır. Havzaların ortalama eğimleri Çizelge 3.3'te, havzalara ait eğim sınıfı ve alan yüzdesi dağılımı Çizelge 3.4'te verilmiştir. Eğim haritaları Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Havzaların ortalama eğimleri

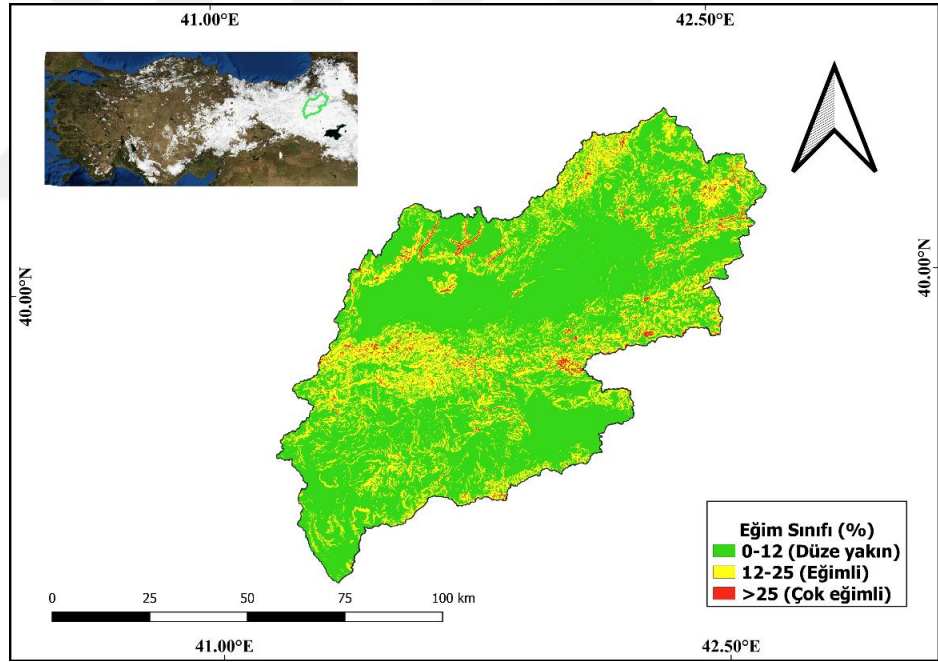
Havza	Ortalama Eğim (%)
E21A019	12,8
E23A016	14
E23A029	14,35
D24A049	8,58



Şekil 3.12. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait eğim haritası



Şekil 3.13. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait eğim haritası



Şekil 3.14. D24A029 Karakurt Havzası'na ait eğim haritası

Çizelge 3.4. Havzalara ait eğim sınıfı ve alan yüzdesi dağılımı

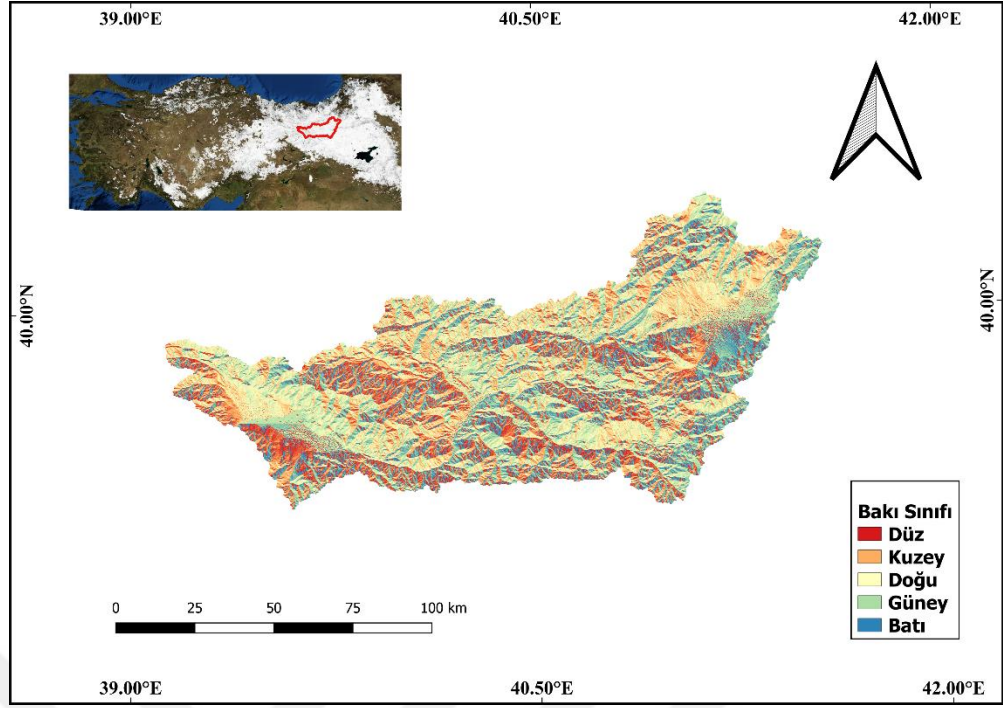
		Havza Alanı (%)			
		E21A019	E23A016	E23A029	D24A029
Eğim Sınıfı (%)	0-12	33,28	23,41	18,67	42,84
	12-25	28,77	25,87	25,78	33,55
	>25	37,94	50,72	55,55	23,61

3.3.3. Bakı

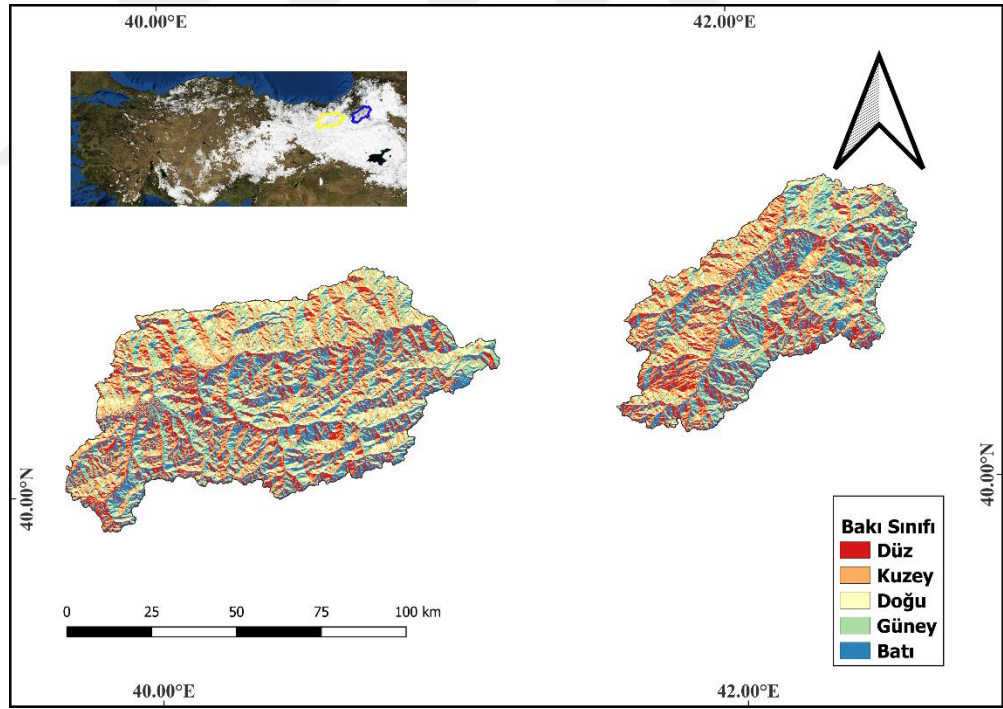
Bakı; havza veya arazinin güneş ışınlarını alışı yönü veya güneşe bakan kısmını ifade eder. Bu özellik; havza üzerindeki su döngüsünü, iklimi aynı zamanda terleme, buharlaşma ve kar erimesi gibi hidrolojik süreçleri önemli ölçüde etkiler.

Dağların, tepelerin ve eğimli arazinin güneşe bakış yönü güneş ışınlarını daha fazla veya daha az yakalamalarına neden olabilir. Güneşe daha fazla maruz kalan yamaçlar genellikle daha hızlı ısınır ve bu da suyun daha hızlı buharlaşmasına, karın daha hızlı erimesine yol açabilir. Bu durum, havza üzerindeki su kaynaklarının miktarını ve kullanılabilirliğini etkiler.

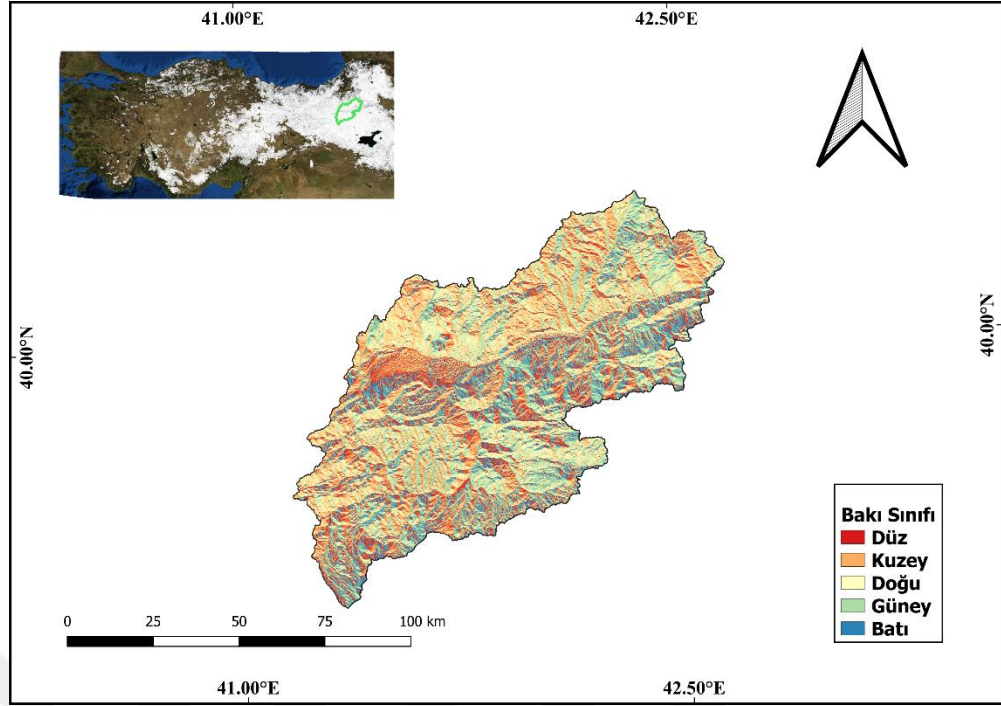
Bu çalışmada havzalar güneş ışınlarını alışı yönüne göre; düz, kuzey, doğu, güney, batı olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Havzalara ait bakı haritaları Şekil 3.15, Şekil 3.16, ve Şekil 3.17’de verilmiştir. Havzalara ait bakı sınıfı ve alan yüzdesi dağılımı Çizelge 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.15. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait bakı haritası



Şekil 3.16. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait bakı haritası



Şekil 3.17. D24A029 Karakurt Havzası'na ait bakı haritası

Çizelge 3.5. Havzalara ait bakı sınıfı ve alan yüzdesi dağılımı

Bakı Sınıfı	Havza Alanı (%)			
	E21A019	E23A016	E23A029	D24A029
Düz	0,98	0,08	6,80	0,17
Kuzey	21,81	23,64	22,59	23,55
Doğu	26,54	28,15	27,32	28,15
Güney	24,48	22,89	29,35	22,89
Batı	26,19	25,24	13,94	25,24

3.3.4. Meteorolojik istasyonlar (MGİ ve OMGİ)

Hidrolojik modelleme çalışması sırasında yağış yüksekliği (mm), en yüksek ve en düşük hava sıcaklığı meteorolojik girdileri oluşturmaktadır. Bunlar arasından yağış ve sıcaklık verisi MGM tarafından sağlanan Çizelge 3.6'da ki meteoroloji gözlem istasyonları kullanılarak hazırlanmıştır.

Çalışma alanı dağlık ve engebeli olduğu için veri bakımından zengin istasyonlara sahip değildir. Modellemede veri temininin önemini göz önünde bulunduracak olursak bunu çalışma sürecinde karşılaşılan sorunlardan biri olarak değerlendirebiliriz. Havzaların içinde yer alan istasyonlar az sayıda olduğu için havzayı temsil etme kabiliyeti

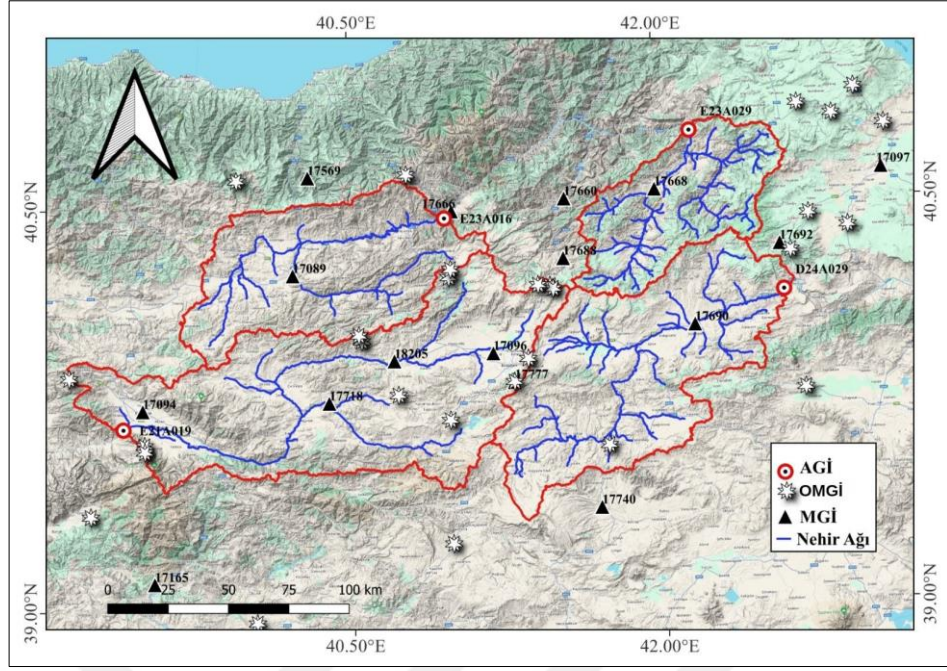
3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

düşüktür. Bu yüzden havzaların yalnızca içerisinde değil yakın çevresinde bulunan istasyonlardan da veri bazında faydalanılmıştır. Havzalar için baz alınan AGİ, OMGİ ve MGİ' ler Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Çalışma alanı civarında bulunan meteoroloji gözlem istasyonları

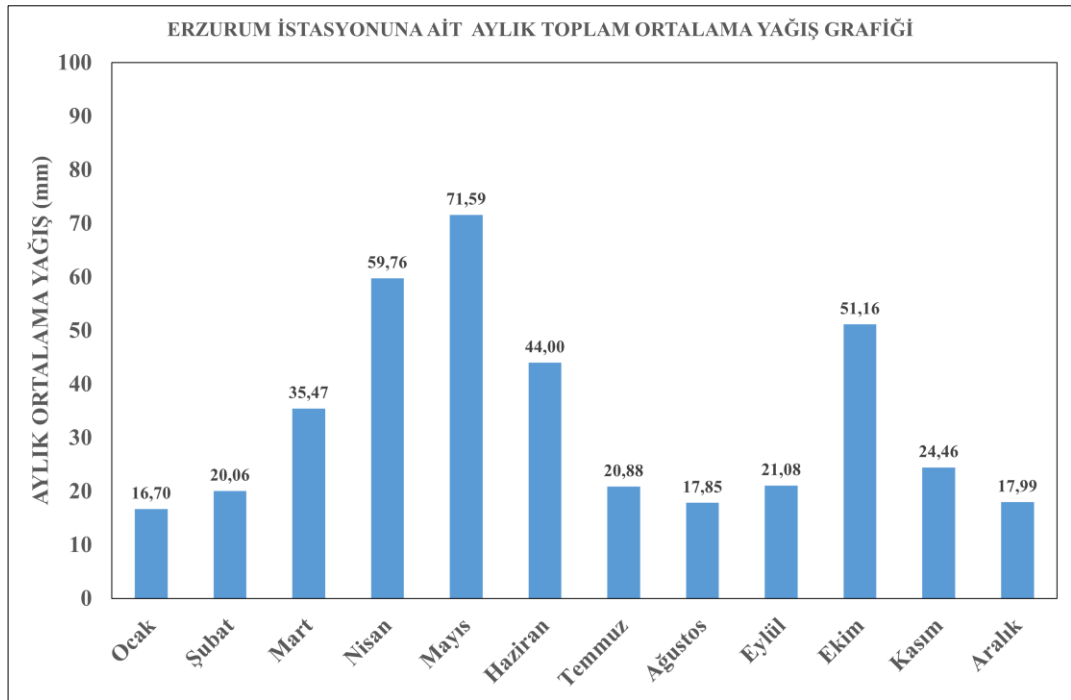
İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Ölçüm yapılan yıllar
17165	Tunceli	39.11	39.54	981	1960-2022
17569	Uzungöl	40.62	40.30	1.114	2009-2022
17660	Uzundere	40.52	41.55	1.151	2009-2022
17094	Erzincan*	39.75	39.49	1.216	1960-2022
17666	İspir	40.49	41.00	1.223	1960-2022
17668	Oltu	40.55	42.00	1.312	1965-2022
17718	Tercan	39.78	40.39	1.429	2009-2022
17778	Varto	39.18	41.45	1.510	1977-2022
17690	Horasan	40.04	42.17	1.540	2009-2022
17688	Tortum	40.30	41.54	1.576	1960-2022
17089	Bayburt*	40.25	40.22	1.584	1960-2022
18205	Aşkale	39.93	40.71	1.691	2012-2022
17740	Hınıs	39.37	41.70	1.715	1960-2022
17096	Erzurum Havaliman *	39.95	41.19	1.758	1960-2022
17097	Kars*	40.60	43.11	1.777	1960-2022
17692	Sarıkamış	40.33	42.60	2.102	1960-2022

("*" ile gösterilen istasyonlara ait yıllık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık grafikleri örnek olarak verilmiştir).

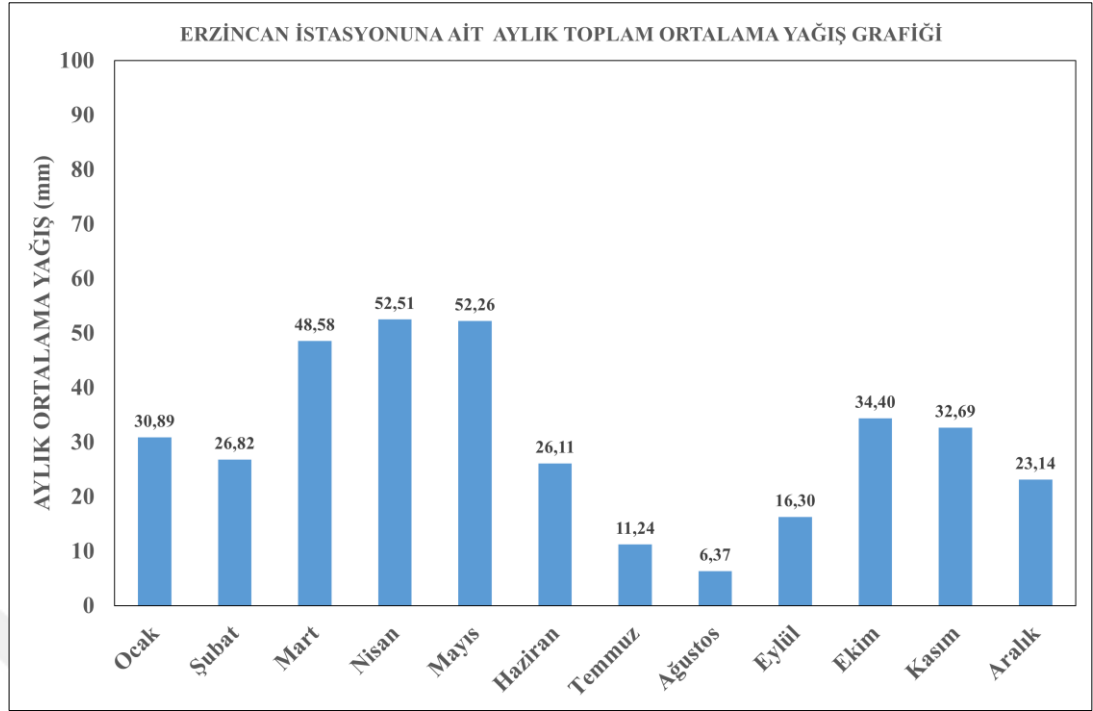


Şekil 3.18. Havzalar için baz alınan AGİ, OMGi ve MGİ' ler

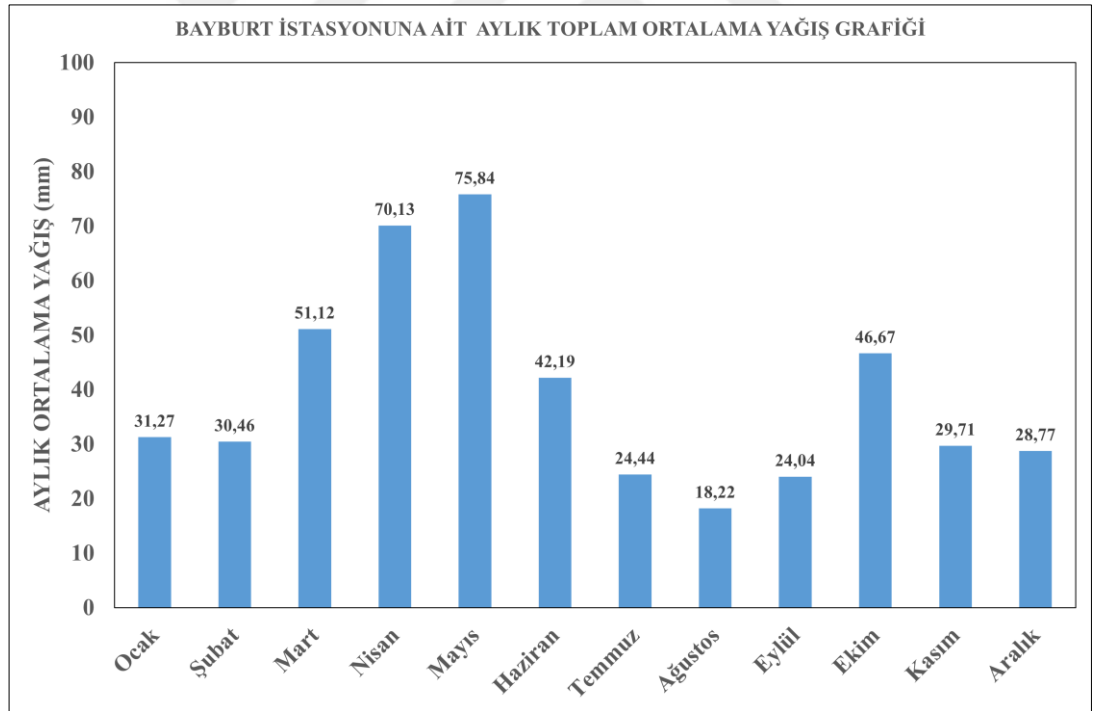
Çalışma alanında baz alınan gözlem istasyonlarından olan Erzurum, Erzincan, Bayburt ve Kars MGİ'lere ait takvim yılına göre aylık toplam ortalama yağış (Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22); aylık ortalama sıcaklık (Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26) grafikleri aşağıda verilmiştir.



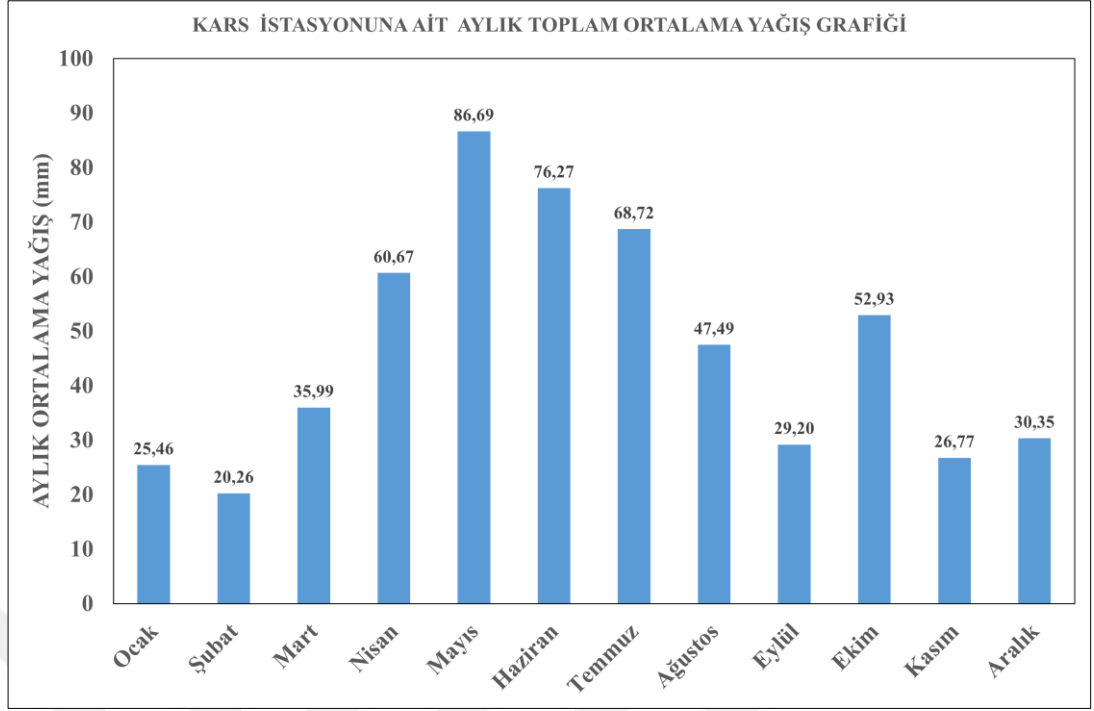
Şekil 3.19. Erzurum istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği



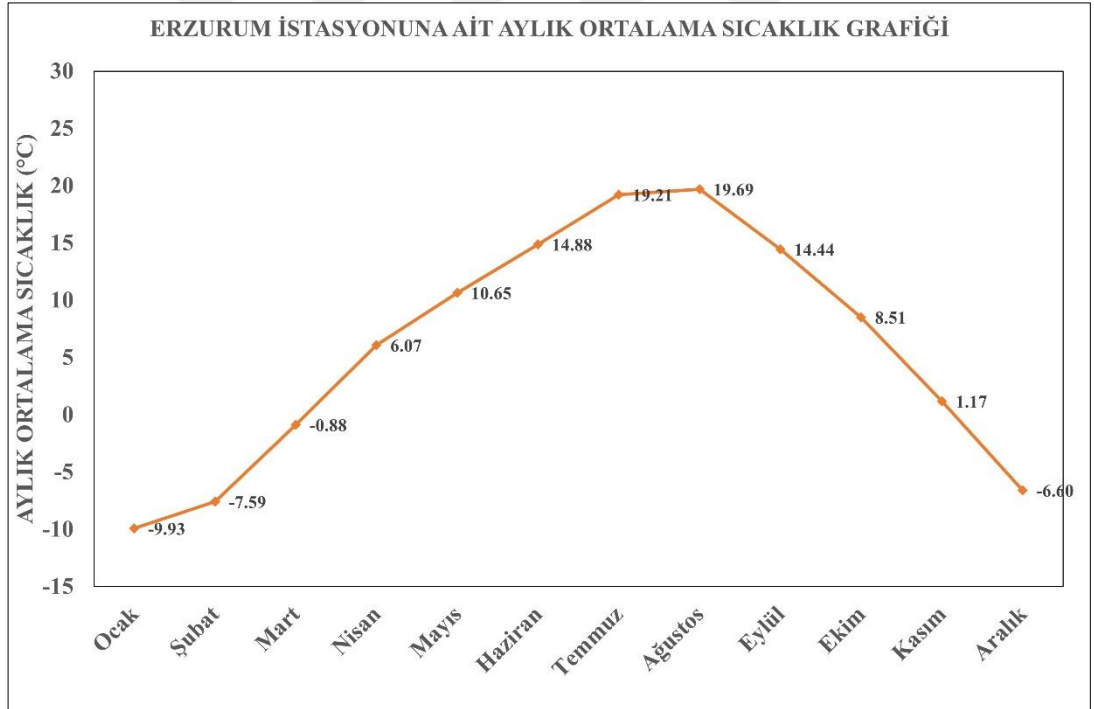
Şekil 3.20. Erzincan istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği



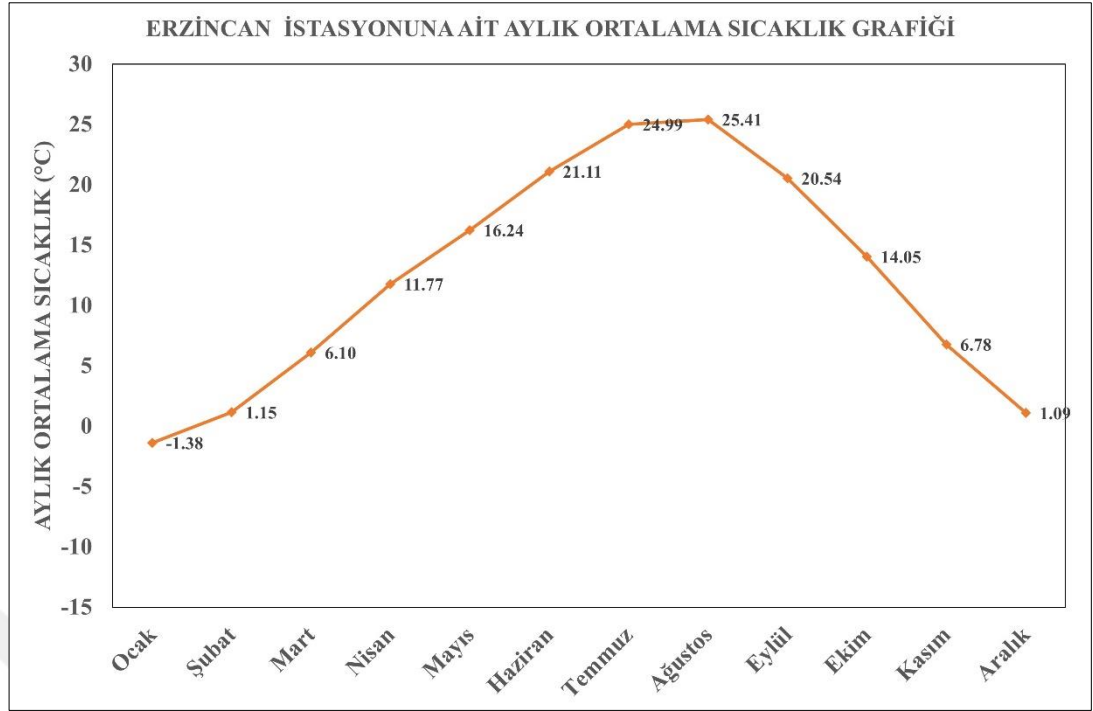
Şekil 3.21. Bayburt istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği



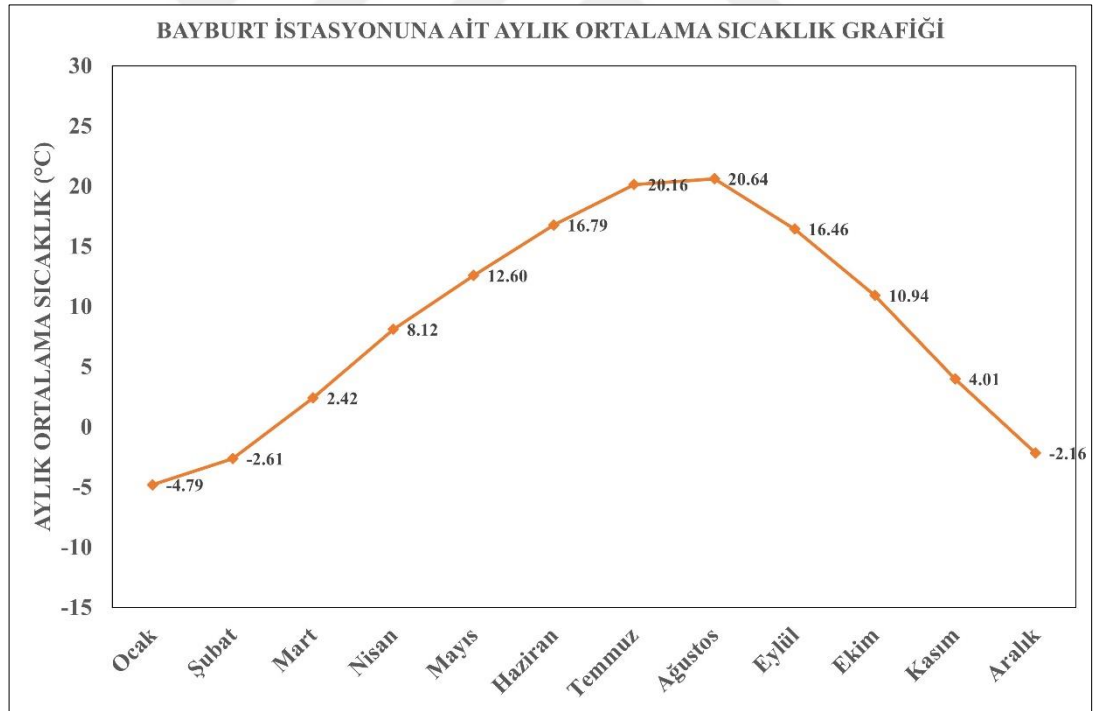
Şekil 3.22. Kars istasyonuna ait aylık toplam ortalama yağış grafiği



