



**TÜRKİYE’DEKİ DAĞLIK HAVZALARDA
UYGULANAN SWAT MODELİ İLE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi
İsmail Bilal PEKER
Eskişehir 2020**

**TÜRKİYE’DEKİ DAĞLIK HAVZALARDA UYGULANAN SWAT MODELİ İLE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İNCELENMESİ**

İsmail Bilal PEKER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2020

ÖZET

TÜRKİYE’DEKİ DAĞLIK HAVZALARDA UYGULANAN SWAT MODELİ İLE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İNCELENMESİ

İsmail Bilal PEKER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN

Kar erimelerinden beslenen dağlık havzalarda, akışa geçen su hacminin hesabı ve iklim değişikliği konuları dikkat çekmektedir. Ülkemizde bu konular, Fırat havzası gibi geniş drenaj alanına sahip sınır aşan sular açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Fırat havzasının dağlık iki memba alt havzası çalışma alanı olarak seçilerek ArcSWAT ile hidrolojik modelleme yapılmıştır. Modelleme çalışmasında, akım ölçümleri, arazi kar ölçümleri ve MODIS kar-kaplı alan (KKA) uydu ürünlerinden yararlanılmıştır. İlk olarak, modele ait kar çıktıları, uydu görüntüleri ile kalibre edilmiş; ardından, istasyonlara ait noktasal ölçümlerle de doğrulanmıştır. İkinci aşamada, akım çıktılarının otomatik kalibrasyonu SWAT-CUP ile gerçekleştirilerek Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)’ye göre ortalama günlük 0.7’nin, aylık 0.8’in üzerinde kalibrasyon ve validasyon değerleri elde edilmiştir. Oluşturulan hidrolojik modeller, farklı iklim senaryolarına (RCP 4.5 ve RCP 8.5) göre üretilmiş iki periyottaki (2041-2070 ve 2071-2099) projeksiyonlar için çalıştırılarak, iklim değişikliğinin kar erimelerine ve akımlara etkisi incelenmiştir. Sonuçlarda, her iki havzada, kar-su eşdeğeri (KSE) pik değerlerinde %30-39’a varan azalma ve kar sezonunda 37-43 günlük daralma görülmektedir. İklim değişikliğindeki beklenen sıcaklık artışı, karın yeryüzünde olağandan daha geç birikip erken erimeye başlamasına sebep olmaktadır. Akımlarda ise, hacim olarak kar çıktılarına kıyasla daha düşük ölçüde %3-4 civarında azalma gözlenirken akım merkez zamanlarının 9-11 gün öne kayması söz konusudur.

Anahtar Sözcükler: Hidrolojik modelleme, SWAT, Uzaktan algılama, İklim değişikliği, Fırat havzası.

ABSTRACT

EVALUATING CLIMATE CHANGE IMPACTS USING SWAT IN A MOUNTAINOUS REGION OF TURKEY

İsmail Bilal PEKER

Civil Engineering Program

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2020

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali Arda ŞORMAN

Subjects like runoff prediction and climate change attracts attention at snow fed mountainous basins. This is also an important topic in Turkey which bares the headwaters of the Euphrates Basin having a large surface area of transboundary waters. In this study, hydrological modeling is conducted at the two mountainous headwater basins of Euphrates River exploiting ArcSWAT. During the modeling stage, hydro-meteorological data, snow observations and MODIS snow cover satellite products are utilized. Firstly, SWAT parameters are calibrated using satellite imagery and then validated by ground snow measurements. Then, the hydrological model is adjusted according to runoff values with the help of SWAT-CUP whereby over 0.7 daily and 0.8 monthly Nash-Sutcliffe Efficiency performance results are achieved, respectively. Once the model is made ready, it is run daily for two periods (2041-2070 ve 2071-2099) applying two different climate scenarios (RCP 4.5 ve RCP 8.5) in order to evaluate the impacts of climate change on snow and runoff. The results indicate that for both basins, snow water equivalent (SWE) decreases by 30-39% and the snow season narrows in the order of 37-43 days. In terms of runoff, streamflow is not as dramatically affected as snow which shows a reduction of 3-4%, but center time volume is push earlier by 9-11 days until the end of the century.

Keywords: Hydrological modelling, SWAT, Remote sensing, Climate change, Euphrates basin.

TEŞEKKÜR

Nerede ve ne durumda olursam olayım yegâne akıl hocam olan (ve ömrüm boyunca olacağına inandığım), en büyük ilham kaynağım Dr. Öğr. Üyesi Ali Arda ŞORMAN’a,

Daima yardım etmeye arzulu “gerçek” bilim insanları Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN, Dr. Cansaran ERTAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Gökçen UYSAL’a,

Maddi ve manevi en büyük destekçilerim; her daim okuyan ve öğrenen, okutan ve öğreten annem ve babama,

Sabırla dinleyen, zekice çözüm üreten abim Kağan PEKER’e,

Yol arkadaşım Müge YERMEYDAN’a,

Sevgili gitarıma ve aziz dostum piyanoma,

Ayrıca, “Bilimi yarı yolda bırakmamayı ve kürsü ile ticarethaneyi birbirine karıştırmamayı” bizlere öğütleyerek heveslendirenlere,

tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

ETİK İLKE ve KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

İsmail Bilal PEKER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ ve ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE ve KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİ	3
2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Analizleri	5
2.2. Hidro-meteorolojik Veri Analizleri	9
2.3. Arazi Kullanımı ve Toprak Çeşidi Verisinin İncelenmesi.....	19
3. HİDROLOJİK MODELLEME.....	22
4.1. SWAT Modeli.....	22
3.1.1. Modelin tarihsel gelişimi.....	23
3.1.2. Hidrolojik döngü	24
3.1.3. Modelin çalışma prensibi	26
3.1.4. SWAT ile ilgili yapılan çalışmalar	28
4. SWAT MODELİNİN UYGULANMASI	31
4.1. Model Verilerinin Hazırlanması.....	31
4.2. Baz Modelin Kurulumu	34
4.3. Parametrizasyon (Kalibrasyon Öncesi Hazırlık)	37
4.3.1. SWAT KSE ve MODIS KKA verilerinin mekansal karşılaştırılması....	39
4.3.2. SWAT KSE – MODIS KKA verilerinin zamansal karşılaştırılması.....	47
4.4. Parametrizasyon İşleminin Sonuçları	49
4.4.1. Görselleştirme işlemi sonuçları ve yorumlanması.....	49
4.4.2. KSE – KKA karşılaştırması sonuçları ve yorumlanması	62
5. MODEL KALİBRASYONU ve VALİDASYONU	79
5.1. Hassasiyet Analizi.....	79
5.2. Akım Verilerinin Kalibrasyonu ve Validasyonu	83

5.3. KSE Verilerinin Validasyonu.....	93
6. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI	103
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	120
KAYNAKÇA.....	123
ÖZGEÇMİŞ	131



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye’deki havzalar ve Murat-1 ve Karasu-1 havzalarının konumu	4
Şekil 2.2. Havzaların coğrafi konumu ve ölçüm ağıları	5
Şekil 2.3. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait yükseklik haritası.....	6
Şekil 2.4. Murat-1 havzasına ait hipsometrik eğri.....	7
Şekil 2.5. Karasu-1 havzasına ait hipsometrik eğri	7
Şekil 2.6. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait eğim haritası	8
Şekil 2.7. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait bakı haritası	9
Şekil 2.8. Ağrı MGİ’de ölçülen yıllık toplam yağışlar.....	11
Şekil 2.9. Ağrı MGİ’de ölçülen aylık ortalama toplam yağışlar	11
Şekil 2.10. Erzurum Havalimanı MGİ’de ölçülen yıllık toplam yağışlar	12
Şekil 2.11. Erzurum Havalimanı MGİ’de ölçülen aylık ortalama toplam yağışlar	12
Şekil 2.12. Ağrı MGİ’de ölçülen yıllık ortalama sıcaklıklar.....	13
Şekil 2.13. Ağrı MGİ’de ölçülen aylık ortalama sıcaklıklar	13
Şekil 2.14. Erzurum Havalimanı MGİ’de ölçülen yıllık ortalama sıcaklıklar.....	14
Şekil 2.15. Erzurum Havalimanı MGİ’de ölçülen aylık ortalama sıcaklıklar	14
Şekil 2.16. E21A022 AGİ’de ölçülen yıllık ortalama akımlar	15
Şekil 2.17. E21A022 AGİ’de ölçülen aylık ortalama akımlar	15
Şekil 2.18. E21A054 AGİ’de ölçülen yıllık ortalama akımlar	16
Şekil 2.19. E21A054 AGİ’de ölçülen aylık ortalama akımlar	16
Şekil 2.20. Murat-1 havzasına ait küresel iklim verisi tahmini ölçüm istasyonları.....	18
Şekil 2.21. Karasu-1 havzasına ait küresel iklim verisi tahmini ölçüm istasyonları	18
Şekil 2.22. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait arazi kullanımı haritası	19
Şekil 2.23. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait toprak çeşidi haritası.....	21
Şekil 3.1. SWAT modelinin tarihsel gelişim şeması ve bazı uyarılama örnekleri	23
Şekil 3.2. SWAT modelinde su hareketinin izlediği yolun şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.3. Toprak fazındaki hidrolojik döngünün şematik gösterimi	26
Şekil 4.1. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait SWAT arazi kullanımı kodları	33
Şekil 4.2. Murat-1 ve Karasu-1 alt havzaları.....	36
Şekil 4.3. Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait yeniden sınıflandırılmış SYM.....	40
Şekil 4.4. Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait MODIS görüntüsü (4 Aralık 2005)	41

Şekil 4.5. Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait SWAT KSE görselleştirilmesi	42
Şekil 4.6. Karlı ve karsız yükseklik bantlarının belirlenmesi	42
Şekil 4.7. Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait çakıştırılma işlemi	43
Şekil 4.8. Murat-1 havzasında bazı alt havzaların görselleştirilmesi örneği (4 Aralık 2005)	45
Şekil 4.9. Karasu-1 havzasında bazı alt havzaların görselleştirilmesi örneği (4 Aralık 2005)	46
Şekil 4.10. Murat-1 havzası 1 numaralı alt havzasına ait HRU'lar	48
Şekil 4.11. HRU değerlerinin tüm havzaya türetilmesi işlemi	48
Şekil 4.12. Murat-1 havzası 4 Aralık 2005 tarihli çakıştırılmış görseli	49
Şekil 4.13. Murat-1 havzası 30 Aralık 2005 tarihli çakıştırılmış görseli	50
Şekil 4.14. Murat-1 havzası 30 Mart 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	50
Şekil 4.15. Murat-1 havzası 8 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	51
Şekil 4.16. Murat-1 havzası 13 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	51
Şekil 4.17. Murat-1 havzası 18 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	52
Şekil 4.18. Murat-1 havzası 12 Mayıs 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	52
Şekil 4.19. Karasu-1 havzası 4 Aralık 2005 tarihli çakıştırılmış görseli	53
Şekil 4.20. Karasu-1 havzası 30 Aralık 2005 tarihli çakıştırılmış görseli	53
Şekil 4.21. Karasu-1 havzası 30 Mart 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	54
Şekil 4.22. Karasu-1 havzası 8 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	54
Şekil 4.23. Karasu-1 havzası 13 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	55
Şekil 4.24. Karasu-1 havzası 18 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	55
Şekil 4.25. Karasu-1 havzası 12 Mayıs 2006 tarihli çakıştırılmış görseli	56
Şekil 4.26. Murat-1 havzasında bakı olarak farklılık gösteren alt havza grupları	57
Şekil 4.27. KSE eşik değeri aralığı belirlemede bakının etkisi	59
Şekil 4.28. Murat-1 havzası MODIS KKA (8 Nisan 2006) ve 2100 m kontur çizgisi karşılaştırılması	60
Şekil 4.29. Murat-1 havzası 2002 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	62
Şekil 4.30. Murat-1 havzası 2003 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	63
Şekil 4.31. Murat-1 havzası 2004 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	63
Şekil 4.32. Murat-1 havzası 2005 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	64
Şekil 4.33. Murat-1 havzası 2006 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	64
Şekil 4.34. Murat-1 havzası 2007 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	65

Şekil 4.35. Murat-1 havzası 2008 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	65
Şekil 4.36. Murat-1 havzası 2009 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	66
Şekil 4.37. Murat-1 havzası 2010 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	66
Şekil 4.38. Murat-1 havzası 2011 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği	67
Şekil 4.39. Murat-1 havzası 2002 – 2011 su yıllarına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği.....	68
Şekil 4.40. Karasu-1 havzası 2002 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	69
Şekil 4.41. Karasu-1 havzası 2003 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	69
Şekil 4.42. Karasu-1 havzası 2004 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	70
Şekil 4.43. Karasu-1 havzası 2005 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	70
Şekil 4.44. Karasu-1 havzası 2006 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	71
Şekil 4.45. Karasu-1 havzası 2007 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	71
Şekil 4.46. Karasu-1 havzası 2008 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	72
Şekil 4.47. Karasu-1 havzası 2009 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	72
Şekil 4.48. Karasu-1 havzası 2010 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	73
Şekil 4.49. Karasu-1 havzası 2011 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği...	73
Şekil 4.50. Karasu-1 havzası 2002 – 2011 su yıllarına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği.....	74
Şekil 4.51. KSE – KKA karşılaştırılmasında odak kısımlar.....	75
Şekil 5.1. Murat-1 havzası 2002 – 2011 yılları günlük akımları	88
Şekil 5.2. Murat-1 havzası 2002 – 2011 yılları aylık akımları	88
Şekil 5.3. Karasu-1 havzası 2002 – 2011 yılları günlük akımları	89
Şekil 5.4. Karasu-1 havzası 2002 – 2011 yılları aylık akımları	89
Şekil 5.5. Murat-1 havzasına ait SWAT su bileşeni değerleri.....	91
Şekil 5.6. Karasu-1 havzasına ait SWAT su bileşeni değerleri	91
Şekil 5.7. Murat-1 havzası modeli aylık ortalama yağış, akım ve ET grafiği	92
Şekil 5.8. Karasu-1 havzası modeli aylık ortalama yağış, akım ve ET grafiği	92
Şekil 5.9. Murat-1 havzasına ait KGİ'lerin konumu ve temsil ettikleri alt havzalar.....	94
Şekil 5.10. Karasu-1 havzasına ait KGİ'lerin konumu ve temsil ettikleri alt havzalar ..	95
Şekil 5.11. 2002 ve 2003 su yılları için Doğangün KGİ ve SWAT KSE grafiği	97
Şekil 5.12. 2003 ve 2007 su yılları için Hacıömer KGİ ve SWAT KSE grafiği	98
Şekil 5.13. 2007 ve 2010 su yılları için Eleşkirt KGİ ve SWAT KSE grafiği	99
Şekil 5.14. 2002 ve 2003 su yılları için Güzelyayla KGİ ve SWAT KSE grafiği	100

Şekil 5.15. 2005 ve 2006 su yılları için Hacımahmut KGİ ve SWAT KSE grafiği	101
Şekil 5.16. 2002 ve 2003 su yılları için Yeşildere KGİ ve SWAT KSE grafiği	102
Şekil 6.1. SRES ve RCP'lerin gelecek dönem için ortaya koyduğu eşlenik CO ₂ (ppm) konsantrasyonları	105
Şekil 6.2. Murat-1 havzasına ait iki periyotta farklı senaryolardaki KSE çıktıları	107
Şekil 6.3. Karasu-1 havzasına ait iki periyotta farklı senaryolardaki KSE çıktıları	107
Şekil 6.4. Murat-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama yağış değerleri	112
Şekil 6.5. Murat-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri ..	112
Şekil 6.6. Karasu-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama yağış değerleri	113
Şekil 6.7. Karasu-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri	113
Şekil 6.8. Murat-1 havzası iklim senaryolarına ait eklenik akım grafiği	117
Şekil 6.9. Karasu-1 havzası iklim senaryolarına ait eklenik akım grafiği	117

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. Arazi kullanımı verisinin SWAT kodları karşılıkları	32
Tablo 4.2. Baz modele ait bilgiler	34
Tablo 4.3. SWAT modeli kar ve değişme oranı parametreleri	37
Tablo 4.4. Çakıştırılmış görüntüye ait bilgiler	43
Tablo 4.5. Görselleştirme için seçilen tarihler ve özellikleri	44
Tablo 4.6. Murat-1 havzası örneğinde kullanılan alt havzaların KSE değer aralıkları ..	45
Tablo 4.7. Karasu-1 havzası örneğinde kullanılan alt havzaların KSE değer aralıkları	46
Tablo 4.8. Murat-1 havzası 8 Nisan 2006 1. alt havza grubu KSE değer aralıkları	58
Tablo 4.9. Murat-1 havzası 8 Nisan 2006 2. alt havza grubu KSE değer aralıkları	58
Tablo 4.10. Murat -1 havzasına ait tüm tarihler için KSE eşik değer aralıkları	61
Tablo 4.11. Karasu -1 havzasına ait tüm tarihler için KSE eşik değer aralıkları	61
Tablo 4.12. Karlı ve karsız gün sayılarının değerlendirilmesi	76
Tablo 4.13. Murat-1 havzası KSE – KKA grafikleri başarı oranları	77
Tablo 4.14. Karasu-1 havzası KSE – KKA grafikleri başarı oranları	77
Tablo 4.15. Sabitlenen kar parametreleri ve değişme oranları	78
Tablo 5.1. Hassasiyet analizinde kullanılan parametrelerin açıklamaları	81
Tablo 5.2. Global hassasiyet analizi sonuçları	82
Tablo 5.3. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve değiştirme metotları	84
Tablo 5.4. NSE, R2 ve PBIAS amaç fonksiyonlarına ait formüller	85
Tablo 5.5. NSE ve PBIAS amaç fonksiyonları için aylık zaman adımlarında akım modellemesi sonuçlarının değerlendirilmesi	86
Tablo 5.6. Murat-1 ve Karasu-1 için kalibrasyon ve validasyon istatistikleri	87
Tablo 5.7. Yıllık ortalama model ve gözlem akım değerleri	90
Tablo 5.8. Murat-1 ve Karasu-1 modelleri yıllık ortalama su dengesi bileşeni değerleri	90
Tablo 5.9. Murat-1 havzasında bulunan KGI'lere ait bilgiler	94
Tablo 5.10. Karasu-1 havzasında bulunan KGI'lere ait bilgiler	95
Tablo 6.1. Geçmişten günümüze IPCC tarafından geliştirilen senaryolar	104