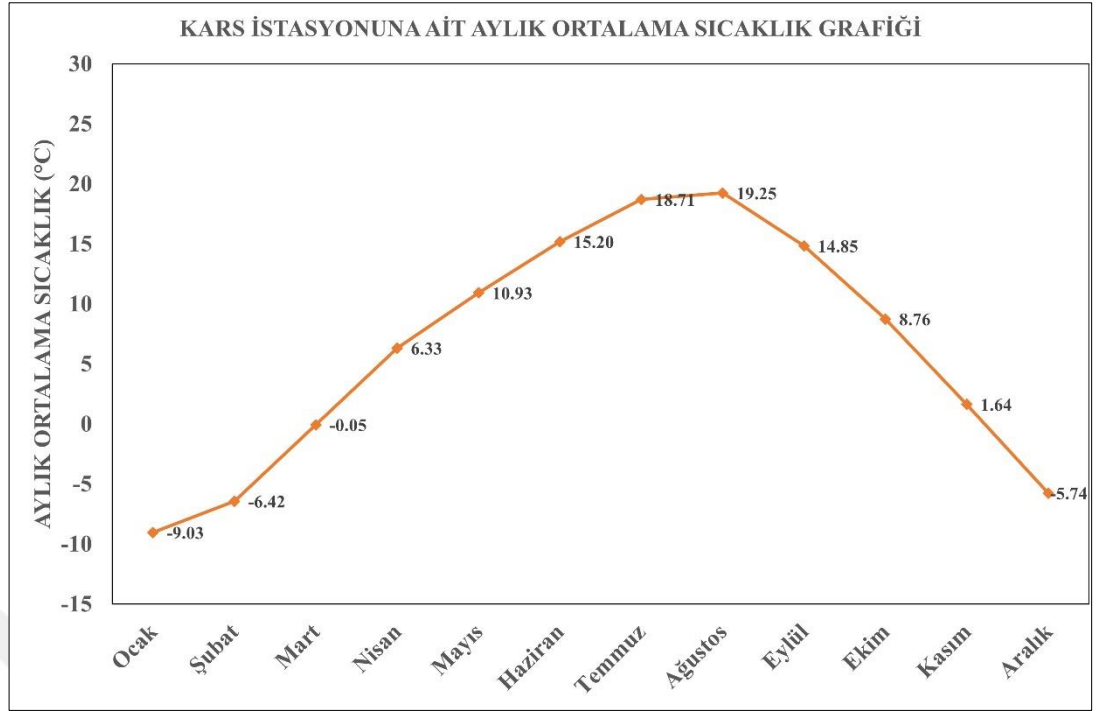
Şekil 3.23. Erzurum istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği



Şekil 3.24. Erzincan istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği



Şekil 3.25. Bayburt istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği

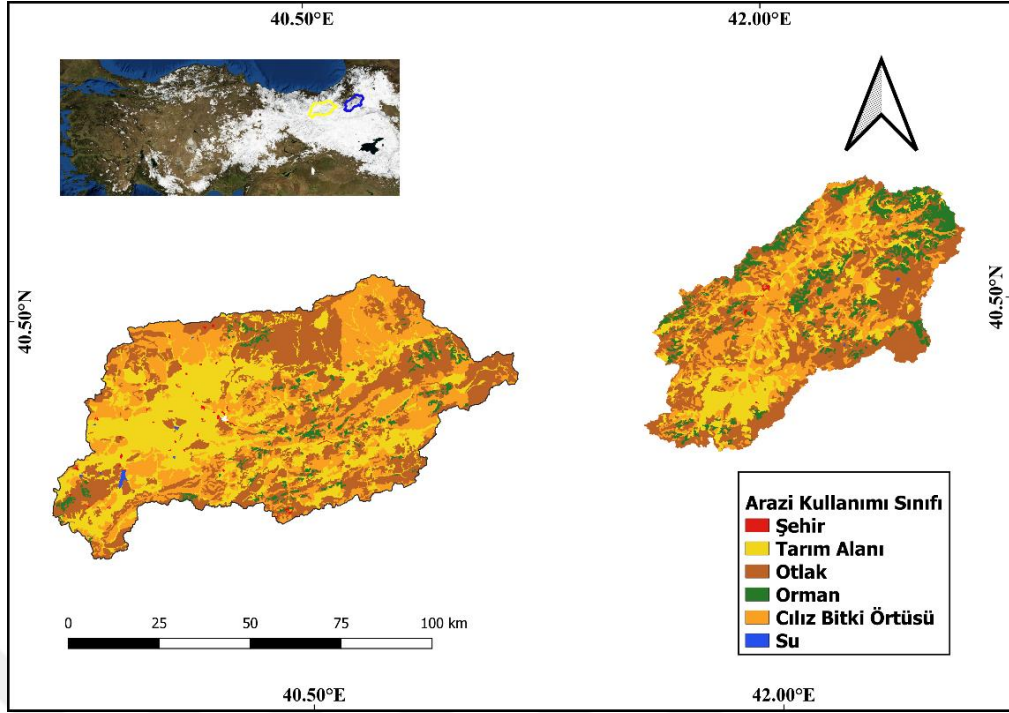


Şekil 3.26. Kars istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık grafiği

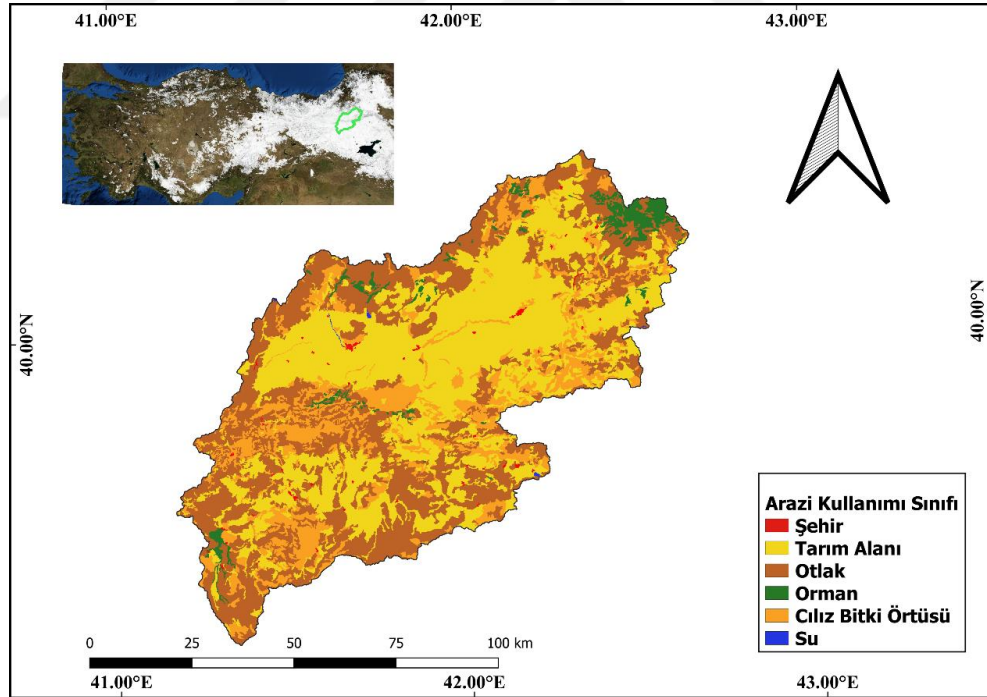
3.3.5. Arazi kullanımı ve toprak sınıfı verisi

Bu tez çalışmasında kullanılacak modelleme için gerekli girdilerden biri de arazi kullanımı ve toprak sınıfı verisidir. Bölgenin sahip olduğu arazi ve toprak hidrolojik süreçleri doğrudan etkiler.

Bir bölgede arazi kullanımını belirlemek için kullanılan çeşitli uzaktan algılama ve görüntüleme teknikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada arazi kullanım verisini elde etmek için oldukça yaygın kullanılan CORINE (Coordination of Information on the Environment) sistemine ait arazi örtüsü haritası kullanılmıştır. Elde edilen veriler tez kapsamındaki havzalara kestirilerek arazi kullanımı haritaları elde edilmiştir. Bu haritalarda arazi kullanım çeşidine ait kodlar SWAT kodları baz alınarak yeniden düzenlenmiştir. Havzalar dağlık ve engebeli bir coğrafyada yer almaktadır. Bunun sonucu olarak şehirleşmenin az olması öngörülmektedir. Elde edilen arazi kullanımı haritaları da bu öngörüğü destekler niteliktedir. Havzalara ait arazi kullanımı yüzdeleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.28. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait arazi kullanımı haritası.

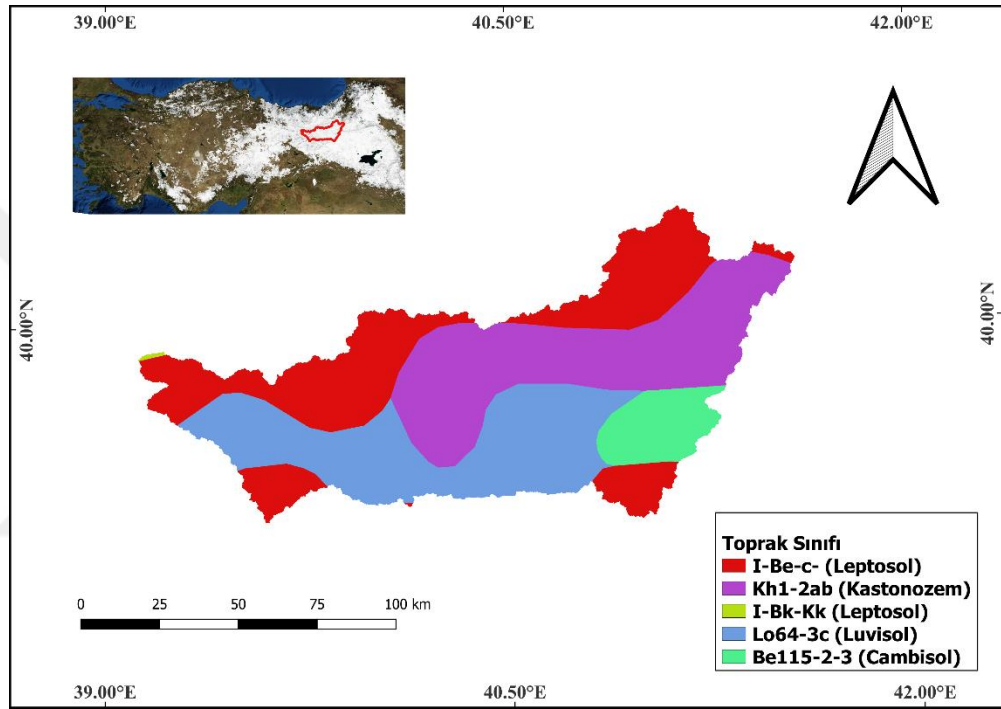


Şekil 3.29. D24A029 Karakurt Havzası'na ait arazi kullanımı haritası

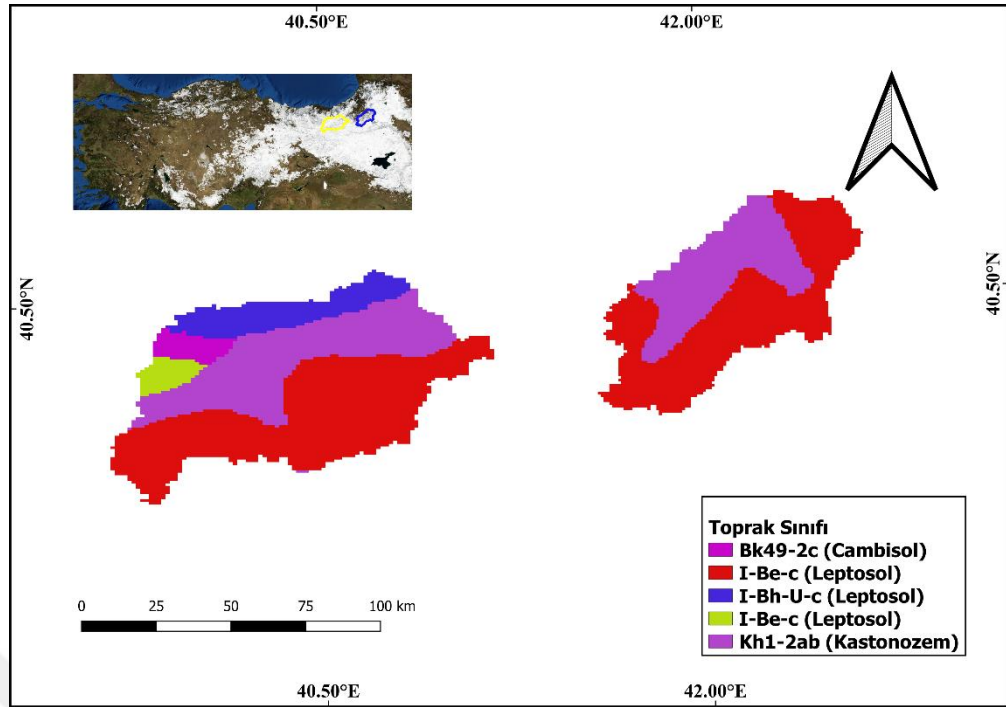
Toprak çeşidi verisini elde etmek için yine dünya genelinde yaygın bir kullanıma sahip olan FAO/UNESCO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) tarafından

3. VERİ ve ÇALIŞMA ALANI

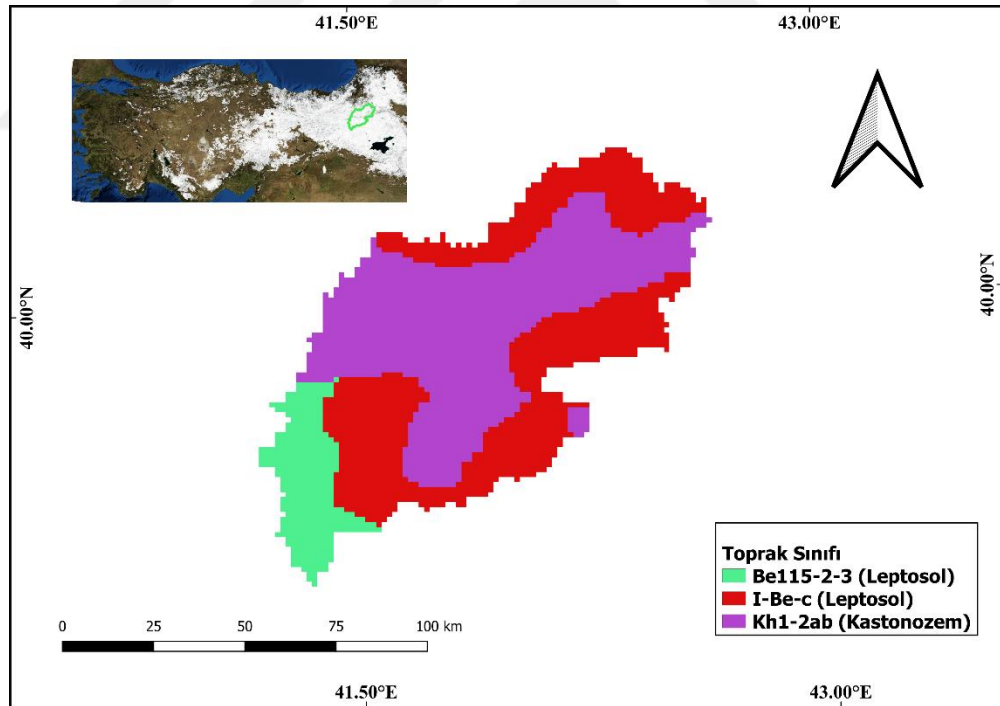
elde edilen toprak sınıfı haritası kullanılmıştır. Toprak sınıflarına ait kodlar SWAT kodlarıyla eşleştiği için ayrı bir düzenlemeye ihtiyaç duyulmamıştır. Toprak sınıflandırması uluslararası düzeyde kabul görmüş olan Toprak Tanımlama Kılavuzu'na dayanmaktadır. Bu kılavuza göre havzalar 4 ana toprak başlığı altında sınıflandırılmıştır. Bu başlıklar şu şekildedir; Leptosoller, Kastanozemler, Luvisoller ve Cambisoller. Havzalara ait toprak sınıfı haritaları aşağıda verilmiştir (Şekil 3.30, Şekil 3.31, Şekil 3.32).



Şekil 3.30. E21A019 Kemah Boğazı Havzası'na ait toprak sınıfı haritası



Şekil 3.31. E23A016 İspir Köprüsü ve E23A029 Coşkunlar Havzalarına ait toprak sınıfı haritası.



Şekil 3.32. D24A029 Karakurt Havzası'na ait toprak sınıfı haritası

4. YÖNTEM

4.1. Giriş

Türkiye'nin dağlık doğu havzaları (Fırat, Çoruh ve Aras), ülkemizin su kaynakları açısından zengin bölgeleridir. Bu bölgeler, önemli nehlere ev sahipliği yapmaktadır. Su kaynaklarının etkili yönetimi, bu havzaların ekonomik ve ekolojik dengesini korumak için kritik önem taşır.

Bu çalışmada, SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hidrolojik modeli kullanılarak Fırat, Çoruh ve Aras Havzalarının önemli alt memba havzalarında hidrolojik süreçler detaylı olarak incelenmiş ve su kaynaklarının modellenmesinde modelin kalibrasyonu ve doğrulama süreçleri üzerinde odaklanılmıştır. Ayrıca, SWAT modelinin kar parametrelerinin ölçülmüş kar verileri ile kalibre edilmesi ve bu kalibrasyonun model performansına etkisi de değerlendirilmiştir.

Tezin bu bölümünde; SWAT modelinin çalışma prensipleri, temel model hazırlık adımları, SWATCUP kalibrasyon programının yapısal özellikleri ile kar kalibrasyon sürecinde kullanılan metodoloji ve analiz teknikleri detaylandırılmaktadır.

4.2. SWAT Hidrolojik Modeli

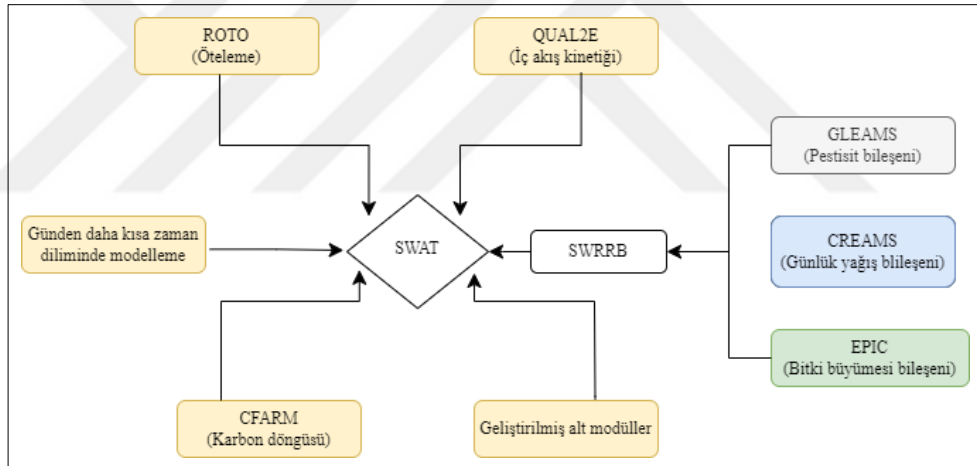
SWAT (Soil and Water Assessment Tool), geniş havzalarda su kaynaklarının yönetimi için kullanılan güçlü bir hidrolojik modelleme aracıdır. Özellikle havzaların yönetiminde ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Model; yağış, kar erimesi, bitki örtüsü, toprak özellikleri, arazi kullanımı ve su yönetimi uygulamaları gibi birçok faktörü hesaba katarak su akışını, sediment taşınımını ve besin maddesi yüklerinin benzeşimini yapmaktadır. SWAT'ın temel özellikleri arasında havza ölçeğinde hidrolojik süreçleri modellenmesi, erozyon riski analizi, tarımsal uygulamaların su kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve çevresel planlama kararları için destek sağlaması bulunur. Model, kullanıcı dostu arayüzü ve açık kaynak kodlu yapısıyla literatürde sıklıkla kullanılan bir hidrolojik modeldir.

SWAT modeli 1990'lı yılların başlarında Amerika Birleşik Devletleri'nde Arnold et al. (2012) tarafından geliştirilen yarı-dağılımlı ve sürekli zamanlı bir havza simülasyon modelidir.

Model bileşenleri arasında hava durumu, hidroloji, erozyon/çökme bitki büyümesi, kimyasal maddeler, pestisitler, tarımsal yönetim, akarsu yönlendirmesi ve gölet/rezervuar yönlendirmesi yer almaktadır.

4.2.1. SWAT hidrolojik modelinin tarihsel gelişimi

SWAT hidrolojik modeli; tarım, su kalitesi ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda daha iyi analiz ve karar desteği sağlamak amacıyla zaman içinde geliştirilmiştir. SWAT modelinin gelişim süreci Şekil 4.1'de (Gassman et al. 2007) verilmiştir.



Şekil 4.1. SWAT modelinin tarihsel gelişim şeması

CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems) günlük yağış modeli, GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems) pestisit bileşeni modeli ve EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) bitki büyümesi bileşeni modeli birleştirilip geliştirilerek SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) modeli oluşturulmuştur.

SWRRB yalnızca düşük yüz ölçümlü havzalarda kullanılabilen sınırlı bir modeldir. Büyük havzaları temsil etmek için daha gelişmiş bir modele ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla model arayüzüne ROTO öteleme, CFARM karbon döngüsü ve

QUAL2E iç akıntı kinetiği özellikleri eklenerek SWAT hidrolojik modeli ortaya çıkmıştır. Model 40 yılı aşkın süredir geliştirilmekte ve iyileştirilmiş arayüzüyle kullanıcılara sunulmaktadır.

SWAT modelinde hidrolojik döngüyü temsil eden su dengesi eşitliği Denklem 4.1'deki gibidir. Denklemden yer alan ifadelerin açıklamaları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

$$SWt = SW0 + \sum_{k=1}^n (Rday - Qsurf - Ea - \omega seep - Qgw) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.1. Hidrolojik döngüde yer alan ifadeler ve açıklamaları

İfade	Birim	Açıklama
SWt	mm	Toprağın su içeriği
SW0		Toprağın başlangıçtaki su içeriği
Rday		Yağış miktarı
Qsurf		Yüzeysel akışa geçen su miktarı
Ea		Evapotranspirasyon miktarı
$\omega seep$		Vadoz zona sızan su miktarı
Qgw		Yer altı su beslemesi

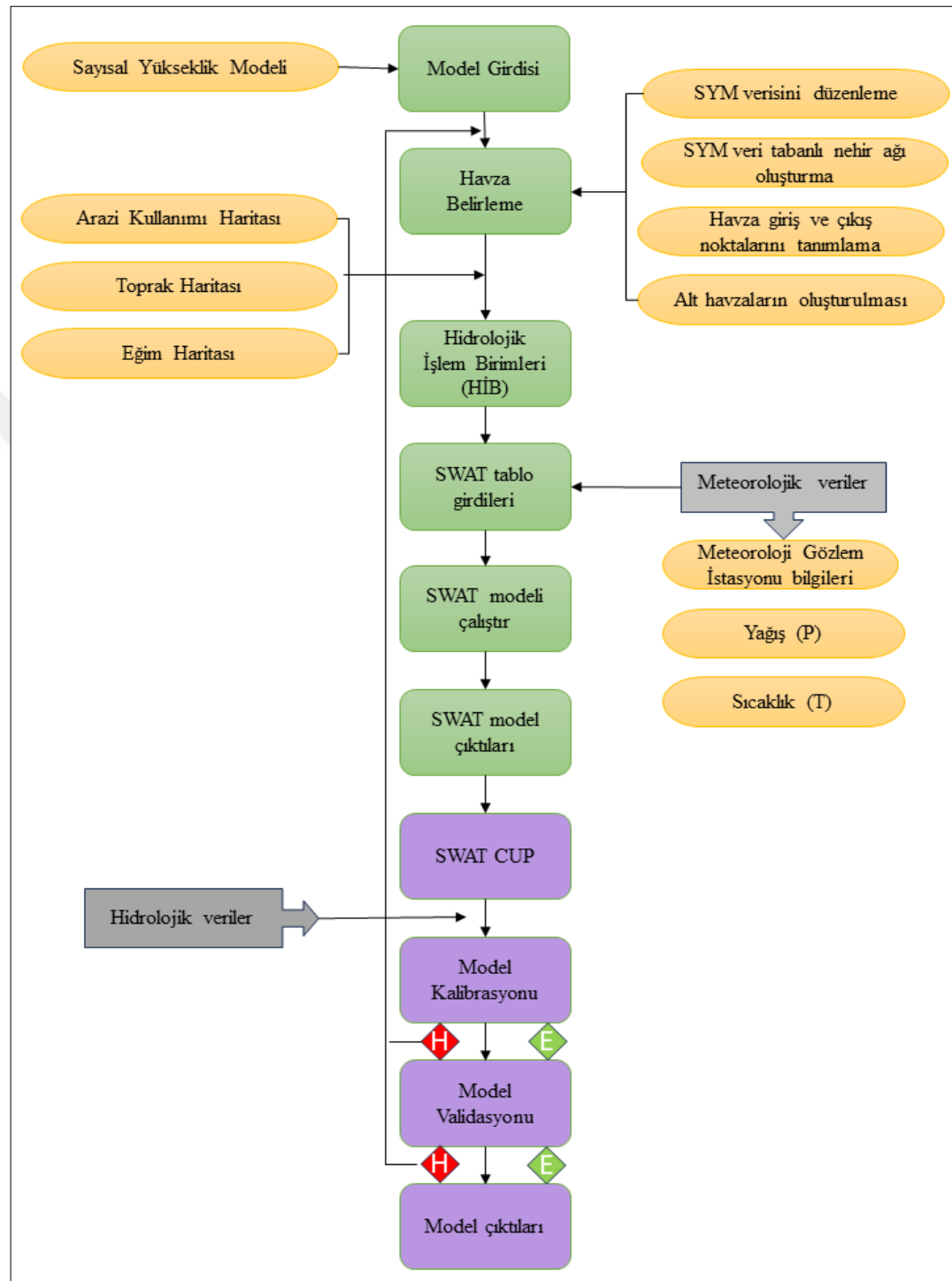
4.2.2. SWAT model yapısı ve çalışma prensibi

SWAT büyük ölçekli havzaları temsil etme özelliğine sahip bir model olarak ön plana çıkmıştır. Bu özelliği gereği havzayı alt havzalar içerisinde Hidrolojik İşlem Birimi (HİB) adı verilen daha küçük birimlere ayırarak değerlendirir. Temel girdilerden olan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi kullanımı ve toprak çeşidi verilerinin uygun kombinasyonlarıyla Hidrolojik İşlem Birimlerini oluşturur. Bu işlem modelin havzayı daha iyi anlamlandırmasını sağlar ve doğruluğunu artırır.

Her bir alt havza en az bir HİB ve bir ana akarsu kolu içermelidir (Arnold et al. 2012). Her HİB'deki hesaplama birbirinden ayrı olarak yapılır ve bulunduğu alt havzanın çıkış noktasında toplanır. HİB'lerdeki hesaplamalar için model meteorolojik verilere ihtiyaç duyar. Bu veriler yağış, sıcaklık, rüzgar hızı, güneş ışıması ve bağıl nemdir. Bunlardan yağış ve sıcaklık temel zorunlu diğerleri ise isteğe bağlı verilerdir. SWAT, opsiyonel verilerin eksik olduğu durumlarda bazı varsayımlar yapabilir, ancak bu varsayımlar modelin doğruluğunu etkileyebilir. Bu nedenle, mümkün olduğunca eksiksiz

4. YÖNTEM

veri sağlamak modelin performansını artıracaktır. SWAT hidrolojik modelinin akış şeması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. SWAT modeli akış şeması

4.3. Modelin Uygulanması

SWAT modelini kurmanın ilk adımı havzayı Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında tasvir ettikten sonra gerekli verilerin hazırlanmasıdır. Model girdilerinin fazla olması her ne kadar güvenilirliği arttırsa da verilerin temini açısından karşılaşılan bir zorluktur. Özellikle dağlık havzalarda ölçüm istasyonunun bulunmaması bu zorluğun bir nedenidir. Dağlık havzalar yükseltileri gereği kar baskın bölgelerden oluşur ve bu havzaların en önemli akım kaynağı karıdır. Kar erimesi ile akım arasındaki ilişkiye dair kesin bir teoremin bulunmaması sebebiyle hidrolojik modelleme çalışmaları bu tip bölgelerde zorlayıcıdır.

Çalışma alanı için baz model kurulumu tamamlandıktan sonra modelde kullanılacak olan meteorolojik veriler SWAT algoritmasına uygun olarak hazırlanmalıdır. Model hatasız bir şekilde çalıştırıldıktan sonra parametreler ayarlanır ve kalibrasyon aşamasına geçilir. Son olarak doğrulama işlemi yapılarak modelleme tamamlanır.

4.3.1. Model verilerinin hazırlanması

Bu çalışmada, modele ön hazırlık olarak 4 havza için ayrı ayrı baz model kurulumu yapılmıştır. Bu aşamada ki tüm çalışmalar ücretsiz ve açık kaynaklı bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı olan QGIS programı üzerinde yapılmıştır.

Eğim ve yükseklik sınıflandırması için önceki bölümde belirtildiği gibi 30x30 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır. Düzeye yakın bölgeler %0-12, eğimli bölgeler %12-25 ve çok eğimli bölgeler ise %25'ten büyük olarak sınıflandırılmıştır. Model havzayı en fazla 10 yükseklik bandına ayırmaktadır. Tüm havzalar 10 yükseklik sınıfına ayrılmıştır. Havzalara ait yükseklik bantları (m) Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kemah Boğazı Havzası yükseklik bantları (m)

Alt Havza	YB-1	YB-2	YB-3	YB-4	YB-5	YB-6	YB-7	YB-8	YB-9	YB-10
1	1.167,9	1.210,9	1.253,9	1.296,9	1.339,9	1.381,9	1.424,9	1.467,9	1.510,9	1.553,5
2	1.237,3	1.419,3	1.600,3	1.782,3	1.963,3	2.145,3	2.326,3	2.508,3	2.689,3	2.871,0
3	1.155,0	1.170,0	1.185,0	1.200,0	1.215,0	1.230,0	1.245,0	1.260,0	1.275,0	1.289,5
4	1.257,4	1.475,4	1.693,4	1.911,4	2.129,4	2.346,4	2.564,4	2.782,4	3.000,4	3.218,0
5	1.425,2	1.529,2	1.632,2	1.736,2	1.839,2	1.943,2	2.046,2	2.149,2	2.253,2	2.356,0
6	1.433,4	1.537,4	1.641,4	1.745,4	1.849,4	1.952,4	2.056,4	2.160,4	2.264,4	2.368,0
7	1.418,3	1.436,3	1.453,3	1.471,3	1.488,3	1.506,3	1.523,3	1.541,3	1.558,3	1.576,0
8	1.498,0	1.663,0	1.828,0	1.993,0	2.158,0	2.323,0	2.488,0	2.653,0	2.818,0	2.982,5
9	1.444,8	1.571,8	1.698,8	1.824,8	1.951,8	2.077,8	2.204,8	2.331,8	2.457,8	2.584,5
10	1.731,5	1.839,5	1.947,5	2.055,5	2.163,5	2.271,5	2.379,5	2.487,5	2.595,5	2.703,5
11	1.809,2	1.925,2	2.040,2	2.155,2	2.271,2	2.386,2	2.501,2	2.617,2	2.732,2	2.847,0
12	1.500,4	1.666,4	1.832,4	1.998,4	2.164,4	2.329,4	2.495,4	2.661,4	2.827,4	2.993,0
13	1.432,4	1.478,4	1.524,4	1.570,4	1.615,4	1.661,4	1.707,4	1.752,4	1.798,4	1.844,0
14	1.749,2	1.869,2	1.988,2	2.107,2	2.227,2	2.346,2	2.465,2	2.585,2	2.704,2	2.823,0
15	1.262,3	1.492,3	1.721,3	1.951,3	2.180,3	2.410,3	2.639,3	2.869,3	3.098,3	3.328,0
16	1.458,1	1.628,1	1.797,1	1.966,1	2.135,1	2.304,1	2.474,1	2.643,1	2.812,1	2.981,0
17	1.758,5	1.896,5	2.034,5	2.172,5	2.310,5	2.448,5	2.586,5	2.724,5	2.862,5	3.000,5
18	1.266,6	1.503,6	1.739,6	1.975,6	2.211,6	2.447,6	2.684,6	2.920,6	3.156,6	3.392,5
19	1.231,1	1.401,1	1.570,1	1.739,1	1.908,1	2.078,1	2.247,1	2.416,1	2.585,1	2.754,0
20	1.484,8	1.613,8	1.742,8	1.870,8	1.999,8	2.127,8	2.256,8	2.385,8	2.513,8	2.642,5
21	1.520,6	1.691,6	1.861,6	2.031,6	2.201,6	2.371,6	2.541,6	2.711,6	2.881,6	3.051,5
22	1.821,0	1.958,0	2.095,0	2.232,0	2.369,0	2.506,0	2.643,0	2.780,0	2.917,0	3.053,5
23	1.539,5	1.749,5	1.959,5	2.169,5	2.379,5	2.589,5	2.799,5	3.009,5	3.219,5	3.429,0
24	1.490,9	1.641,9	1.792,9	1.943,9	2.094,9	2.244,9	2.395,9	2.546,9	2.697,9	2.848,5
25	1.824,2	1.962,2	2.099,2	2.236,2	2.374,2	2.511,2	2.648,2	2.786,2	2.923,2	3.060,0
26	1.823,1	1.959,1	2.094,1	2.229,1	2.364,1	2.499,1	2.635,1	2.770,1	2.905,1	3.040,0
27	1.749,9	1.894,9	2.039,9	2.184,9	2.328,9	2.473,9	2.618,9	2.762,9	2.907,9	3.052,5

Çizelge 4.3. İspir Köprüsü Havzası yükseklik bantları (m)

Alt Havza	YB-1	YB-2	YB-3	YB-4	YB-5	YB-6	YB-7	YB-8	YB-9	YB-10
1	1.270,0	1.463,0	1.656,0	1.849,0	2.042,0	2.235,0	2.428,0	2.621,0	2.814,0	3.006,5
2	1.329,1	1.459,1	1.588,1	1.717,1	1.846,1	1.975,1	2.104,1	2.233,1	2.362,1	2.491,0
3	1.400,0	1.603,0	1.806,0	2.009,0	2.212,0	2.415,0	2.618,0	2.821,0	3.024,0	3.226,5
4	1.485,7	1.555,7	1.625,7	1.695,7	1.765,7	1.835,7	1.905,8	1.975,8	2.045,8	2.115,8
5	1.547,8	1.672,8	1.797,8	1.921,8	2.046,8	2.170,8	2.295,8	2.420,8	2.544,8	2.669,5
6	1.542,9	1.657,9	1.772,9	1.887,9	2.001,9	2.116,9	2.231,9	2.345,9	2.460,9	2.575,5
7	1.593,1	1.727,1	1.860,1	1.993,1	2.126,1	2.259,1	2.393,1	2.526,1	2.659,1	2.792,0
8	1.709,5	1.835,5	1.961,5	2.087,5	2.213,5	2.339,5	2.465,5	2.591,5	2.717,5	2.843,5
9	1.624,5	1.668,5	1.712,5	1.756,5	1.800,5	1.844,5	1.888,5	1.932,5	1.976,5	2.020,5
10	1.780,9	1.839,9	1.898,9	1.957,9	2.016,9	2.074,9	2.133,9	2.192,9	2.251,9	2.310,5
11	1.636,4	1.684,4	1.732,4	1.780,4	1.828,4	1.875,4	1.923,4	1.971,4	2.019,4	2.067,0
12	1.626,1	1.654,1	1.681,1	1.708,1	1.735,1	1.762,1	1.789,1	1.816,1	1.843,1	1.870,0
13	1.804,0	1.897,0	1.990,0	2.083,0	2.176,0	2.269,0	2.362,0	2.455,0	2.548,0	2.640,5
14	1.672,3	1.762,3	1.851,3	1.941,3	2.030,3	2.120,3	2.209,3	2.299,3	2.388,3	2.478,0
15	1.709,7	1.838,7	1.966,7	2.094,7	2.223,7	2.351,7	2.479,7	2.608,7	2.736,7	2.864,5
16	1.874,6	1.999,6	2.123,6	2.247,6	2.371,6	2.495,6	2.619,6	2.743,6	2.867,6	2.991,5
17	1.667,1	1.747,1	1.826,1	1.905,1	1.984,1	2.063,1	2.142,1	2.221,1	2.300,1	2.379,0
18	1.673,0	1.776,0	1.879,0	1.982,0	2.085,0	2.188,0	2.291,0	2.394,0	2.497,0	2.599,5
19	1.813,7	1.932,7	2.050,7	2.168,7	2.287,7	2.405,7	2.523,7	2.642,7	2.760,7	2.878,5
20	1.666,6	1.757,6	1.847,6	1.937,6	2.027,6	2.117,6	2.208,6	2.298,6	2.388,6	2.478,5
21	1.871,6	1.996,6	2.120,6	2.244,6	2.368,6	2.492,6	2.617,6	2.741,6	2.865,6	2.989,5
22	1.582,0	1.693,0	1.804,0	1.915,0	2.026,0	2.137,0	2.248,0	2.359,0	2.470,0	2.580,5
23	1.827,8	1.966,8	2.105,8	2.243,8	2.382,8	2.520,8	2.659,8	2.798,8	2.936,8	3.075,5
24	1.649,9	1.744,9	1.839,9	1.934,9	2.029,9	2.123,9	2.218,9	2.313,9	2.408,9	2.503,5
25	1.574,9	1.751,9	1.928,9	2.105,9	2.281,9	2.458,9	2.635,9	2.811,9	2.988,9	3.165,5
26	1.399,4	1.601,4	1.803,4	2.005,4	2.206,4	2.408,4	2.610,4	2.811,4	3.013,4	3.215,0
27	1.369,5	1.575,5	1.781,5	1.987,5	2.193,5	2.399,5	2.605,5	2.811,5	3.017,5	3.223,5

Çizelge 4.4. Coşkunlar Havzası yükseklik bantları (m)

Alt Havza	YB-1	YB-2	YB-3	YB-4	YB-5	YB-6	YB-7	YB-8	YB-9	YB-10
1	1.084,6	1.233,6	1.381,6	1.529,6	1.677,6	1.826,6	1.974,6	2.122,6	2.270,6	2.418,5
2	1.134,3	1.266,3	1.397,3	1.529,3	1.660,3	1.792,3	1.923,3	2.055,3	2.186,3	2.318,0
3	1.156,1	1.332,1	1.507,1	1.682,1	1.857,1	2.032,1	2.207,1	2.382,1	2.557,1	2.732,0
4	1.199,0	1.342,0	1.485,0	1.628,0	1.771,0	1.914,0	2.057,0	2.200,0	2.343,0	2.485,5
5	1.360,9	1.503,9	1.646,9	1.789,9	1.931,9	2.074,9	2.217,9	2.359,9	2.502,9	2.645,5
6	1.272,4	1.402,4	1.532,4	1.662,4	1.792,4	1.921,4	2.051,4	2.181,4	2.311,4	2.441,0
7	1.433,0	1.566,0	1.699,0	1.832,0	1.965,0	2.098,0	2.231,0	2.364,0	2.497,0	2.630,0
8	1.488,0	1.639,0	1.790,0	1.941,0	2.092,0	2.243,0	2.394,0	2.545,0	2.696,0	2.847,0
9	1.542,1	1.544,1	1.545,1	1.546,1	1.547,1	1.548,1	1.549,1	1.550,1	1.551,1	1.552,0
10	1.599,9	1.712,9	1.825,9	1.938,9	2.050,9	2.163,9	2.276,9	2.388,9	2.501,9	2.614,5
11	1.637,1	1.719,1	1.800,1	1.881,1	1.962,1	2.044,1	2.125,1	2.206,1	2.287,1	2.368,0
12	1.287,9	1.448,9	1.609,9	1.770,9	1.930,9	2.091,9	2.252,9	2.412,9	2.573,9	2.734,5
13	1.437,7	1.476,7	1.514,7	1.553,7	1.591,7	1.630,7	1.668,7	1.706,7	1.745,7	1.783,5
14	1.492,9	1.627,9	1.762,9	1.897,9	2.032,9	2.166,9	2.301,9	2.436,9	2.571,9	2.706,5
15	1.699,7	1.828,7	1.956,7	2.084,7	2.213,7	2.341,7	2.469,7	2.598,7	2.726,7	2.854,5
16	1.685,4	1.785,4	1.885,4	1.985,4	2.084,4	2.184,4	2.284,4	2.383,4	2.483,4	2.583,0
17	1.653,6	1.768,6	1.882,6	1.996,6	2.110,6	2.224,6	2.338,6	2.452,6	2.566,6	2.680,5
18	1.612,3	1.750,3	1.888,3	2.025,3	2.163,3	2.300,3	2.438,3	2.576,3	2.713,3	2.851,0
19	1.605,9	1.734,9	1.863,9	1.992,9	2.120,9	2.249,9	2.378,9	2.506,9	2.635,9	2.764,5
20	1.498,5	1.646,5	1.794,5	1.942,5	2.090,5	2.238,5	2.386,5	2.534,5	2.682,5	2.830,0
21	1.371,4	1.535,4	1.699,4	1.863,4	2.026,4	2.190,4	2.354,4	2.517,4	2.681,4	2.845,0
22	2.038,4	2.124,4	2.210,4	2.296,4	2.382,4	2.468,4	2.553,4	2.639,4	2.725,4	2.811,0
23	1.482,2	1.622,2	1.761,2	1.901,2	2.040,2	2.180,2	2.319,2	2.458,2	2.598,2	2.737,0
24	2.050,4	2.160,4	2.270,4	2.380,4	2.490,4	2.600,4	2.709,4	2.819,4	2.929,4	3.039,0
25	1.431,9	1.562,9	1.693,9	1.824,9	1.954,9	2.085,9	2.216,9	2.346,9	2.477,9	2.608,5
26	1.503,4	1.673,4	1.843,4	2.013,4	2.182,4	2.352,4	2.522,4	2.691,4	2.861,4	3.031,0
27	1.199,9	1.342,9	1.485,9	1.628,9	1.770,9	1.913,9	2.056,9	2.198,9	2.341,9	2.484,5
28	1.514,0	1.625,0	1.736,0	1.847,0	1.958,0	2.069,0	2.180,0	2.291,0	2.402,0	2.512,5
29	1.519,5	1.641,5	1.763,5	1.885,5	2.007,5	2.129,5	2.251,5	2.373,5	2.495,5	2.617,5

Çizelge 4.5. Karakurt Havzası yükseklik bantları (m)

Alt Havza	YB-1	YB-2	YB-3	YB-4	YB-5	YB-6	YB-7	YB-8	YB-9	YB-10
1	1.525,5	1.669,5	1.813,5	1.957,5	2.101,5	2.245,5	2.389,5	2.533,5	2.677,5	2.821,0
2	1.527,7	1.532,7	1.536,7	1.540,7	1.545,7	1.549,7	1.553,7	1.558,7	1.562,7	1.566,5
3	1.588,0	1.713,0	1.838,0	1.963,0	2.088,0	2.213,0	2.338,0	2.463,0	2.588,0	2.713,0
4	1.603,7	1.734,7	1.864,7	1.994,7	2.125,7	2.255,7	2.385,7	2.516,7	2.646,7	2.776,5
5	1.599,6	1.614,6	1.628,6	1.642,6	1.656,6	1.671,6	1.685,6	1.699,6	1.713,6	1.727,5
6	1.663,7	1.792,7	1.920,7	2.048,7	2.177,7	2.305,7	2.433,7	2.562,7	2.690,7	2.818,5
7	1.848,7	1.961,7	2.073,7	2.186,7	2.298,7	2.411,7	2.523,7	2.635,7	2.748,7	2.860,5
8	1.878,5	1.932,5	1.986,5	2.040,5	2.094,5	2.148,5	2.202,5	2.256,5	2.310,5	2.364,0
9	1.658,5	1.790,5	1.922,5	2.054,5	2.186,5	2.318,5	2.450,5	2.582,5	2.714,5	2.846,0
10	1.661,2	1.719,2	1.776,2	1.833,2	1.891,2	1.948,2	2.005,2	2.063,2	2.120,2	2.177,0
11	1.546,7	1.589,7	1.631,7	1.673,7	1.716,7	1.758,7	1.800,7	1.843,7	1.885,7	1.927,5
12	1.956,4	2.054,4	2.152,4	2.250,4	2.348,4	2.446,4	2.543,4	2.641,4	2.739,4	2.837,0
13	1.820,9	1.877,9	1.934,9	1.991,9	2.048,9	2.104,9	2.161,9	2.218,9	2.275,9	2.332,5
14	1.940,3	2.006,3	2.072,3	2.137,3	2.203,3	2.268,3	2.334,3	2.400,3	2.465,3	2.531,0
15	1.720,6	1.859,6	1.997,6	2.135,6	2.273,6	2.411,6	2.549,6	2.687,6	2.825,6	2.963,5
16	2.009,8	2.132,8	2.255,8	2.377,8	2.500,8	2.622,8	2.745,8	2.868,8	2.990,8	3.113,5
17	1.999,9	2.078,9	2.157,9	2.236,9	2.315,9	2.394,9	2.472,9	2.551,9	2.630,9	2.709,5
18	1.896,9	1.985,9	2.074,9	2.163,9	2.251,9	2.340,9	2.429,9	2.517,9	2.606,9	2.695,5
19	1.912,1	1.978,1	2.043,1	2.108,1	2.173,1	2.238,1	2.303,1	2.368,1	2.433,1	2.498,0
20	1.999,9	2.100,9	2.201,9	2.302,9	2.402,9	2.503,9	2.604,9	2.704,9	2.805,9	2.906,5
21	1.935,0	2.046,0	2.157,0	2.268,0	2.379,0	2.490,0	2.601,0	2.712,0	2.823,0	2.934,0
22	2.008,6	2.127,6	2.245,6	2.363,6	2.481,6	2.599,6	2.717,6	2.835,6	2.953,6	3.071,5
23	1.660,6	1.783,6	1.905,6	2.027,6	2.149,6	2.271,6	2.394,6	2.516,6	2.638,6	2.760,5
24	1.720,6	1.859,6	1.997,6	2.135,6	2.273,6	2.411,6	2.549,6	2.687,6	2.825,6	2.963,5
25	1.622,3	1.754,3	1.885,3	2.017,3	2.148,3	2.280,3	2.411,3	2.543,3	2.674,3	2.806,0
26	1.749,7	1.892,7	2.034,7	2.177,7	2.319,7	2.462,7	2.604,7	2.746,7	2.889,7	3.031,5
27	1.678,0	1.771,0	1.864,0	1.957,0	2.050,0	2.143,0	2.236,0	2.329,0	2.422,0	2.515,0
28	1.751,0	1.896,0	2.041,0	2.186,0	2.331,0	2.476,0	2.621,0	2.766,0	2.911,0	3.055,5
29	1.615,3	1.733,3	1.850,3	1.968,3	2.085,3	2.203,3	2.320,3	2.438,3	2.555,3	2.673,0
30	1.600,6	1.725,6	1.849,6	1.973,6	2.097,6	2.221,6	2.346,6	2.470,6	2.594,6	2.718,5
31	1.593,0	1.728,0	1.863,0	1.998,0	2.133,0	2.268,0	2.403,0	2.538,0	2.673,0	2.808,0

Arazi kullanımı CORINE arazi örtüsü haritası indirilip çalışma alanına kestirilerek elde edilmiştir. Fakat haritadaki mevcut kodlar SWAT kodlarıyla örtüşmediği için yeniden düzenlenmiştir. Toprak çeşidi verisi için FAO toprak çeşidi haritası aynı şekilde dört havzaya göre uyarlanmıştır. Kodlar SWAT toprak kodlarıyla örtüştüğü için bir düzenlemeye gerek duyulmamıştır.

Fiziksel tabanlı veriler sağlandıktan sonra model havzaları HİB'lere ayırır ve sonraki adım olan hidro-meteorolojik verilere geçilir. SWAT, meteorolojik veri olarak yağış yüksekliği, en yüksek ve en düşük sıcaklık, bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgar hızı gibi verilere ihtiyaç duysa da model için temel veriler yağış ve sıcaklıktır. Diğer

meteorolojik veriler eksikse, SWAT bu verileri tahmin etmek veya simüle etmek için içsel algoritmalar kullanabilir. Yağış ve sıcaklık dışındaki veriler diğer mevcut meteorolojik verilerden türetilmiştir. Veri istatistikleri SWAT'ın istediği formata uygun olarak WGN Parameters Estimation Tool kullanılarak düzenlenmiştir ve istasyonlara ait istenilen istatistikler elde edilmiştir.

4.3.2. Baz model kurulumu

Her bir havza için kalibrasyon işlemi öncesi SWAT yazılımının 2012 versiyonu kullanılarak baz modeller oluşturulmuştur. SWAT, QGIS üzerinde bir eklenti olarak çalışmaktadır. Her havzaya ait baz model bilgileri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Baz modellere ait bilgiler

	E21A019 Havzası	E23A016 Havzası	E23A029 Havzası	D24A029 Havzası
Havza alanı (km²)	10.258	5.540	3.575	7.343
Yükseklik aralığı (m)	1.147-3.499	1.174-3.327	1.174-3.327	1.462-3.135
Yükseklik sınıfı	10			
Arazi kullanımı sınıfı	17	15	14	16
Toprak çeşidi	5	5	2	3
Eğim sınıfı (%)	0-12 / 12-25 / >25			
Alt havza sayısı	27	27	29	31
HİB sayısı	1030	798	830	876
Model ısınma periyodu	5 yıl	5 yıl	5 yıl	3 yıl
Kalibrasyon periyodu	1980-2000	1980 -2002	1981-2000	1991-2000
Validasyon periyodu	2001-2022	2003-2022	2001-2017	2004-2015

Havzalara ait nehir ağının her bir kolu farklı bir alt havza oluşturmuştur. Bu alt havzalar eğim, arazi kullanım sınıfı ve toprak çeşidi verisine göre kombine edilerek benzersiz HİB'ler elde edilmiştir. Bu çalışmada eğim, arazi kullanımı ve toprak çeşidi için bir eşik değeri konulmamıştır çünkü bu verilere ait girdilerin göz ardı edilmesi istenmemiştir.

4.4. SWAT CUP

Gözlem akım değerlerine göre yapılacak olan kalibrasyon işlemleri için bir otomatik kalibrasyon programı olan SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Program) kullanılmıştır. SWAT-CUP, modelin otomatik kalibrasyonunu gerçekleştirmek adına SWAT'tan ayrı bir programdır ve SWAT kullanıcıları tarafından tercih edilen rahat ve etkili bir kalibrasyon programıdır (Arnold et al. 2012).

4.4.1. Kalibrasyon programının yapısı ve çalışma prensibi

SWAT CUP içerisinde SUFI-2 (Sequences Uncertainty and Fitting-2), PSO (Particle Swarm Optimization), GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), ParaSOL (Parameter Solution) ve MCMC (Markov Chain Monte Carlo) olmak üzere kalibrasyon, hassasiyet analizi, belirsizlik analizi ve doğrulama işlemleri için tasarlanmış beş farklı algoritma mevcuttur. SUFI-2, belirli sayıda iterasyon ile başarılı kalibrasyon sonuçları veren bir algoritma olması sebebiyle bu tez çalışmasında kullanılması tercih edilmiştir.

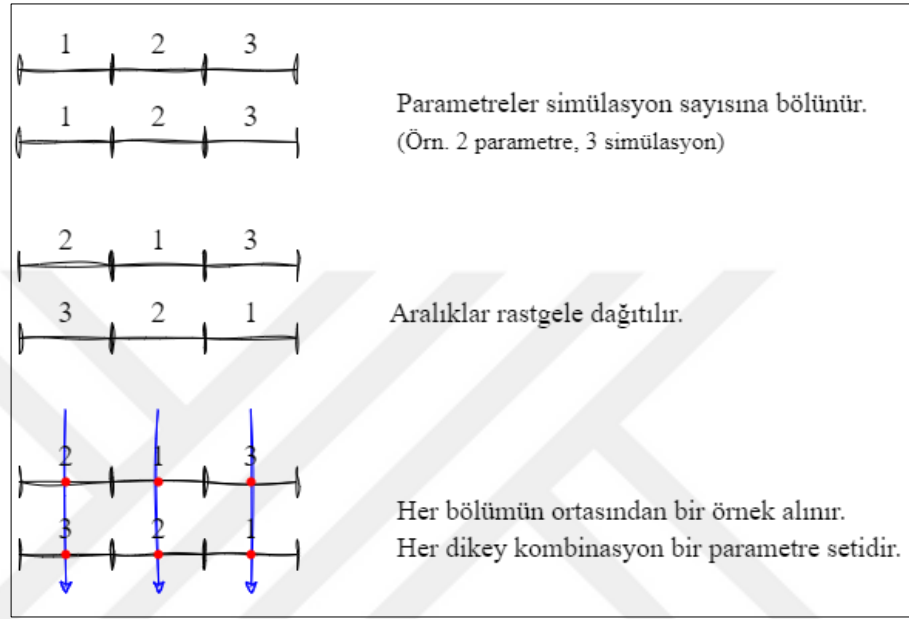
SWAT-CUP' ta kalibrasyonun ilk adımı, model parametrelerinin hangi değer aralıklarında ve hangi değiştirme yöntemleri kullanılarak ayarlanacağına karar vermektir. Üç farklı metot ile parametreler ayarlanabilir (Çizelge 4.7)

Çizelge 4.7. SWAT CUP'ta parametre değiştirme yöntemi ve açıklaması

Yöntem	İngilizce Karşılığı	Türkçe Açıklaması
v_	Replace	Parametre değerini direkt olarak değiştirmek
r_	Relative	Parametreyi yüzde ($\pm$ %) olarak artırmak veya azaltmak
a_	Absolute	Parametre değerine bir değer eklemek veya çıkarmak

SUFI-2 algoritması parametreler ve ölçümlerden kaynaklı belirsizlikleri ele alır. Bu belirsizlikler, parametre aralıkları olarak ifade edilir ve bu aralıklardaki yayılım, %95 olasılık dağılımıyla açıklanan model çıktı değişkenlerinde belirsizliğe neden olur. Latin hiperküp örnekleme (Şekil 4.3) kullanılarak, parametre belirsizliklerindeki yayılımın oluşturduğu çıktı değişkeninin %2,5 ve %97,5 seviyeleri hesaplanır ve bu aralığa %95 tahmin belirsizliği (95PPU-95 Percent Prediction Uncertainty) denir. 95PPU, belirlenen

parametre aralıklarıyla üretilen iyi çözümlerden oluşan bir zarfı temsil eder. Kalibrasyon işleminin sonucunda 95PPU'nun kabul edilebilir sonuçlarını değerlendirmek için iki istatistik kullanılır: p-faktör, model sonuçlarının yüzde kaçının 95PPU zarfına girdiğini; r-faktör ise bu zarfın kalınlığını işaret eder. Akım kalibrasyon işlemi için p-faktörün %70'ten büyük, r-faktörün ise 1'e yaklaşık olması kabul edilebilirdir (Abbaspour, 2015).



Şekil 4.3. Latin hiperküp örnekleme

4.4.2. Kalibrasyon öncesi kar parametrizasyonu

Özellikle dağlık havzalarda kar, su döngüsünde önemli bir hidrolojik parametre olarak öne çıkar. SWAT modeli, kar baskın havzaların modellenmesinde yağış ve sıcaklık değişim oranlarına dayalı bir kar modülü sunar. Model, havzayı yükseklik bantlarına bölerek kar erime sürecini daha hassas bir şekilde modellemeye dahil eder ve böylece modelin doğruluğunu artırır. Teorik olarak, kar erime süreci sıcaklık değişimlerinden doğrudan etkilenir ve bu etki, modelin hassasiyetini ve güvenilirliğini artırmak için dikkatle kalibre edilmelidir.

Hidrolojik döngüde yer alan kar yağışı, kar birikmesi ve kar erimesi süreçleri SWAT modelinde ayrıntılı olarak incelenebilmektedir. SFTMP, SNOCVMX ve SNO50COV parametreleri kar birikmesi süreçlerini kontrol ederken, SMTMP, SMFMX, SMFMN ve TIMP parametreleri kar erimesi ile ilgili süreçleri düzenler. Ayrıca, yağış ve

4. YÖNTEM

sıcaklık değişim oranlarına ilişkin iki önemli parametre bulunmaktadır: PLAPS ve TLAPS. Bu parametreler ve açıklamaları, Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. SWAT kar modülü ve yağış-sıcaklık değişim oranı parametreleri

Parametre	Birim	Açıklama
SFTMP	°C	Kar yağma sıcaklığı
SMTMP	°C	Kar erime sıcaklığı
SMFMX	mm H ₂ O/°C-gün	21 Haziran erime faktör
SMFMN	mm H ₂ O/°C-gün	21 Aralık erime faktörü
TIMP	birimsiz	Sıcaklık gecikme faktörü
SNOCVMX	mm H ₂ O	%100 kar kaplı alan için minimum kar-su miktarı
SNO50COV	birimsiz	%50 kar kaplı alan için KSE katsayısı
PLAPS	mm H ₂ O/km	Yağış değişim oranı
TLAPS	°C/km	Sıcaklık değişim oranı

SWAT modeline dayalı hidrolojik modelleme çalışmalarında, genellikle kar parametrelerinin kalibrasyonu akım verileri temel alınarak gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu yöntem bazı önemli sınırlamalara sahiptir. Akım verileri, hidrolojik döngünün çeşitli bileşenlerini içerir ve bu bileşenlerin bireysel katkılarını ayırt etmek mümkün değildir. Akım verileri sadece toplam su akışını yansıtır, bu nedenle kar erimesi, yağış ve yeraltı suyu katkıları gibi spesifik hidrolojik süreçlerin ayrı ayrı değerlendirilmesini zorlaştırır.

Bu eksiklikler, model kalibrasyonunun doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyebilir. Kar parametrelerinin sadece akım verilerine dayanarak kalibre edilmesi, özellikle dağlık bölgelerde ve kar baskın havzalarda hatalı sonuçlar üretebilir. Kar birikimi ve erimesi süreçlerinin doğru bir şekilde modellenmesi, hidrolojik modellerin genel performansı için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, kar parametrelerinin kalibrasyonunda doğrudan kar ölçümlerine ve kar su eşdeğeri verilerine dayalı bir yaklaşım benimsemek, modelin doğruluğunu ve öngörü kabiliyetini artıracaktır.

Bu çalışmada, kar parametrelerinin bölge üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kalibrasyon öncesinde kapsamlı bir kar parametrisasyonu uygulanmıştır. Bu süreçte, kar parametrelerinin yanı sıra yağış ve sıcaklık değişim oranlarının sabitlenmesi için SWAT-CUP kalibrasyon programı kullanılmış ve modelin kar çıktısı olan kar su eşdeğeri (KSE), yer gözlemlerine göre kalibre edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (OMGİ) ait kar derinliği verileri kullanılmıştır.

Kalibrasyon sürecinde; kar gözlem verileri, SWAT modelinde kullanılan kar parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için referans alınmıştır. İstasyonlardan elde edilen veriler genellikle kar derinliği (KD) cinsindendir. Ancak, SWAT modelinde kar su eşdeğeri (KSE) cinsinden hesaplamalar yapıldığı için, model için kullanılan verilerin KSE'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm süreci, kar parametrelerinin doğru kalibrasyonu ve modelin doğruluğunun artırılması için kritik öneme sahiptir.

Ertaş (2020) tarafından geliştirilen kar yoğunluğu formülü (4.2), istasyonlardan elde edilen kar derinliği verilerini KSE'ye dönüştürmek için kullanılmıştır. Bu formülde kullanılan parametreler, kar yoğunluğunu ve kar su eşdeğerini doğrudan etkileyen faktörleri içermektedir. Özellikle, formülde yer alan parametrelerin açıklamaları ve değerleri, Çizelge 4.9'da detaylı olarak sunulmuştur.

$$\rho_{gün} = 192,17 + 0,43 * KD_{gözlem} + 1,25 * YG \quad (4.2)$$

Çizelge 4.9. Denklem parametrelerinin açıklamaları

	Birim	Açıklama
$\rho_{gün}$	kg/m ³	Kar yoğunluğu
$KD_{gözlem}$	cm	Gözlenen kar derinliği
YG	birimsiz	Yılın günü (1 Ekim -92 olmak üzere)

Kalibrasyon öncesi kar parametrisasyonu sürecinde, modelin kar değişkeninin (KSE) doğru bir şekilde hesaplanması, SWAT modelinin karlı bölgelerde hidrolojik süreçleri doğru bir şekilde modellenmesini sağlar. Bu yaklaşım, kar erimesi ve su kaynaklarının yönetimi gibi önemli hidrolojik süreçlerin modellenmesinde kesinlik ve doğruluk sağlamak amacıyla önemli bir adımdır.

4.4.3. Hassasiyet analizi

Modeldeki belirli parametrelerin değerlerinin değiştirilmesinin, çıktı tahminlerini nasıl etkilediğini incelemek hassasiyet analizi olarak adlandırılır. Bu aşamada model çıktılarına büyük ölçüde etki eden parametreler belirlenip modelin daha az parametre ile çalıştırılması amaçlanmıştır.

4. YÖNTEM

Bu çalışmada, tek bir parametrenin etkisini izole etmek yerine (Lokal hassasiyet analizi) , parametrelerin toplu olarak model çıktısını nasıl etkilediğini değerlendiren Global hassasiyet analizi kullanılmıştır. Çizelge 4.10' da her bir havza için hassasiyet analizinde kullanılacak 20 akım parametresi ve açıklamaları verilmiştir.

Çizelge 4.10. Hassasiyet analizinde kullanılan parametreler ve açıklamaları

Parametre	Birim	Min	Max	Açıklama
CN2	-	35	98	Eğri numarası
ALPHA_BF	1/gün	0	1	Taban akımı alfa faktörü
GW_DELAY	gün	0	500	Yer altı suyu gecikme süresi
GWQMN	mm	0	5.000	Sığ akiferdeki eşik su derinliği
GW_REVAP	-	0,02	0,2	Yeraltı suyu "revap" katsayısı.
REVAPMN	mm	0	500	"Revap" oluşması için sığ akiferdeki su eşik derinliği.
RCHRG_DP	-	0	1	Derin akifer süzülme fraksiyonu.
ESCO_hru	-	0	1	Topraktan buharlaşma dengeleme faktörü.
EPCO_hru	-	0	1	Bitki su alım dengeleme faktörü.
CH_K2	mm/sa	-0,01	500	Ana kanal alüvyonunda etkili hidrolik iletkenlik.
CH_N2	-	-0,01	0,3	Ana kanal için Manning pürüzlülük değeri.
CANMX	mm H ₂ O	0	100	Maksimum kanopi alanı.
LAT_TTIME	gün	0	180	Yanal akış ulaşım süresi.
SLSOIL	m	0	150	Yanal yüzey altı akışı için eğim uzunluğu.
SURLAG	-	0,05	24	Yüzey akış gecikme süresi.
FFCB	-	0	1	Başlangıçtaki toprak su içeriği
SOL_Z	mm	0	3.500	Toprak yüzeyinden tabakanın altına kadar olan derinlik.
SOL_BD	g/cm ³	0,9	2,5	Nemli toprak yoğunluğu.
SOL_K	mm/sa	0	2.000	Doygun hidrolik iletkenlik.
SOL_AWC	mm/mm	0	1	Toprak tabakasının mevcut su kapasitesi

Global hassasiyet analizinde, parametrelerin duyarlılığının belirlenmesinde etkili iki faktör olan t-istatistiği ve p-değeri değerleri, hassas parametrelerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Yüksek mutlak t-istatistiği değerleri, parametrenin model üzerindeki etkisinin büyüklüğünü işaret ederken, düşük p-değerleri bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Global analiz esnasında t-istatistiği mutlak değerinin yüksek,

p-değeri'nin sıfıra yakın olması parametrenin hassas olduğunu gösterir. (Abbaspour 2015).

4.4.4. Akım parametrelerinin kalibrasyonu ve doğrulaması

Kalibrasyon model parametrelerinin gözlemlenen verilerle uyumlu hale getirilmesi sürecidir. Doğrulama ise kalibre edilen modelin bağımsız bir veri seti üzerinde test edilerek güvenilirliğinin değerlendirilmesi sürecidir. Üzerinde çalışılan yıl setinin bir bölümü kalibrasyon, diğer bölümü doğrulama için kullanılmıştır.

Otomatik kalibrasyon ve doğrulama işlemleri her bir havza için Çizelge 4.6'da verilen yıllar arasındaki gözlenen akım değerlerine göre günlük olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak parametrelerin SWAT-CUP'ta hangi değer aralıklarında ve hangi değiştirme yöntemi kullanılarak kalibre edileceğine karar verilmiştir. Daha sonra global hassasiyet analizi yöntemiyle hassas parametreler belirlenmiştir.

SUFI-2 algoritmasında çeşitli amaç fonksiyonları yer almaktadır. Bu çalışmada başarı ölçütü olarak Nash-Sutcliffe Performans Katsayısı (NSE) (4.3) seçilmiştir. NSE, pik akımlara karşı daha duyarlıdır ve yağış – akış modellerinde en çok tercih edilen amaç fonksiyonudur. NSE için değer aralığı $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. $Q_{göz}$, gözlenen akım; Q_{mod} , modellenen akım olmak üzere en iyi model performansı 1'dir.

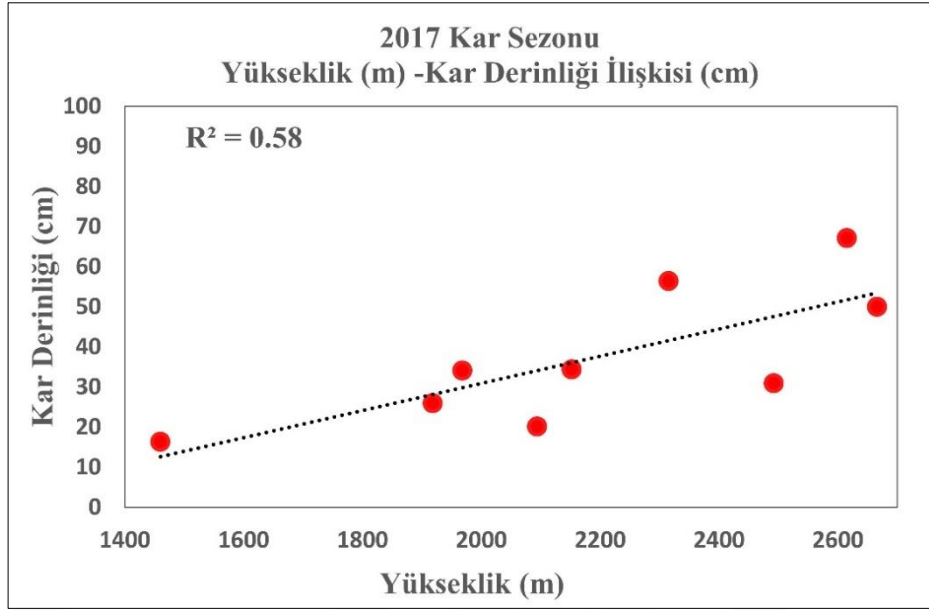
$$NSE = 1 - \frac{\sum(Q_{göz} - Q_{mod})^2}{\sum(Q_{göz} - \bar{Q}_{göz})^2} \quad (4.3)$$

5. BULGULAR

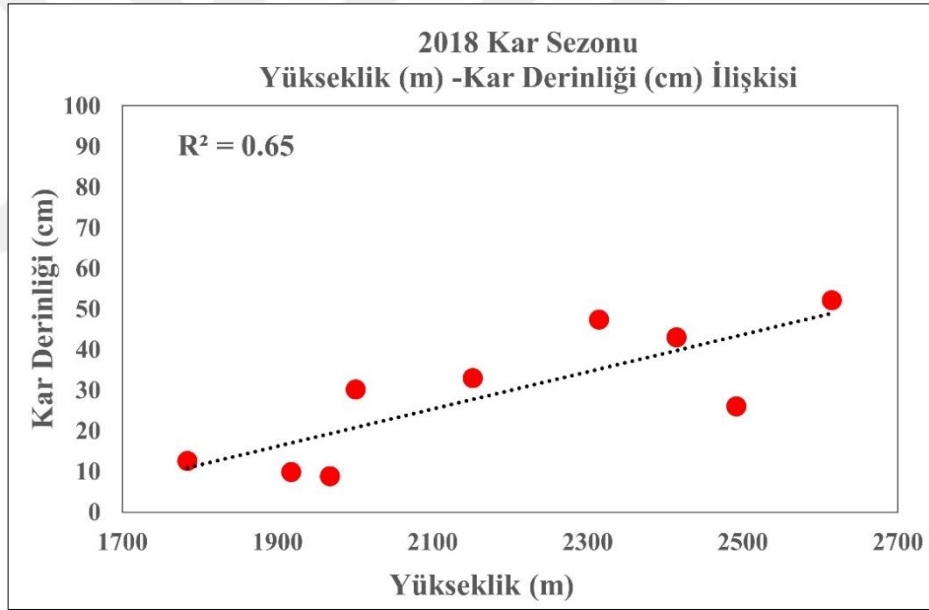
Bu bölüm, modelleme çalışmasına ait parametre setlerini ve analizlerini içermektedir. Kar parametrelerinin akım modellemesi üzerine etkilerini inceleyen bu araştırma, elde edilen verilerin ve sonuçların ayrıntılı bir analizini sunmaktadır. Ayrıca kullanılan parametre setleri tanımlanarak analiz yöntemi özetlenmiş ve bulguların temel sonuçları sunulmuştur.