Tablo 6.2. SRES ve RCP senaryoları için 2100 yılında yaklaşık eşdeğer CO ₂ (ppm) konsantrasyonları	104
Tablo 6.3. Murat-1 havzası KSE ortalama değerlerindeki değişim	108
Tablo 6.4. Karasu-1 havzası KSE ortalama değerlerindeki değişim	108
Tablo 6.5. Murat-1 havzası için birikme/çekilme tarihlerindeki değişim ve kar sezonundaki daralma.....	109
Tablo 6.6. Murat-1 havzası için birikme/çekilme tarihlerindeki değişim ve kar sezonundaki daralma.....	109
Tablo 6.7. Referans ve iklim periyotlarında yıllık toplam akışa geçen su miktarları ..	110
Tablo 6.8. Referans ve iklim periyotlarında ortalama yıllık toplam yağış.....	111
Tablo 6.9. Referans ve iklim periyotlarında ortalama yıllık sıcaklık.....	111
Tablo 6.10. Murat-1 havzası akım ve yağış değerlerindeki değişim	115
Tablo 6.11. Karasu-1 havzası akım ve yağış değerlerindeki değişim.....	115
Tablo 6.12. Merkez zamanları tarihleri ve kayma süreleri	118

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

95PPU	: %95 Tahmin Belirsizliği
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AK/AÖ	: Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü
BTG	: Büyük Toprak Grupları
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CFSR	: Climate Forecast System Reanalysis
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
CREAMS	: Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems
CT	: Merkez Zamanı
DSİ	: Devlet Su İşleri
EOS	: Earth Observing System
EPIC	: Erosion Productivity Impact Calculator
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
GLEAMS	: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems
GLUE	: Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
HRU	: Hydrological Response Units
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
KGİ	: Kar Gözlem İstasyonu
KKK	: Kar Kaplı Alan
KSE	: Kar – Su Eşdeğeri
MCMC	: Markov Chain Monte Carlo
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MPI-ESM	: Max Planck Institute for Meteorology – Earth System Model
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NCEP	: National Centers for Environmental
NSE	: Nash – Sutcliffe Efficiency
ParaSOL	: Parameter Solution
PBIAS	: Yüzdelik Sapma
PSO	: Particle Swarm Optimization
QUAL2E	: The Enhance Stream Quality Model
R ²	: Determinasyon Katsayısı
RCP	: Representative Concentration Pathway
ROTO	: Routing Outputs to Outlet
SRM	: Snowmelt Runoff Model
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
SSAR	: Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation
SUFI-2	: Sequential Uncertainty Fitting – 2
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
SWAT-CUP	: SWAT Calibration and Uncertainty Program
SWRRB	: Simulator for Water Resources in Rural Basins
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
UA	: Uzaktan Algılama
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USDA-ARS	: United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service
WGEN	: Weather Generator

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlığın suya ihtiyacı süregelen ve suyu faydalı bir şekilde kullanabilmek her zaman temel çabalardan biri olmuştur. Günümüzde de su kaynaklarının korunumu ve kullanılması oldukça öncelikli ve insanlık için hayati bir konu olarak gündemdedir. Yeryüzünde su çevriminin bir parçası olan yağışın miktarı ve niteliği; düşen yağışın akarsulardaki akışı ise kontrolü ve kullanımı olarak büyük önem taşımaktadır. Şöyle ki, insanlığın ihtiyaç duyduğu suyun karşılanabilmesi, yağışın yeryüzüne düşüp akışa geçen kısmının doğru ve etkili bir biçimde kullanılabilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle, su çevriminin küresel veya bölgesel olarak iyi tanınması ve incelenmesi gerekmektedir. Yeryüzündeki yağış-akış ilişkisini temsil eden hidrolojik modelleme çalışmaları, bahsedilen su çevriminin kontrol edilip üzerinde çeşitli amaçlarla çalışılabilmesi açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Değişen iklim koşulları ve artan nüfus ile su kaynaklarının nitelik ve nicelik olarak olumsuz etkilenmesi, bu kaynakların verimli bir şekilde kullanılabilmesi hedefiyle yapılan hidrolojik modelleme çalışmalarının önemini artırmaktadır.

Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili bir yarımada olmasına karşın ortalama yükseltisi 1130 m civarında olan dağlık bir ülkedir. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde, kar yağışının hakim olduğu ve kar örtüsünün erimesi ile akışa geçen su miktarının oldukça fazla olduğu su havzaları bulunmaktadır. Bu bölgede bulunan havzalara ait su potansiyelinin planlanması ve kontrol edilmesi hem suyun verimli kullanılabilmesi hem de havzaların sınır aşan nehirlerle ait olması sebebiyle politik anlamda büyük ehemmiyete sahiptir. Bu tez çalışmasında, uygulama alanı olarak seçilen Fırat havzasının membasında bulunan Murat-1 ve Karasu-1 havzaları, tüm bu sebeplerden ötürü hidroloji çalışmalarında önem arz etmektedir. Üzerinde Keban, Karakaya ve Atatürk gibi büyük barajların inşa edilmiş olması, Fırat havzasının su potansiyeli açısından önemini açıkça göstermektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan fiziksel tabanlı bir model olan SWAT, dünya genelinde ve Türkiye'de etkin ve yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Modelin dünya üzerindeki dağlık ve kar erimesinin akışa katkısının fazla olduğu havzalarda uygulamaları da mevcuttur; fakat Türkiye'deki çalışmalarda, ortalama yüksekliği düşük ve kar baskın olmayan havzalar çalışma alanı olarak seçilmiştir. Diğerlerinden farklı olarak bu çalışma, Murat-1 ve Karasu-1 havzaları için oluşturulan SWAT modelleri ile Türkiye'deki dağlık

ve kar baskın havzalar üzerinde etkili bir biçimde kullanımı hedeflenerek bu konuda öncü bir çalışma özelliği taşımaktadır. Buna ilave olarak, modelleme çalışması uzaktan algılama araçları ile desteklenerek model başarısının artırılması sağlanmıştır ve kullanılmaya hazır, güvenilir bir hidrolojik model elde edilmiştir. Elde edilen model, iklim değişikliğinin dünya su kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerinin araştırılması ve değerlendirilmesi adına iklim değişikliği modeline ait iki farklı senaryo baz alınarak üretilen yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak kar ve akım çıktılarına ait sonuçlardaki değişim değerlendirilmiştir.

Temel olarak bu tez metni, çalışma ile ilgili genel bilgilerin verildiği giriş kısmı ile başlamaktadır. İkinci kısım; çalışma alanının tanıtıldığı ve bu çalışma alanına ait elde edilen hidro-meteorolojik verilerin ve modelleme için gereken fiziksel girdilerin analiz edildiği bölümdür. Üçüncü kısımda, hidrolojik bir modellemenin mantığı ile birlikte SWAT tanıtılmış ve literatürde yer alan, dağlık ve kar baskın havzalara ait daha önceki SWAT uygulamaları kronolojik olarak verilmiştir. Dördüncü kısım, modelin uygulanışını ayrıntılarıyla sunmaktadır: Model girdilerinin hazırlanması, baz modelin kurulumu ve kar parametrelerinin uzaktan algılama araçları kullanılarak ayarlanması dördüncü kısmın alt başlıklarını oluşturmaktadır. Beşinci kısımda modelin akıma göre kalibrasyonu ve validasyonu işlemleri anlatılmış, aynı zamanda yer gözlem istasyonlarından alınan veriler ile kıyaslanan model kar çıktılarına ait doğrulama işlemi de gösterilmiştir. Modele ait su dengesi bileşenlerinin değerlendirilmesi de beşinci bölümün içerisinde yer almaktadır. Altıncı kısım, iklim değişikliği modelinden elde edilen senaryolara ait verilerin çeşitli periyotlardaki model çıktıları ile karşılaştırılarak sonuçların değerlendirilmesinden ibarettir. Son olarak, yapılan çalışmaya ait sonuçlar ve gelecek çalışmalar için sunulan öneriler yedinci kısımda toplanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİ

Bu tezde yapılacak çalışmalar Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Murat-1 ve Karasu-1 su havzalarını kapsamaktadır. Dağlık bir coğrafyaya sahip olan Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinden birisidir. 164000 km²'lik yüz ölçümü ile Türkiye topraklarının %21'ini kaplar. Ayrıca bu bölge, ülkenin nüfusu ve nüfus yoğunluğu en az olan bölgesidir (http-1).

İklim koşulları ve fiziki özellikleri dolayısıyla Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Aras, Kura, Fırat ve Dicle gibi akım rejimleri düzensiz büyük akarsular mevcuttur. Bunlardan Fırat ve Dicle Nehirleri, su potansiyeli bakımından Türkiye'nin en büyük su hacmine sahip iki akarsuyudur. Fırat Nehri'nin altı ana kolundan dördü, Karasu, Murat, Munzur ve Peri, Doğu Anadolu'daki dağlardan doğar ve kar erimeleriyle beslenir; bu dört kol ayrı ayrı Keban Baraj gölüne dökülmektedir. Diğer iki kol, Tohma ve Göksu nehirleri, Keban'ın güneyinde Fırat'a katılarak Karakaya Baraj gölüne dökülmektedirler (Usul, 2006). Dicle nehrinin en önemli kolları ise; Batman, Botan, Habur, Büyük Zap ve Küçük Zap'tır.

Güney Batı Asya'nın en uzun nehri olan Fırat Nehri, yıllık 35.6 milyar metreküplük akım potansiyeline sahiptir ve 1236 km'si Türkiye sınırları içerisinde olmak üzere toplam uzunluğu 2700 km'dir (Aytemiz ve Kodaman, 2006). Fırat Nehri üzerinde kurulmuş olan büyük barajlar sırasıyla Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik ve Karkamış Barajları'dır. Bu barajların büyük haznelere sahip olması bu bölgede su kaynaklarının planlaması ve yönetiminin önemini artırmaktadır (Ertaş, 2014).

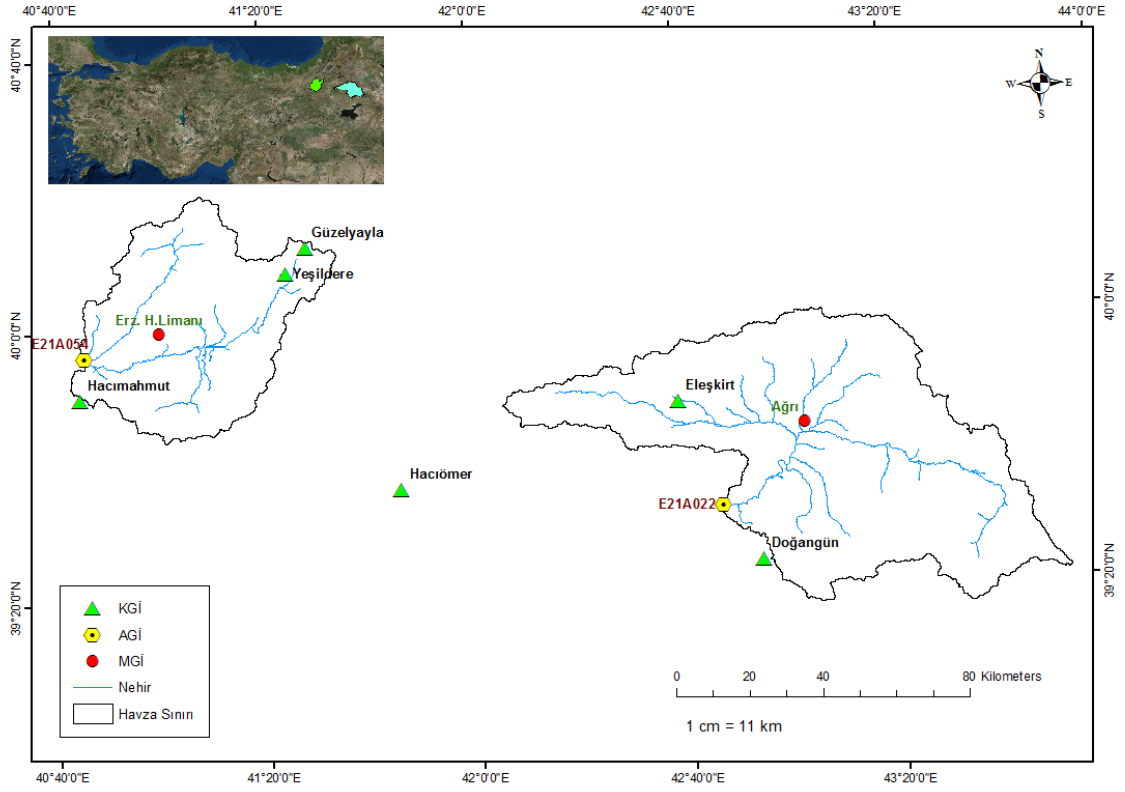
Çalışma alanı olarak seçilen havzalar, Fırat nehrinin Murat ve Karasu kollarının oluşturduğu havzaların memba kısımlarında bulunmaktadır. Şekil 2.1'de Türkiye'de bulunan ana nehir ağları ve bu nehirlerin oluşturduğu 26 ana su havzası ile Murat-1 ve Karasu-1 havzalarının konumları gösterilmiştir. Seçilen bu çalışma alanları birbirine coğrafi bakımdan yakın olmakla birlikte ortalama yükselti, eğim ve meteorolojik anlamda benzer özellikler gösteren iki havzadır. Bu tez çalışmasının amacı doğrultusunda, Türkiye'nin dağlık bir bölgesinde yer almaları, bölgede meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarının mevcut olması ve bu istasyonlarda ölçülmüş geçmiş yıllara ait verilerin bulunması bu havzaların çalışma alanı olarak seçilmesinde etkili olmuştur.



Şekil 2.1. Türkiye’deki havzalar ve Murat-1 ve Karasu-1 havzalarının konumu

Havzalar, 39° 20' ve 40° 05' kuzey enlemleri, 40° 07' ve 43° 08' doğu boylamları arasında bir çerçevede bulunmaktadır., Murat-1 havzası yaklaşık 5928 km², Karasu-1 havzası ise yaklaşık 2819 km² drenaj alanına sahiptir. Havzaların bulunduğu koordinatlar ve nehir ağları Şekil 2.2’de gösterildiği gibidir.

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi her iki havzanın da çıkış noktalarında Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından işletilen birer adet akım gözlem istasyonu (AGİ), havzaların sınırları içerisinde de Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen meteoroloji gözlem istasyonu (MGİ) bulunmaktadır. Murat-1 havzası çıkış akımları E21A022 numaralı Tutak AGİ, Karasu-1 havzası çıkış akımları ise E21A054 numaralı A. Kağdariç AGİ tarafından kontrol edilmektedir. Yağış ve sıcaklık değerlerini içeren meteoroloji verileri ise Murat-1 havzasını temsil eden Ağrı MGİ ve Karasu-1 havzasını temsil eden Erzurum Havalimanı MGİ tarafından sağlanmaktadır. Ayrıca, havza sınırları içerisinde ve civarında, farklı kotlarda bulunan DSİ tarafından işletilen kar gözlem istasyonları (KGİ) da mevcuttur. Her iki havzayı temsilen üçer adet KGİ bulunmaktadır.



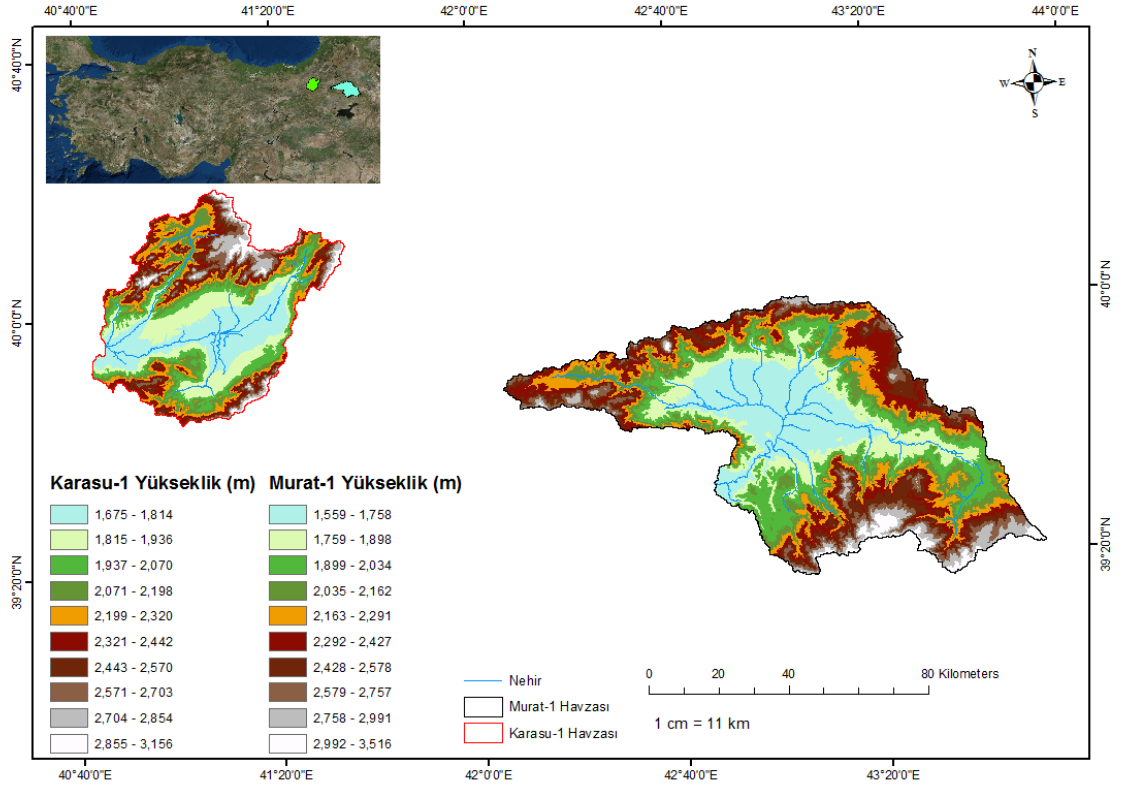
Şekil 2.2. Havzaların coğrafi konumu ve ölçüm ağları

2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Analizleri

Çalışma alanlarına ait yükseklik, eğim ve bakı analizleri CBS platformunda yapılmıştır. Bunun için ESRI yayımcı firması tarafından sağlanan ArcGIS-ArcMap programının 10.4.1 sürümü kullanılmıştır. Bu analizler ile çalışma alanlarına ait coğrafi ve topografik özelliklerin incelenmesi hem çalışma alanı olarak seçilen bölgelerin tanınması hem de hidrolojik modelleme sonuçlarının yorumlanması açısından büyük öneme sahiptir.

Analizlerde, Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) için Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) tarafından sağlanan 90 x 90 m mekansal çözünürlüklü veri kullanılmıştır (<http-2>). Bu veri, çalışmanın ileriki bölümlerinde sunulacak hidrolojik modelleme çalışmalarında da kullanılmıştır.

İki havza da SYM verileri kullanılarak on yükseklik sınıfına ayrılmıştır (Şekil 2.3). Böylece havzaların yüksekliğine ait değerler anlamlı ve daha anlaşılır hale getirilmiştir.

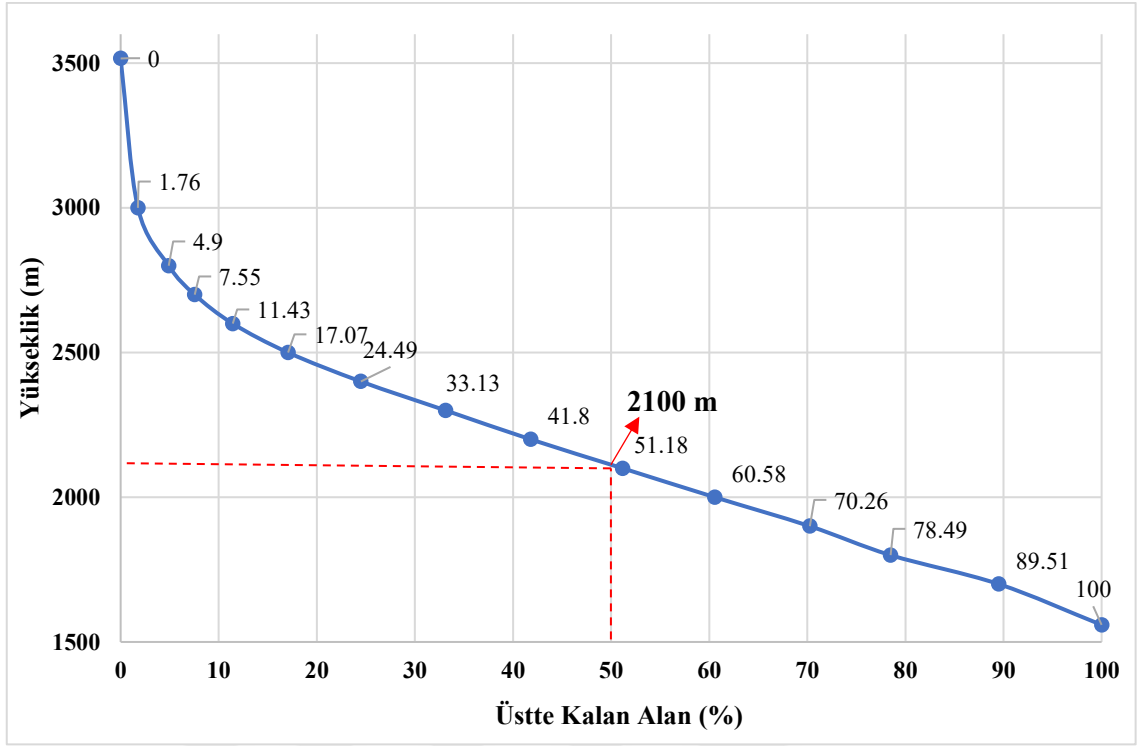


Şekil 2.3. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait yükseklik haritası

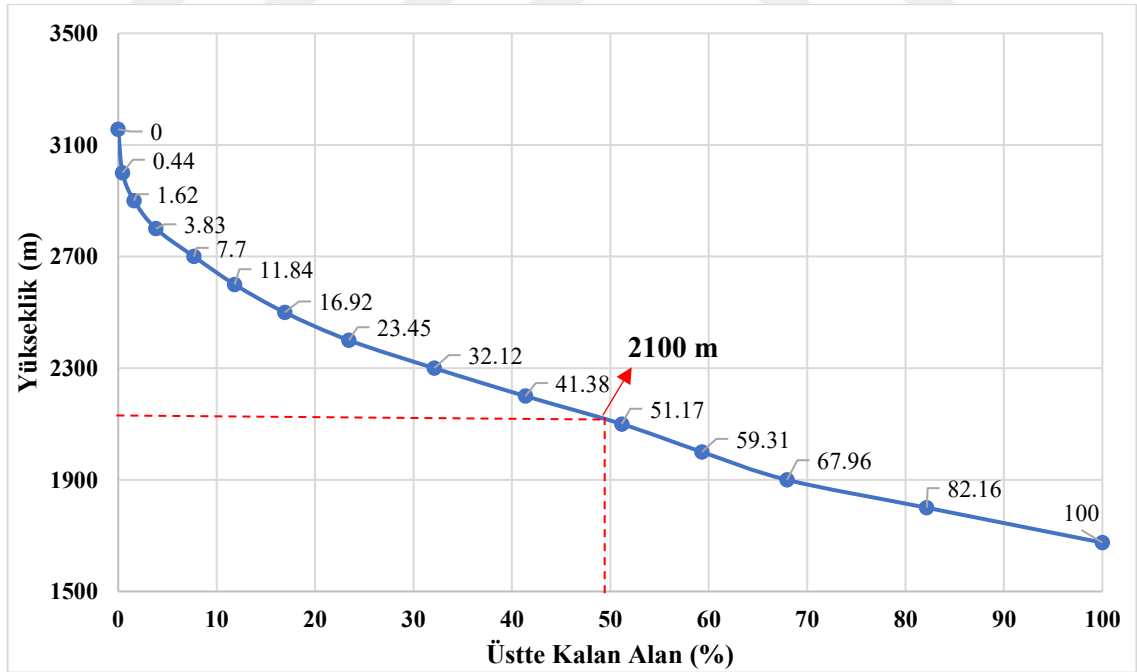
Havzalara ait yükseklik haritalarından da anlaşılabacağı gibi her iki havza da yüksekliği fazla dağlık bir coğrafyada bulunmaktadır. Ortalama yükseklikleri birbirine yakın olan havzalardan Murat-1 havzasına ait en yüksek nokta 3516 m iken Karasu-1 havzasında bu zirve yüksekliğinin daha düşük bir değer olan 3156 m olduğu görülmektedir.

Ayrıca, havzalara ait yükseklik haritaları kullanılarak, yükseklik-alan dağılımını gösteren hipsometrik eğri adı verilen grafikler üretilmiştir (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5). Eğrilerden elde edilen sonuçlara göre; her iki havza için de yaklaşık 2100 m'nin altında kalan yükseklikler alansal olarak havzaların %50'sini oluşturmaktadır.

Sonuçta, yükseklik bakımından incelenen bu havzaların birbirine oldukça benzer özellikler gösterdiği söylenebilir.

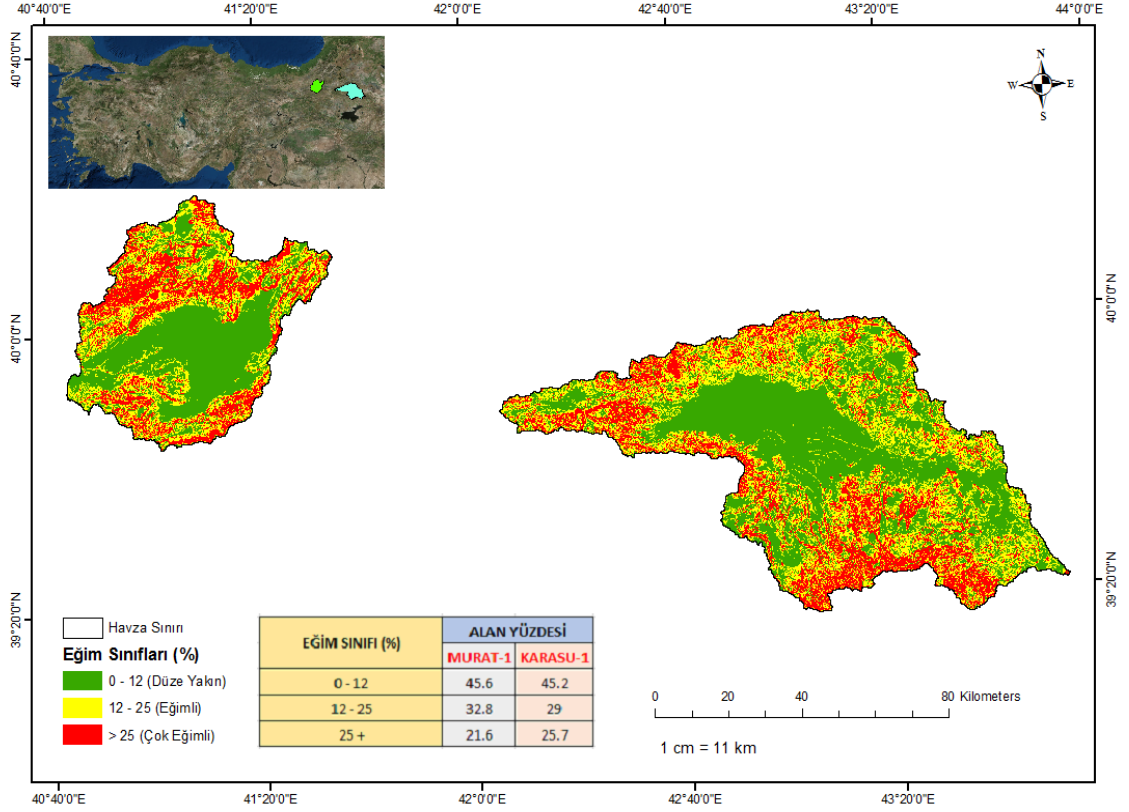


Şekil 2.4. Murat-1 havzasına ait hipsometrik eğri



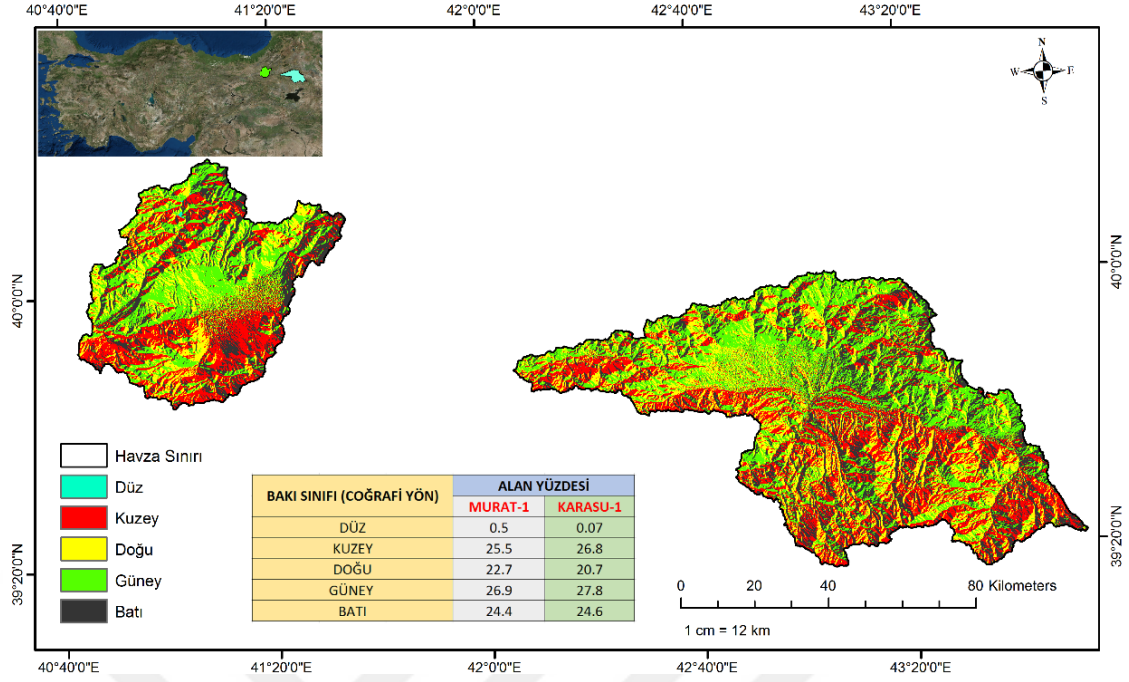
Şekil 2.5. Karasu-1 havzasına ait hipsometrik eğri

Yaklaşık ortalama eğimleri sırasıyla %15.7 ve %16.5 olan Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait eğim haritaları bulundukları bölgelerin coğrafyasıyla tutarlı bir dağılım göstermektedir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi Murat-1 havza sınırları içerisinde bulunan Ağrı ili ve Karasu-1 havza sınırları içerisinde bulunan Erzurum iline ait bölgeler düze yakın bir eğim sınıfında bulunurken bu yerleşim alanları dışında kalan kısımların büyük ölçüde dağlık ve eğimli oldukları gözlenmektedir.



Şekil 2.6. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait eğim haritası

Havzaların güneş ışınlarını alışı yönüne (bakı) göre sınıflandırılarak oluşturulan bakı haritası Şekil 2.7’deki gibidir. Burada CBS platformunda yapılan bakı analizi sonuçları, dört ana yön ve düz olarak ifade edilen (herhangi bir yöne eğilim göstermeyip direkt gökyüzüne bakan hücreler) 5 sınıfa ayrılarak harita daha anlaşılır bir hale getirilmiştir. Bakı haritası incelenerek havzanın farklı bölgelerinin güneş ışınlarını alışı yönleri tespit edilebilir.



Şekil 2.7. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait baki haritası

2.2. Hidro-meteorolojik Veri Analizleri

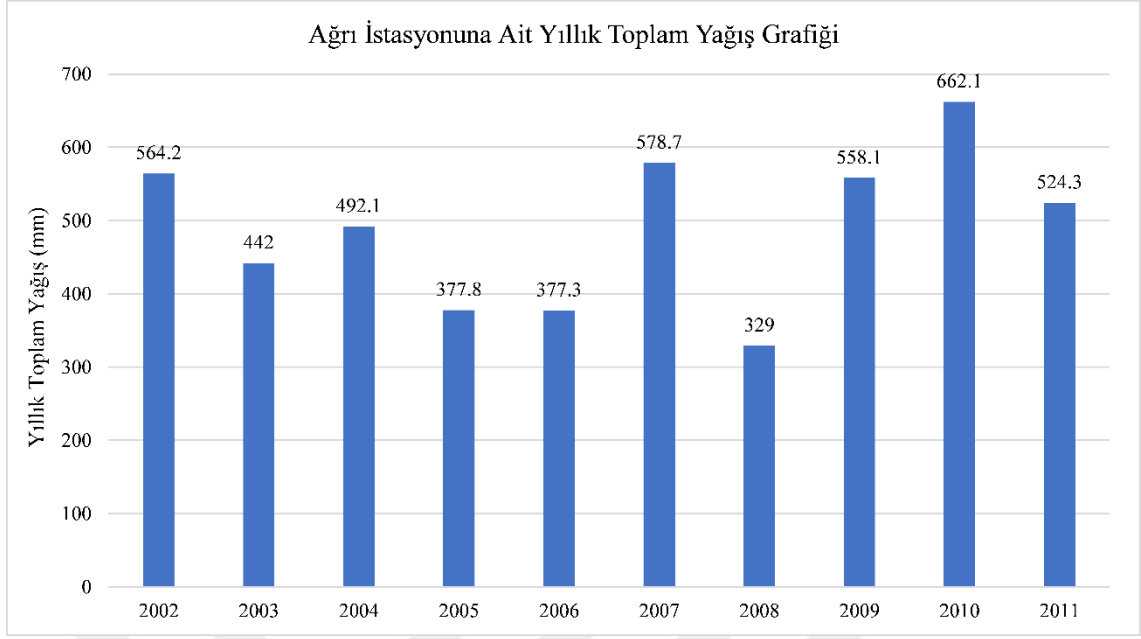
Hidroloji çalışmalarında verinin önemi çok büyüktür. Su kaynaklarının yönetilmesi amacıyla yapılan tasarım ve işletme uygulamalarında çalışma alanına dair hidro-meteorolojik verilerin bilinmesi son derece önemlidir. Hem çalışma alanının bulunduğu coğrafi bölgenin hidrolojik özelliklerini tanımak hem de hidrolojik modelleme gibi bir su mühendisliği çalışması ortaya çıkarmak için öncelikle hidrolojik veriye ihtiyaç duyulur. Sonuç olarak, doğru, güvenilir ve güncel verinin elde edilmesi önemli bir ön koşuldur (WMO, 1999); bu verinin de toplanıp depolanması sonucu analiz edilmesi amacıyla kullanılması hidrolojik bir çalışmanın basamaklarını oluşturmuş olur.

Hidro-meteorolojik verinin toplanması ve veri tabanlarında depolanması gelişmiş ülkelerde bir ya da daha fazla sorumlu kurum tarafından yapılır. Türkiye’de bu işi Devlet Su İşleri (DSİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) üstlenmektedir. Bu kurumlara ait istasyonlar tarafından yapılan yağış, akım, kar derinliği gibi ölçümler veri tabanlarında depolanır ve analiz edilir; ancak veri toplama işlemi dağlık ve yüksek kotlarda hızlı ve kolay bir şekilde sağlanamamaktadır.

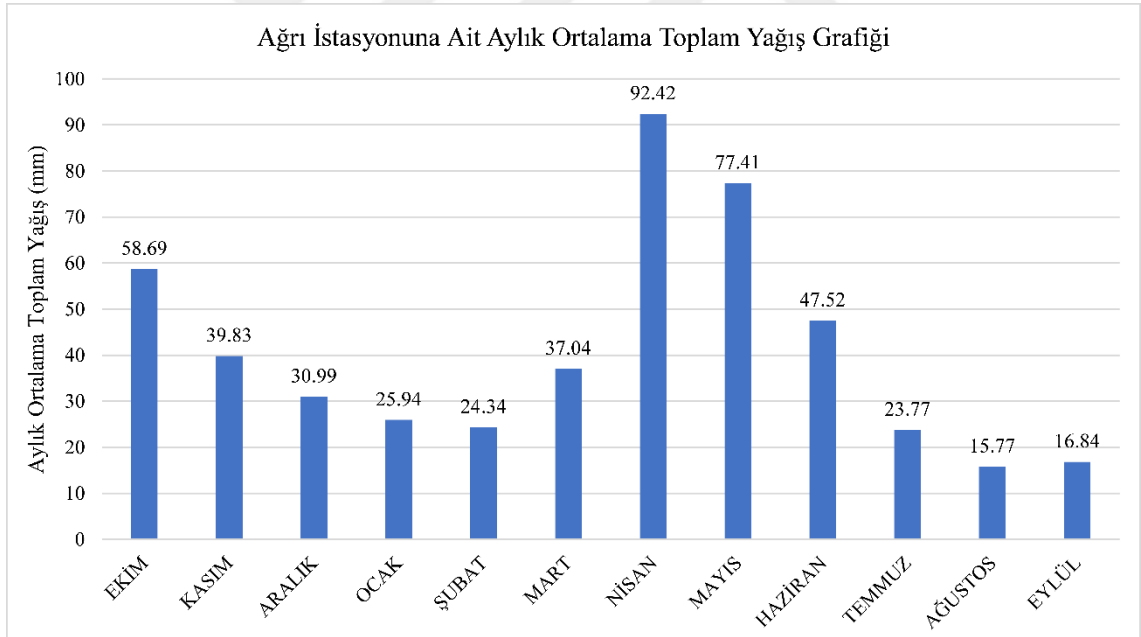
Bu tez çalışmasında çalışma alanı olarak seçilen bölgelerin yüksek kotlarda bulunan dağlık havzalar olmasından ötürü, özellikle kış aylarında, mevsim koşullarının zorluğu ve ulaşım problemlerinin yaşanması sebebiyle veri toplama işleminin tehlikeli ve pahalı olduğu gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır.