Bölgede aktif faaliyet gösteren otomatik kar derinliği ölçüm istasyonları sınırlıdır ve ne yazık ki her alt havzayı temsil edecek bir istasyon bulunmamaktadır. İstasyonların noktasal olarak ölçüm yaptığı göz önünde bulundurulduğunda aslında her alt havzada istasyon bulunsa dahi tüm alanı temsil edemeyeceği açıktır.

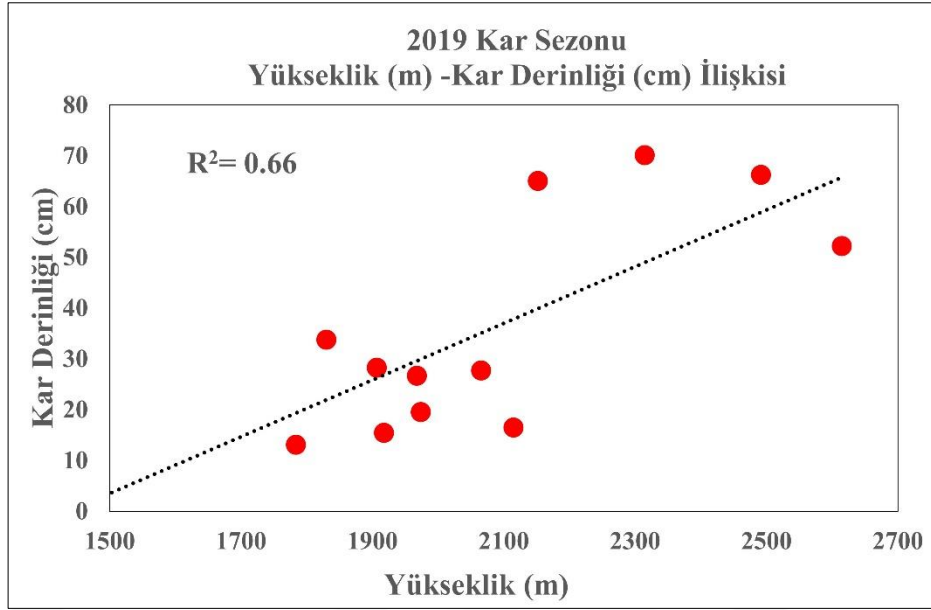
Bu tez çalışmasında bahsedilen soruna çözüm olması adına bir yöntem geliştirilerek istasyona ait kar derinliği verisi istasyonun bulunduğu alt havza ölçeğinde dağıtılmıştır. Bu işlem yapılırken alt havzanın hipsometrik yüksekliği (alt havzanın %50'sinin bulunduğu yükseklik) dikkate alınmıştır. Grünwald et al. (2018), karın yükseklikle bir ilişkisinin olduğunu kanıtlamıştır. Kar derinliği verisi 2017 - 2018 - 2019 kış sezonu için mevcuttur. Bölgede bulunan 15 otomatik kar derinliği ölçüm istasyonu kullanılarak kar derinliği ve yükseklik arasında bir trend (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3) elde edilmiş ve Kar derinliği değişim parametresi (SNO_{laps}) olarak ifade edilen bir parametre belirlenmiştir. SNO_{laps} istasyondaki kar derinliğini alt havza ölçeğinde dağıtmak için kullanılan bir oranı ifade etmektedir.



Şekil 5.1. 2017 kar sezonu yükseklik-kar derinliği ilişkisi



Şekil 5.2. 2018 kar sezonu yükseklik-kar derinliği ilişkisi



Şekil 5.3. 2019 kar sezonu yükseklik-kar derinliği ilişkisi

Bölgede bulunan 15 OMGI'ye ait kar derinliği 2017, 2018 ve 2019 kar sezonu için kar örtüsünün yerde kaldığı 1 Aralık-31 Mart tarihleri arasında ayrı ayrı incelenmiş ve Çizelge 5.1'de verilen SNO_{laps} değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Kar sezonuna göre elde edilen yıllık SNO_{laps} değerleri

Kar sezonu	SNO_{laps} (%)
2017	2,22
2018	7,96
2019	10,43

2017, 2018 ve 2019 kar sezonları dikkate alınarak tüm havzalar için SNO_{laps} ortalama 6,87 olarak hesaplanmıştır. Yani bölgede yükseklik 100 m arttığında kar derinliği %6,87 oranında artırılmış, azaldığında ise %6,87 oranında azaltılmıştır.

Çalışmanın bulguları sırasıyla E21A019, E23A016, E23A029 ve D24A029 havzaları için ayrı ayrı sunulmuştur. Her bir havzanın modelleme sonuçları ise şu sırayla verilecektir; Kar parametrelerinin kalibrasyonu ve doğrulaması, akım parametrelerinin hassasiyet analizi, akım parametrelerinin kalibrasyonu ve doğrulaması.

5.1. E21A019 - Kemah Boğazı Havzası

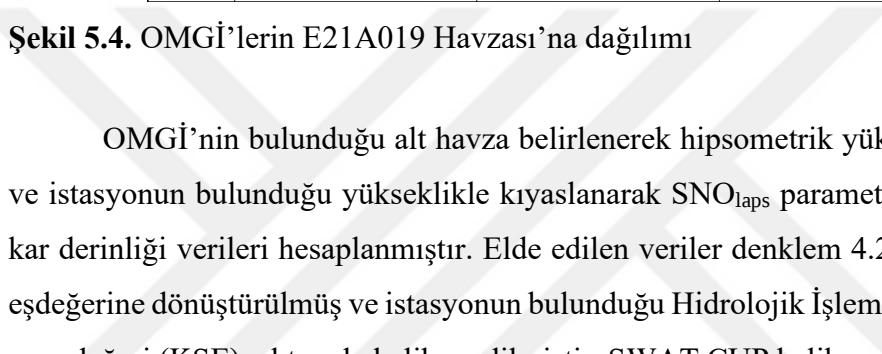
Kemah Boğazı Havzası'nın ortalama yüksekliği 1.983 m ve alanı 10.258 km²'dir. Havza SWAT ile 27 alt havza ve 1.030 HİB'e ayrılarak modellenmiştir. Havzada 17 arazi kullanımı sınıfı ve 5 farklı toprak çeşidi bulunmaktadır.

5.1.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu

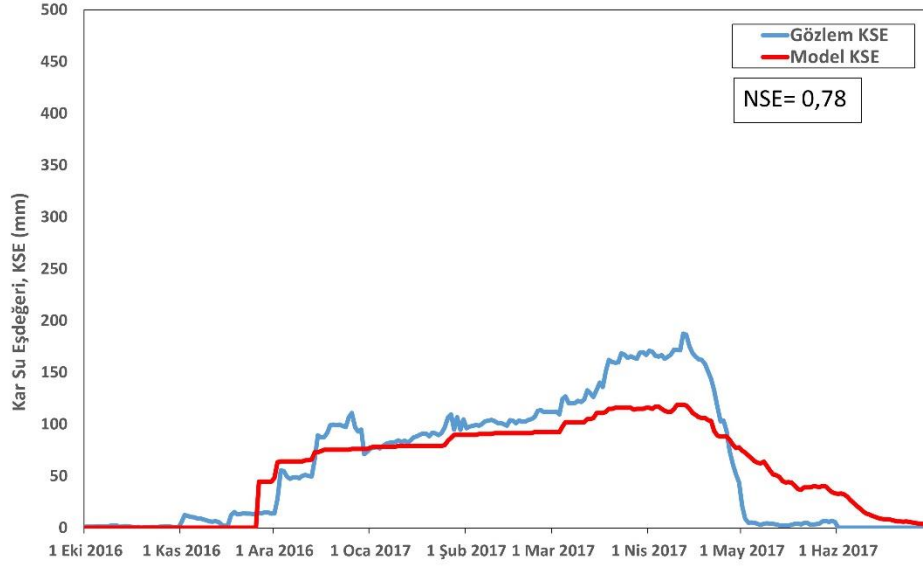
Kalibrasyon işlemi yapılırken havzanın içinde yer alan OMGİ'lerin bir kısmı kalibrasyon diğerleri doğrulama için ayrılmıştır (Çizelge 5.2) ve istasyonların havzaya dağılımı Şekil 5.4' te verilmiştir.

Çizelge 5.2. E21A019 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGİ'leri

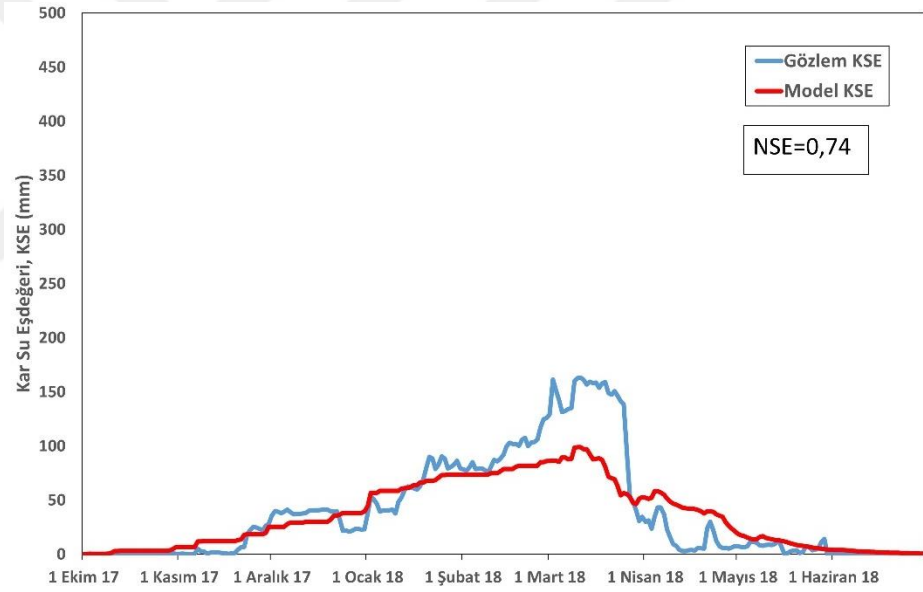
E21A019 Havzası				
İstasyon No	İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Kalibrasyon	Doğrulama
17669	Yakutiye Kırkgöze	2.666		*
17777	Palandöken Kayak M.	2.615	*	
19067	Palandöken Konaklı	2.492	*	
17691	Aşkale Kop	2.415		*
19071	Erzincan Sakaltutan	2.152	*	
17687	Aziziye Ilıca	2.094		*
19074	Aşkale Ovacık	2.001	*	
18203	Çat	1.907	*	



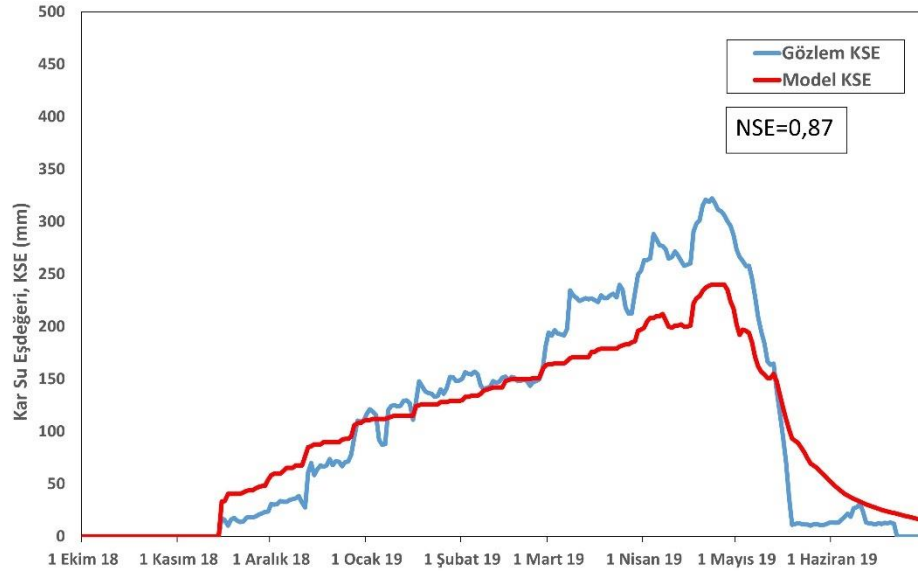
Parametre	M
-----------	---



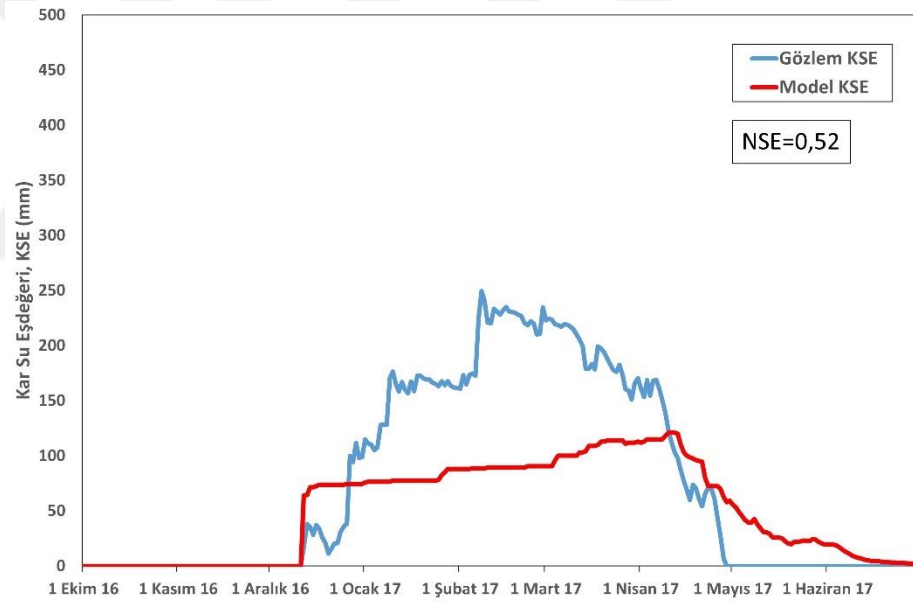
Şekil 5.5. 17777 no'lu Palandöken Kayak Merkezi istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği.



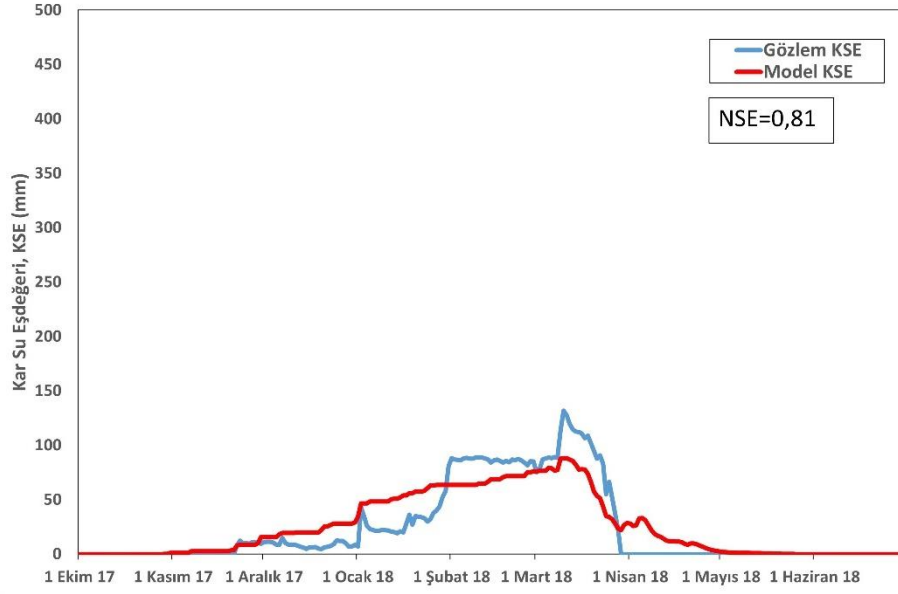
Şekil 5.6. 17777 no'lu Palandöken Kayak Merkezi istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği.



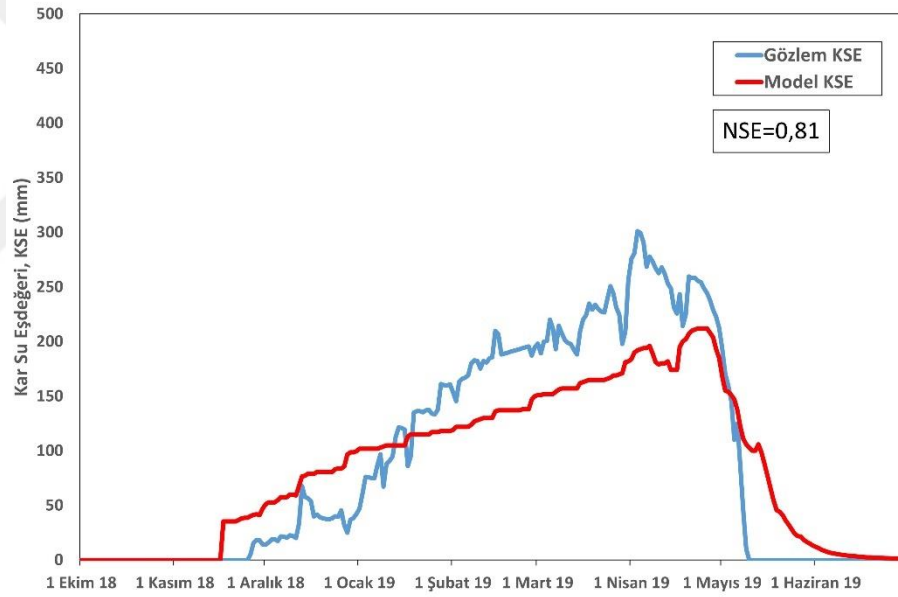
Şekil 5.7. 17777 no’lu Palandöken Kayak Merkezi istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği.



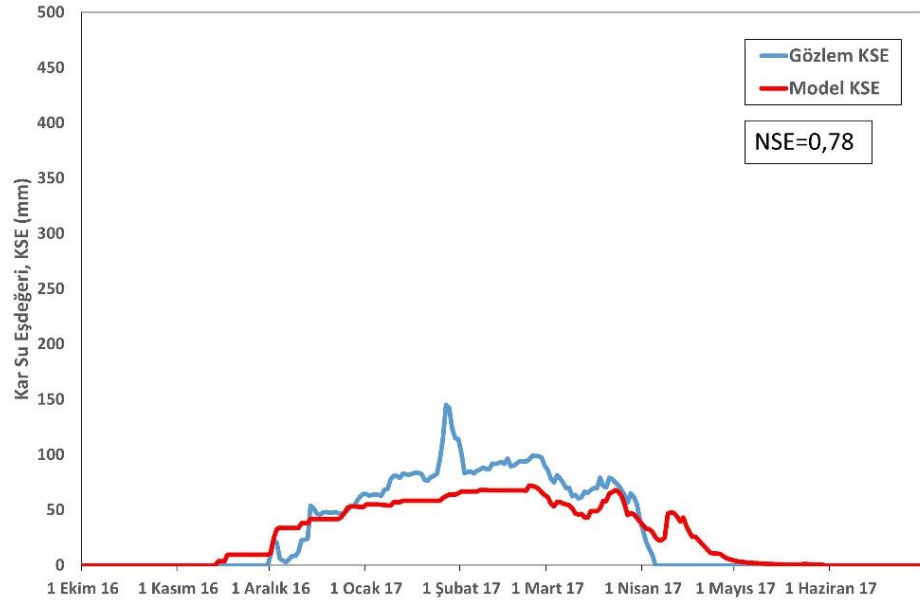
Şekil 5.8. 19067 no’lu Palandöken Konaklı istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği



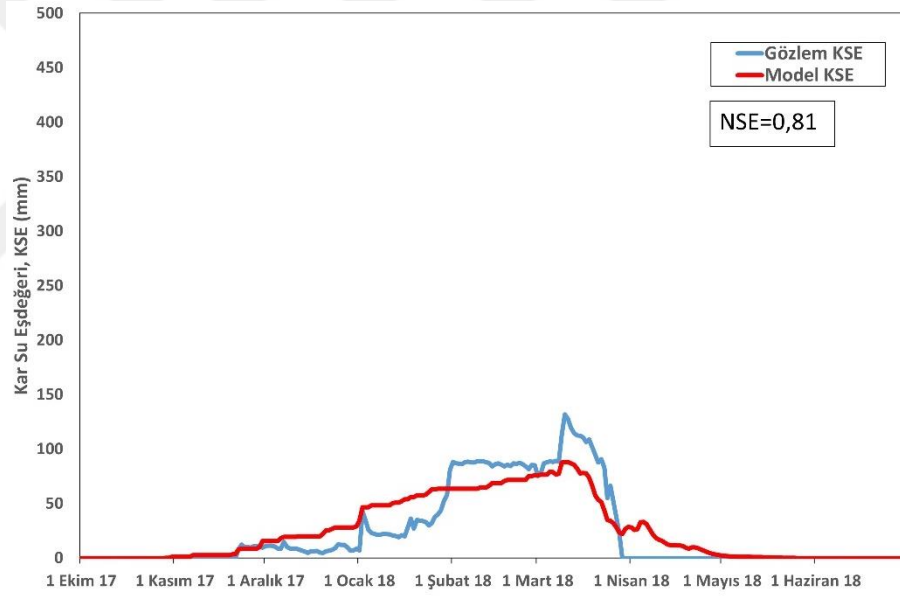
Şekil 5.9. 19067 no’lu Palandöken Konaklı istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği



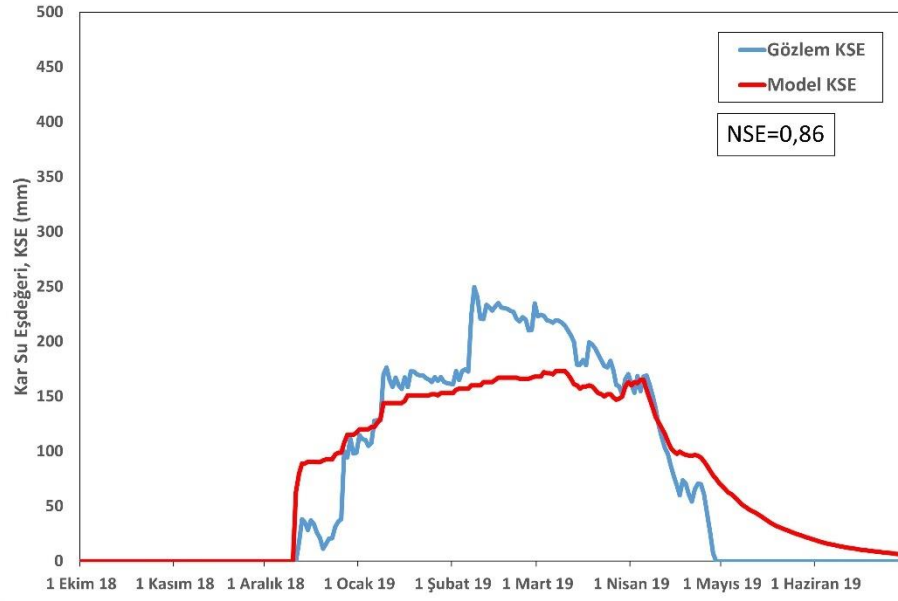
Şekil 5.10. 19067 no’lu Palandöken Konaklı istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği



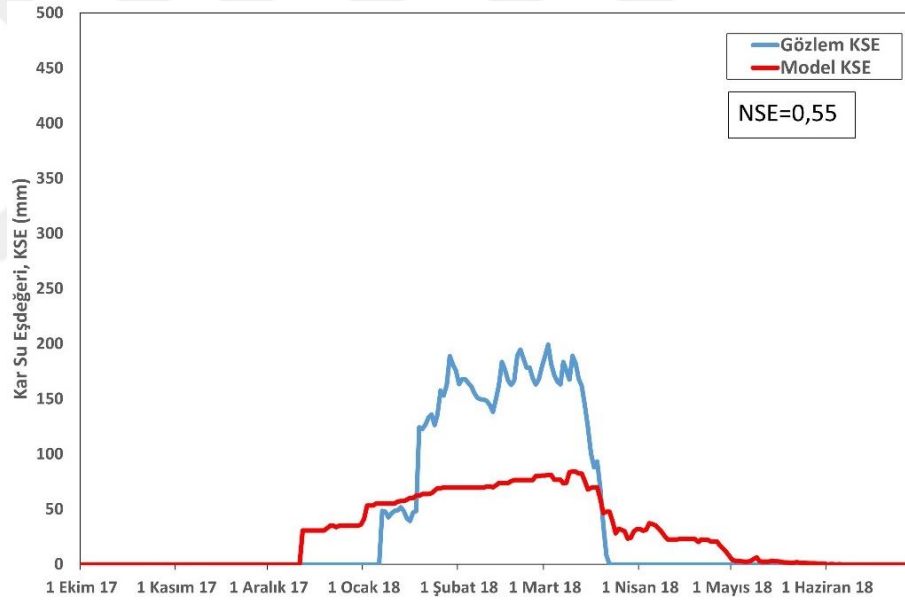
Şekil 5.11. 19071 no'lu Erzincan Sakaltutan istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği



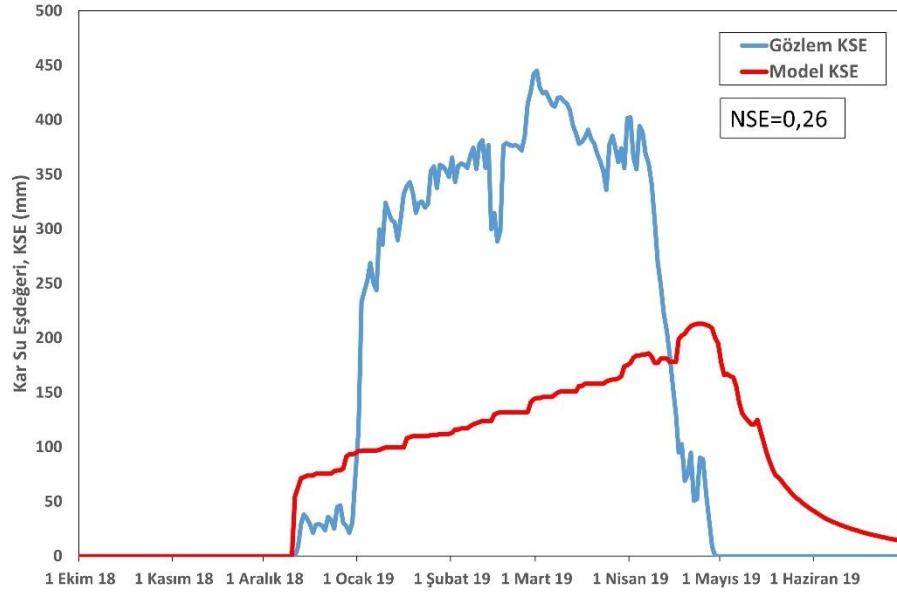
Şekil 5.12. 19071 no'lu Erzincan Sakaltutan istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği



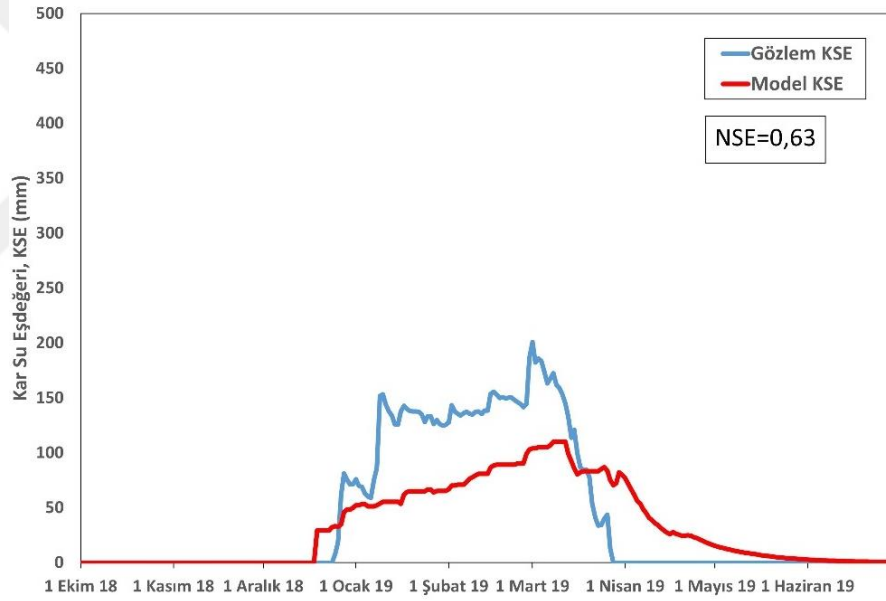
Şekil 5.13. 19071 no'lu Erzincan Sakaltutan istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.14. 19074 no'lu Aşkale Ovacık istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği



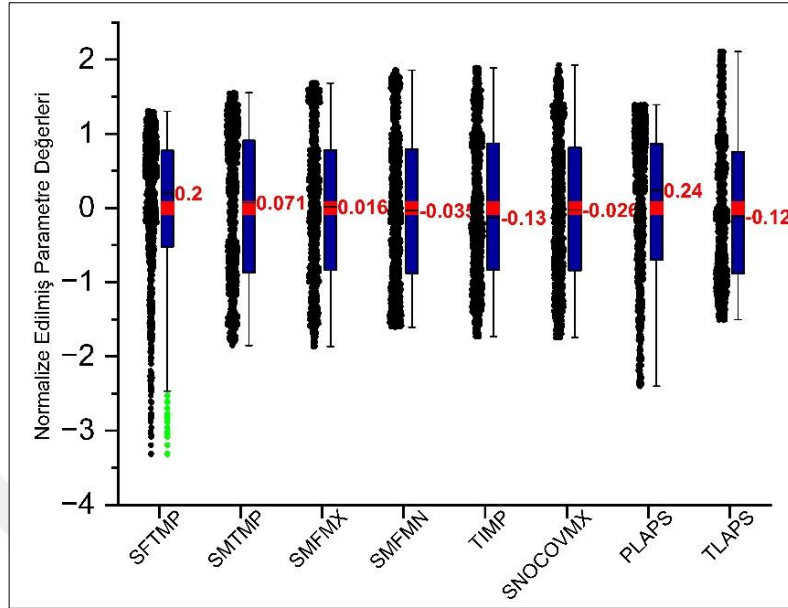
Şekil 5.15. 19074 no'lu Aşkale Ovacık istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.16. 18203 no'lu Çat istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği

Elde edilen kalibrasyon sonuçlarından Nash-Sutcliffe Performans Katsayısı (NSE) 0,5' in üzerinde olan simülasyonlar ayrılarak hem her bir istasyonun 2017, 2018, 2019 kar sezonu için ayrı ayrı (EK 1) hem de tüm istasyonlardan elde edilen sonuçlar için kutu grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.17). Kutu grafikleri oluşturulurken parametreler standart normalizasyon (5.1) işlemiyle dönüştürülmüştür. Denklemden x veri değerini, μ veri setinin ortalamasını ve σ standart sapmayı ifade etmektedir.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5.1)$$



Şekil 5.17. E21A019 Havzası 2017 - 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı.