Hidrolojik modelleme çalışması sırasında yağış yüksekliği, en yüksek ve en düşük hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgâr hızı verileri kullanılacak olan hidro-meteorolojik girdileri oluşturmaktadır. Bunlar arasından yağış ve sıcaklık verisi MGM tarafından sağlanan istasyonlardan kullanılarak hazırlanmıştır. Daha önceki bölümlerde konumları gösterilen bu meteoroloji gözlem istasyonları Murat-1 havzası için Ağrı MGİ, Karasu-1 havzası için Erzurum Havalimanı MGİ'dir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da Ağrı MGİ'ye ait sırasıyla yıllık ve aylık ortalama toplam yağış miktarları, 2001-2011 periyodundaki su yılları için verilmiştir. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de ise aynı periyottaki su yıllarına ait sırasıyla yıllık ve aylık ortalama toplam yağış miktarları Erzurum Havalimanı MGİ için verilmiştir. Aynı istasyonlarda ölçülmüş yıllık ve aylık ortalama sıcaklık değerleri Ağrı MGİ için sırasıyla Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te; Erzurum Havalimanı MGİ için ise sırasıyla Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te gösterildiği gibidir.

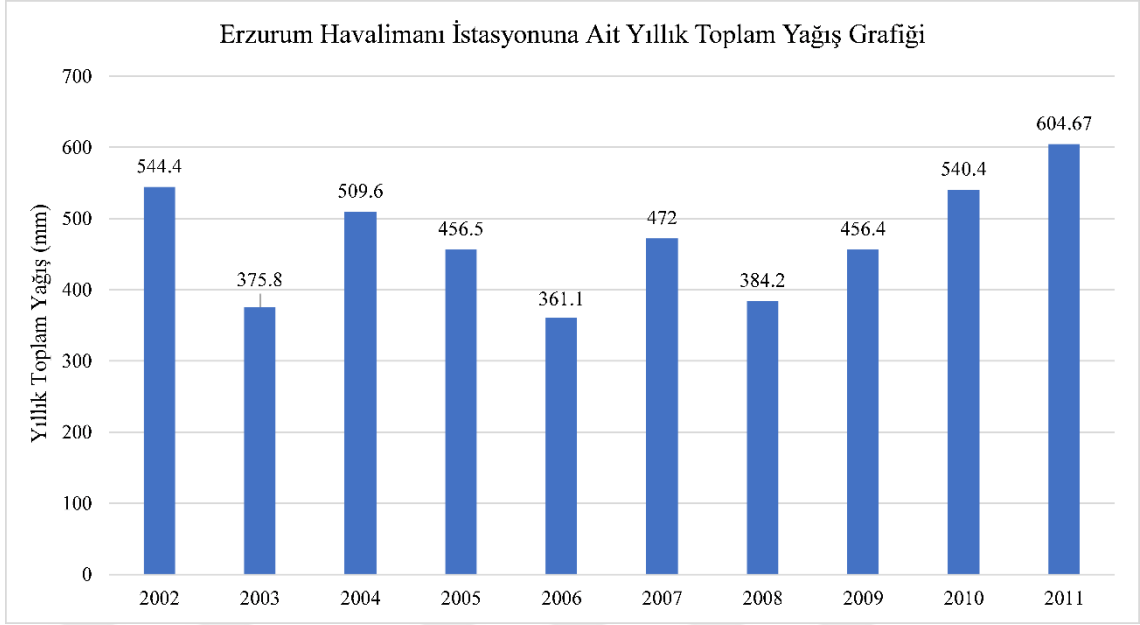
Havzalara ait hidrolojik modelleme sonuçlarının değerlendirilmesi açısından öneme sahip olan akım gözlem istasyonları daha önceki bölümlerde konumları gösterildiği gibi havzaların çıkış noktalarında yer almaktadır. 2001-2011 su yıllarındaki Murat-1 havzası için kullanılan E21A022 AGİ'ye ait yıllık ve aylık ortalama akım değerleri Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'de, Karasu-1 havzası için kullanılan E21A054 AGİ'ye ait yıllık ve aylık ortalama akım değerleri ise Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da gösterilmektedir.



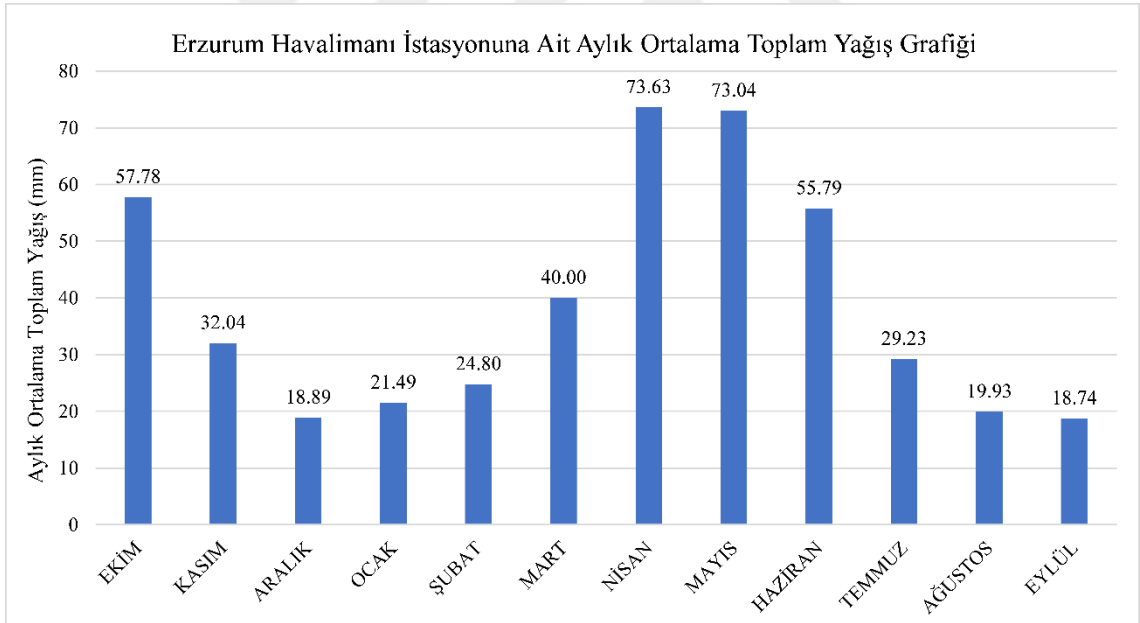
Şekil 2.8. Ağrı MGI'de ölçülen yıllık toplam yağışlar



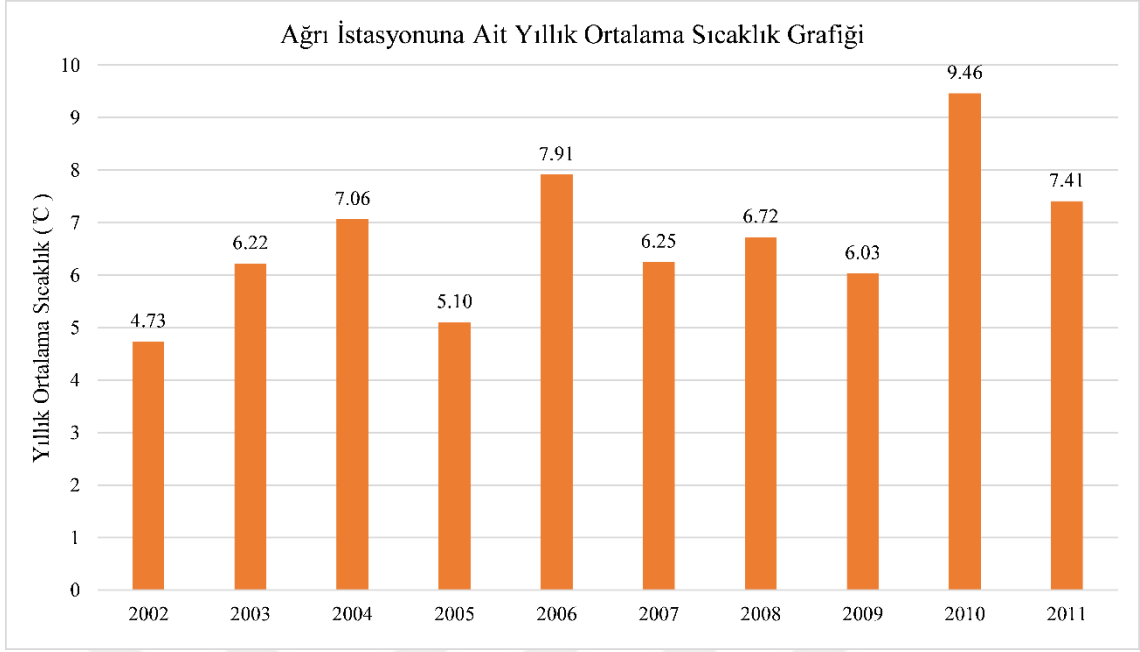
Şekil 2.9. Ağrı MGI'de ölçülen aylık ortalama toplam yağışlar



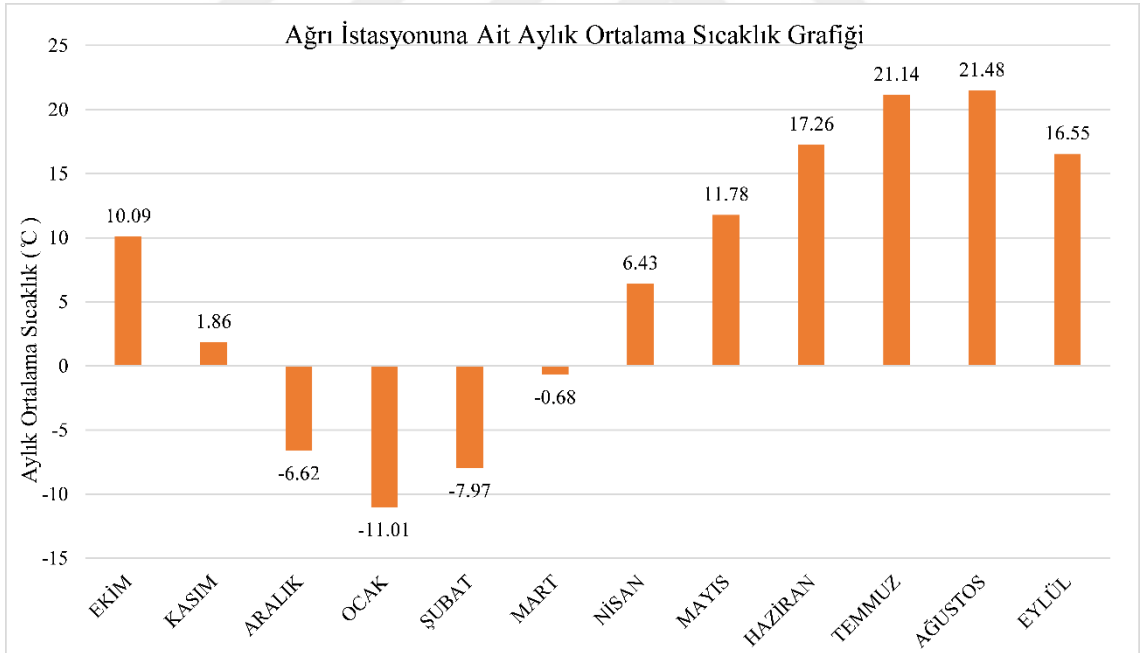
Şekil 2.10. Erzurum Havalimanı MGİ’de ölçülen yıllık toplam yağışlar



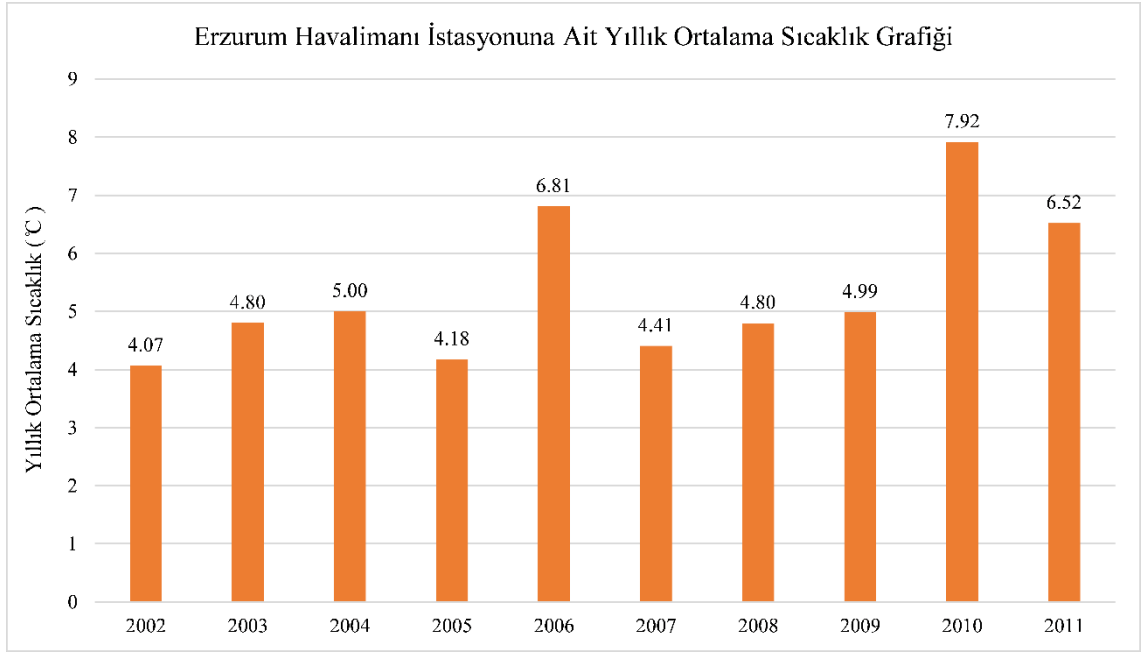
Şekil 2.11. Erzurum Havalimanı MGİ’de ölçülen aylık ortalama toplam yağışlar



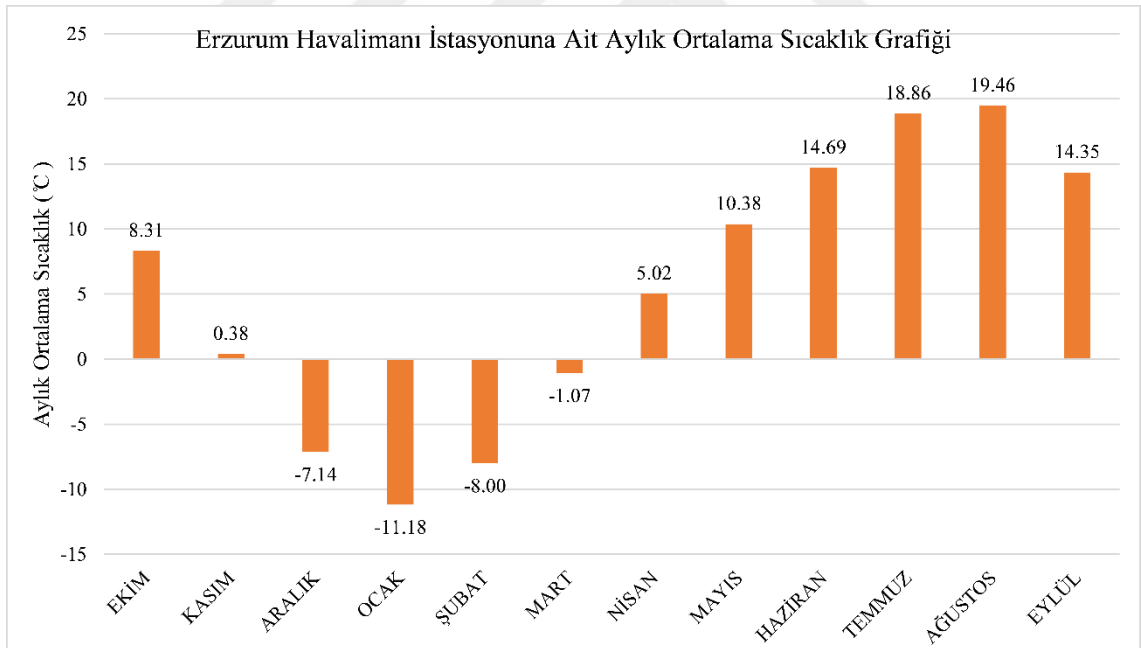
Şekil 2.12. Ağrı MGİ'de ölçülen yıllık ortalama sıcaklıklar



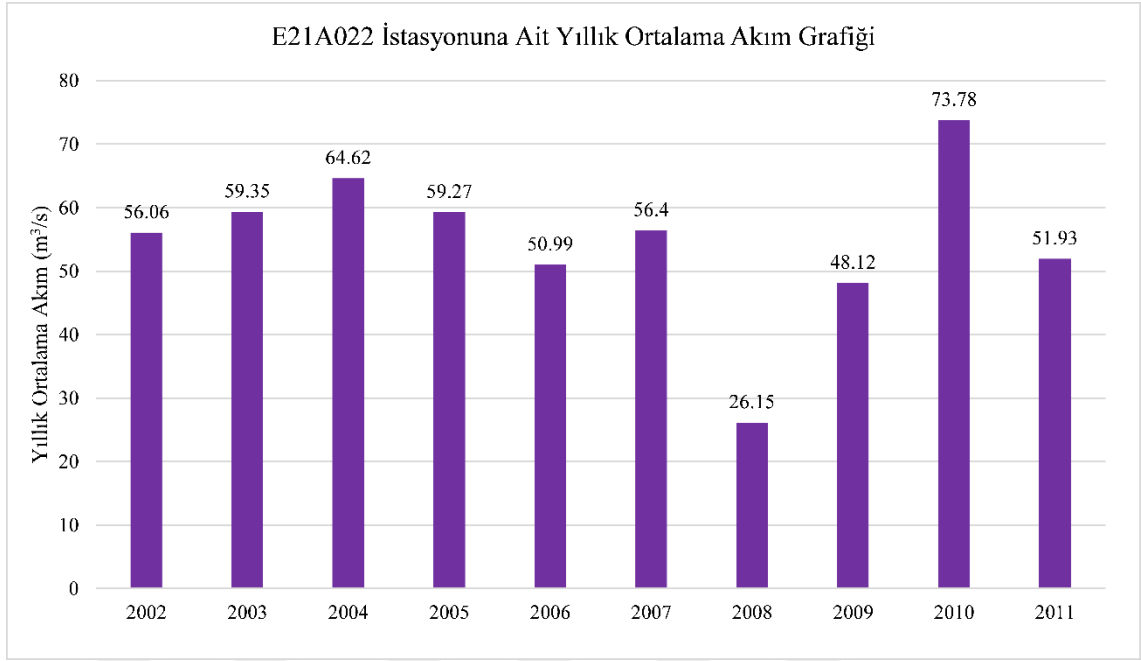
Şekil 2.13. Ağrı MGİ'de ölçülen aylık ortalama sıcaklıklar



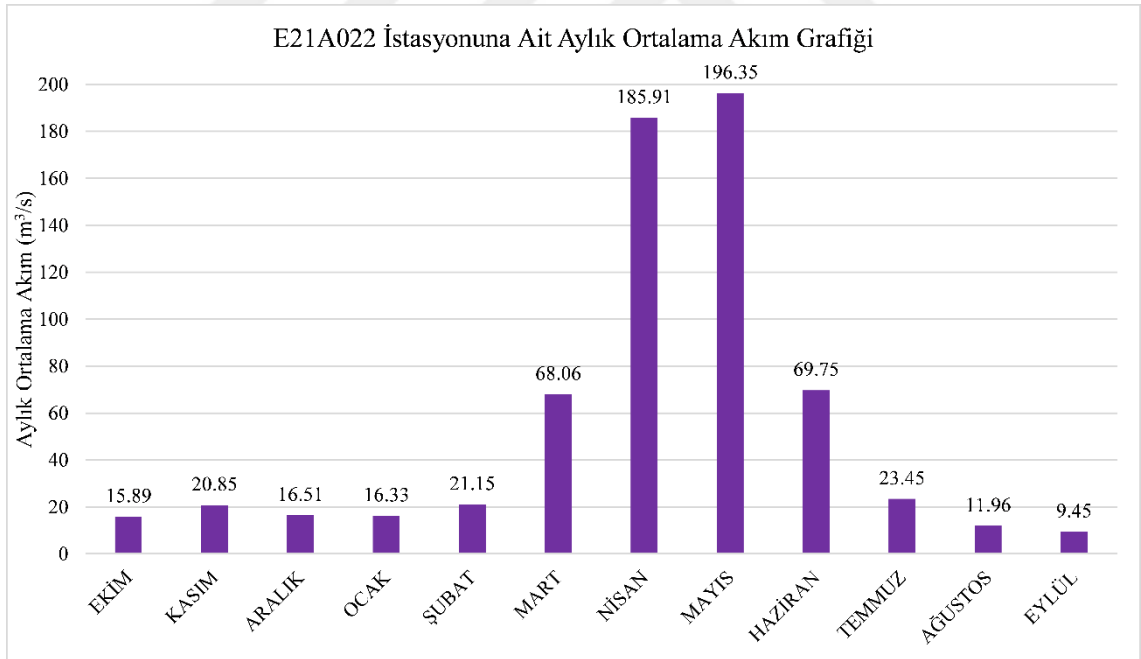
Şekil 2.14. Erzurum Havalimanı MGİ'de ölçülen yıllık ortalama sıcaklıklar



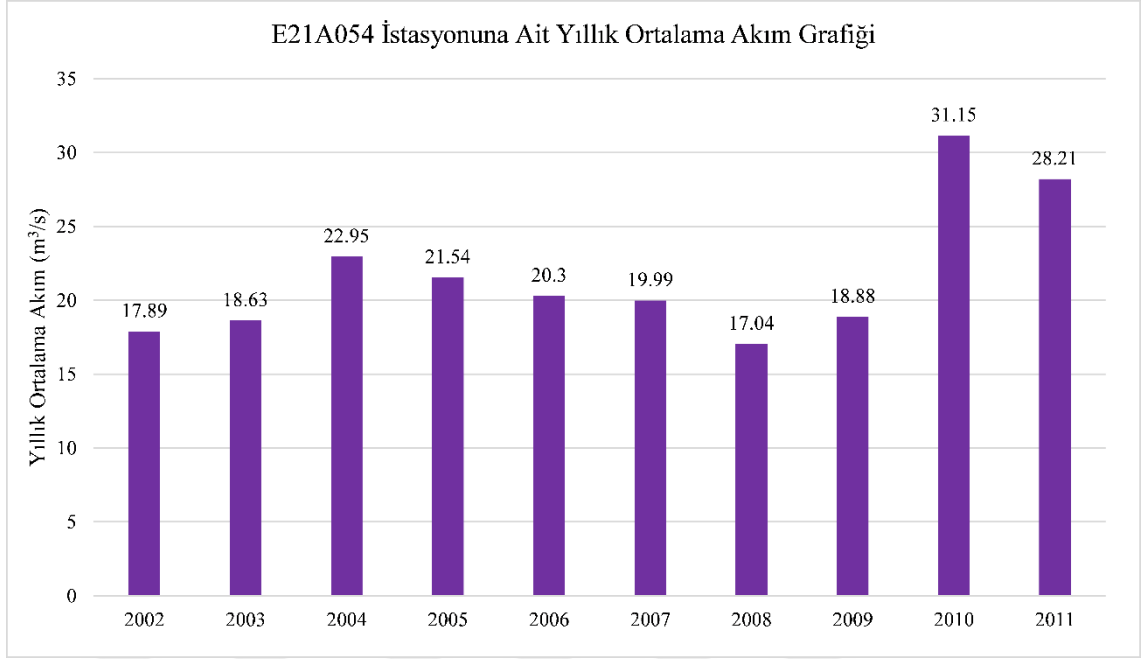
Şekil 2.15. Erzurum Havalimanı MGİ'de ölçülen aylık ortalama sıcaklıklar



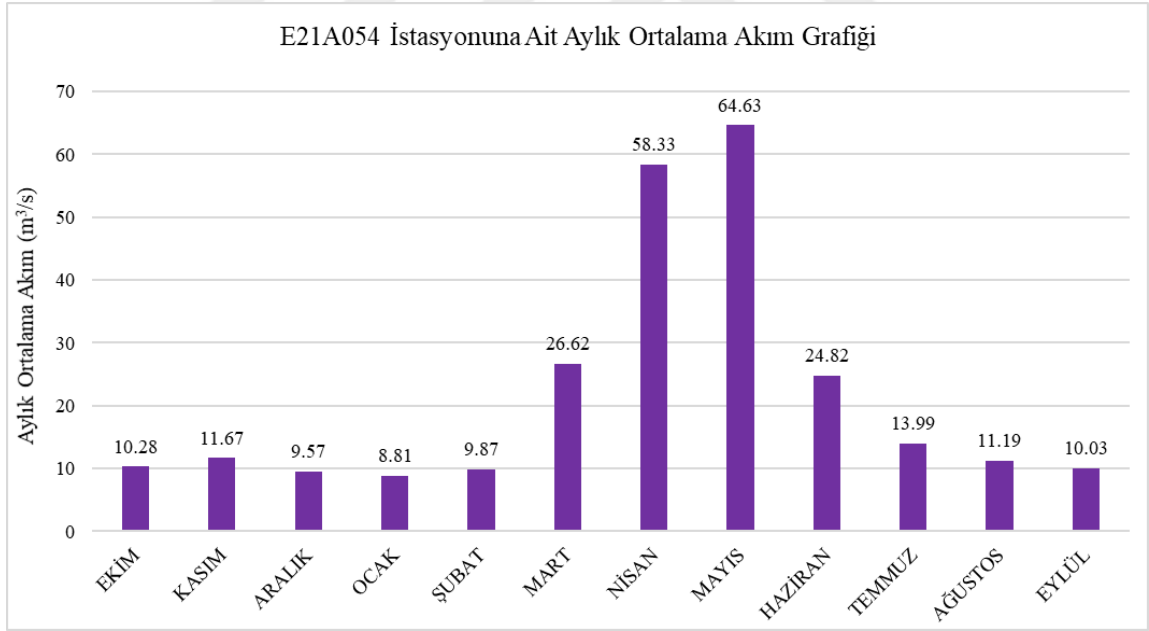
Şekil 2.16. E21A022 AGİ'de ölçülen yıllık ortalama akımlar



Şekil 2.17. E21A022 AGİ'de ölçülen aylık ortalama akımlar



Şekil 2.18. E21A054 AGİ'de ölçülen yıllık ortalama akımlar



Şekil 2.19. E21A054 AGİ'de ölçülen aylık ortalama akımlar

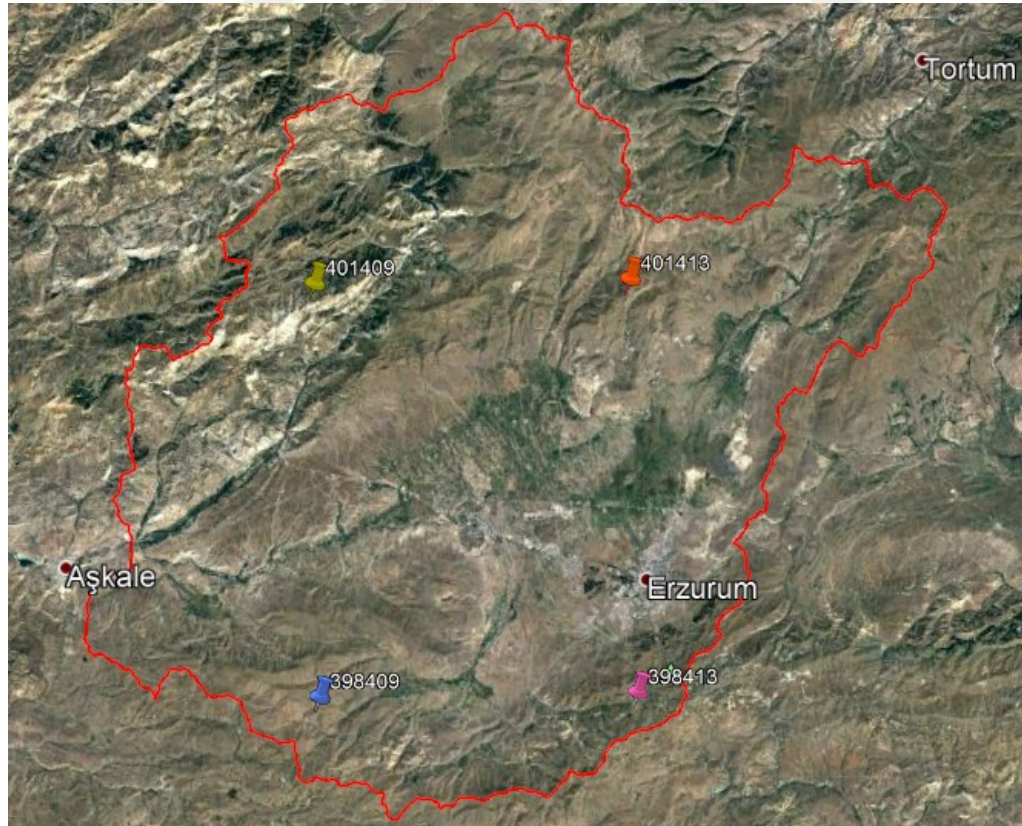
MGM tarafından işletilen bu MGI'lerde yağış ve sıcaklığa ait ölçümler yapılmaktadır; ancak bu tezdeki hidrolojik modelleme çalışmasında kullanılacak olan diğer hidro-meteorolojik veriler (bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgar hızı) için bu istasyonlar yetersiz kalmaktadır. Bunun için, NCEP (National Centers for Environmental Prediction) CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) tarafından sağlanan 1979-2014 sürecindeki 36 yıllık küresel iklim verisi kullanılmıştır (<http-3>). Bu veri dünya çapında belirli yer gözlem istasyonları baz alınarak türetilen yağış, en yüksek ve en düşük sıcaklık, bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgâr hızı tahmin verilerini içermektedir. Bu küresel iklim verileri açık kaynaklı olarak sunulmakta olup bu tez çalışmasında kullanılacak olan hidrolojik modelin girdi formatına uygun bir biçimde ücretsiz edinilebildiği için bu çalışmada tercih edilmiştir.

NCEP CFRS tarafından sağlanan bu küresel iklim verileri, dünya genelinde istenilen koordinatlar belirlenerek, belirlenen bu koordinatların oluşturduğu çerçeveye düşen tahmini ölçüm noktaları olarak temin edilebilmektedir. Murat-1 ve Karasu-1 havzaları için belirlenen koordinatlar içerisinde, havzaların sınırları içinde kalan tahmini ölçüm noktalarının konumları sırasıyla Şekil 2.20 ve Şekil 2.21'de uydu görüntüsü üzerinde gösterilmektedir. Bu istasyonlara ait veriler sayesinde, modelleme için daha önce belirtilen beş farklı hidro-meteorolojik girdi arasından bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgâr hızı verileri temin edilmiştir.

Murat-1 havzası sınırları içerisinde sekiz; Karasu-1 havzası sınırları içerisine ise dört farklı tahmini ölçüm istasyonu girmektedir.



Şekil 2.20. Murat-1 havzasına ait küresel iklim verisi tahmini ölçüm istasyonları

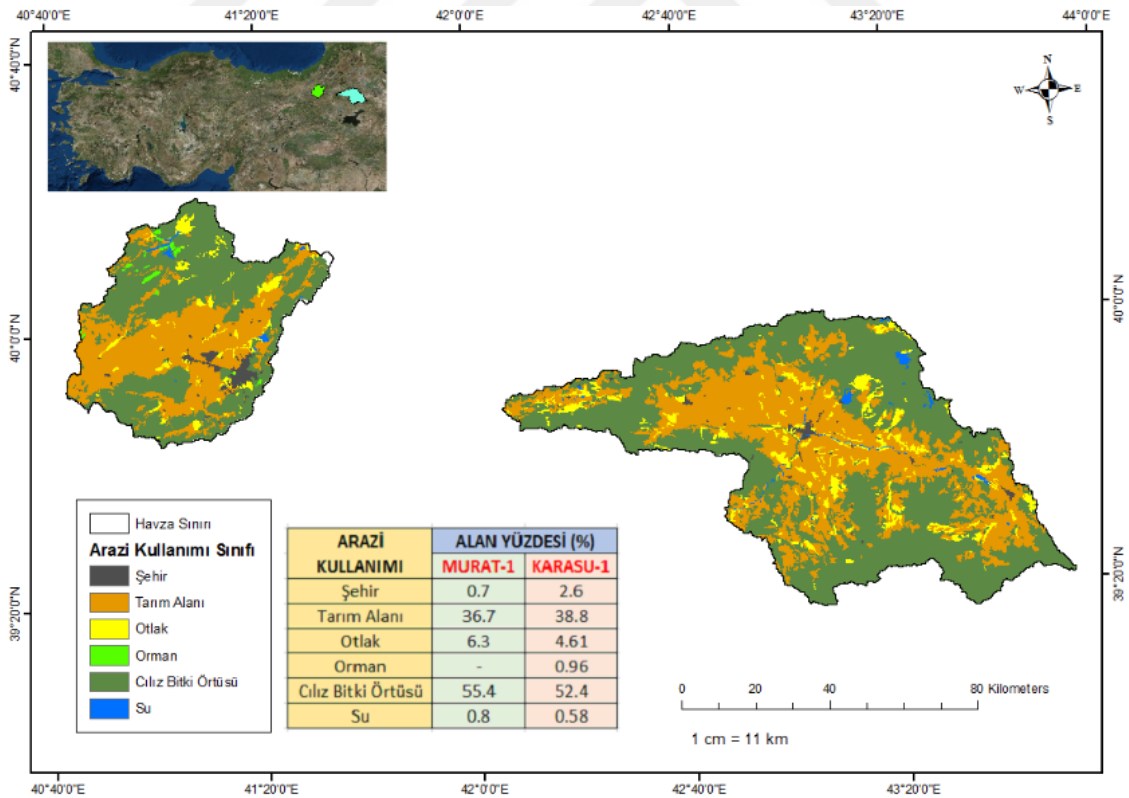


Şekil 2.21. Karasu-1 havzasına ait küresel iklim verisi tahmini ölçüm istasyonları

2.3. Arazi Kullanımı ve Toprak Çeşidi Verisinin İncelenmesi

Çalışma alanlarının tanınması için havzalara ait hidro-meteorolojik verinin yanında arazi kullanımı ve toprak yapısı ile ilgili özelliklerin de bilinmesi oldukça önemlidir. Ayrıca, arazi kullanımı ve toprak çeşidi haritaları, bu tez kapsamında havzalar üzerinde uygulanacak hidrolojik modelleme çalışmalarında birer girdi olarak kullanılacaktır.

Bir bölgenin sahip olduğu arazi örtüsü ve arazinin kullanım şekli, havzaya ait hidrolojik süreçleri doğrudan etkileyen unsurlar olduğu için iyi tanınmalıdır. Bu amaçla, Arazi kullanımı/Arazi örtüsü (AK/AÖ) konusunda en yaygın yöntemlerden biri olan, CBS ve uzaktan algılama (UA) teknikleri ile üretilmiş CORINE (Coordination of Information on the Environment) sistemine ait arazi örtüsü haritası bu çalışmada kullanılmak üzere tercih edilmiştir. Murat-1 ve Karasu-1 havzaları için kestirilerek hazırlanan 1:100000 ölçekli CORINE arazi örtüsü haritası Şekil 2.22’de gösterilmiştir (http-4).



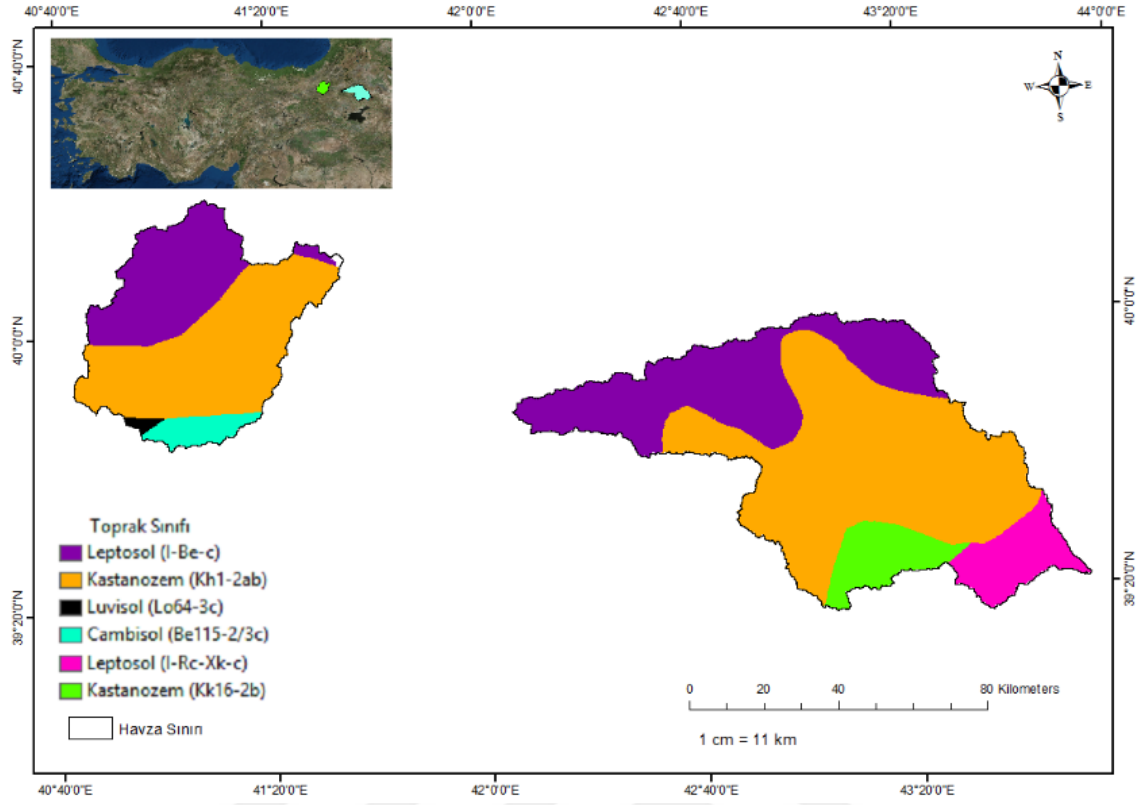
Şekil 2.22. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait arazi kullanımı haritası

Havzaların dağlık ve engebeli bir coğrafyada bulunmasından dolayı şehirleşmenin az olması beklenmektedir; arazi kullanımı haritasına bakıldığında bu durum açıkça görülmektedir. Bunun yanında, havzaların yer aldığı arazi örtüsünün %90'ından fazlasını tarım alanlarının ve cılız bitki örtüsünün oluşturduğu görülmektedir.