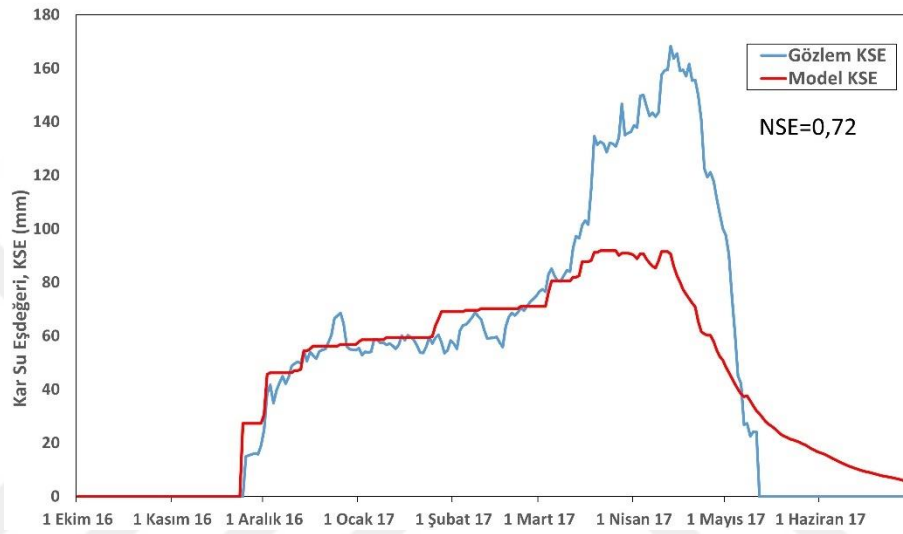
Medyan, veri setinin ortanca değerini temsil ederek merkezi eğilimi belirlemek için kullanılır ve özellikle aykırı değerlerin veya çarpık dağılımların bulunduğu veri setlerinde ortalamadan daha güvenilir bir ölçü sağlar. Bu yüzden başarılı kabul edilen simülasyon sonuçlarında medyan hesaplanarak havzayı temsil edecek olan kar parametre seti belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. E21A019 Havzası sabitlenen kar parametresi değerleri

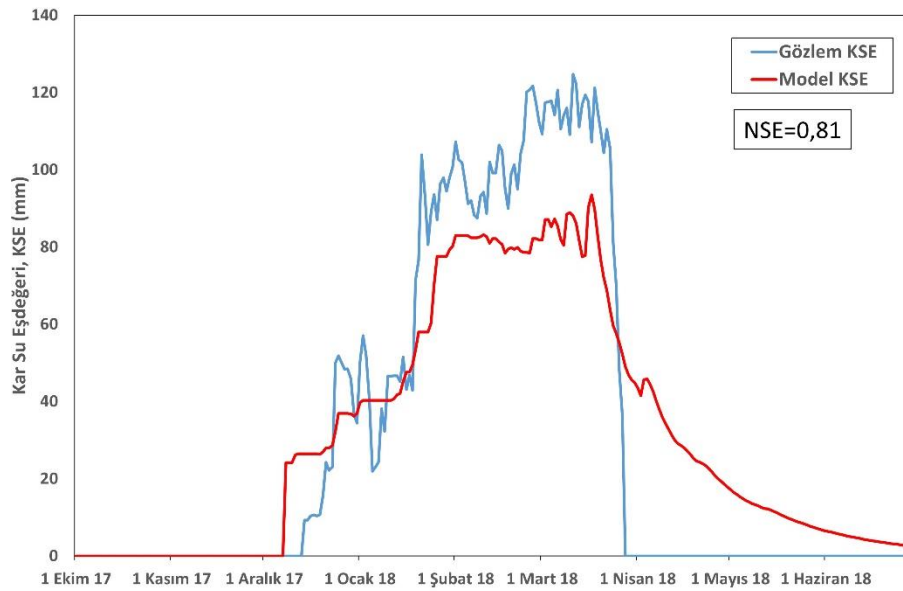
Parametre	Kalibre edilen değer
SFTMP	2,81
SMTMP	0,65
SMFMX	2,67
SMFMN	2,29
TIMP	0,44
SNOCVMX	234,5
PLAPS	78,8
TLAPS	-5,83

5.1.2. Kar parametrelerinin doğrulaması

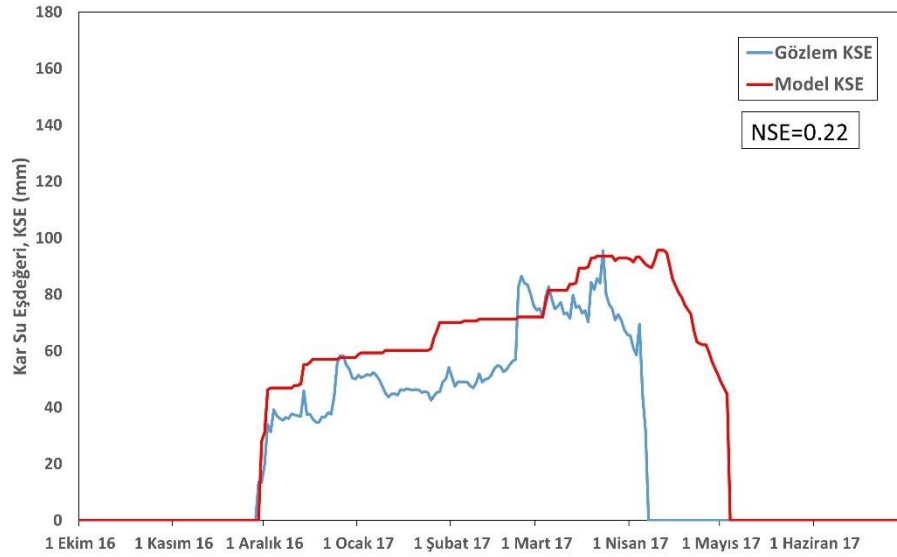
E21A019 Havzası'nda kar parametrelerinin doğrulama işlemi için Çizelge 5.2'de verilen OMGİ'lerden faydalanılmıştır. Bu istasyonlara ait verilerde SNO_{laps} kar derinliği değişim parametresiyle yeniden hesaplanarak Çizelge 5.4'de sabitlenen kar parametreleriyle doğrulanmış ve 0,81, 0,72, 0,22 NSE değerleri elde edilmiştir. İstasyonlara ait KSE grafikleri aşağıda verilmiştir. (Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20)



Şekil 5.18. 17669 no'lu Yakutiye Kırkgöze istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.19. 17691 no'lu Aşkale Kop istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.20. 17687 no'lu Aziziye Ilıca istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği

5.1.3. Hassasiyet analizi

Bu tez çalışmasında parametrelerin toplu olarak model çıktısını nasıl etkilediğini değerlendiren Global hassasiyet analizi kullanılmıştır. 20 akım parametresi SWAT CUP'da 1.500 simülasyon ile belirlenen aralıklarda çalıştırılmıştır.

Global hassasiyet analizinde, parametrelerin duyarlılığının belirlenmesinde etkili iki faktör olan t-istatistiği ve p-değeri değerleri, hassas parametrelerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Global analiz esnasında t-istatistiği mutlak değerinin yüksek, p-değeri'nin sıfıra yakın olan parametrelerin hassas olduğuna karar verilerek akım parametrelerinin kalibrasyonuna bu parametrelerle devam edilmiştir. E21A019 Havzası'na ait hassas parametreler Çizelge 5.5'de verilmiştir. Koyu renkle gösterilen parametreler havzaya ait hassas parametre setini ifade etmektedir.

Çizelge 5.5. E21A029 Havzası'na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları

Parametre	T-İstatistiği	P-Değeri
ALPHA_BF	21,23	0,00
CN2	15,37	0,00
GWQMN	14,50	0,00
SOL_Z	-10,92	0,00
SOL_K	-9,52	0,00
SLSOIL	7,29	0,00
GW_DELAY	6,89	0,00
RCHRG_DP	-5,73	0,00
CANMX	4,42	0,00
IAT_TTIME	-3,56	0,00
CH_K2	-3,04	0,00
SOL_BD	-1,14	0,26
GW_REVAP	-0,85	0,40
EPCO	0,72	0,47
CH_N2	-0,70	0,48
FFCB	-0,53	0,60
REVAPMN	0,34	0,74
ESCO	-0,33	0,74
SOL_AWC	-0,28	0,78
SURLAG	-0,18	0,86

E21A019 Havzası için 12 adet hassas akım parametresi belirlenmiştir ve kalibrasyon aşamasında bu parametreler kullanılmıştır.

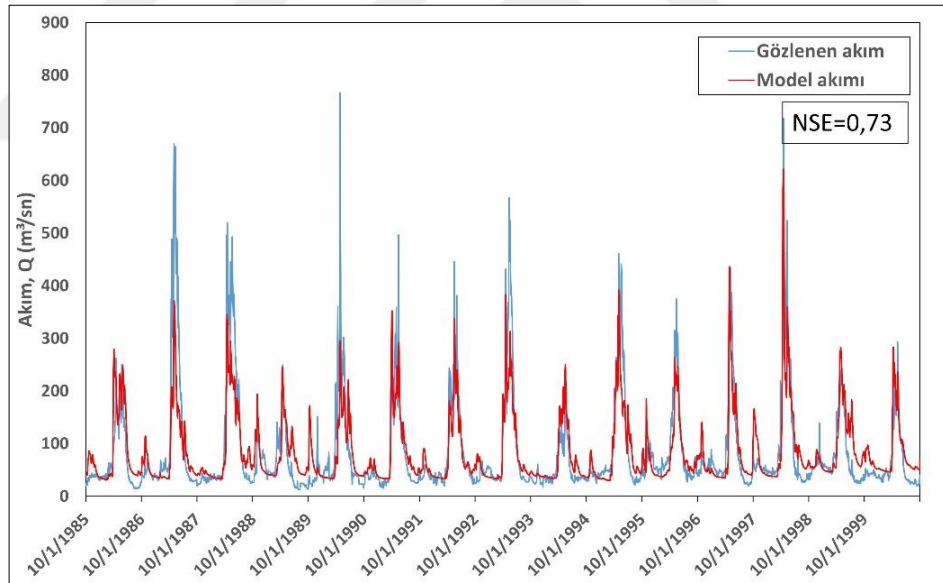
5.1.4. Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması

E21A019 Havzası için otomatik kalibrasyon işlemi SWAT-CUP SUFI-2 algoritması kullanılarak, daha önce Çizelge 4.6'da da belirtildiği gibi 1980-2000 yılları arasındaki 21 yıllık periyotta gözlenen günlük akım değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. İlk olarak hassas olduğuna karar verilen parametreler SWAT-CUP'ta belirlenen değer aralıklarında ve uygun değiştirme yöntemi kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyona ait parametre değerleri Çizelge 5.6'de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.

Parametre	Min	Max	Kalibre edilen değer
r_CN2	-0,5	0,2	-0,29
v_ALPHA_BF	0	1	0,95
v_GW_DELAY	0	500	657,30
v_GWQMN	0	5000	4551,01
v_RCHRG_DP	0	1	0,41
v_CH_K2	-0,01	500	351,82
v_CANMX	0	100	102,69
v_LAT_TTIME	0	180	10,02
v_SLSOIL	0	150	111,92
r_SOL_Z	-1	2,5	0,18
r_SOL_BD	-0,2	0,5	0,72
r_SOL_K	1	0,8	9,63

Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri E21A019 Havzası için sırasıyla 0,82, 0,94; NSE değeri ise 0,73 olarak bulunmuştur. Kalibrasyon sonucu elde edilen hidrograf Şekil 5.21’de verilmiştir.

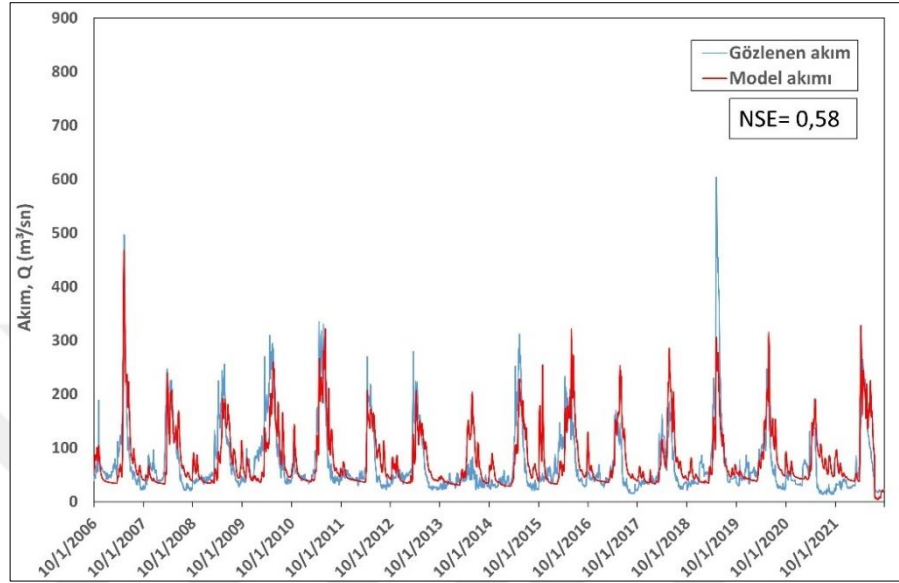


Şekil 5.21. E21A019 Havzası 1985-2000 yılları günlük akım

Model çıktılarına ait akım değerleri ile gözlenen akım değerleri hidrografta görüldüğü gibi görsel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Gözlenen akım verilerine göre kalibre edilmiş modele ait başarı ölçütünün (NSE) günlük zaman adımında oldukça iyi sonuç verdiği görülmüştür.

5. BULGULAR

Modelin güvenilirliği için kalibre edilen parametre değerleri 2001-2022 yılları arasındaki 22 yıllık periyotta gözlenen akım değerleriyle doğrulanmış ve benzer model başarıları bu periyotlarda da gözlenmiştir. Doğrulama işleminin başarı ölçütü olan NSE değeri 0,58 olarak bulunmuştur. Bu periyota ait hidrograf Şekil 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.22. E21A019 Havzası 2006 - 2022 yılları günlük akım

5.2. E23A016 - İspir Köprüsü Havzası

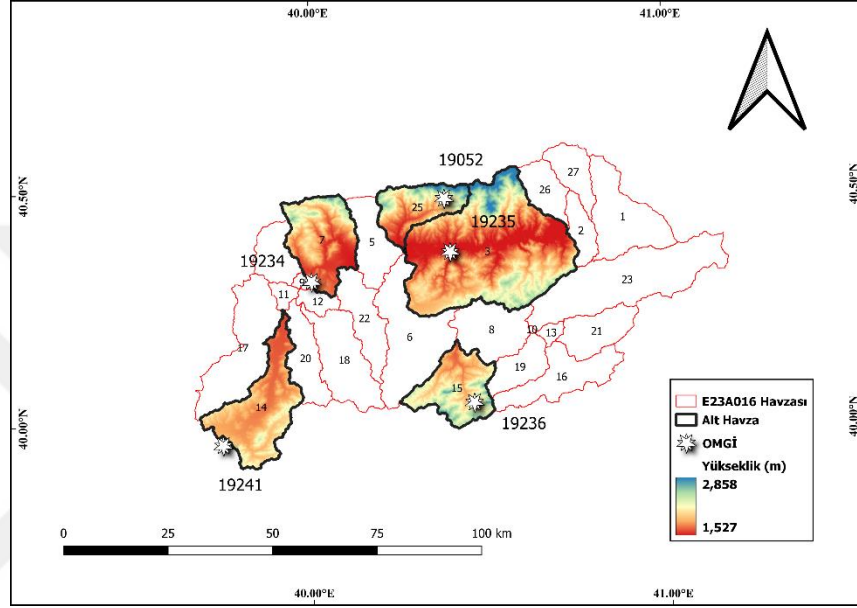
İspir Köprüsü Havzası’nın ortalama yüksekliği 1966 m alanı 5.540 km²’dir. Havza SWAT ile 27 alt havza ve 798 HİB’e ayrılarak modellenmiştir. Havzada 15 arazi kullanımı sınıfı ve 5 farklı toprak çeşidi bulunmaktadır.

5.2.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu

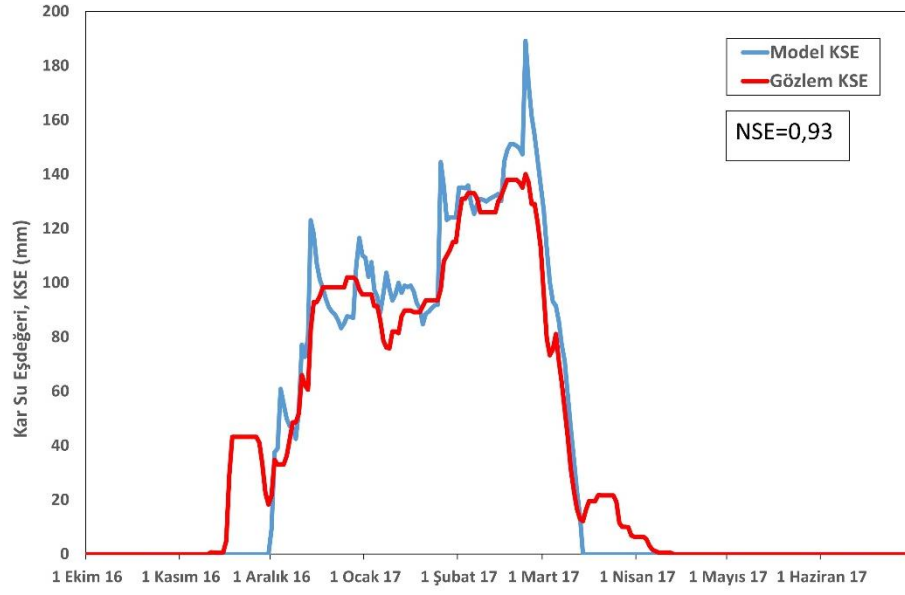
Kalibrasyon ve doğrulama için belirlenen OMGİ’ler Çizelge 5.7’de istasyonların havzaya dağılımı Şekil 5.23’ de verilmiştir.

Çizelge 5.7. E23A016 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGİ'leri

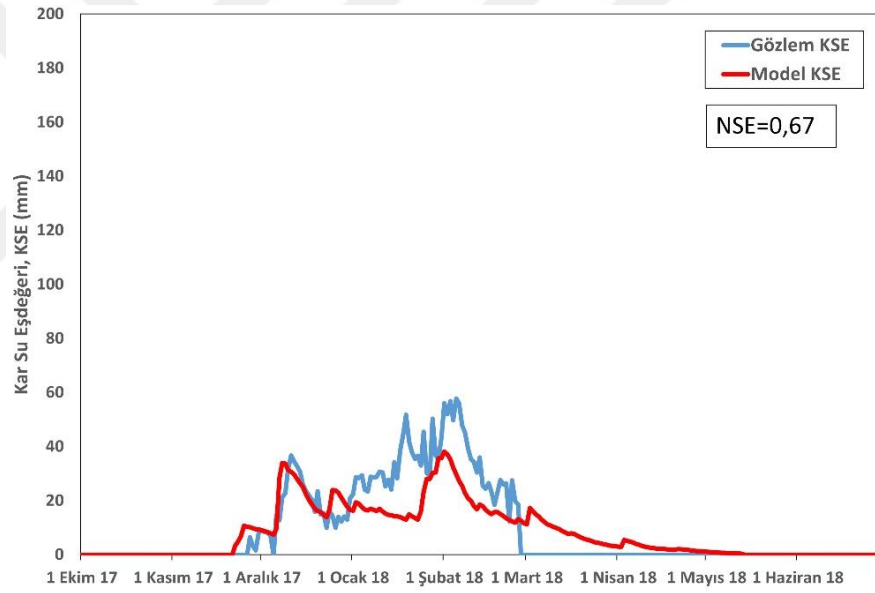
E23A016 Havzası				
İstasyon No	İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Kalibrasyon	Doğrulama
19236	Bayburt Kop	2.066		*
19241	Kelkit Çamur	1.974		*
19052	Bayburt Üzengili	1.968	*	
19234	Bayburt Kemertaş	1.784	*	
19235	Bayburt Ballıkaya	1.481		*

**Şekil 5.23.** OMGİ'lerin E23A016 Havzası'na dağılımı

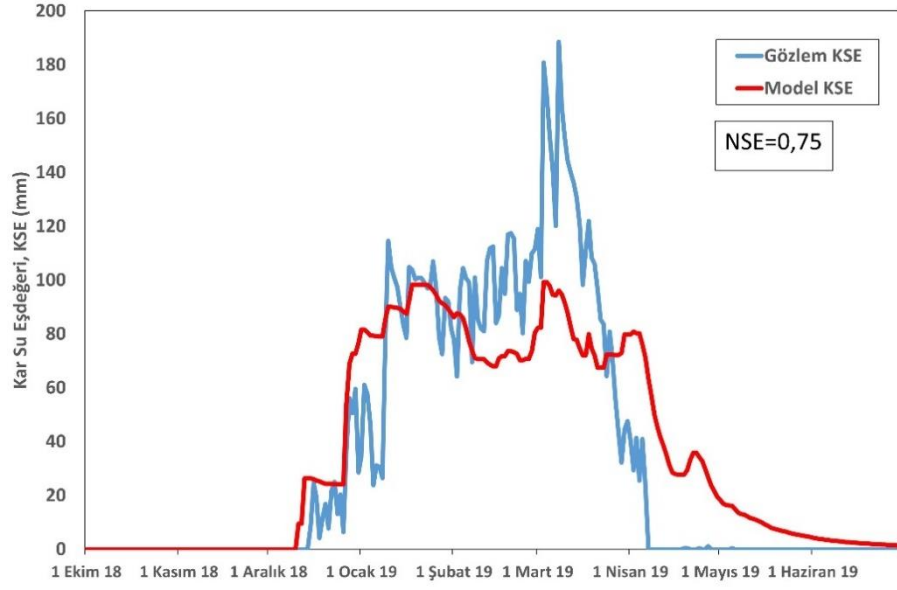
E23A016 Havzası'nda OMGİ'nin bulunduğu alt havzada SNO_{laps} kar derinliği değişim parametresi kullanılarak yeni kar derinliği verileri hesaplanmış ve denklem 4.2 kullanılarak kar su eşdeğerine dönüştürülmüştür. SWAT CUP kalibrasyon programı her bir istasyon için Çizelge 5.3'de verilen aralıklarda 500 simülasyon ile çalıştırılmıştır. E23A016 Havzası'nın kar kalibrasyonu sonucu elde edilen KSE grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28).



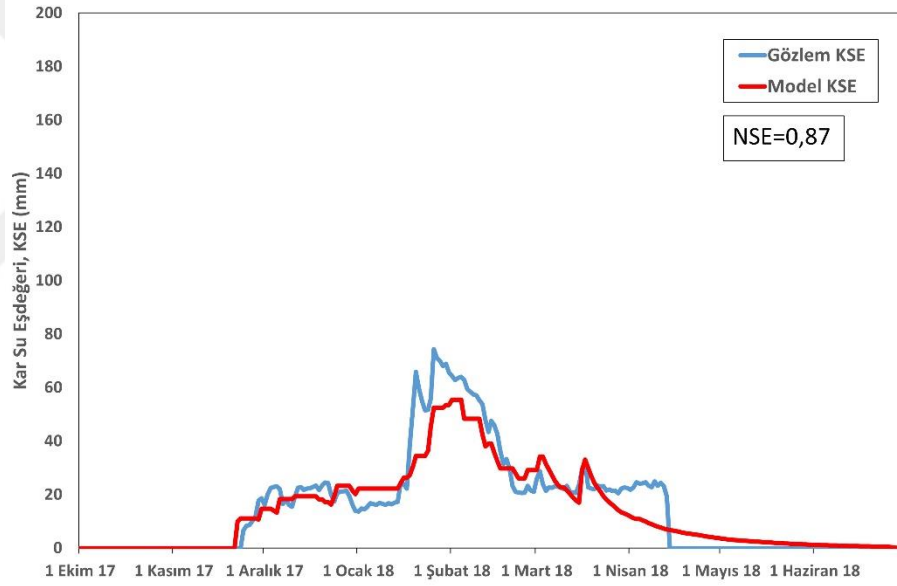
Şekil 5.24. 19052 no'lu Bayburt Üzengili istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği



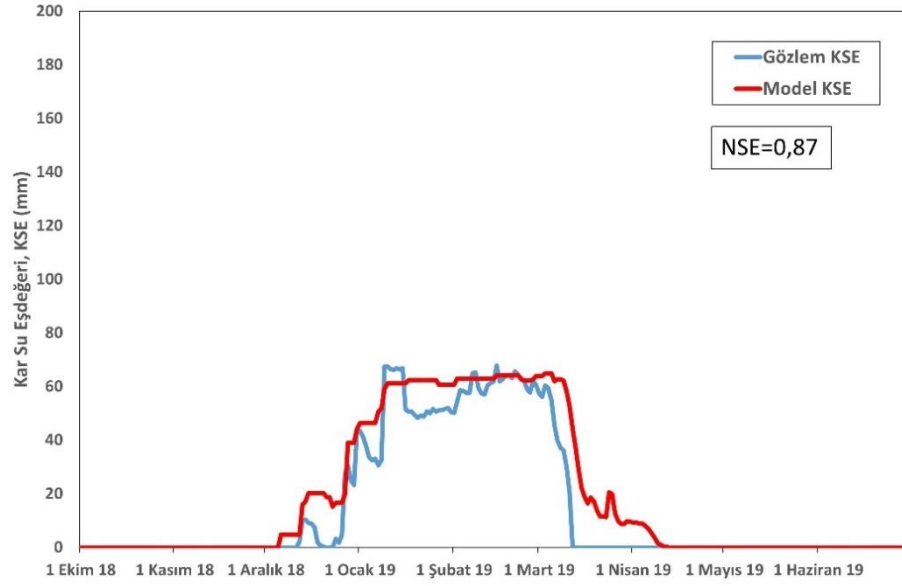
Şekil 5.25. 19052 no'lu Bayburt Üzengili istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.26. 19052 no’lu Bayburt Üzengili istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği

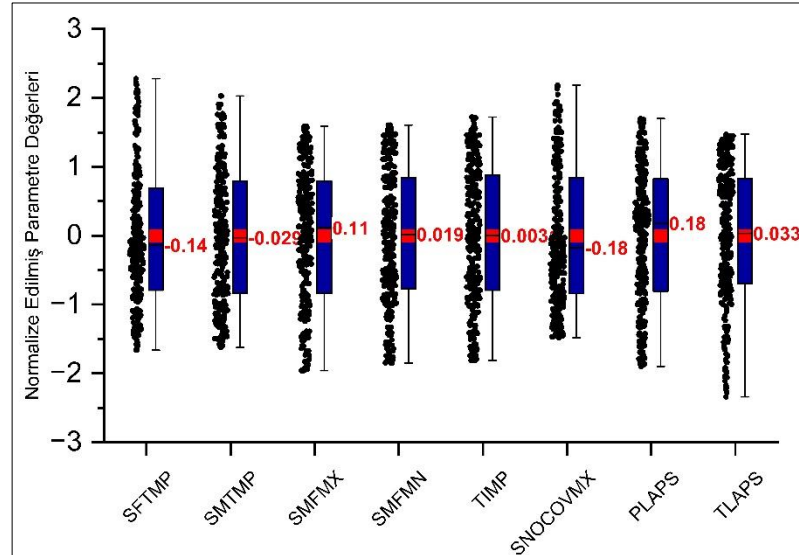


Şekil 5.27. 19234 no’lu Bayburt Kemertaş istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.28. 19234 no'lu Bayburt Kemertaş istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği

Elde edilen kalibrasyon sonuçlarından Nash-Sutcliffe Performans Katsayısı (NSE) 0,5' in üzerinde olan simülasyonlar ayrılarak parametreler standart normalizasyon (5.1) işlemiyle dönüştürülmüştür. Hem her bir istasyonun 2017, 2018, 2019 kar sezonu için ayrı ayrı (EK 2) hem de tüm istasyonlardan elde edilen sonuçlar için kutu grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29. 2017 – 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı

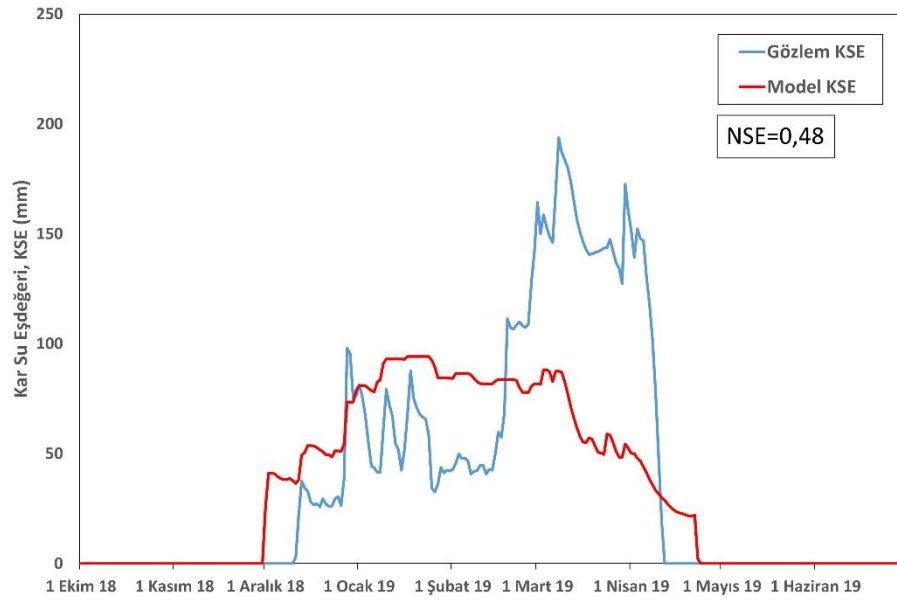
Şekil 5.29’da da görüldüğü üzere parametre değerlerinde bir yığılma meydana gelmiştir. Başarılı kabul edilen simülasyon sonuçlarında medyan hesaplanarak E23A016 Havzası’nı temsil edecek olan kar parametre seti belirlenmiştir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8. E23A016 Havzası kar kalibrasyonu kalibrasyon sonucu sabitlenen kar parametresi değerleri.

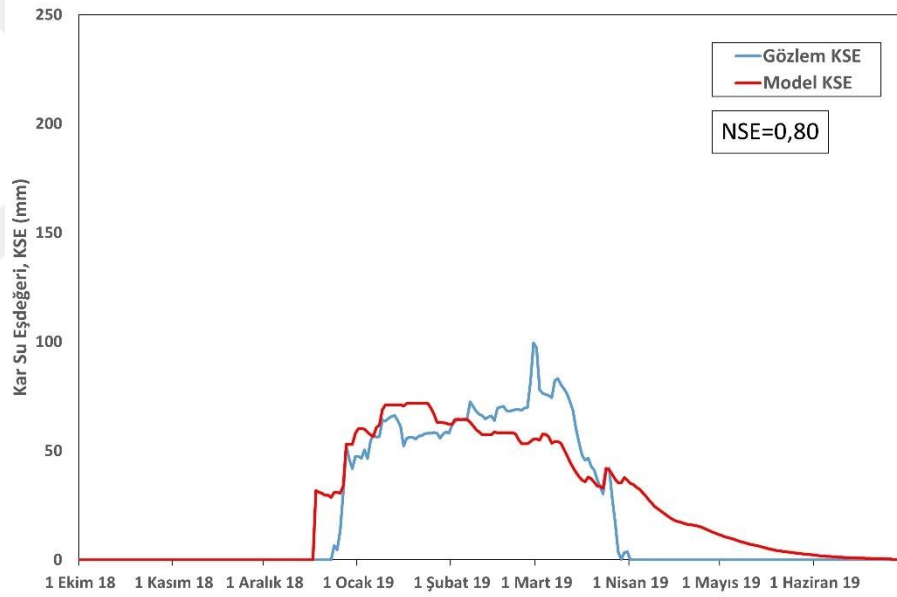
Parametre	Kalibre edilen değer
SFTMP	-1,05
SMTMP	-0,65
SMFMX	2,93
SMFMN	2,69
TIMP	0,52
SNOCVMX	177,5
PLAPS	31,33
TLAPS	-3,87

5.2.2. Kar parametrelerinin doğrulaması

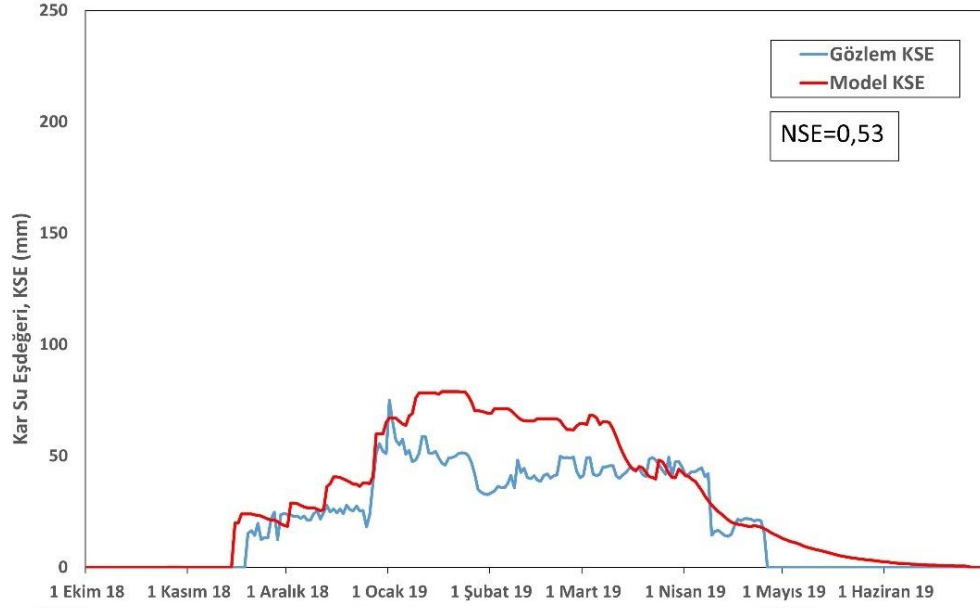
Çizelge 5.7’de doğrulama için ayrılan istasyonlar kullanılarak E23A016 Havzası için sabitlenen kar parametreleriyle (Çizelge 5.8) doğrulanmış ve 0,48, 0,80, 0,53 NSE değerleri elde edilmiştir. İstasyonlara ait KSE grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32).



Şekil 5.30. 19236 no’lu Bayburt Kop istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.31. 19241 no’lu Kelkit Çamur istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.32. 19241 no'lu Bayburt Ballıkaya istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği

5.2.3. Hassasiyet analizi

20 akım parametresi SWAT CUP'da 1.500 simülasyon ile belirlenen aralıklarda çalıştırılarak Global hassasiyet analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda t-istatistiği mutlak değerinin yüksek, p-değeri'nin sıfıra yakın olan parametrelerin hassas olduğuna karar verilerek akım parametrelerinin kalibrasyonuna bu parametrelerle devam edilmiştir. E23A016 Havzası'na ait hassas parametreler Çizelge 5.9'da verilmiştir. Koyu renkle gösterilen parametreler havzaya ait hassas parametre setini ifade etmektedir.

Çizelge 5.9. E23A016 Havzası'na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları

Parametre	T-istatistiği	P-Değeri
ALPHA_BF	-20.81	0.00
CH_K2	15.96	0.00
CN2	-12.31	0.00
CH_N2	11.29	0.00
GWQMN	6.08	0.00
CANMX	5.64	0.00
RCHRG_DP	-4.27	0.00
SOL_K	-2.72	0.01
LAT_TTIME	2.68	0.01
SOL_AWC	-2.68	0.01
SLSOIL	2.23	0.03
FFCB	-2.10	0.04
SOL_Z	-1.65	0.10
SOL_BD	-1.43	0.15
SURLAG	-1.01	0.31
EPCO	0.71	0.48
REVAPMN	0.57	0.57
GW_REVAP	0.26	0.80
ESCO	0.09	0.93
GW_DELAY	-0.06	0.95

E23A016 Havzası için 14 adet hassas akım parametresi belirlenmiştir ve kalibrasyon aşamasında bu parametreler kullanılmıştır.

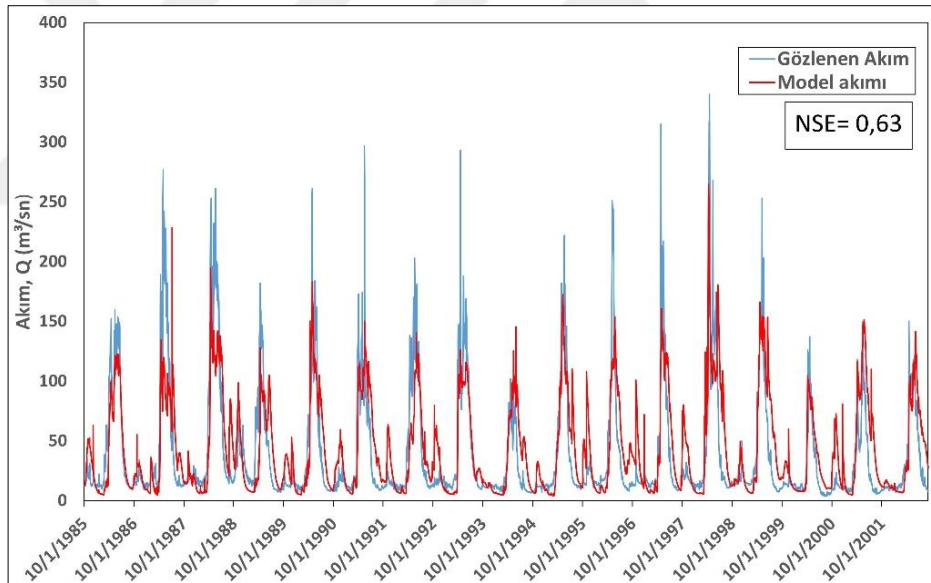
5.2.4 Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması

E23A016 Havzası için otomatik kalibrasyon işlemi SWAT-CUP SUFI-2 algoritması kullanılarak, daha önce Çizelge 4.6'da da belirtildiği gibi 1980 - 2002 yılları arasındaki 23 yıllık periyotta gözlenen günlük akım değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. İlk olarak hassas olduğuna karar verilen parametreler SWAT-CUP'ta belirlenen değer aralıklarında ve uygun değiştirme yöntemi kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyona ait parametre değerleri Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.

Parametre	Min	Max	Kalibre edilen değer
v ALPHA BF	0	1	0,34
v CH K2	-0,01	500	104,83
r CN2	-0,1	0,6	-0,08
v CH N2	-0.01	0,3	0,04
v GWQMN	0	5000	3858,58
v CANMX	0	100	60,63
v RCHRG DP	0	1	0,31
r SOL K	0	5,7	5,4
v LAT TTIME	0	180	14,46
r SOL AWC	-1	7,2	1,94

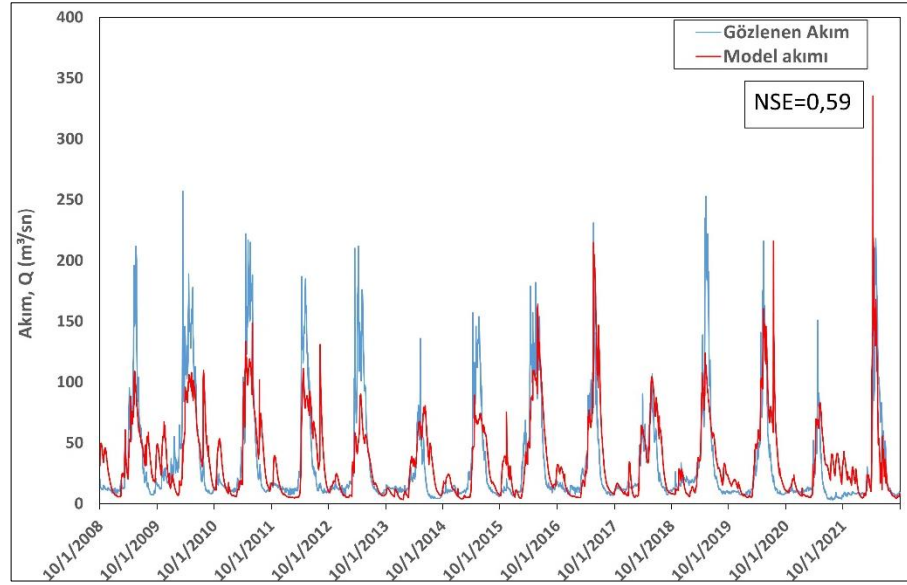
Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri E23A016 Havzası için sırasıyla 0,80, 0,97; NSE değeri ise 0,63 olarak bulunmuştur. Kalibrasyon sonucu elde edilen hidrograf Şekil 5.33'te verilmiştir.



Şekil 5.33. E23A016 Havzası 1985 - 2002 yılları günlük akım

Gözlenen akım verilerine göre kalibre edilmiş modele ait başarı ölçütünün (NSE) 23 yıllık günlük zaman adımında oldukça iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Modelin güvenilirliği için kalibre edilen parametre değerleri 2003 - 2022 yılları arasındaki 20 yıllık periyotta gözlenen akım değerleriyle doğrulanmış ve benzer model başarıları bu periyotlarda da gözlenmiştir. Doğrulama işleminin başarı ölçütü olan NSE değeri 0,59 olarak bulunmuştur. Bu periyota ait hidrograf Şekil 5.34'de verilmiştir.



Şekil 5.34. E23A016 Havzası 2008 - 2022 yılları günlük akım

5.3. E23A029 – Coşkunlar Havzası

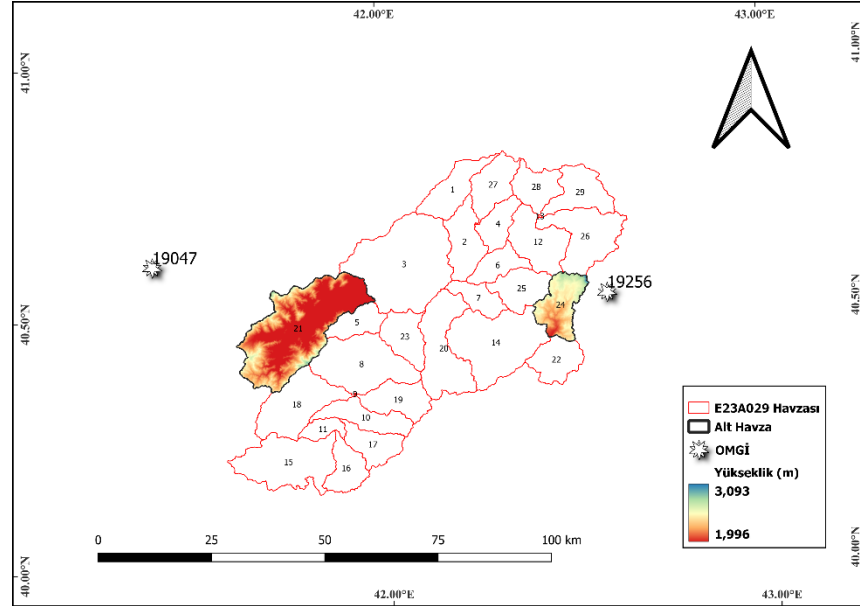
Coşkunlar Havzası'nın ortalama yüksekliği 2.043 m alanı 3.575 km²'dir. Havza SWAT ile 29 alt havza ve 830 HİB'e ayrılarak modellenmiştir. Havzada 14 arazi kullanımı sınıfı ve 2 farklı toprak çeşidi bulunmaktadır.

5.3.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu

Kalibrasyon ve doğrulama işlemi için E23A029 Havzası için belirlenen OMGİ'ler Çizelge 5.11'de verilmiştir. İstasyonların havzaya dağılımı Şekil 5.35' de verilmiştir.

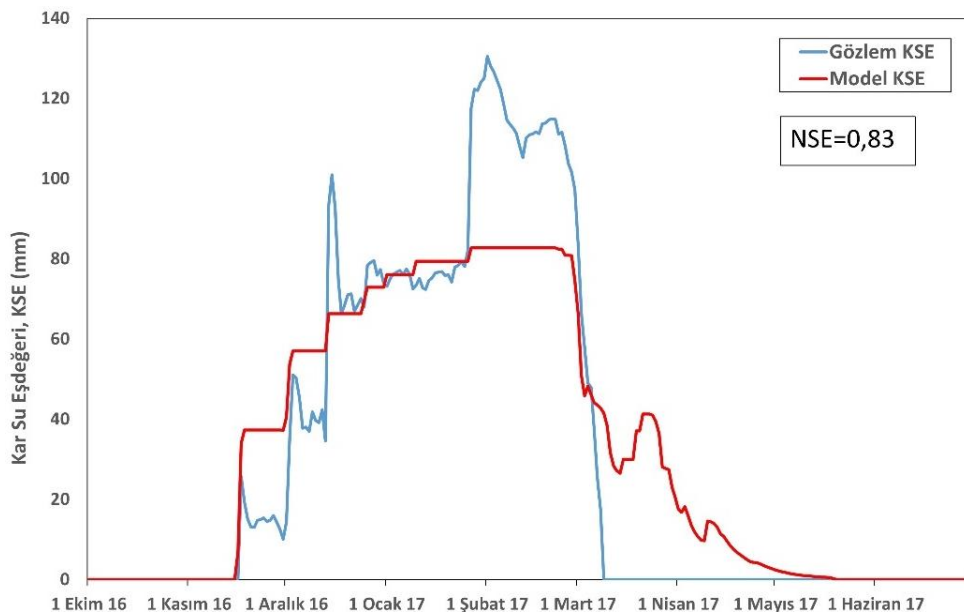
Çizelge 5.11. E23A029 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGİ'leri

E23A029 Havzası				
İstasyon No	İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Kalibrasyon	Doğrulama
19256	Selim Beyköy	2115		*
19047	Yusufeli Yamaçüstü	1918	*	

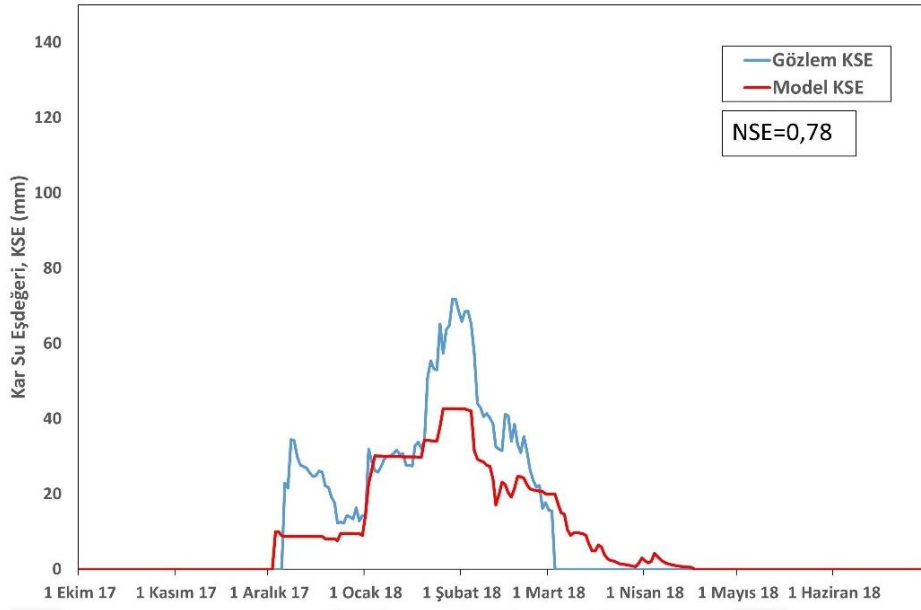


Şekil 5.35. OMGI'lerin E23A029 Havzası'na dağılımı

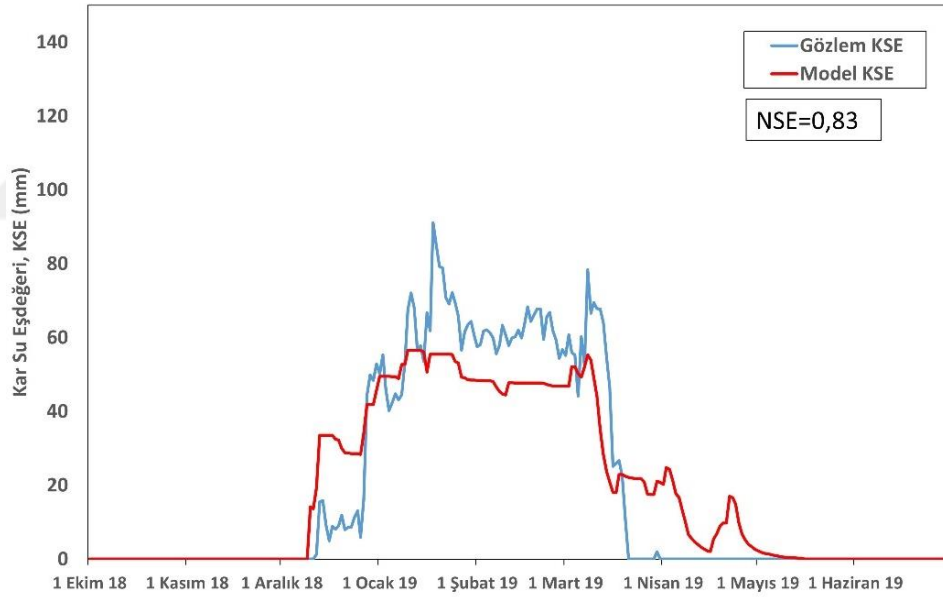
E213A06 Havzası'nda OMGI'nin bulunduğu alt havza belirlenerek SNO_{laps} kar derinliği değişim parametresi kullanılarak yeni kar derinliği verileri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler denklem 4.2 kullanılarak kar su eşdeğerine dönüştürülmüş ve istasyonun bulunduğu HİB'in KSE çıktısıyla kalibre edilmiştir. SWAT CUP kalibrasyon programı her bir istasyon için Çizelge 5.3'te verilen aralıklarda 500 simülasyon ile çalıştırılmıştır. E23A029 Havzası'nın kar kalibrasyonu sonucu elde edilen KSE grafikleri Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38'de verilmiştir.



Şekil 5.36. 19047 no'lu Yusufeli Yamaçüstü istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği.

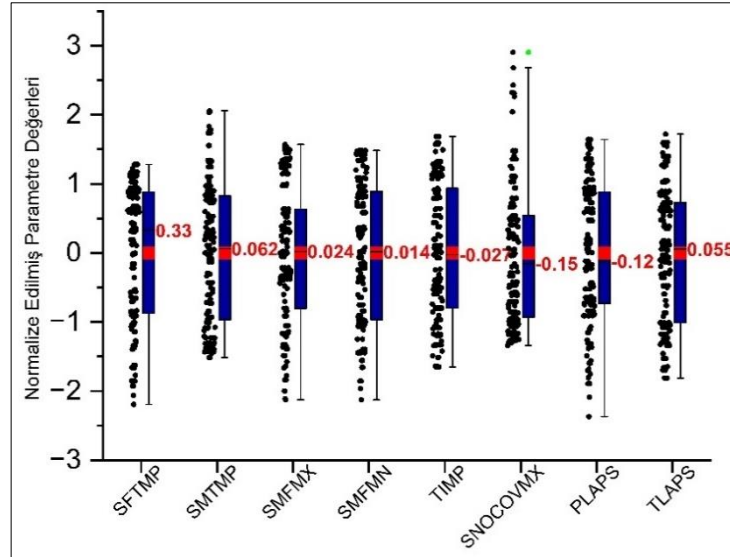


Şekil 5.37. 19047 no'lu Yusufeli Yamaçüstü istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği.



Şekil 5.38. 19047 no'lu Yusufeli Yamaçüstü istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği.

Elde edilen kalibrasyon sonuçlarından Nash-Sutcliffe Performans Katsayısı (NSE) 0,5' in üzerinde olan simülasyonlar ayrılarak parametreler standart normalizasyon (5.1) işlemiyle dönüştürülmüştür. Hem her bir istasyonun 2017, 2018, 2019 kar sezonu için ayrı ayrı (EK 3) hem de tüm istasyonlardan elde edilen sonuçlar için kutu grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.39).



Şekil 5.39. 2017 – 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı

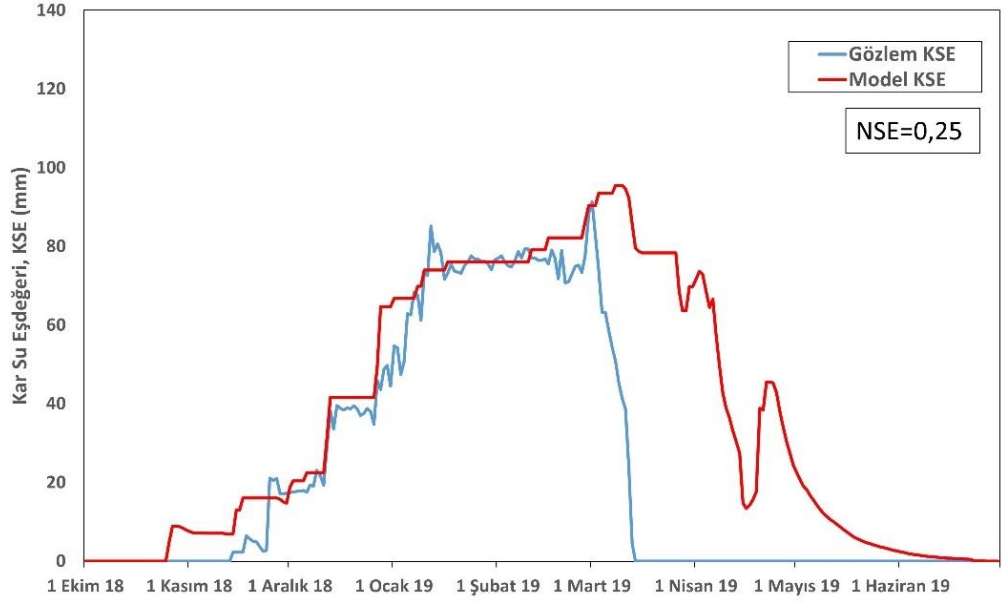
Başarılı kabul edilen simülasyon sonuçlarında medyan hesaplanarak havzayı temsil edecek olan kar parametre seti belirlenmiştir (Çizelge 5.12).

Çizelge 5.12. E23A029 Havzası kar kalibrasyonu kalibrasyon sonucu sabitlenen kar parametresi değerleri.

Parametre	Kalibre edilen değer
SFTMP	2,35
SMTMP	-0,58
SMFMX	2,91
SMFMN	2,80
TIMP	0,45
SNOCVMX	135,83
PLAPS	61,33
TLAPS	-4,72

5.3.2. Kar parametrelerinin doğrulaması

Çizelge 5.11’de doğrulama için ayrılan istasyon kullanılarak E23A029 Havzası için sabitlenen kar parametreleriyle (Çizelge 5.12) doğrulanmış ve 0,25 NSE değeri elde edilmiştir. İstasyona ait KSE grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 5.40).



Şekil 5.40. 19256 no'lu Selim Beyköy istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği

5.3.3. Hassasiyet analizi

E23A029 Havzası'nın 20 akım parametresi global hassasiyet analizi kullanılarak SWAT CUP'da 1.500 simülasyon ile belirlenen aralıklarda çalıştırılmıştır.

Analiz sonuçlarında t-istatistiği mutlak değerinin yüksek, p-değeri'nin sıfıra yakın olan parametrelerin hassas olduğuna karar verilerek akım parametrelerinin kalibrasyonuna bu parametrelerle devam edilmiştir. E23A029 Havzası'na ait hassas parametreler Çizelge 5.13'de verilmiştir. Koyu renkle gösterilen parametreler havzaya ait hassas parametre setini ifade etmektedir.

Çizelge 5.13. E23A029 Havzası'na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları

Parametre	T-İstatistiği	P-Değeri
GWQMN	28,87	0,00
CANMX	11,10	0,00
SOL_Z	9,81	0,00
RCHRG_DP	-9,71	0,00
ALPHA_BF	-8,75	0,00
CH_K2	8,25	0,00
LAT_TTIME	-3,97	0,00
GW_DELAY	3,95	0,00
SOL_K	2,76	0,01
CH_N2	2,67	0,01
FFCB	-2,03	0,04
EPCO	1,24	0,21
SOL_AWC	1,19	0,23
SURLAG	-1,04	0,30
SLSOIL	-0,82	0,41
REVAPMN	0,57	0,57
GW_REVAP	0,51	0,61
SOL_BD	0,38	0,70
CN2	0,30	0,76
ESCO	-0,10	0,92

E23A029 Havzası için 11 adet hassas akım parametresi belirlenmiştir ve kalibrasyon aşamasında bu parametreler kullanılmıştır.

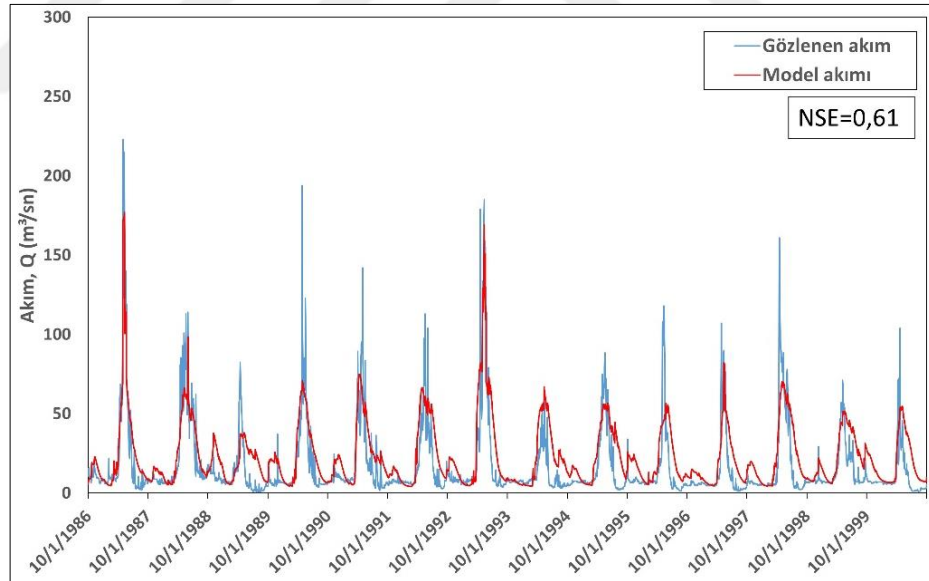
5.3.4 Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması

E23A029 Havzası için otomatik kalibrasyon işlemi SWAT-CUP SUFI-2 algoritması kullanılarak, daha önce Çizelge 4.6'da da belirtildiği gibi 1981 - 2000 yılları arasındaki 20 yıllık periyotta gözlenen günlük akım değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Hassas parametreler SWAT-CUP'ta belirlenen değer aralıklarında ve uygun değiştirme yöntemi kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyona ait parametre değerleri Çizelge 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.

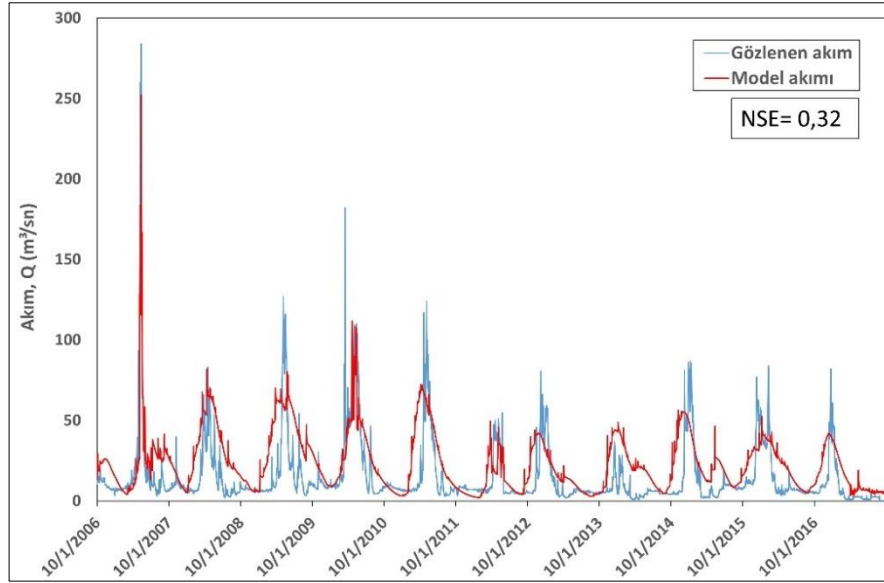
Parametre	Min	Max	Kalibre edilen değer
v_GWQMN	0	5000	4779,15
v_CANMX	0	100	76,18
r_SOL_Z	-1	0,7	-0,32
v_RCHRG_DP	0	1	0,22
v_ALPHA_BF	0	1	0,14
v_CH_K2	-0,01	500	428,83
v_LAT_TTIME	0	180	12,92
v_GW_DELAY	0	500	342,80
r_SOL_K	-1	5,66	7,06
v_CH_N2	-0,01	0,3	0,3
v_FFCB	0	1	0,02

Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri E23A0290 Havzası için sırasıyla 0,65, 1,20; NSE değeri ise 0,61 olarak bulunmuştur. Kalibrasyon sonucu elde edilen hidrograf Şekil 5.41’de verilmiştir.



Şekil 5.41. E23A029 Havzası 1986 - 2000 yılları günlük akım

Modelin güvenilirliği için kalibre edilen parametre değerleri 2001 - 2017 yılları arasındaki 17 yıllık periyotta gözlenen akım değerleriyle doğrulanmış ve NSE değeri 0,32 olarak bulunmuştur. Bu periyota ait hidrograf Şekil 5.42’de verilmiştir.



Şekil 5.42. E23A029 Havzası 2006 - 2017 yılları günlük akım

5.4. D24A029 - Karakurt Havzası

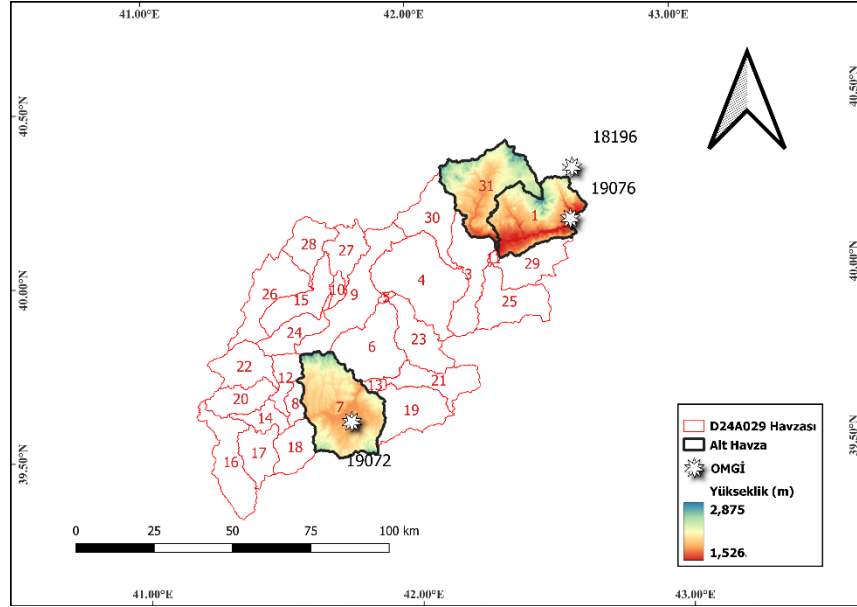
Karakurt Havzası'nın ortalama yüksekliği 2.098 m alanı 7.343 km²'dir. Havza SWAT ile 31 alt havza ve 876 HİB'e ayrılarak modellenmiştir. Havzada 16 arazi kullanımı sınıfı ve 3 farklı toprak çeşidi bulunmaktadır.

5.4.1. Kar parametrelerinin kalibrasyonu

D24A029 Havzası'nda kalibrasyon ve doğrulama işlemi için belirlenen OMGİ'ler Çizelge 5.15' te, istasyonların havzaya dağılımı Şekil 5.43' te verilmiştir.

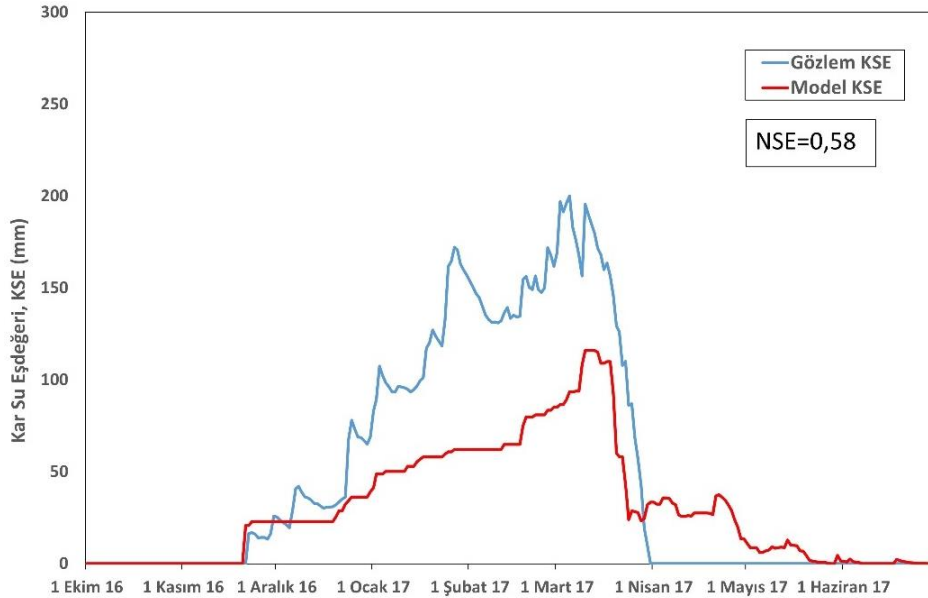
Çizelge 5.15. D24A029 Havzası için belirlenen kalibrasyon ve doğrulama OMGİ'leri

D24A029 Havzası				
İstasyon No	İstasyon Adı	Yükseklik (m)	Kalibrasyon	Doğrulama
18196	Sarıkamış Kayak M.	2.315	*	
19072	Tekman Hacıömer	1.830		*
19076	Sarıkamış Karakurt	1.460	*	

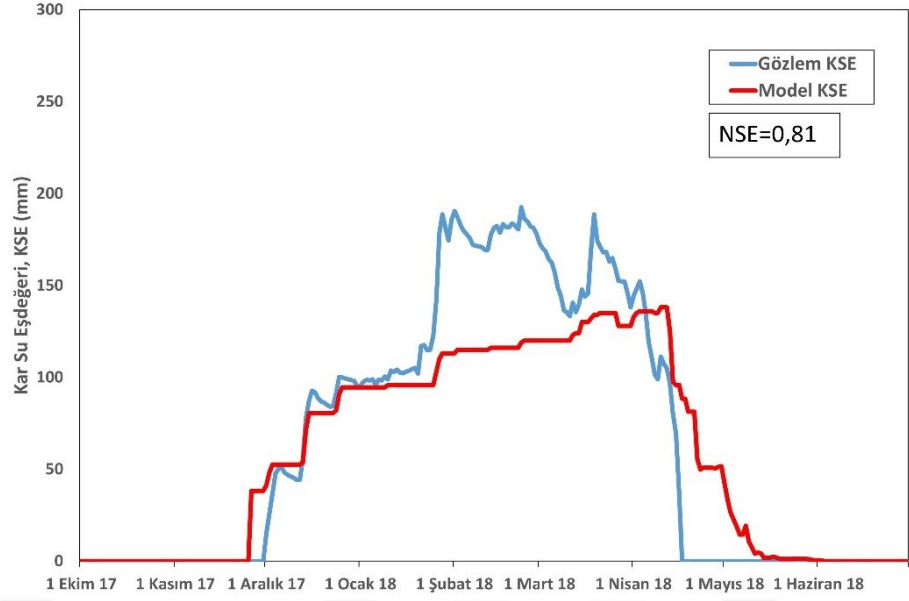


Şekil 5.43. OMGI'lerin D24A029 Havzası'na dağılımı

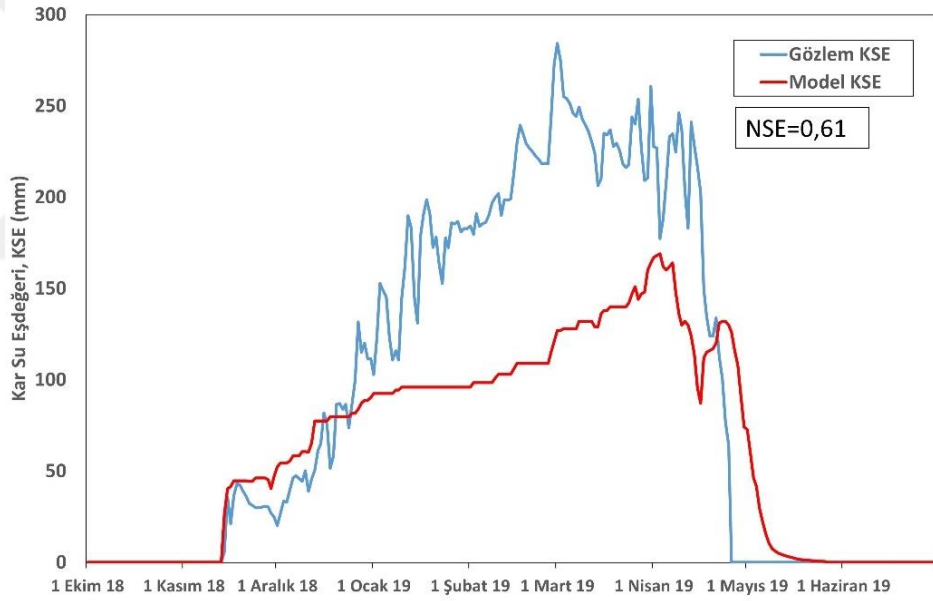
D24A029 Havzası'nda SNO_{laps} kar derinliği değişim parametresi kullanılarak yeni kar derinliği verileri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler denklem 4.2 kullanılarak kar su eşdeğerine dönüştürülmüş ve 500 simülasyon ile SWAT CUP'da kalibre edilmiştir. D24A029 Havzası'nın kar kalibrasyonu sonucu elde edilen KSE grafikleri Şekil 5.44, Şekil 5.45, Şekil 5.46 ve Şekil 5.47'de verilmiştir.