Havzalarda bulunan toprak çeşitlerini belirlemek için 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 dijital ortamda hazırlanan 1:5000000 ölçekli toprak sınıfı haritası kullanılmıştır ([http-5](#)). Ülkemizde kullanılan Büyük Toprak Grupları (BTG) için ([http-6](#)) hazırlanmış harita veya kabul görmüş diğer toprak çeşidi haritaları yerine FAO/UNESCO haritasının tercih edilmesinin nedeni çalışmanın ilerleyen kısımlarında anlatılacak olan modelleme çalışmasına uyum gösteren bir sınıflandırma sistemi olmasından ötürü kolaylık sağlamasıdır.

FAO tarafından tanımlanan toprak sınıflarına göre havzalar genelinde dört farklı ana toprak sınıfı mevcuttur: Leptosoller, Kastanozemler, Luvisoller ve Cambisoller. Bu sınıflandırma uluslararası düzeyde kabul görmüş olan Toprak Tanımlama Kılavuzu'na dayanmaktadır (Erdoğan, 2013).

Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait toprak çeşidi haritası Şekil 2.23'te gösterildiği gibidir. Verilen toprak sınıflarına ait haritada, havzalardaki dört ana toprak grubunun ismi FAO toprak tipi kodu ile belirtilmiştir. Bu sınıflandırma kodu ile ilgili detaylı bilgi önceki paragrafta verilen FAO toprak tanımlamaları kılavuzlarında mevcuttur.



Şekil 2.23. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait toprak çeşidi haritası

3. HİDROLOJİK MODELLEME

Bir drenaj havzasındaki yağış-akış ilişkisini ve havzadaki hidrolojik döngüyü kapsamlı bir şekilde inceleyebilmek için modellemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaca yönelik oluşturulan hidrolojik modeller karmaşık bir yapıda olan havza sistemini basitleştirmeye yarar. Bu basitleştirme işlemi için 19. yüzyılda Mulvaney (1850) tarafından ortaya atılan rasyonel metottan itibaren birçok hidrolojik model kullanılmıştır.

Havza sisteminin bilgisayar ortamında matematiksel ifadelerle temsil edilmesi 1960'lı yıllarda Crawford ve Linsley (1966) tarafından geliştirilen Stanford Watershed Model ile başlamıştır. Sonraki yıllarda ise havza sistemini farklı amaçlarla temsil etmek için birçok bilgisayar destekli hidrolojik model geliştirilmiştir (Singh ve ark, 2002).

Hidrolojik modeller, literatüre göre farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Chow ve ark. (1988) hidrolojik modelleri, deterministik ve stokastik olarak iki ana sınıfa ayırarak bunları da kendi içerisinde tümsel, dağılımlı, kararlı akım, kararsız akım, zaman ve yere bağıllık olarak gruplandırmıştır. Bir başka sınıflandırma da tümsel, yarı dağılımlı ve tam dağılımlı olarak Cunderlik (2003) tarafından yapılmıştır. Bunların yanında ampirik (kapalı kutu), kavramsal ve fiziksel tabanlı modeller olarak sınıflandırmak, en genel sınıflandırmalardan birisidir (Devi, 2015).

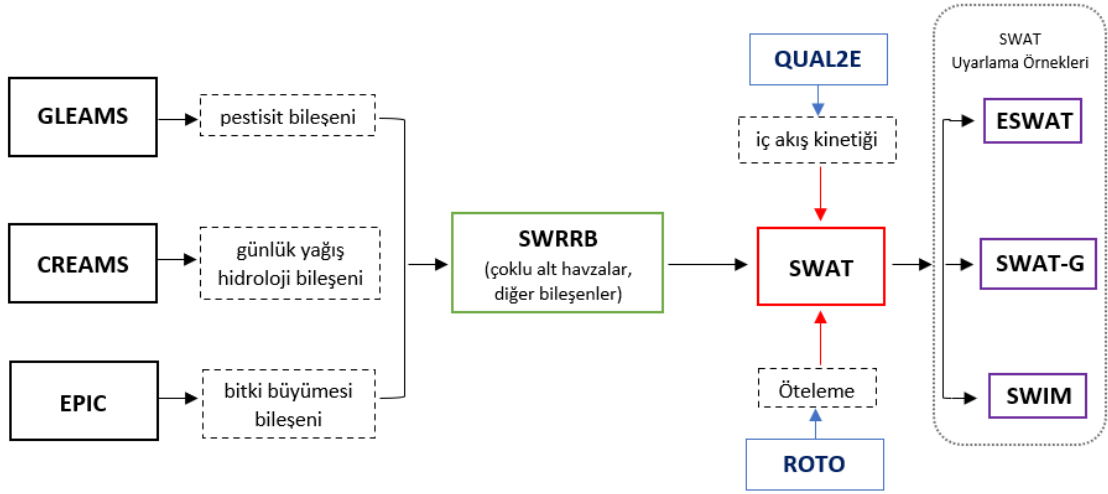
Bu tezde, belirtilen çalışma alanlarındaki yağış-akış ilişkisini temsil etmek için SWAT modeli kullanılmıştır. Bu kısımda kullanılan modelin tanıtımı ve çalışma alanları için uygulaması anlatılacaktır.

4.1. SWAT Modeli

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli USDA – ARS (United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service) için Dr. Jeff Arnold tarafından geliştirilmiş, geniş ölçekli ve karmaşık havzalarda kullanılabilen, yarı dağılımlı, sürekli ve fiziksel tabanlı bir hidrolojik modeldir (Arnold ve ark., 2012; Neitsch ve ark., 2011; Gassman ve ark., 2007; Abbaspour ve ark., 2015a). Oldukça kapsamlı bir model olan SWAT, çok parametreliliği için fiziksel yapısının yanında kavramsal bir yöne de sahiptir.

3.1.1. Modelin tarihsel gelişimi

SWAT modelinin gelişim süreci 1980’li yıllarda başlamıştır. Şekil 3.1’deki şemada SWAT modelinin tarihsel gelişim süreci ve bazı uyarlamaları gösterilmiştir (Gassman ve ark., 2007). USDA – ARS tarafından geliştirilen CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems) ve EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) SWAT modelinin kökeni olarak bilinir. Bu üç modelin bileşenlerinin birleştirilmesi sonucu SWAT modelinin orijini olan SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) modeli ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.1. SWAT modelinin tarihsel gelişim şeması ve bazı uyarlama örnekleri

CREAMS modelindeki günlük yağış hidroloji modelinin modifikasyonu ile geliştirilmeye başlanan SWRRB modeline, GLEAMS modelinin pestisit bileşeni ve EPIC modelinin bitki büyümesi bileşeni eklenerek kapsamlı bir havza modeli oluşturulmuştur.

SWRRB modeli düşük yüz ölçümüne sahip havzalarda kullanılabilen ve havzayı yalnızca on alt havzaya bölmeye izin veren bir model olduğu için daha büyük alanlı havzalarda da kullanılabilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bunun sonucunda kanal ve rezervuarlar boyunca öteleme yapabilen ROTO (Routing Outputs to Outlet) isimli bir programın kullanılması ile bu sorun ortadan kalkmış; ayrıca iç-akıntı kinetiği için QUAL2E (The Enhance Stream Quality Model) modelinin eklenmesi ve pik debinin tahmini için SCS (Soil Conservation Service) metodunun geliştirilmesi ile SWRRB modelinin yetenekleri de genişletilmiştir. Bağımsız olarak çalışan SWRRB ve

ROTO'nun, kullanım kolaylığını arttırmak için birleştirilmesi sonucu da SWAT modeli ortaya çıkmıştır (Neitsch ve ark., 2011). Bu tez çalışmasında modelin SWAT2012 versiyonu kullanılmasına karşın günümüzde geliştirilen en son versiyonu SWAT+ (SWAT – PLUS)'tır (Bieger ve ark., 2016).

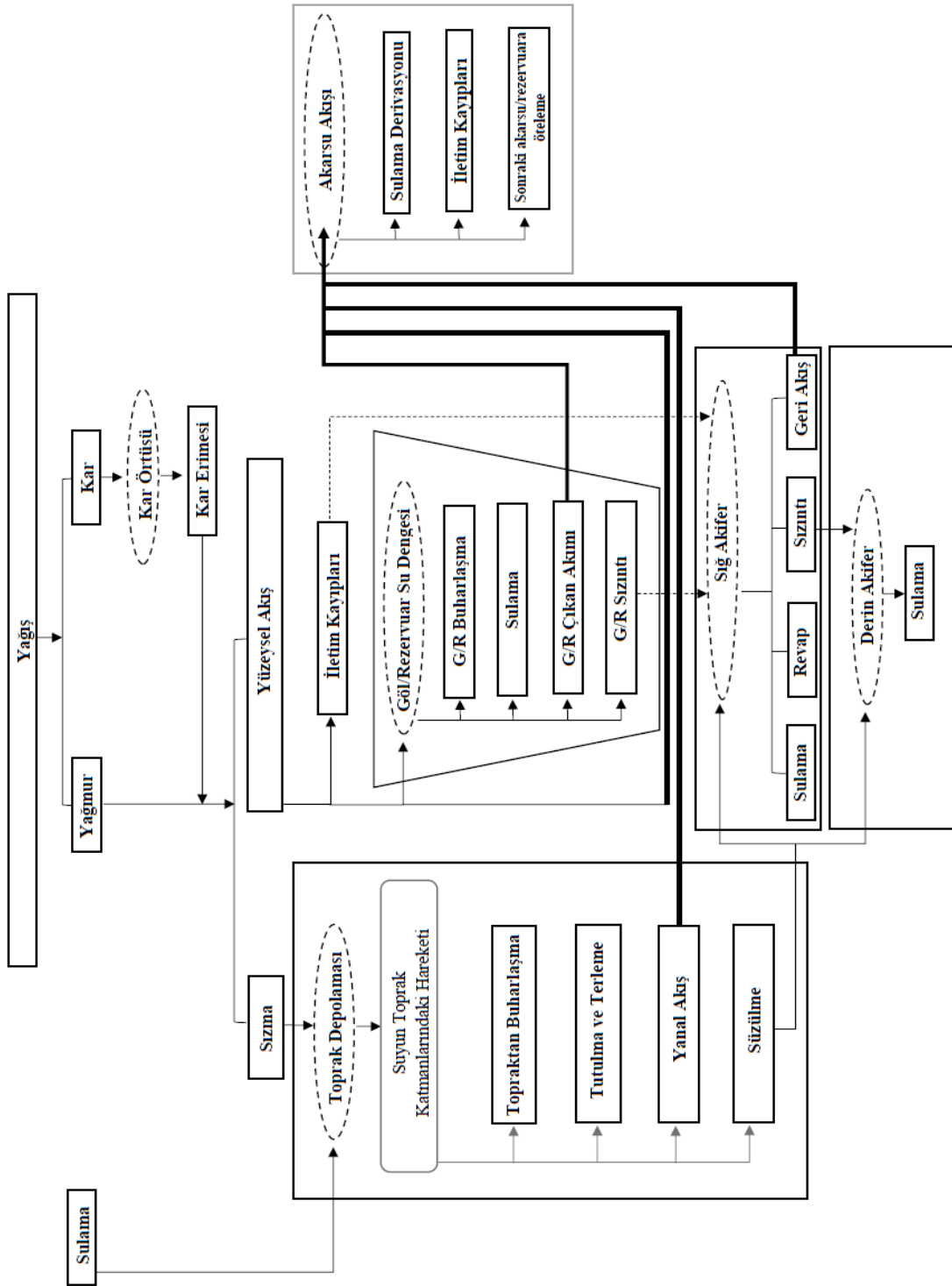
3.1.2. Hidrolojik döngü

SWAT modelinde hidrolojik döngüyü temsil eden su dengesi eşitliği Denklem 3.1'deki gibidir.

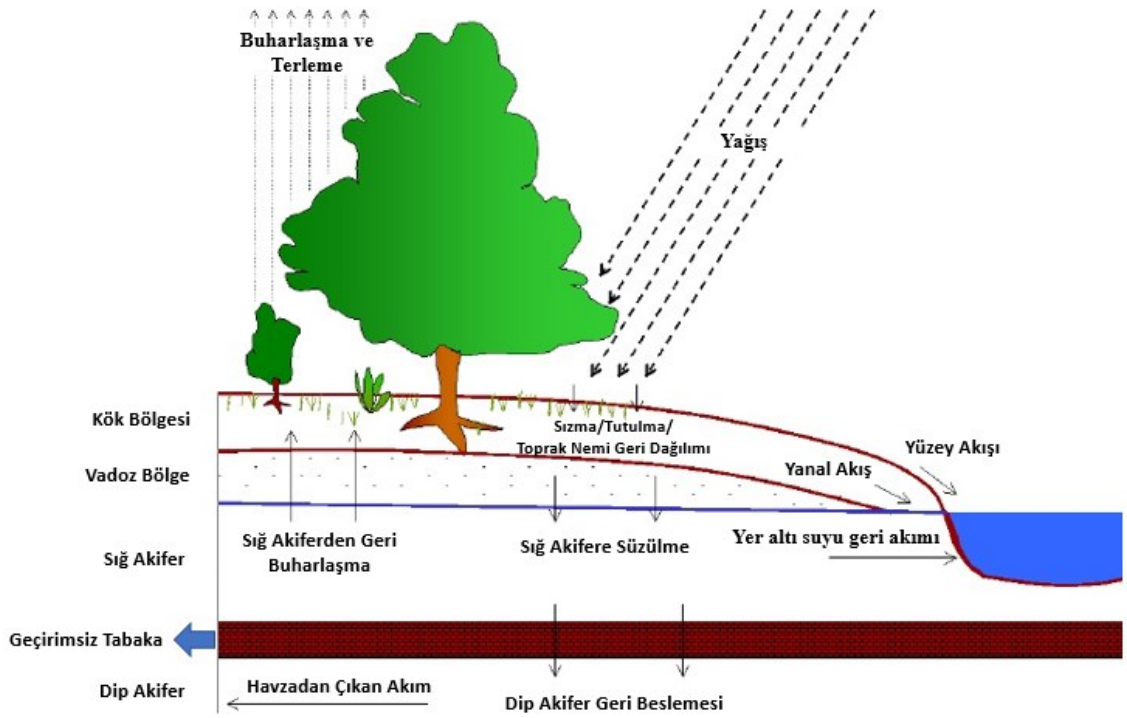
$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - \omega_{seep} - Q_{gw}) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte yer alan ifadelerin açıklamaları şu şekildedir: SW_t toprağın su içeriği (mm); SW_0 başlangıçtaki toprağın su içeriği (mm); R_{day} yağış miktarı (mm); Q_{surf} yüzeysel akışa geçen su miktarı (mm); E_a evapotranspirasyon miktarı (mm); ω_{seep} vadoz zona sızan su miktarı (mm); Q_{gw} yer altı su beslemesi (mm).

SWAT modelinin yapısında, suyun hareketinin izlediği yol Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmektedir (Neitsch ve ark., 2011). SWAT modelinde hidrolojik döngü iki ana fazdan oluşur. Bunlardan ilki toprak içerisinde suyun miktarını kontrol eden toprak fazı, diğeri ise suyun ana kanal boyunca akışı ve havza çıkış noktasına kadar olan iletimi ve ötelenmesi ile ilgili olan fazdır. Modeldeki hidrolojik döngünün toprak fazındaki mantığına göre yağmur veya kar olarak havzaya düşen yağış, yüzey boyunca olan akışı, bitkiler tarafından tutulan kısmı, yanal olarak akışa geçen kısmı, toprağa sızan veya akifer bölgelerine süzülen suyu oluşturur. Süzülen su toprakta, kök bölgesi (toprak profilleri), sığ akifer ve derin akifer arasında dikey yönlü hareket eder. Ayrıca yer altındaki su, akiferlerden yüzey akışına katılabilir (geri akış) veya kılcal boşluklar sayesinde sığ akiferden kök bölgesine yeniden buharlaşabilir (Revap). Şekil 3.3'teki şemada toprak fazındaki su döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.2. SWAT modelinde su hareketinin izlediği yolun şematik gösterimi



Şekil 3.3. Toprak fazındaki hidrolojik döngünün şematik gösterimi

3.1.3. Modelin çalışma prensibi

SWAT yarı dağılımlı bir model olduğu için havzayı birbiri arasında hidrolojik olarak bağlantılı alt birimlere ayırarak çalışmaktadır. Modelleme işleminin ilk safhası modellenecek olan havzayı belirlenen özelliklerdeki alt birimlere bölmektir (Neitsch ve ark., 2011).

Tüm bir havzayı alt havzalara ayırmak bölme işleminin ilk basamağıdır. Her alt havza birbiriyle coğrafi olarak ilişkili, yani bir alt havzanın çıkış akımı diğer bir alt havzanın giriş akımı olacak şekilde ayrılmış olur.

Alt havzalar içerisinde ise, topografik durumuna (eğim sınıfı), toprak çeşidine ve arazi kullanımına göre, her alt havzada ayrı bir benzersiz kombinasyon oluşturularak daha küçük alt birimlere ayrılır. Hidrolojik Etki Birimleri (HRU – Hydrological Response Units) ismi verilen bu alt birimler SWAT modelinde suyun akışı gibi süreçlerin daha ayrıntılı olarak modellenmesine yardımcı olur. Bir alt havzanın veya alt havzadaki herhangi bir alanın modellenmesi yerine benzer toprak çeşidi ve arazi kullanımı durumuna göre dağılmış olan HRU'ların kullanılması modelin çalışmasını kolaylaştırmakta ve model tahminlerindeki doğruluğu artırmaktadır.