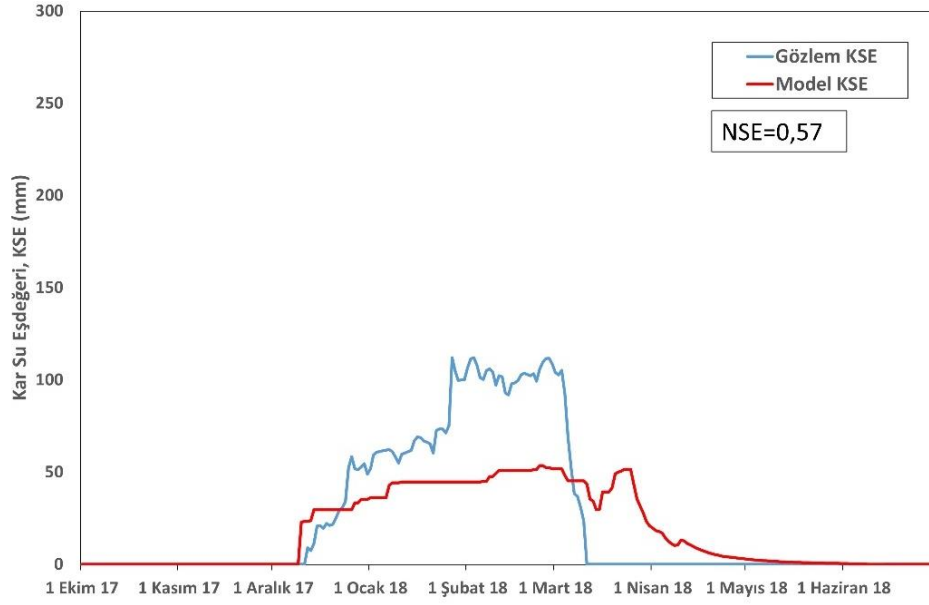
Şekil 5.44. 18196 no'lu Sarıkamış Kayak M. istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.45. 18196 no'lu Sarıkamış Kayak M. istasyonuna ait 2018 kar sezonu KSE grafiği

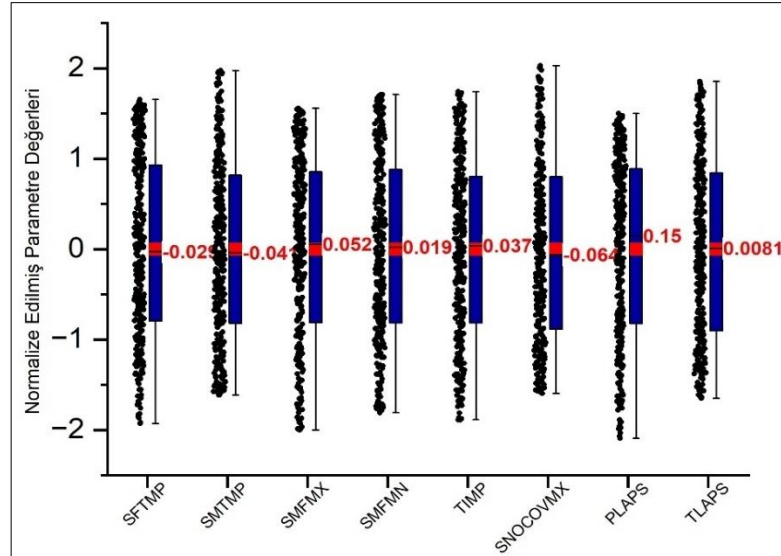


Şekil 5.46. 18196 no'lu Sarıkamış Kayak M. istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği



Şekil 5.47. 19076 no'lu Sarıkamış Karakurt istasyonuna ait 2017 kar sezonu KSE grafiği

Elde edilen kalibrasyon sonuçlarından Nash-Sutcliffe Performans Katsayısı (NSE) 0,5' in üzerinde olan simülasyonlar ayrılarak parametreler standart normalizasyon (5.1) işlemiyle dönüştürülmüştür. Hem her bir istasyonun 2017, 2018, 2019 kar sezonu için ayrı ayrı (EK 4) hem de tüm istasyonlardan elde edilen sonuçlar için kutu grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.48).



Şekil 5.48. 2017 - 2018 - 2019 kar sezonu kar parametrelerinin normal standart dağılımı

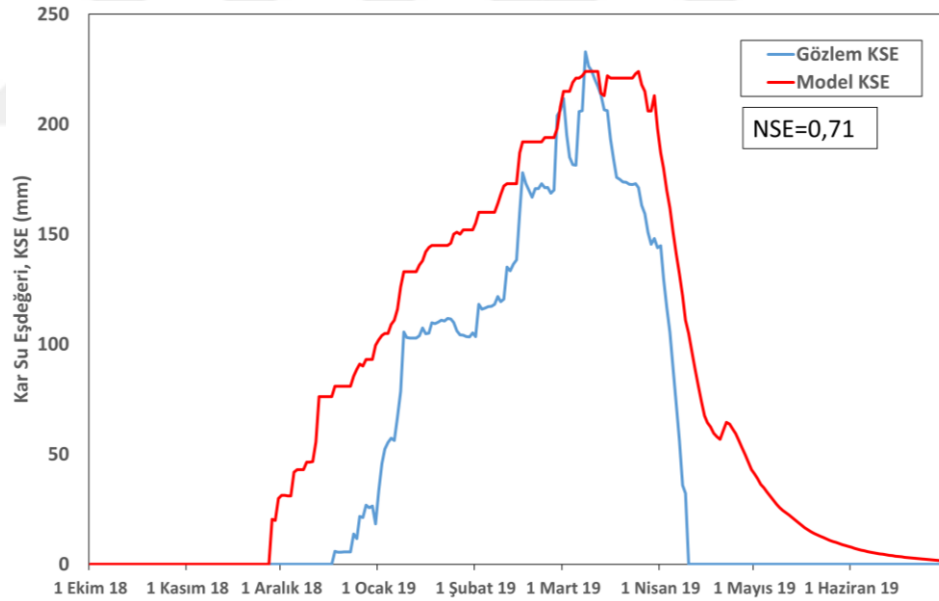
Başarılı kabul edilen simülasyon sonuçlarında medyan hesaplanarak havzayı temsil edecek olan kar parametre seti belirlenmiştir (Çizelge 5.16).

Çizelge 5.16. D24A029 Havzası kar kalibrasyonu sonucu sabitlenen kar parametresi değerleri.

Parametre	Kalibre edilen değer
SFTMP	0,35
SMTMP	-0,62
SMFMX	2,89
SMFMN	2,60
TIMP	0,53
SNOCVMX	212,5
PLAPS	49,33
TLAPS	-5,27

5.4.2. Kar parametrelerinin doğrulaması

Çizelge 5.15’de doğrulama için ayrılan istasyon kullanılarak D24A029 Havzası için sabitlenen kar parametreleriyle (Çizelge 5.16) doğrulanmış ve 0,71 NSE değeri elde edilmiştir. İstasyona ait KSE grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 5.49).



Şekil 5.49. 19072 no’lu Tekman Hacıömer istasyonuna ait 2019 kar sezonu KSE grafiği

5.4.3 Hassasiyet analizi

20 akım parametresi SWAT CUP’da 1500 simülasyon ile belirlenen aralıklarda çalıştırılarak Global hassasiyet analizi yapılmıştır. D24A029 Havzası’na ait hassas

5. BULGULAR

parametreler Çizelge 5.17’de verilmiştir. Koyu renkle gösterilen parametreler havzaya ait hassas parametre setini ifade etmektedir.

Çizelge 5.17. D24A029 Havzası’na ait akım parametrelerinin hassasiyet analizi sonuçları

Parametre	T-istatistiği	P-değeri
SOL_Z	24,9	0
CN2	-17,8	0
GWQMN	14,31	0
ALPHA_BF	-14,2	0
LAT_TTIME	6,12	0
SOL_BD	-3,53	0
CH_K2	3,12	0
CANMX	2,82	0
FFCB	-2,2	0,03
SLSOIL	2,02	0,04
RCHRG_DP	-1,91	0,06
SOL_K	1,74	0,08
SURLAG	-1,28	0,2
CH_N2	1,16	0,25
EPCO	1,14	0,25
GW_REVAP	-1,14	0,25
REVAPMN	0,86	0,39
ESCO	0,85	0,4
SOL_AWC	0,64	0,53
GW_DELAY	0,37	0,71

D24A029 Havzası için 12 adet hassas akım parametresi belirlenmiştir ve kalibrasyon aşamasında bu parametreler kullanılmıştır.

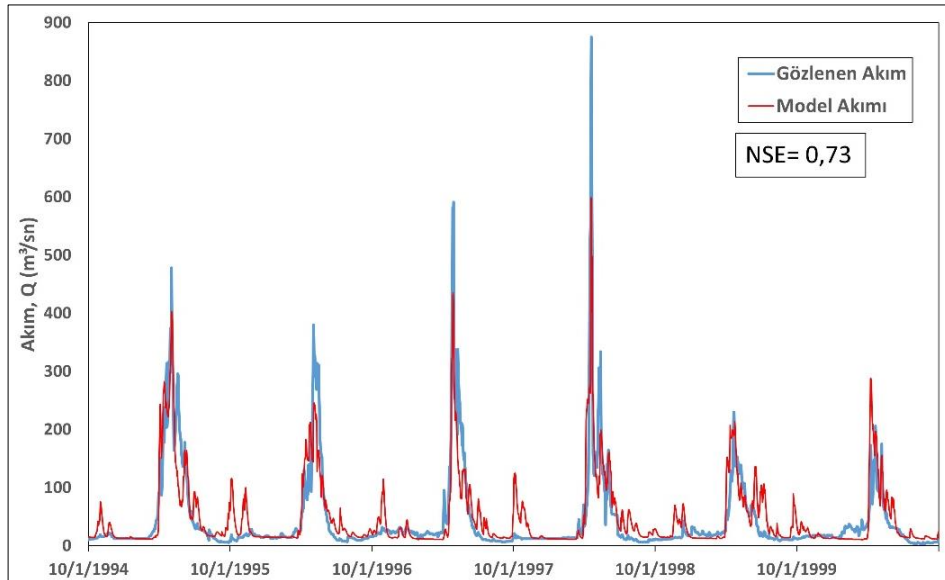
5.4.4. Akım verilerinin kalibrasyonu ve doğrulaması

D24A029 Havzası için otomatik kalibrasyon işlemi SWAT-CUP SUFI-2 algoritması kullanılarak, daha önce Çizelge 4.6’ da belirtildiği gibi 1991-2000 yılları arasındaki 10 yıllık periyotta gözlenen günlük akım değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Hassas parametreler SWAT-CUP’ta belirlenen değer aralıklarında ve uygun değiştirme yöntemi kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyona ait parametre değerleri Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve kalibre edilen değerler.

Parametre	Min	Max	Kalibre edilen değer
r__SOL_Z	-1	0,62	1,59
r__CN2	-0,5	0,4	-0,41
v__GWQMN	0	5000	4098,33
v__ALPHA_BF	0	1	0,19
v__LAT_TTIME	0	180	97,5
r__SOL_BD	-0,25	0,61	0,33
v__CH_K2	-0,01	500	434,83
v__CANMX	-0,01	0,3	79,77
v__FFCB	0	1	0,95
v__SLSOIL	0	150	79,65
v__RCHRG_DP	0	1	0,55
r__SOL_K	-1	5,66	1,28

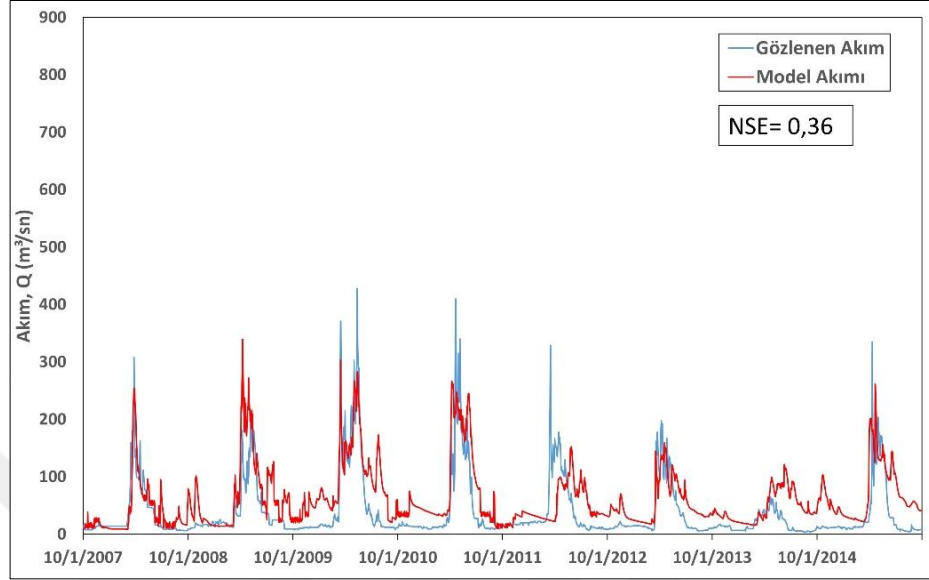
Kurulan model üzerinde yapılan otomatik kalibrasyon işlemi günlük zaman adımında gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri D24A029 Havzası için sırasıyla 0,82, 1,17; NSE değeri ise 0,73 olarak bulunmuştur. Kalibrasyon sonucu elde edilen hidrograf Şekil 5.50’de verilmiştir.



Şekil 5.50. D24A029 Havzası 1994 - 2000 yılları günlük akım

5. BULGULAR

Modelin güvenilirliği için kalibre edilen parametre değerleri 2007 - 2015 yılları arasındaki 12 yıllık periyotta gözlenen akım değerleriyle doğrulanmış ve NSE değeri 0,36 olarak bulunmuştur. Bu periyota ait hidrograf Şekil 5.51’de verilmiştir.



Şekil 5.51. D24A029 Havzası 2007-2015 yılları günlük akım

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu bölümde, çalışmanın hedeflerine ne ölçüde ulaşıldığı değerlendirilmiş ve elde edilen bulguların bilgi birikimine katkısı tartışılmıştır. Ayrıca, bu bulgular ışığında ortaya çıkan önemli çıkarım ve öneriler sunulurken, konunun ilgili araştırmacılara nasıl katkıda bulunabileceği ele alınmıştır.

Dağlık bölgelerde ve ortalama yükseltisi fazla olan havzalarda hidrolojik modelleme yapmak, veri teminindeki zorluklar ve kar erime sürecinin karmaşıklığı nedeniyle oldukça zahmetlidir. Ayrıca, çok sayıda parametreye ve fiziksel tabanlı girdilere sahip olan SWAT modeli, parametrisasyon ve kalibrasyon açısından zorlayıcı ve zaman alıcıdır. Bu durum dağlık havzalarda yapılan çalışmaları daha da karmaşık hale getirmektedir.

Bu tez çalışmasında, çalışma alanı olarak seçilen havzaların dağlık ve ortalama yüksekliklerinin yaklaşık 2.000 metre olması göz önünde bulundurularak, bu alanı en iyi temsil eden güvenilir bir hidrolojik model elde etmek hedeflenmiştir. SWAT modeli kullanılarak ilk kez Türkiye’de dağlık 4 havza üzerinde uzun zaman periyodunda akım modellenmiştir. Bu hidrolojik modelleme uygulamasında Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına ait kar derinliği verileri alt havza ölçeğinde, geliştirilen SNO_{laps} parametresiyle dağıtılarak kullanılmıştır. Özellikle modele ait kar parametreleri, yağış ve sıcaklık değişim oranları üzerinde etkin bir biçimde kullanılarak akım modellemesinde modelleme öncesi kar kalibrasyonu yapılarak farklı bir bakış açısı getirilmiştir.

SWAT hidrolojik modelinde, yağış ve sıcaklık değişimi için PLAPS ve TLAPS olarak adlandırılan 2 parametre bulunmasına rağmen, kar derinliği değişimini temsil eden bir parametre bulunmamaktadır. Çalışma alanında kar derinliği ölçüm istasyonlarının az olması ve mevcut OMGİ’lerin noktasal yer ölçümü yapması, alan genelinde kar derinliğini belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Karşılaşılan bu zorluğa çözüm olması adına SNO_{laps} olarak ifade edilen bir kar derinliği değişim oranı parametresi geliştirilmiştir. Çalışma alanında, 2017, 2018 ve 2019 kar sezonlarına ait kar derinliği verileri bulunan 15 OMGİ kullanılarak, yükseklik ve kar derinliği arasında sırasıyla 0,58, 0,65 ve 0,66 R^2 değerlerine sahip korelasyon ilişkisi bulunmuştur. Kar örtüsünün yerde kaldığı 1 Aralık-

31 Mart tarihlerindeki kar derinliği verileri kullanılarak SNO_{laps} % 6,87 olarak hesaplanmış ve tüm çalışma havzalarında kar derinliğini dağıtmak için bu oran kullanılmıştır.

Fırat, Çoruh ve Aras Havzalarının membasını oluşturan E21A019 Kemah Boğazı, E23A016 İspir Köprüsü, E23A029 Coşkunlar ve D24A029 Karakurt Havzaları için yapılan hidrolojik modelleme sonuçları önce kar sonra akım çıktıları baz alınarak değerlendirilmiştir. Yer ölçüm istasyonalarına ait sürekli kar derinliği verileri geliştirilen SNO_{laps} kar derinliği değişim oranı parametresiyle tüm havzayı temsil edecek ölçekte dağıtılmış ve SWAT KSE çıktılarıyla günlük zaman adımı kalibre edilmiştir. Kar çıktılarının yanında akım çıktıları, günlük NSE amaç fonksiyonu ile 15 - 20 yıllık uzun periyotlarda kalibre edilmiştir.

E21A019 Kemah Boğazı Havzası'nda 5'i kalibrasyon 3'ü doğrulama için kullanılmak üzere 8 OMGİ'den faydalanılarak kar parametreleri kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi sonucu 0,78 - 0,25 aralığında değişen ortalama 0,70 NSE; doğrulama işlemi sonucu ise 0,72 - 0,22 aralığında değişen ortalama 0,60 NSE değeri elde edilmiştir.

E23A016 İspir Köprüsü Havzası'nda 2'si kalibrasyon 3'ü doğrulama için 5 OMGİ kullanılarak kar parametreleri kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonrası 0,93 - 0,67 aralığında değişen ortalama 0,82 NSE; doğrulama sonrası ise 0,80 - 0,48 aralığında değişen ortalama 0,60 NSE değeri elde edilmiştir.

E23A029 Coşkunlar Havzası'nda bulunan 2 OMGİ'den biri kalibrasyon diğeri ise doğrulama için kullanılmış ve kalibrasyonda 0,83 - 0,78 aralığında ortalama 0,81 NSE; doğrulamada ise 0,25 NSE değeri elde edilmiştir.

D24A029 Karakurt Havzası'nda 2'si kalibrasyon 1'i doğrulama olmak üzere 3 OMGİ'den faydalanılmış ve kalibrasyon için 0,57 - 0,81 aralığında ortalama 0,64 NSE; doğrulama için 0,71 NSE değeri elde edilmiştir Çizelge (6.1).

Çizelge 6.1. Kar kalibrasyon sonuçları

Havza	OMGİ	Kar Sezonu	NSE
E21A019	17777	2017	0,78
		2018	0,74
		2019	0,87
	19067	2017	0,52
		2018	0,81
		2019	0,81
	19071	2017	0,78
		2018	0,81
		2019	0,86
	19074	2018	0,55
		2019	0,26
	18203	2018	0,63
E23A016	19052	2017	0,93
		2018	0,67
		2019	0,75
	19234	2018	0,87
		2019	0,87
E23A029	19047	2017	0,83
		2018	0,78
		2019	0,83
D24A029	18196	2018	0,81
		2019	0,61
	19076	2017	0,57

Kar kalibrasyonu sonucunda belirlenen kar biriktirme parametresi olan kar yağma sıcaklığı (SFTMP), Kemah Boğazı Havzası için 2,81 °C, İspir Köprüsü Havzası için -1,05 °C, Coşkunlar Havzası için 2,35 °C, Karakurt Havzası için ise 0,35 °C olarak bulunmuştur. SWAT modeli, kalibrasyon yapılmadığı durumlarda bu parametreyi 1 °C olarak kabul etmektedir. Bu bulgulara göre, Kemah Boğazı ve Coşkunlar Havzası'nda kar daha erken yağarken, İspir ve Karakurt Havzası'nda kar yağışı daha geç gözlemlenmektedir. Kar eritme parametresi olan kar erime sıcaklığı (SMTMP), Kemah Boğazı Havzası için 0,65 °C, İspir Köprüsü Havzası için -0,65 °C, Coşkunlar Havzası için -0,58 °C, Karakurt Havzası için ise -0,62 °C olarak belirlenmiştir. SWAT modeli, kalibrasyon yapılmadığı durumlarda bu parametreyi 0,5 °C olarak kabul etmektedir. Bu bulgulara göre, Kemah Boğazı Havzası'nda kar erimesi daha geç gerçekleşirken, İspir, Coşkunlar ve Karakurt Havzalarında daha erken erime gerçekleşmektedir.

Kar örtüsünün sıcaklık değişimlerine olan tepkisini belirleyen bir gecikme faktörü olan TIMP, kar örtüsünün hava sıcaklığındaki değişikliklere ne kadar hızlı veya yavaş tepki verdiğini ifade etmektedir. SWAT modeli, kalibrasyon yapılmadığı durumlarda bu parametreyi 1 olarak kabul etmektedir. Kalibrasyon sonucu bu parametre 0,44 ile 0,53 arasında değişen değerler almıştır. Bu da havzalarda kar örtüsü sıcaklığının, hava sıcaklığındaki değişikliklere daha hızlı tepki verdiğini göstermektedir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2. Kalibrasyon sonucu elde edilen parametre setleri

Parametre	Kemah Boğazı	İspir Köprüsü	Coşkunlar	Karakurt
SFTMP	2,81	-1,05	2,35	0,35
SMTMP	0,65	-0,65	-0,58	-0,62
SMFMX	2,67	2,93	2,91	2,89
SMFMN	2,29	2,69	2,8	2,6
TIMP	0,44	0,52	0,45	0,53
SNOCVMX	234,5	177,5	135,83	212,5
PLAPS	78,8	31,33	61,33	49,33
TLAPS	-5,83	-3,87	-4,72	-5,27

Kalibrasyon ve doğrulama sonuçlarında elde edilen kar su eşdeğeri grafiklerinde, özellikle kar erime döneminde hacimsel farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklılıklar, modelin alansal çıktı üretirken istasyon verilerinin noktasal bazlı ölçüm yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumu iyileştirmek için, uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alan verileri kullanılabilir. Uydu görüntüleri, kar örtüsünün alansal dağılımını ve değişimini daha doğru bir şekilde yansıtabilir, böylece modelin performansı artırılabilir ve kar erime dönemindeki hacimsel farklılıklar minimize edilebilir.

Kar parametreleri kalibre edilen değerlerde sabitlendikten sonra akım parametreleri için hassasiyet analizi yapılarak akım kalibrasyonuna geçilmiştir. Havzalarda yapılan akım kalibrasyon ve doğrulama sonucu elde edilen değerler şu şekildedir;

- E21A019 Kemah Boğazı Havzası'nda ALPHA_BF, CN2, GWQMN, SOL_Z, SOL_K, SLSOIL, GW_DELAY, RCHRG_DP, CANMX, LAT_TTIME, CH_K2, SOL_BD olmak üzere 12 hassas akım parametresi seti belirlenerek 21 yıllık periyotta günlük zaman adımıyla kalibrasyon

yapılmıştır. Sonuçta kalibrasyon için 0,73 NSE; doğrulama için 0,58 NSE değeri elde edilmiştir. Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri sırasıyla 0,82 ve 0,94'tür.

- E23A016 İspir Köprüsü Havzası'nda ALPHA_BF, CN2, GWQMN, SOL_Z, SOL_K, SLSOIL, RCHRG_DP, CANMX, LAT_TTIME, CH_K2, SOL_BD, CH_N2, SOL_AWC, FFCB olmak üzere 14 hassas akım parametresi seti belirlenerek 23 yıllık periyotta günlük zaman adımında kalibrasyon yapılmıştır. Sonuçta kalibrasyon için 0,63 NSE; doğrulama için 0,59 NSE değeri elde edilmiştir. Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri sırasıyla 0,80 ve 0,97'dir.
- E23A029 Coşkunlar Havzası'nda GWQMN, CANMX, SOL_Z, RCHRG_DP, ALPHA_BF, CH_K2, LAT_TTIME, GW_DELAY, SOL_K, CH_N2, FFCB olmak üzere 11 hassas akım parametresi seti belirlenerek 20 yıllık periyotta günlük zaman adımında kalibrasyon yapılmıştır. Sonuçta kalibrasyon için 0,61 NSE; doğrulama için 0,32 NSE değeri elde edilmiştir. Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri sırasıyla 0,65 ve 1,20'dir.
- D24A029 Karakurt Havzası'nda SOL_Z, CN2, GWQMN, ALPHA_BF, LAT_TTIME, SOL_BD, CH_K2, CANMX, FFCB, SLSOIL, RCHRG_DP, SOL_K olmak üzere 12 hassas akım parametresi seti belirlenerek 10 yıllık periyotta günlük zaman adımında kalibrasyon yapılmıştır. Sonuçta kalibrasyon için 0,73 NSE; doğrulama için 0,36 NSE değeri elde edilmiştir. Kalibrasyon işleminin başarı ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri sırasıyla 0,82 ve 1,17'dir.

Yukarıda havza bazında verilen kalibrasyon sonuçlarına bakılarak günlük uzun periyotta ve farklı karakteristiklerdeki yılların modellendiği göz önünde bulundurulduğunda modellemenin başarılı olduğu kabul edilebilir. Gözlem ağı yetersiz olan Coşkunlar ve Karakurt Havzalarında modellemenin nispeten daha zor, doğrulama

değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu havzalarda özellikle kar gözlem istasyonlarının yetersizliği, kar parametrelerinin doğru şekilde temsil edilmesini engellemekte ve bu durum model başarısını olumsuz etkilemektedir. Modelin başarısı hem kar bileşenlerine hem de akım bileşenlerine ait sonuçlar değerlendirilerek belirlenmiştir.

Modellemenin daha başarılı olduğu havzalarda OMGI ve MGI'lerin etkisi büyüktür. Çalışma havzalarının ortalama alanı yaklaşık 7.000 km²'dir. Bu büyüklükte bir alanı az sayıda gözlem istasyonu ile temsil etmek oldukça zorlayıcıdır.

SWAT modelinde, kar erime ve birikme süreçleri için tüm çalışma alanı genelinde varsayılan bir parametre seti tanımlanmaktadır. Havzanın fiziksel süreçleri temsil eden özgü parametre setini belirlemek için kar kalibrasyonu yapılmalıdır. Literatürde yapılan modelleme çalışmalarında kar parametrizasyonu yapılmış fakat bu parametreler akım ile kalibre edilmiştir. Bu tez çalışmasında, kar kalibrasyonu akımdan ayrı tutularak ve ölçüm istasyonlarından elde edilen sürekli kar derinliği verileriyle yapılmıştır. Çünkü akım bir çok hidrolojik süreci barındırır kar ise bunlardan yalnızca biridir. Etkisini değerlendirebilmek için ayrı ele alınması gerekir.

Havzalar coğrafi olarak birbirine yakın olmasına rağmen, hem kar hem de akım parametrelerinin havza bazında farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, farklı havzaların fiziksel süreçlerinin de farklı olduğunu desteklemektedir. Fiziksel süreçler kapsamında incelenen arazi kullanımı ve toprak çeşidi verileri, Çizelge 4.6'da da görüldüğü gibi benzer özelliklere sahiptir. Havzalar, şehir, orman ve su gibi çeşitli kullanımlara sahip olsa da, ağırlıklı olarak tarım alanları, çıplak kaya ve cılız bitki örtüsüne sahip arazilerden oluşmaktadır. Bu durum, fiziksel süreçlerdeki farklılıkların yağış, kar erimesi ve buharlaşma gibi faktörlerden kaynaklandığını düşündürmektedir.

Bu tez kapsamında incelenen Fırat, Çoruh ve Aras Nehirleri sulama, enerji üretimi, içme suyu temini gibi hayati fonksiyonlar için su sağlarlar. Bu nehirler üzerine kurulu barajlar Türkiye'nin enerji ihtiyacının bir kısmını karşılar. Ayrıca iklim değişikliğinin etkileriyle bölgede meydana gelebilecek ani yağışlar sonucu taşkın,

kuraklık gibi doğal afetlerin önlenmesi açısından bu bölgede yapılan modelleme çalışmaları son derece önemli ve değerlidir.

Modelleme çalışmalarında karşılaşılan en önemli zorluklardan biri veri teminidir. Çalışılan havzalardan E21A019 Kemah Boğazı Havzası, literatürde de görüldüğü üzere pilot bölge olma özelliğine sahiptir ve diğer havzalara göre kısmen daha gelişmiş bir veri ağı bulunmaktadır. Bu durum, yapılan modelleme çalışmalarında hem araştırmacılara kolaylık sağlamak hem de güvenilir sonuçlar elde edilmesine zemin hazırlamaktadır.

Diğer nehirler üzerinde yer alan havzalar da, üzerlerinde kurulu barajlar ve su potansiyeli açısından büyük önem taşımaktadır. Fakat bu tez çalışmasında da görüldüğü gibi veri ağı yetersiz kalmaktadır. Gerek OMGI gerek MGI sayısı bölge için artırılmalı ve veri temininde süreklilik sağlanmalıdır.

SWAT çok parametrelili ve fiziksel tabanlı girdileri bulunan bir modeldir. Özellikle meteorolojik girdilerin hazırlanıp SWAT formatına uygun hale getirilmesi, model parametrisasyonu ve kalibrasyon sürecinin uzun ve zaman alıcı olması bu tez çalışmasında model kaynaklı karşılaşılan zorluklardandır.

Sonuç olarak, bu tezin özgün bir nitelik taşımasını sağlayan çalışma hedefi Dağlık Fırat Çoruh ve Aras Havzalarında SWAT modelinin uygulaması başarılı bir şekilde gerçekleşmiş, yapılan bu hidrolojik model uygulamasında kar parametrelerinin etkin bir şekilde kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Ghasemi, S. S., Yang, H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45(10). W10434
- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., ve Kløve, B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733–752.
- Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., ve Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the Pre-Alpine Thur Watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333(2–4), 413–430.
- Açıkyol, S. 2022. Uydu kar görüntülerinin doğrulanması, hidrolojik modelde uygulanması ve iklim değişikliği etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 185, Eskişehir.
- Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., ve Neitsch, S. L. 2012. Input/output documentation Soil Water Assessment Tool. Texas Water Resources Institute, 654.
- Ata, A. 2022. Berta Çayı Havzası'nın yağış-akış ilişkisinin HEC-HMS ile modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Anabilim Dalı, 84, Diyarbakır.
- Ateka, M., Agegn, L., Belayneh, A. 2022. Evaluating the effects of land use and land cover change on watershed surface runoff: Case of Abelti Watershed, Omo Basin, Ethiopia. *International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications*, 4(1) 32-42.
- Boskidis, I., Gikas, G. D., Sylaios, G. K., ve Tsihrintzis, V. A. 2012. Hydrologic and water quality modeling of lower Nestos River Basin. *Water Resources Management*, 26(10), 3023–3051.
- Coşkun, C. 2016. Comparative analysis of various satellite products through hydrological modeling. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 91, Eskişehir.
- Cüceloğlu, G., Seker, D. Z., Tanık, A., ve Öztürk, İ. 2021. Analyzing effects of two different land use datasets on hydrological simulations by using SWAT model. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(2), 172–185.
- Doğan, Y. O. 2018. Çoruh Havzası'nda çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 128, Eskişehir.

- Ertaş, M., C. 2014. Dağlık Fırat Havzası'nda Ensemble tahmin sistemine dayalı hidrolojik modelleme. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 118, Eskişehir.
- Gassman, P. W., Reyes M. R., Green, C. H. Green, J. G. Arnold. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions. Transactions of the ASABE, 50(4), 1211–1250.
- Gümüş, V., Yıldız, M. S., ve şimşek, O. 2018. Hidrolojik kuraklık değerlendirmesi: Murat Nehri-Palu örneği. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3), 297-301.
- Irvem, A., El-Sadek, A. 2018. Evaluation of Streamflow Simulation By SWAT Model for The Seyhan River Basin. Çukurova Tarım Gıda Bilim. Dergisi, 33(2), 99-110.
- Kaçar, T. 2017. Aras Havzası'nda HEC-HMS ile hidrolojik modelleme ve akım tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 84, Eskişehir.
- López-Ballesteros, A., Srinivasan, R., Senent-Aparicio, J. 2024. Introducing MapSWAT: An open source QGIS plugin integrated with google earth engine for efficiently generating ready-to-use SWAT+ input maps. Environmental Modelling and Software, 179. 106108.
- Özkan, D. 2019. Yukarı Aras Havzası'nda otomatik kalibrasyon yöntemi ile çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 116, Eskişehir.
- Peker, I. B., Sorman, A. A. 2021. Application of SWAT using snow data and detecting climate change impacts in the mountainous eastern regions of Turkey. Water (Switzerland), 13(14), 1982.
- Peker, I. B., ve Gülbaz, S. 2023. Examining the open-source datasets for water quantity and quality using the soil and water assessment tool (SWAT). Water Science and Technology, 88(7), 1621–1634.
- Peker, İ. B. 2020. Türkiye'deki dağlık havzalarda uygulanan SWAT modeli ile iklim değişikliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 131, Eskişehir.
- Suhaila, M. R. N., Zuhairi, A., Azlyn, A. N. S., ve Zaini, M. M. 2021. Soil data definition for hydrologic response unit analysis in SWAT model of Langkawi Island, Malaysia. Eurasian Journal of Soil Science, 10(1), 68–76.
- şensoy, A., 2005. Physically based point snowmelt modeling and it's distribution in Upper Euphrates Basin. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doğa ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 225, Ankara.
- şorman, A. A., 2005. Use of satellite observed seasonal snow cover in hydrological modeling and snowmelt runoff prediction in Upper Euphrates Basin, Turkey.

Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doğa ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 213, Ankara.

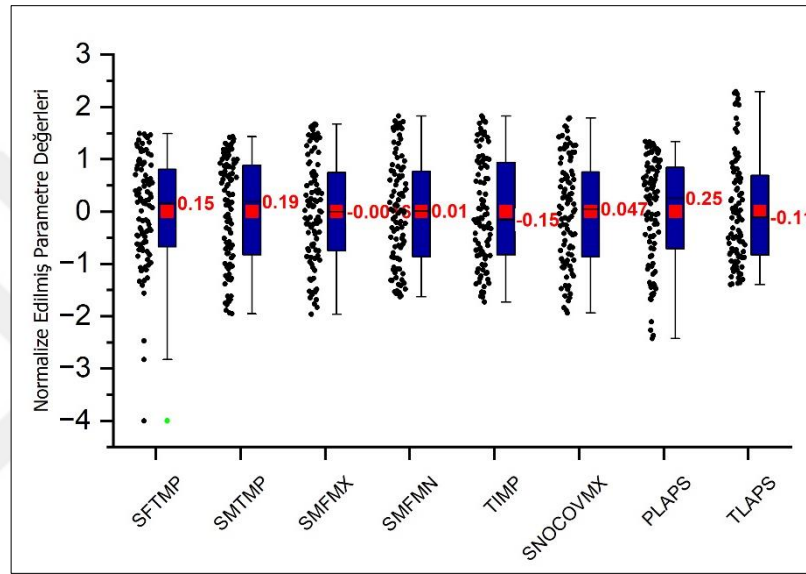
- Tosunoglu, F., ve Slater, L. 2022. Decreasing flood hazard evaluated in Turkey using nonstationary models. *River Research and Applications*, 38(7), 1224–1236.
- Tosunoğlu, F., Salvadori, G., Yilmaz, M. 2020. Multivariate assessment of low-flow hazards via Copulas: The case study of the Çoruh Basin (Turkey). *Water (Switzerland)*, 12(10), 2048.
- Tuo, Y., Marcolini, G., Disse, M., Chiogna, G. 2018. Calibration of snow parameters in SWAT: comparison of three approaches in the Upper Adige River basin (Italy). In *Hydrological Sciences Journal* 63(4), 657–678.
- Uysal, G., Şensoy, A., Şorman, A., Ertaş, M., C. 2021. Kısa dönemli hidrolojik tahmin sistemi uygulaması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 338–353.
- Yalçın, E. 2020. Karlı dağlık bir havzada günlük ve aylık akım değerlerinin SWAT modeliyle değerlendirilmesi: Bitlis Çayı Havzası örneği. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 20(4), 651–671.
- Yang, X., Liu, Q., He, Y., Luo, X., ve Zhang, X. 2016. Comparison of daily and sub-daily SWAT models for daily streamflow simulation in the Upper Huai River Basin of China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30(3), 959–972.
- Yılmaz, M., Alp, H., Tosunoğlu, F., Aşıkoğlu, Ö. L., ve Eriş, E. 2022. Impact of climate change on meteorological and hydrological droughts for Upper Coruh Basin, Turkey. *Natural Hazards*, 112(2), 1039–1063.

EKLER

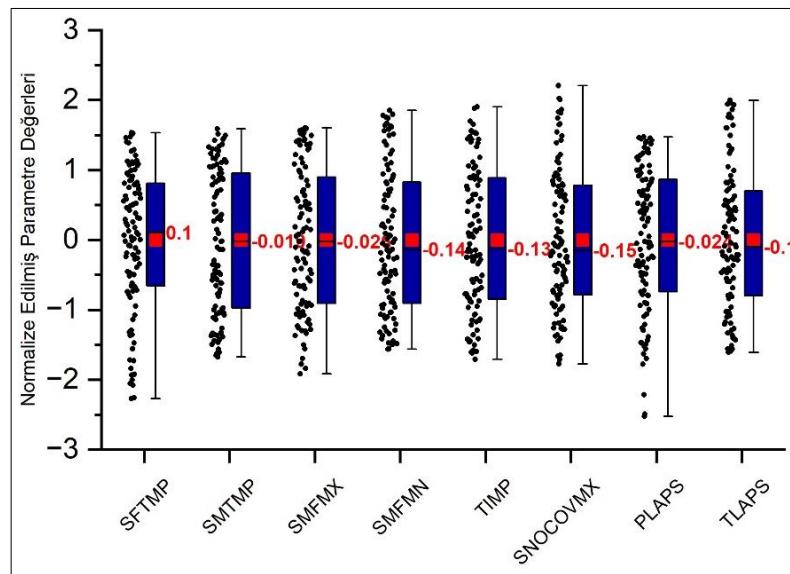
EK-1

E21A019 Havzası SWAT CUP simülasyon sonuçları- kutu grafikleri (NSE $\geq$ 0,5)

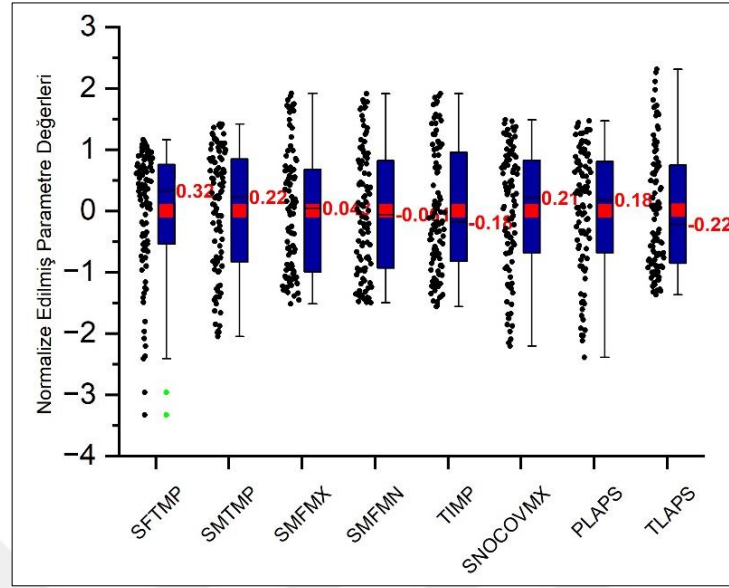
- 17777 Palandöken Kayak Merkezi istasyonu 2017 kar sezonu



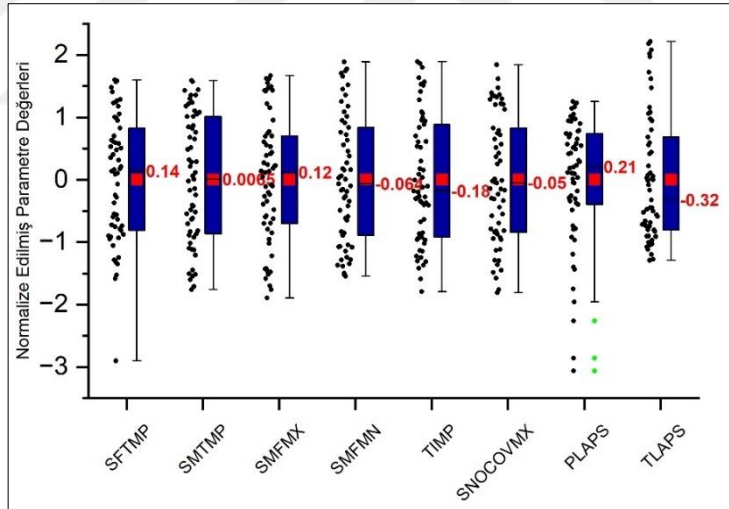
- 17777 Palandöken Kayak Merkezi istasyonu 2018 kar sezonu



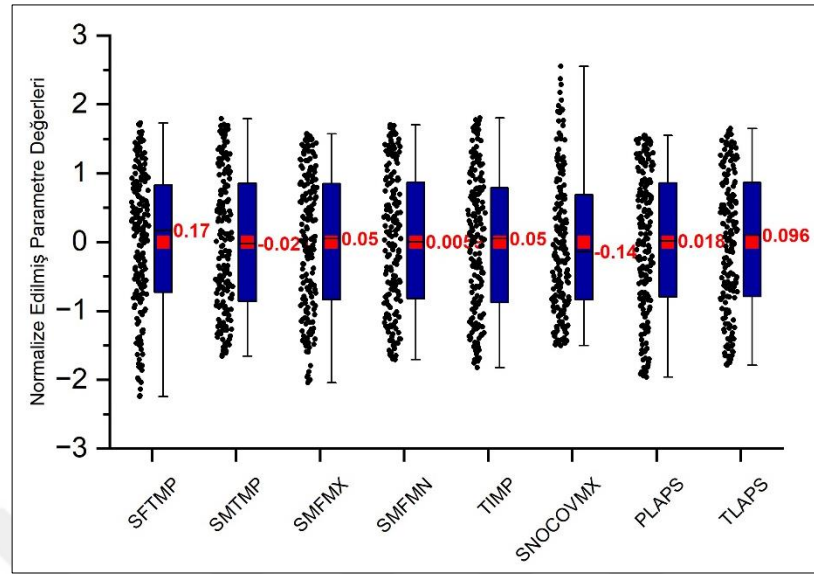
- 17777 Palandöken Kayak Merkezi istasyonu 2019 kar sezonu



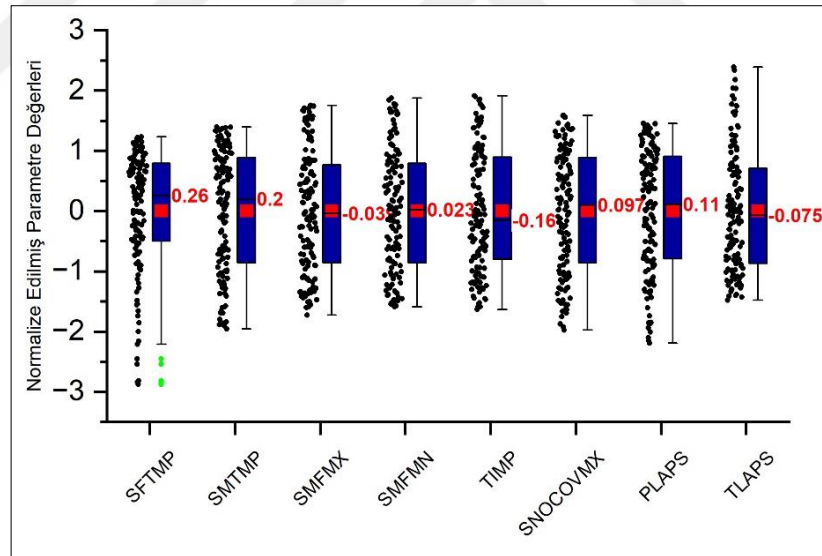
- 19067 Palandöken Konaklı istasyonu 2017 kar sezonu



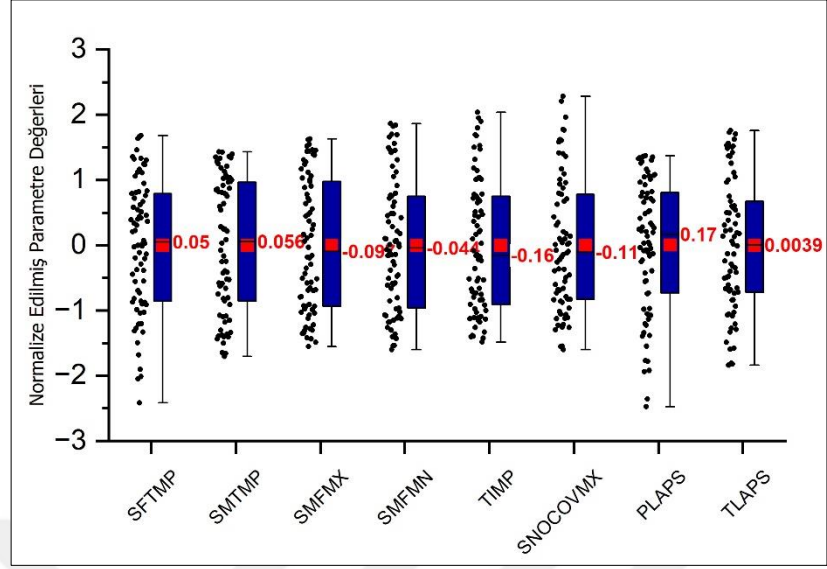
- 19067 Palandöken Konaklı istasyonu 2018 kar sezonu



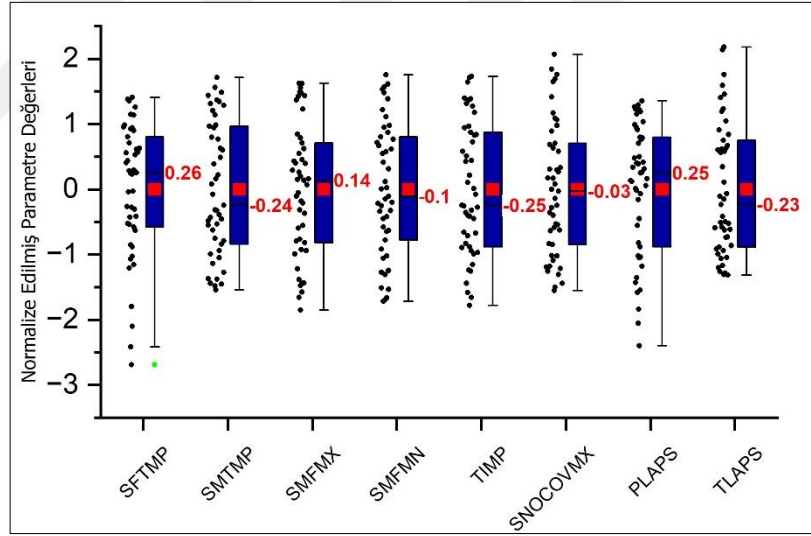
- 19067 Palandöken Konaklı istasyonu 2019 kar sezonu



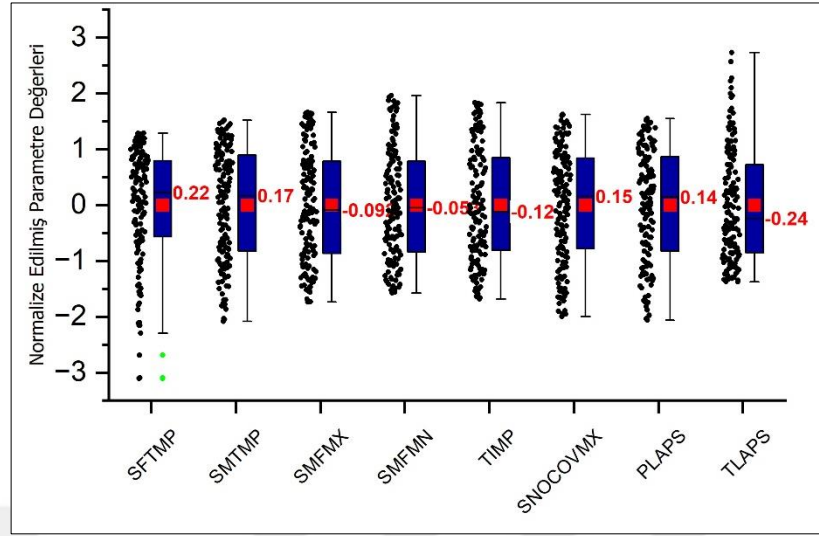
- 19071 Erzincan Sakaltutan istasyonu 2017 kar sezonu



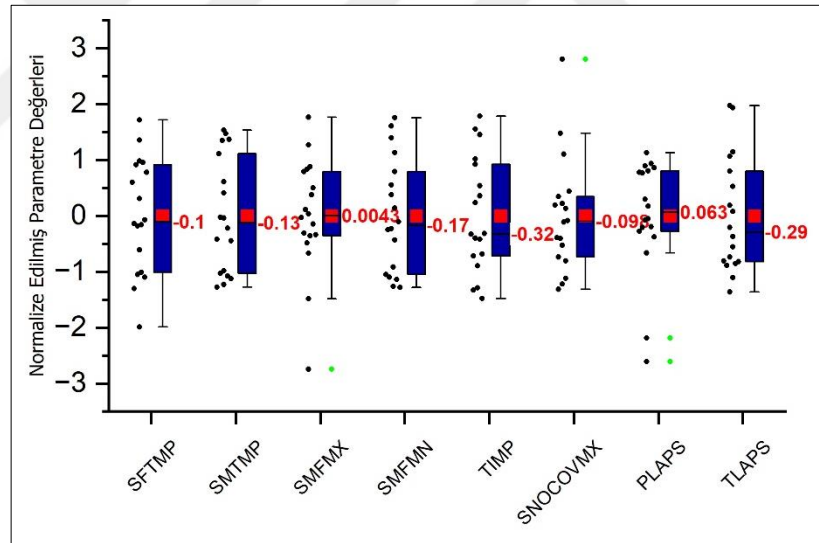
- 19071 Erzincan Sakaltutan istasyonu 2018 kar sezonu



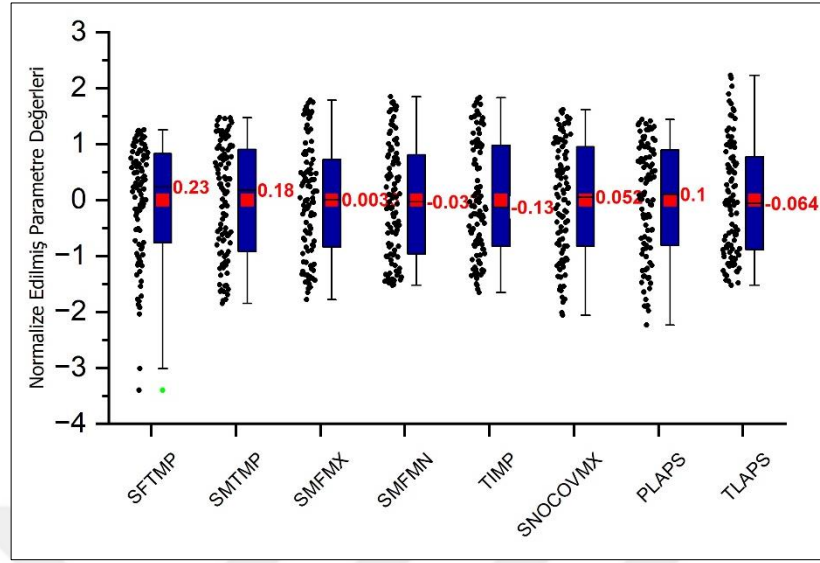
- 19071 Erzincan Sakaltutan istasyonu 2019 kar sezonu



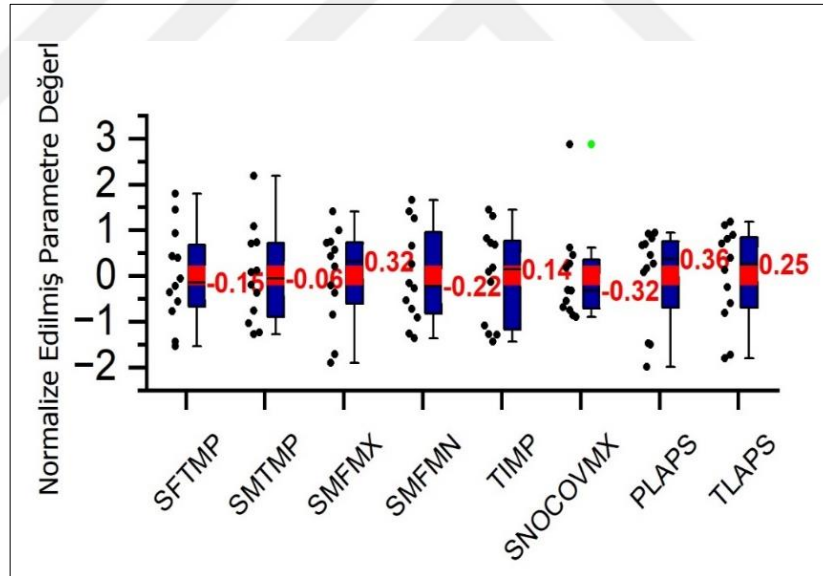
- 19074 Aşkale Ovacık istasyonu 2018 kar sezonu



- 19074 Aşkale Ovacık istasyonu 2019 kar sezonu



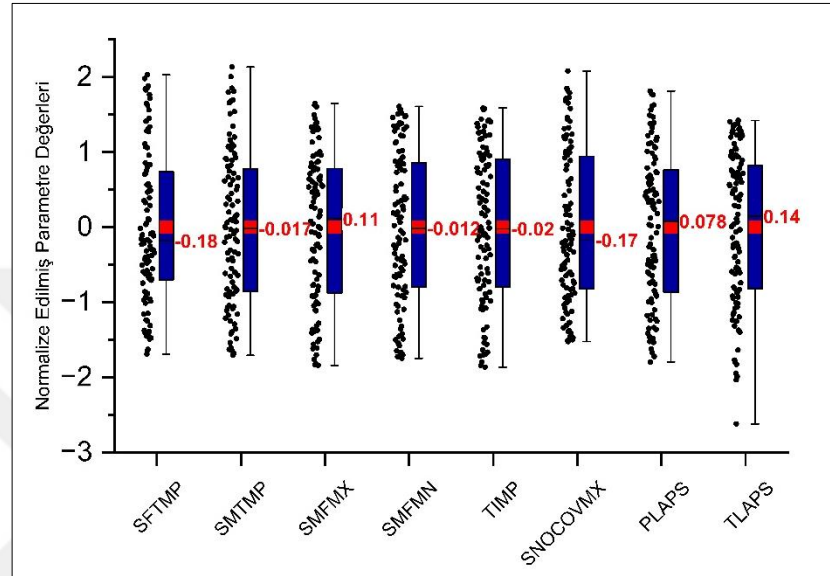
- 18203 Çat istasyonu 2019 kar sezonu



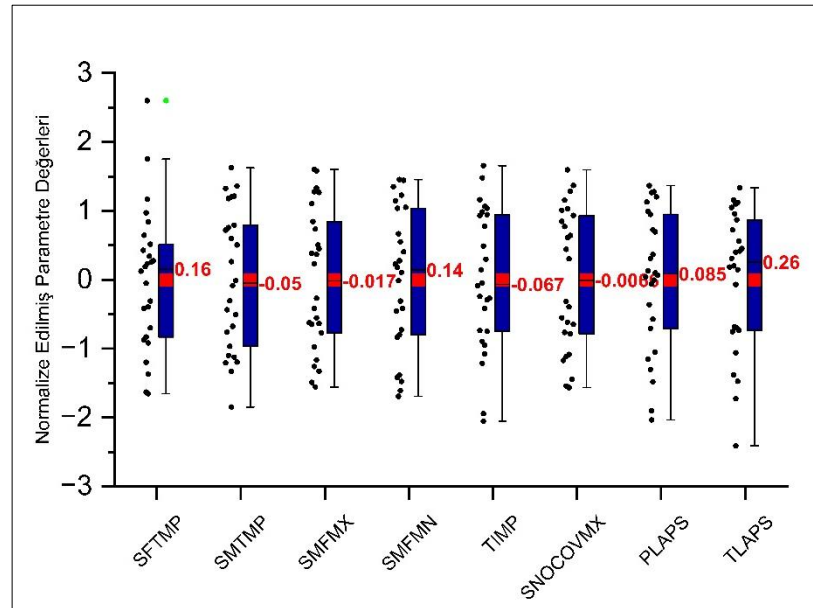
EK-2

E23A016 Havzası SWAT CUP simülasyon sonuçları- kutu grafikleri (NSE $\geq$ 0,5)

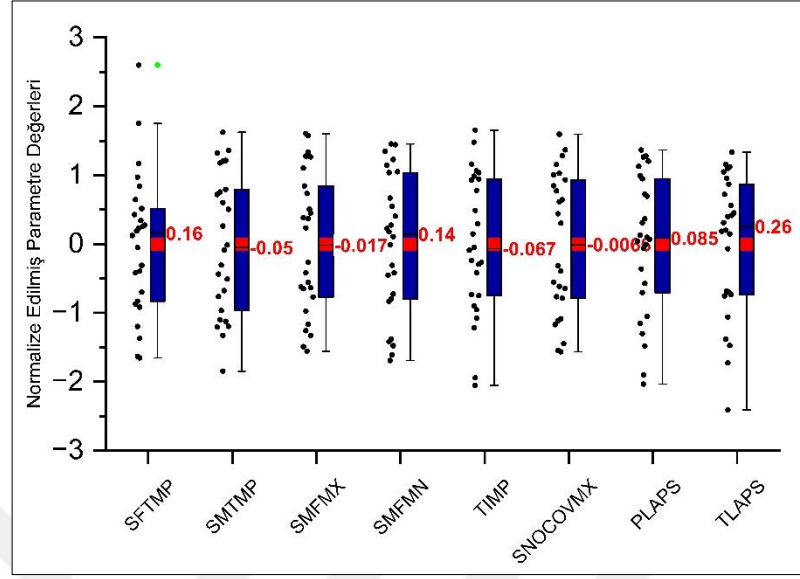
- 19052 Bayburt Üzengili istasyonu 2018 kar sezonu



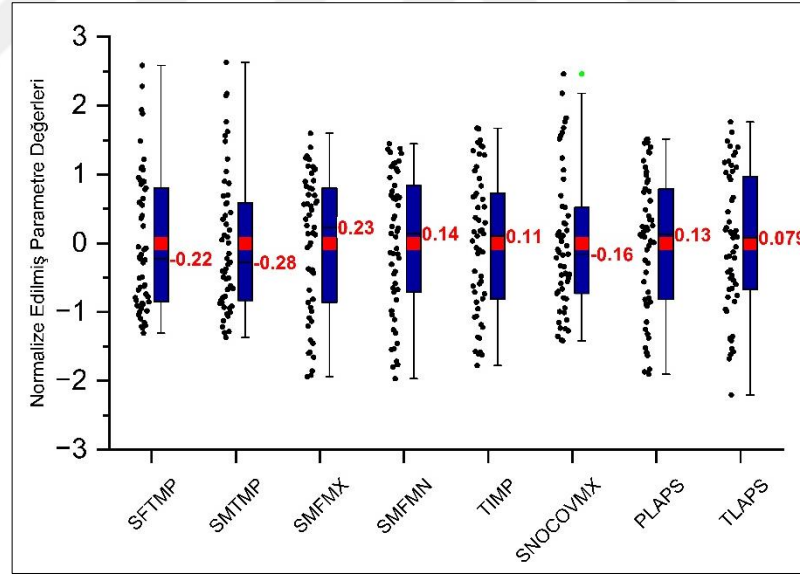
- 19052 Bayburt Üzengili istasyonu 2019 kar sezonu



- 19234 Bayburt Kemertaş istasyonu 2018 kar sezonu



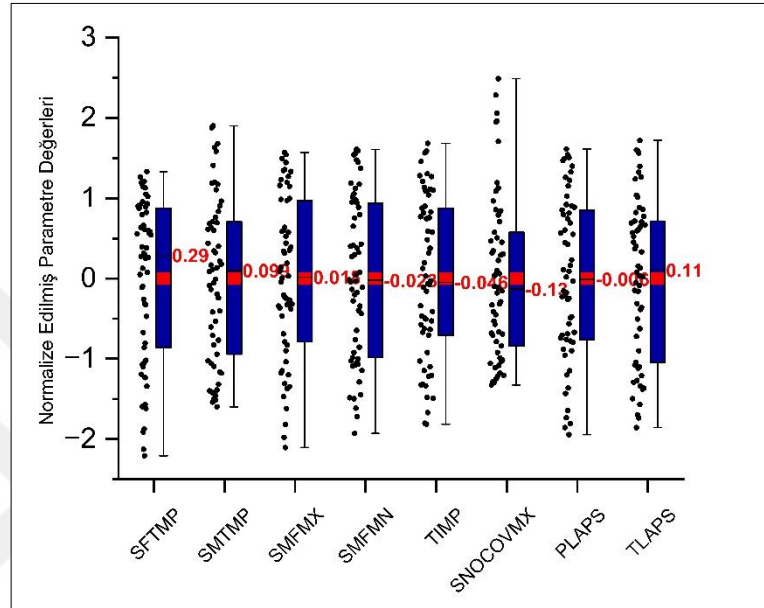
- 19234 Bayburt Kemertaş istasyonu 2019 kar sezonu



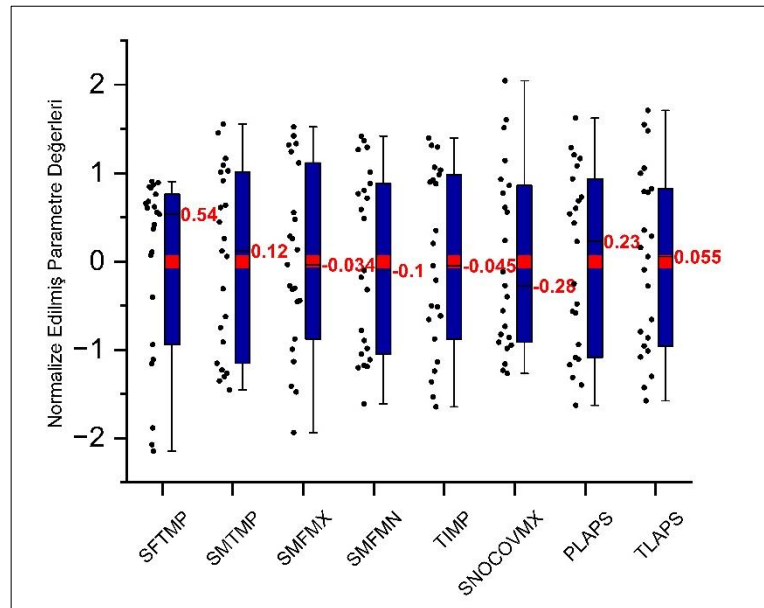
EK-3

E23A029 Havzası SWAT CUP simülasyon sonuçları- kutu grafikleri ($NSE \geq 0,5$)

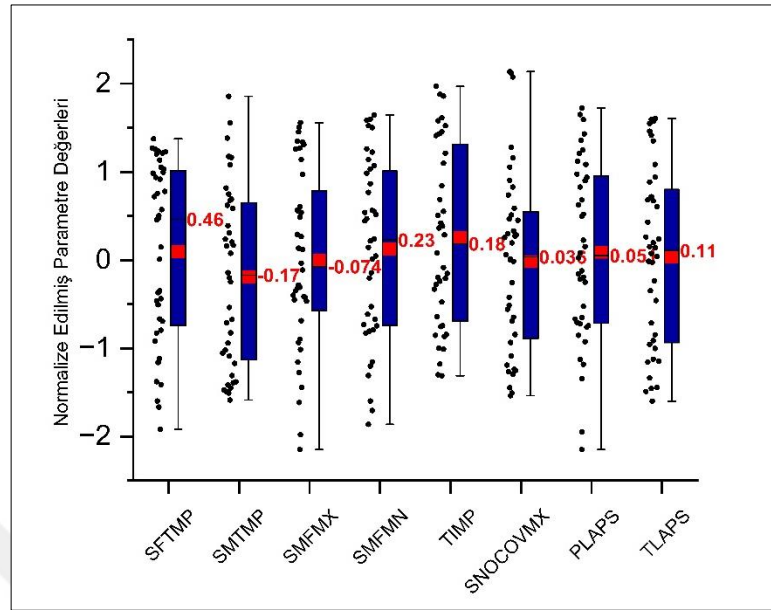
- 19047 Yusufeli Yamaçüstü istasyonu 2017 kar sezonu



- 19047 Yusufeli Yamaçüstü istasyonu 2018 kar sezonu



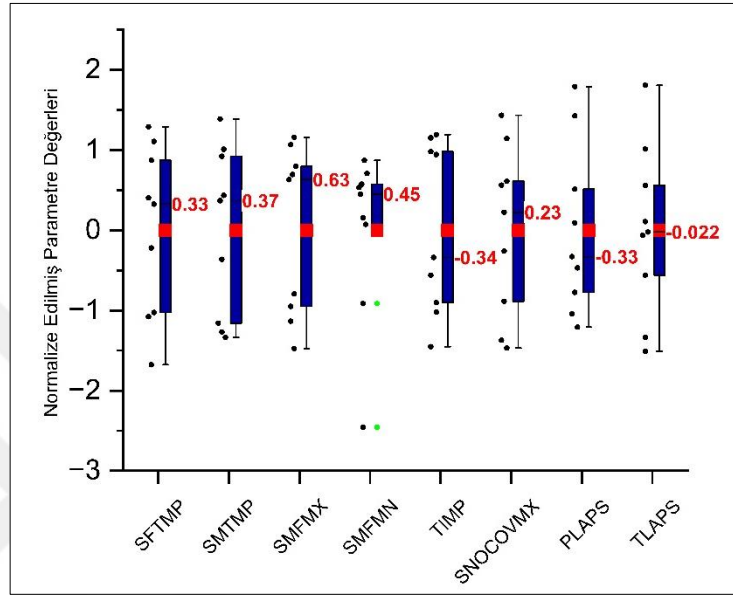
- 19047 Yusufeli Yamaçüstü istasyonu 2019 kar sezonu



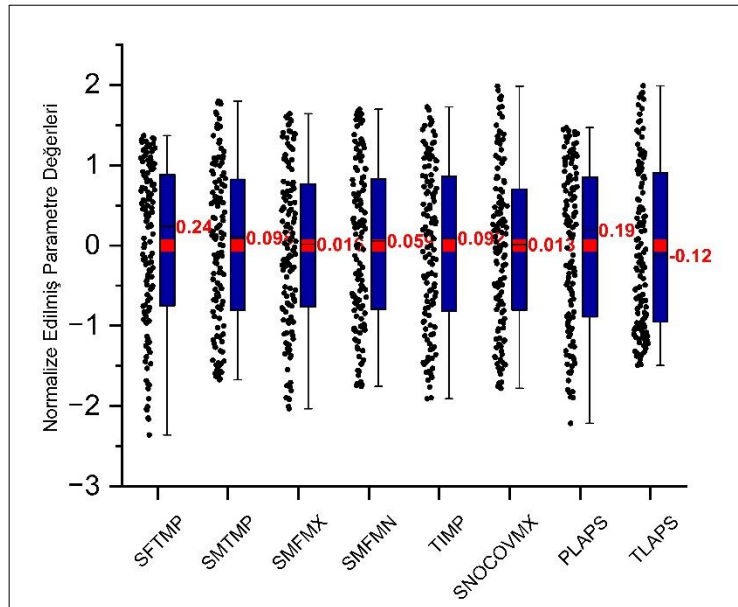
EK-4

D24A029 Havzası SWAT CUP simülasyon sonuçları- kutu grafikleri (NSE $\geq$ 0,5)

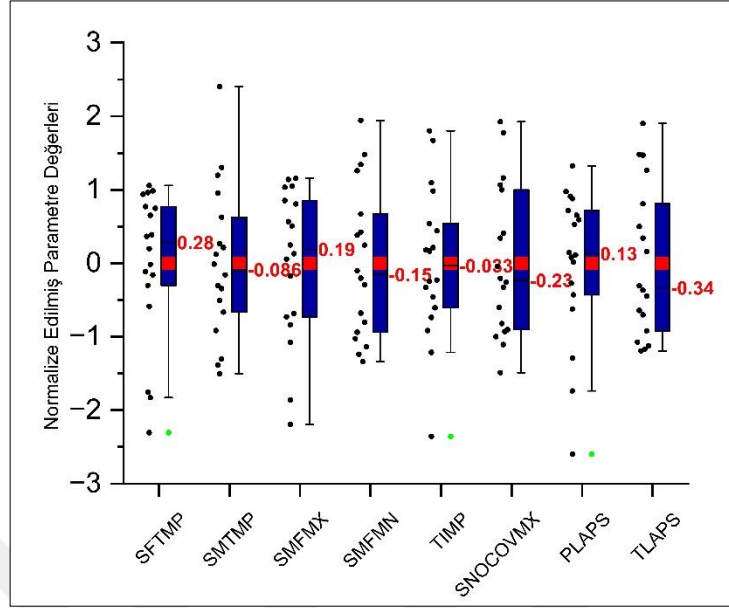
- 18196 Sarıkamış Kayak Merkezi istasyonu 2017 kar sezonu



- 18196 Sarıkamış Kayak Merkezi istasyonu 2018 kar sezonu



- 18196 Sarıkamış Kayak Merkezi istasyonu 2019 kar sezonu



- 19072 Tekman Hacıömer istasyonu 2019 kar sezonu