Her bir alt havza en az bir HRU ve bir ana akarsu kolu içermelidir (Arnold ve ark., 2012). HRU'lar her alt havzanın kendi içerisinde ayrılırlar; farklı alt havzalarda aynı HRU'yu temsil eden kombinasyon bulunamaz. Alt havzalara yayılmış olarak konumlanan ve aynı toprak ve arazi kullanımı özelliğine sahip tümsel bir yapısı olan HRU'larda, birbirinden bağımsız olarak yapılan hesaplamalar, alt havzanın çıkış noktasına toplanarak birleşir.

HRU'ları oluşturmak için modele fiziksel tabanlı veriler girilmelidir. Bunlar; topografik özellikleri ve eğim sınıflarının oluşturulmasını sağlayan sayısal yükseklik modeli (SYM), toprak tipini ve o tipteki toprağın bazı fiziksel özelliklerini içeren toprak çeşidi verisi ve havzanın arazi kullanımı verisidir. Sayısal yükseklik modeli, havza sınırlarını oluşturmak ve akarsu ağını belirlemek, havzanın yükseklik aralığını saptamak ve topografik özelliklerine göre eğim sınıflarına ayırabilmek için gereklidir. Bir toprak haritasında yer alan toprak tiplerine göre havzanın toprak yapısı SWAT için önemli ve gerekli bir veridir. Toprağın fiziksel durumu ve bazı kimyasal özelliklerinin (organik karbon içeriği, kalsiyum karbonat içeriği gibi) modele tanıtılması, oluşturulacak havza modelinin fiziki anlamda daha iyi temsil edilmesini sağlar, suyun hareketi ve yönetimi ile ilgili model çıktılarının doğruluğunu artırır. Modellenecek havzanın arazi durumu ve kullanımı, suyun yeryüzündeki hareketini modellerken daha tutarlı sonuçlar almak için önemli bir bileşendir. Arazi yapısı ve insanların arazi üzerindeki faaliyetleri suyun akış hareketini ve yönetimini büyük ölçüde etkiler.

Eğim, toprak ve arazi kullanımı sınıfları ile oluşturulan HRU'larda yapılacak hesaplamalar için SWAT modeli, günlük zamanlı meteorolojik verilere de ihtiyaç duymaktadır. Meteorolojik veriler; yağış, en yüksek ve en düşük sıcaklık, bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgar hızıdır. Model bu değişkenlerin bazılarını ölçülen gerçek verilerden simüle etme kabiliyetine de sahiptir. Örneğin, yağış tahminini gerçekleştirebilmek için nem, sıcaklık ve güneş ışıması gibi meteorolojik değişkenleri dikkate almaktadır. SWAT bu işlemi "Weather Generator" isimindeki bir eklenti ile, günlük meteoroloji verilerinden "WGENmaker" isimli bir Excel makrosu ile üretilen bazı istatistiki değerleri (aylık ortalama yağış gibi) kullanarak gerçekleştirmektedir.

3.1.4. SWAT ile ilgili yapılan çalışmalar

SWAT modeli dünya genelinde birçok farklı çalışma alanında uygulanmıştır ve son yıllarda da modelin kullanımı giderek artmaktadır. SWAT modelinin (Arnold ve ark., 1998; Arnold ve Fohrer, 2005) yağış-akış ilişkisini temsil etmede ve su kaynaklarının değerlendirilmesinde, geniş çaptaki farklı çevre koşullarındaki havzalar için etkili bir araç olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca, SWAT'ın farklı disiplinlerde iyi bir havza modeli aracı olarak kullanılması, uluslararası konferanslarda, birçok bilimsel tez, toplantı ve hakemli dergilerde yapılan çalışmalarla uluslararası kabul görmüştür (Gassman ve ark., 2007).

Ölçüm yapılmamış geniş havzalarda su yönetimi ile sediment ve kimyasal tarım ürünlerinin tahmini çalışmalarında kullanmak, SWAT modelinin geliştirilmesindeki ilk amaçtır (Arnold ve ark., 1998).

Arnold ve ark. (1999), yüksekliğin fazla olduğu dağlık havzalarda SWAT modelinin yetersiz kaldığını ve bu tip havzalar için genellikle modelin simülasyon değerlerinin, gözlenen değerlerin altında sonuç verdiğini belirtmiştir.

Fontaine ve ark. (2002), yeni bir algoritma ile modeli kar erimesinin etkili olduğu dağlık havzalar için uygun hale getirmeyi hedeflemiştir. Amerika'nın batısında yer alan Wyoming havzası üzerinde yaptıkları çalışmada, yüksekliğe bağlı olarak değişen sıcaklık ve yağış değerlerine sahip yükseklik bantlarının kullanımı ile SWAT modelinin dağlık bölgelerdeki başarısının arttığı görülmüştür.

Ahl ve ark. (2008), Amerika'nın Montana eyaletindeki Rocky dağlarında bulunan, Tenderfoot nehrinin oluşturduğu, 2200 metre ortalama yükseltiye sahip dağlık bir havzada SWAT modelini kullanmıştır. Günlük ve aylık zaman adımlarında oldukça başarılı sonuçlar alınan modelde, kar erimesi süreci ile ilgili parametrelerin kalibrasyon sürecinde büyük etkisinin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, taban akımı ve donmuş topraktan yer altına sızan su ile ilgili daha detaylı bir çalışma yapılarak model sonuçlarının daha iyi olabileceği öngörülmüştür.

Stehr ve ark. (2010), Lonquimay nehir havzasında yaptıkları SWAT modeli çalışmasında kar birikmesi ve kar erimesi dinamiğine odaklanmıştır. Kar verilerine ait yer ölçümü verilerinin yetersizliği, uzaktan algılama aracı olarak MODIS kar kaplı alan uydu görüntülerini kullanmaya götürmüştür. Böylece, çalışmada uydu görüntüleri model kalibrasyonu ve validasyonunda kullanılarak iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Troin ve Caya (2014), Kanada'nın Quebec bölgesindeki kar yağışının hakim olduğu Qutardes havzasında, kar erimesinin akıma etkisinin büyük olduğu bir havzada SWAT modelini kullanmıştır. Beş yıllık kalibrasyon süreci ile oluşturulan modelin, on yedi ve on beş yıllık iki farklı validasyon periyodu ile simüle edilerek iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu model sonuçları SSARR isimindeki başka bir havza modeli ile kıyas edilmiş ve benzer sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Kang ve Lee. (2014), Amerika'nın dağlık bir bölgesinde bulunan North Fork nehir havzası üzerinde yaptıkları çalışmada SWAT modelini orografik etkiyi ve yüksekliğe bağlı olarak sıcaklığın değişimini incelemek için kullanmıştır. Oluşturdukları modeli yükseklik bantlarını ve buna bağlı kar erimesi süreciyle ilgili parametreleri ilk olarak kullanmadan, ardından kullanarak gözlemlemişlerdir; havzanın yükseklik bantlarına ayrılmasının, model sonuçlarını olumlu olarak oldukça etkilediği sonucuna varılmıştır.

Grusson ve ark. (2015), Fransa'nın güneybatısında yer alan, yüz ölçümü 55 000 km² olan, yükseklik ve eğim dağılımı oldukça geniş ölçekteki Garonne havzası üzerinde SWAT modelini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, üç farklı model kurulumu gerçekleştirilip akım verilerine göre birbirinden bağımsız olarak kalibre edilmiştir: Referans modeli (model başlangıç parametreleri ile), kar parametreleri modeli (kar erimesine dair parametreler kalibrasyona dahil edilerek) ve yükseklik bandı parametreleri modeli (yükseklik bantları eklenip buna dair parametreler kalibrasyona dahil edilerek). Bu üç farklı model simülasyonlarına ait akıma göre yapılan kalibrasyon sonuçları değerlendirildiğinde, kar parametreleri kullanılıp yükseklik bandı eklenerek oluşturulan modelin diğer iki modele göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca, modellemenin akım haricinde kar gözlem verilerine dayanılarak da validasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için, uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrodiameter) isimli uydusuna ait veriler vasıtasıyla havzaya ait kar-kaplı alan (KKA) görüntüleri üretilerek, SWAT modelinden elde edilmiş kar-su eşdeğeri (KSE) olarak bilinen çıktılar hem görsel olarak hem de alt havzalar ölçeğinde günlük değerlerin grafik üzerinde karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma sonunda şu önemli sonuçlara varılmıştır: Yükseklik bantlarının kullanımı, kar erime sürecine ait hesaplamalar daha detaylı yapılabildiği için model sonuçlarına olumlu etki etmiştir. KSE çıktılarına bakıldığında SWAT modelinin, yüksek bölgelerde gözlenen değerlerden yüksekte, alçak bölgelerde ise gözlenen değerlerin altında sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yükseklik bantlarının kullanımı, kar kaplı olan alt havzalarda buna bağlı olarak evapotranspirasyon değerlerini düşürmektedir.

Dhami ve ark. (2018), SWAT modelini akıma geçen kar erimesi sürecini incelemek amacıyla, Nepal’de bulunan Karnali nehir havzası üzerinde uygulamış ve sonuçları bir başka kar erimesi akım modeli olan SRM (Snowmelt Runoff Model) ile karşılaştırmıştır. Ayrıca bu çalışmada, uygulaması yapılan modellere girdi sağlamak amacıyla kar kaplı alan verisi, uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Kalibre edilip validasyonu yapılmış SWAT modeline ait yağmur veya kar olarak düşen yağışın miktarı ve bunların direkt yağmur olarak akışa geçen veya kar erimesi ile akıma katılan hacimleri, SRM’nin verdiği çıktılar ile kıyas edilmiştir. Sonuç olarak, bu iki modelin birbirine yakın sonuçlar verdiği, veri yetersizliği sebebiyle modellemenin zayıf olabileceği dağlık bölgelerde bulunan havzaların yönetim ve planlanmasında, iki farklı model girdi ve parametrelerinin birbiri arasında etkili bir karar verme aracı olarak kullanılabileceği çıkarımı yapılmıştır.

Tuo ve ark. (2018) tarafından, İtalya’daki Yukarı Adige nehir havzası için yapılan SWAT modeli uygulamasında, model kalibrasyonu için akım verilerinin yanı sıra kar – su eşdeğeri (KSE) değerleri kullanılarak gelişmiş bir kalibrasyon süreci önerilmektedir. Bu süreçte, modele ait havza ölçeğindeki ve yükseklik bantlarına bölünmüş alt havzalar ölçeğindeki iki farklı parametre seti kalibrasyon için birbirinden bağımsız olarak kullanılmış ve model çıktısı olarak alınan KSE değerleri ile ölçüm istasyonlarına ait değerler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan yola çıkılarak üçüncü bir parametre seti fiziksel anlamlar da hesaba katılarak oluşturulmuş ve yeni bir model kurulmuştur. Kurulan son model, var olan ölçüm istasyonlarının kotlarını temsili açısından ve fiziksel anlamda kar erimesini daha iyi temsil ettiği için anlamlı ve uygulanabilir görülmüştür. Çalışma sonucu olarak, kar erimesinin etkili olduğu havzalar için kalibrasyon sürecinin, akım dışında KSE değerleri de kullanılarak geliştirilebileceği ve modelin yükseklik bantları ile daha küçük birimlere bölünerek daha iyi sonuçlar verebileceğine ulaşılmıştır.

Türkiye’nin farklı bölgelerinde yapılan SWAT uygulamaları da mevcuttur (Ekdal ve ark., 2011; Güngör ve Göncü, 2012; Özcan ve ark., 2017; Cüceloğlu ve ark., 2017); ancak bu çalışmalar ortalama yüksekliği düşük ve kar baskın olmayan havzalarda gerçekleştirilmiştir.

4. SWAT MODELİNİN UYGULANMASI

SWAT modeli, gerekli verilerin toplanıp hazırlanması, verilerin uygun formata dönüştürülmesi ve model parametризasyonu açısından oldukça zorlu bir süreçte sahiptir. Özellikle kar yağışının hakim olduğu ve kar erimesinin akımı büyük ölçüde etkilediği dağlık havzalarda, model parametrelerinin tayini ve kar erimesi – akım mekanizmasına dair kesin bir teoremin bulunmaması sebepleriyle hidrolojik modelleme çalışmaları bu tip bölgelerde zorlayıcıdır (Kang ve Lee, 2014). Ayrıca, dağlık bölgelerde kullanılabilir ve yeterli veri bulunamaması model simülasyonuna girdi sağlama açısından büyük bir dezavantajdır (Hartman ve ark., 1999; Fontaine ve ark., 2002).

Modellemenin ilk adımı olarak daha önce tanıtılan çalışma alanlarına ait fiziksel tabanlı verilerin sistematik bir biçimde hazırlanması ve model girdisi olarak kullanıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Çalışma alanında bulunan her iki havzaya ait hatasız çalıştırılan bir baz model kurulumu yapıldıktan sonra parametризasyon, hassasiyet analizi ve kalibrasyon aşamalarına geçilebilir. İyi kalibre edilmiş bir model elde edildikten sonra bu sonuçların doğrulanması adına son olarak validasyon işlemi yapılmalıdır.

Bu çalışmada, başarılı ve fiziksel anlamda güçlü bir model elde etmek amaçlandığı için model parametrelerinin ayarlanması (parametризasyon) aşaması için uzaktan algılama araçlarından faydalanılmıştır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde açıklanacağı üzere SWAT modelinin parametризasyon prosedürü gereğince yapılması gereken düzenlemeler için uydu görüntüleri kullanılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi dağlık bir bölgede bulunan çalışma alanına ait modelleme yapılacağı için kar erimesi süreci ve dolayısıyla kar parametreleri, yağış ve sıcaklık değişme oranlarının ayarlanması model başarısı açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Dolayısıyla, parametризasyon kısmında bu parametrelere odaklanılmıştır ve model prosedürü gereği bu değerler sabitlenerek diğer kalibrasyon parametrelerinden ayrı tutulmuştur.

4.1. Model Verilerinin Hazırlanması

SWAT modeli için gerekli olan fiziksel tabanlı veriler sayısal yükseklik modeli, arazi kullanımı ve toprak çeşidi verisidir. Bu veriler, modelin çalışma prensibi olarak havzanın hidrolojik küçük birimlere (HRU) ayrılması için kullanılmaktadır. HRU'ların

tanımlanabilmesi için eğim, arazi kullanımı ve toprak çeşidi verisi kullanılır; böylece bölünen her birim bu girdilere ait kendine özgü bir kombinasyon taşır.

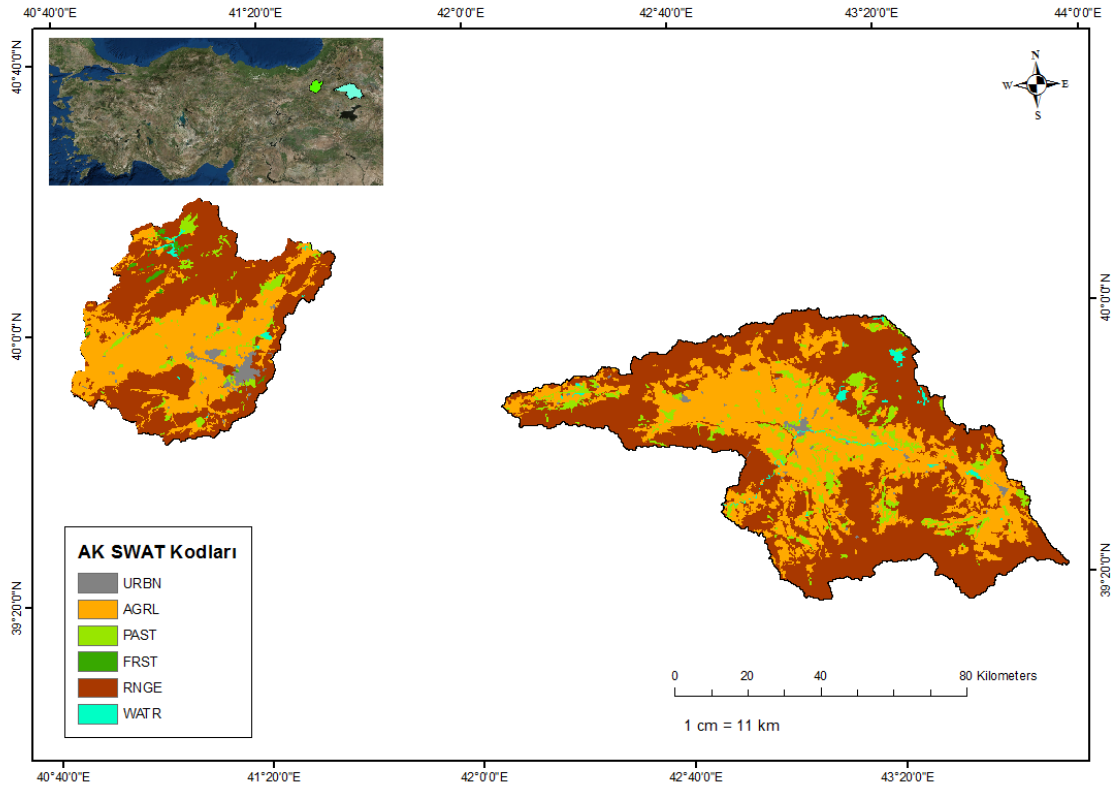
HRU tanımlaması için kullanılacak verilerin SWAT modeline uygun formatta belirlenen girdiler ile sağlanmalıdır. Eğim sınıflandırılması için daha önce belirtildiği üzere SRTM 90 m hücre boyutlu SYM verisi kullanılmıştır. HRU tanımlaması için kullanılacak eğim verisi, 3 sınıf olarak modele girilmiştir. Yapılan sınıflandırmada düze yakın bölgeler %0-12, eğimli bölgeler %12-25 ve çok eğimli bölgeler ise %25'ten büyük olarak belirlenmiştir.

Arazi kullanımı verisi için CORINE arazi örtüsü haritası, toprak çeşidi için ise FAO toprak çeşidi haritası kullanılmıştır. Bunların model girdisi olarak kullanılabilmesi için istenen formata dönüştürülmesi, verilere ait sınıflandırmanın SWAT kodları ile benzeştirilmesi gerekmektedir. Tablo 4.1'de arazi örtüsü verisine ait sınıflandırmanın SWAT kodları karşılığı verilmiştir. FAO toprak çeşidi verisine ait sınıflandırma ise modelin kodlarıyla birebir örtüşmekte olduğundan direkt olarak kullanılabilir.

Tablo 4.1. *Arazi kullanımı verisinin SWAT kodları karşılıkları*

Arazi Kullanımı Sınıfı	SWAT Kodu Karşılığı
Şehir	URBN
Tarım Alanı	AGRL
Otlak	PAST
Orman	FRST
Cılız Bitki Örtüsü	RNGE
Su	WATR

Arazi kullanımı verisine ait yeniden sınıflandırılmış ve model girdisi olarak hazırlanmış biçimleri Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Sonuçta, arazi kullanımı sınıfları her iki havzada URBN, AGRL, PAST, FRST, RNGE ve WATR olmak üzere 6 sınıfta; toprak çeşidi ise daha önce Bölüm 2.3'teki Şekil 2.23'te gösterildiği gibi Leptosoller, Kastanozemler, Luvisoller ve Kambisoller olarak 4 ana sınıftadır.



Şekil 4.1. *Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait SWAT arazi kullanımı kodları*

HRU tanımlaması aşamasında eğim, arazi kullanımı ve toprak çeşidi verilerinin yanında SWAT, modeli oluştururken havzanın yükseklik bantlarına bölünmesine de izin vermektedir. Modelde en fazla 10 yükseklik bandı kullanılabilmektedir (Fontaine ve ark., 2002); bu çalışmada dağlık bir bölgede yer alan havzalara ait model başarısının artırılması hedeflenerek her iki havza modeli için de 10 yükseklik bandı ayrımı yapılmıştır.

HRU tanımlaması için gerekli olan fiziksel tabanlı verilerin model girdisi olarak hazır edilmesinin yanında modele ait meteorolojik verilerin de istenilen formata uygun olarak hazırlanmış olması gerekmektedir. SWAT, meteorolojik veri olarak yağış yüksekliği, en yüksek ve en düşük sıcaklık, bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgar hızı model girdi verilerine ihtiyaç duymaktadır. Düzenlenen meteorolojik verilerin modele girilmesi ile baz model, istenen periyotlarda çalıştırılmaya hazır hale getirilmiştir.

4.2. Baz Modelin Kurulumu

Ayarlanıp sabitlenmesi gereken parametrelerin parametrisasyonu ve kalibrasyon aşamalarından önce modelin hatasız bir şekilde çalıştırılıp model çıktılarının doğru bir şekilde elde edilebilirliği kontrol edilmiştir. Herhangi bir parametre ayarlaması ve kalibrasyon işlemi yapılmadan kurulan bu baz modele ait bilgiler Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Baz modele ait bilgiler

	Murat-1	Karasu-1
Arayüz/Versiyon	ArcSWAT / 2012.10_4.19	
Minimum Alt Havza Alanı Eşik Değeri	10 000 Ha	5 000 Ha
HRU Eşik Değeri (Eğim/AK/Toprak)	0/0/0	0/0/0
Eğim Sınıfları	0-12 / 12-25 / >25 (%)	0-12 / 12-25 / >25 (%)
Alt Havza Sayısı	45	41
HRU Sayısı	663	462
Yükseklik Bandı Sayısı	10	10
Model Isıtma Periyodu	1999-2001 (3 su yılı)	2000-2001 (2 su yılı)
Kalibrasyon Periyodu	2002-2007 (6 su yılı)	2002-2007 (6 su yılı)
Validasyon Periyodu	2008-2011 (4 su yılı)	2008-2011 (4 su yılı)

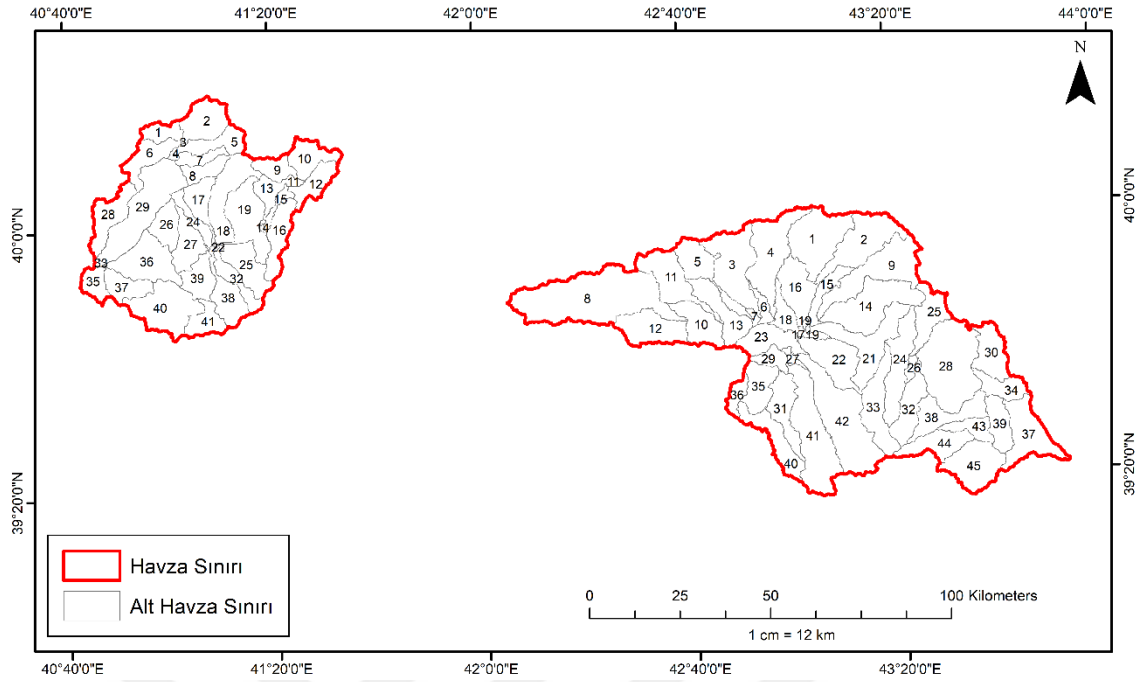
Model kurulumu için ArcSWAT programı 2012.10_4.19 versiyonu kullanılmıştır. Bu arayüz bir coğrafi bilgi sistemi platformu olan ArcGIS/ArcMap’in bir eklentisidir ve bu platform vasıtasıyla havza modellerine ait veri ve görsel kontroller daha kolay işlenip incelenebilmektedir.

Modelleme sırasında havzalar önce alt havzalara, ardından her bir alt havza kendi içerisinde HRU’lara bölünmektedir. Ayrıca, havza yükseklik bantlarına ayrıldığından her bir HRU da kendi içerisinde belirlenen 10 yükseklik sınıfına bölünmüştür. Yükseklik bandı sayısı için literatürde önerilen ortak bir fikir yoktur; yüksekliğin ya da alanın bir fonksiyonu olarak kabul edilebilen bantlar için farklı çalışma alanlarında farklı sayıda kullanım mevcuttur (Fontaine ve ark., 2002; Zhang ve ark., 2008; Pradhanang ve ark., 2011; Luo ve ark., 2013; Rahman ve ark., 2013; Grusson ve ark., 2015). Bu çalışmada,

model çıktı verilerinin olabildiğince detaylandırılması adına maksimum sayı olan 10 yükseklik bandına bölünme tercih edilmiştir.

HRU tanımlaması işlemleri için ilk olarak baz modelin kurulumu esnasında minimum alt havza alanı eşik değeri olarak belirlenmelidir. Daha önce yapılan çalışmalar (Jha ve ark., 2004; Kumar ve Merwade, 2009) göz önünde bulundurularak her iki havza için de drenaj alanlarına bağlı olarak Murat-1 havzasına ait modelde 10000 hektar, Karasu-1 havzasına ait modelde ise 5000 hektar değerlerine karar verilmiştir. İkinci aşama, alt havzaların belirlenen eğim, arazi kullanımı ve toprak çeşidi verilerine ait eşik değerlere göre HRU'lara bölünmesi işlemidir. SWAT modeli, alansal olarak bu eşik değerlerin altında kalacak kısımları göz ardı edecek şekilde HRU bölünmesi işlemini gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada, HRU oluşturulması işlemi sırasında eğim, arazi kullanımı ve toprak çeşidi verisine dair girdilerin göz ardı edilmesi istenmemiştir; dolayısıyla HRU eşik değerleri kullanılmamıştır. İki havza modelinde de ayrıca her bir HRU kendi içerisinde 10 yükseklik bandına bölünmüştür.

Belirlenen değerlere bağlı olarak Murat-1 havzası 45 alt havza, 663 HRU'ya; Karasu-1 alt havzası ise 41 alt havzaya, 462 HRU'ya otomatik olarak bölünmüştür. Şekil 4.2'de her iki havzaya ait alt havza bölümü gösterilmektedir; daha sonra, şekilde görülen her alt havza kendi içerisinde belirtilen sayıda HRU'lara da bölünmüştür.



Şekil 4.2. *Murat-1 ve Karasu-1 alt havzaları*

HRU tanımlaması aşamasından sonra meteorolojik veriler modele tanımlanmıştır ve model çalıştırılması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada, modelin çalıştırılacağı periyotlar elde edilmiş verilere göre model ısıtılması, kalibrasyon ve validasyon yılları Tablo 4.2’de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Kalibrasyon, model parametrelerinin ayarlanarak simülasyonun gözlenen değerlere olabildiğince yaklaştırma işlemidir. Validasyon ise, kalibre edilmiş model simülasyonunun doğruluğunu kontrol etme çalışmasıdır. Modelin çalıştırılmasında kullanılan ısıtma periyodu ise kalibrasyon periyoduna dahil olmayan modelin çalıştırılmasına hazır edildiği süreçtir.

Murat-1 havzasına ait 1999-2011 yılları arasındaki süreç 3 yıl ısıtma periyodu (1999-2001), 6 yıl akım kalibrasyonu periyodu (2002-2007) ve 4 yıl akım validasyonu periyodu olarak seçilmiştir. Aynı şekilde, Karasu-1 havzasına ait model çalıştırılırken eldeki verilere göre 2 yıl ısıtma periyodu (2000-2001), 6 yıl akım kalibrasyonu periyodu (2002-2007) ve 4 yıl akım validasyonu periyodu olarak seçilmiştir. Akım değerlerinin kalibrasyonu ve validasyonu çalışmalarına ait detaylar çalışmanın ilerleyen kısımlarında anlatılacaktır.

4.3. Parametrizasyon (Kalibrasyon Öncesi Hazırlık)

SWAT modelinin uygulanması çalışmasında baz model kurulduktan sonra modelin kalibrasyonu aşamasından önce bazı ön çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu, modelin hem fiziksel anlamda tutarlılığını sağlamak hem de başarılı şekilde kalibre edilmiş bir model elde etmek açısından oldukça önemlidir.

SWAT modelinin parametrizasyon prosedürü gereğince, kar parametreleri ve yağış ve değişme oranları ayarlanmalıdır; bunlar diğer model parametrelerinin kalibrasyonundan ayrı tutulup sabitlenmelidir (Abbaspour ve ark., 2017). Model içerisinde 7 adet kar yağış ve erime sürecine dair parametre mevcuttur. Ayrıca, yağış ve sıcaklık değişme oranlarına ait iki parametre bulunmaktadır; bunlar modelde kısaca PLAPS (yağış değişme oranı) ve TLAPS (sıcaklık değişme oranı) olarak ifade edilmektedir. Tablo 4.3'te bu parametreler açıklamaları ile gösterilmektedir. SWAT'ta kar yağışı ile karın birikmesi ve kar erime süreci olarak birbirini izleyen iki süreçte, hidrolojik döngüde yer alan kar ile ilgili kısım incelenebilmektedir. SFTMP, SNOCVMX ve SNO50COV parametreleri kar birikmesi, SMTMP, SMFMX, SMFMN ve TIMP parametreleri ise kar erimesi ile ilgili süreçleri kontrol eder (Troin ve Caya, 2014).

Tablo 4.3. SWAT modeli kar ve değişme oranı parametreleri

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

Bu tez çalışmasında, kar parametrelerinin ve yağış ve sıcaklık değişme oranlarının sabitlenmesi için uzaktan algılama araçları etkin bir şekilde kullanılmıştır. Kar parametreleri ve PLAPS/TLAPS değişme oranları, kalibrasyon aşamasında kullanılan model parametrelerinden ayrı tutularak ilgili model çıktılarının uydu görüntülerine ait değerler ile kıyaslanarak sabitlenmesi sağlanmıştır.

Akım kalibrasyonu öncesinde uygulanan bu süreçte uydu görüntülerinden faydalanılarak iki metot kullanılmıştır. Her iki metotta da SWAT model çıktısı olan kar-su eşdeğeri (KSE) verileri ile MODIS uydu görüntülerinden elde edilen kar kaplı alan (KKA) verileri karşılaştırılmıştır. İlk yöntemdeki kıyaslamada, SWAT KSE çıktıları görselleştirilerek seçilen belirli tarihlere ait uydu görüntüleri ile karşılaştırılmış ve görsel anlamda bir kıyaslama yapılmıştır. İkinci yöntemde ise HRU ölçeğindeki SWAT KSE çıktıları tüm havza alanına türetilerek, yine tüm havza alanı için yüzde olarak ne kadarlık kısmının karla kaplı olduğunu gösteren uydu görüntülerine ait veriler ile grafik üzerinde kıyas edilmiştir. Böylece ilk metotta, görsel olarak belirli tarihler için mekânsal karşılaştırma yapılırken, ikinci metotta bu karşılaştırma tüm süreci kapsayacak biçimde zamansal olarak değerlendirilmiştir.

Kar-su eşdeğeri (KSE) olarak bilinen terim kar kütesinin eridiğinde oluşturduğu su miktarıdır. Birim olarak mm veya kg/m^2 olarak verilebilir; bu çalışmada mm cinsinden veriler ile çalışılmıştır. KSE ölçümü zor olan bir kar bileşenidir; ölçümü çeşitli otomatik ve manuel aletlerle veya geliştirilmiş bazı farklı yöntemlerle yapılmaktadır (Kinar ve Pomeroy, 2015).

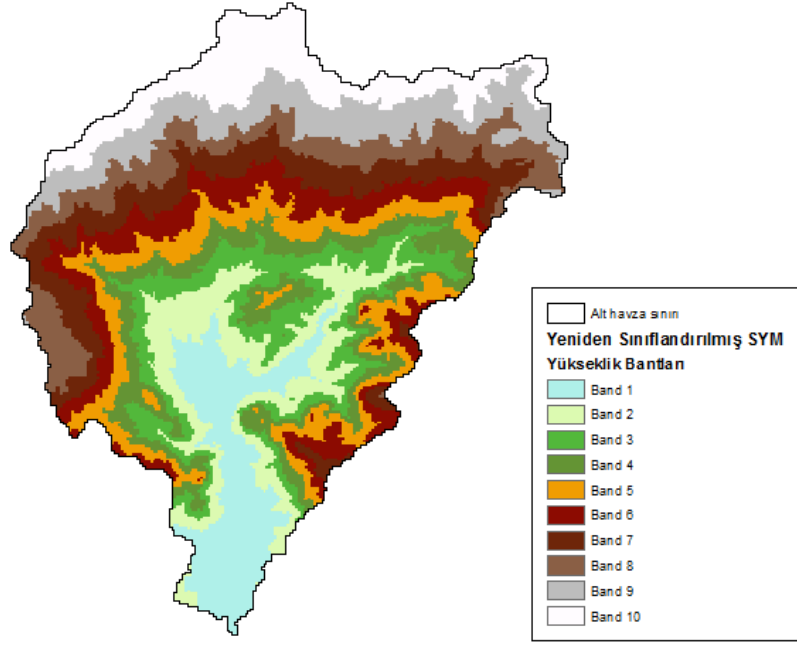
MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) algılayıcısı, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Dünya İzleme Sistemi (Earth Observing System, EOS) programı çerçevesinde Terra platformu (18 Aralık 1999) ve Aqua platformu (4 Mayıs 2002) olarak çalışmaktadır (Hall ve ark., 2002). Karada, atmosferde, buzullarda ve okyanuslardaki küresel değişimlerin incelenebilmesi için kullanılan birçok MODIS veri ürünü bulunmaktadır (Hall ve Riggs, 2007). Bu çalışmada, zamansal çözünürlüğü günlük ve mekansal çözünürlüğü 500 m olan MODIS Terra/Aqua kar ürünleri (MOD/MYD10A1) kullanılarak zamansal filtre ve yükseklik filtreleri uygulanmıştır. Kullanılan uydu görüntüleri üzerindeki bulut temizleme algoritması tamamlanmış başka bir projenin (BAP120F117) konusu olduğu için detaylarına girilmeyecektir.

4.3.1. SWAT KSE ve MODIS KKA verilerinin mekansal karşılaştırılması

Kar parametrelerinin ve değişme oranlarının sabitlenmesi için bu tez çalışmasında kullanılan ilk metot görselleştirilmiş SWAT KSE çıktıları ile MODIS KKA uydu görüntülerinin karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla, SWAT çıktı veri tabanından elde edilen KSE değerlerinin ArcGIS/ArcMap platformunda görselleştirilmesi sağlanmıştır.

Her iki havzaya ait oluşturulan SWAT modelinde, her biri kendi içerisinde 10 yükseklik bandına bölünen HRU'lar mevcuttur; dolayısıyla HRU'lara ait her bir yükseklik bandında SWAT KSE değeri çıktı olarak alınabilmektedir. Bu değerlere SWAT çıktı veri tabanından günlük olarak ulaşılabilir.

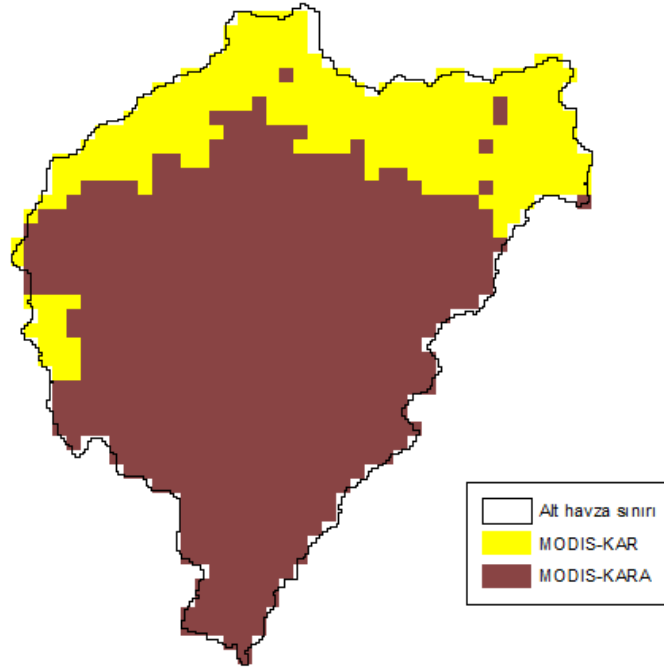
Görselleştirme işlemi için öncelikle, ArcMap programında yükseklik dağılımı farklılık gösteren her bir alt havzanın sayısal yükseklik modeli SWAT modelinin oluşturduğu yükseklik bandı sınıflarına göre yeniden sınıflandırılmıştır. Şekil 4.3'te Murat-1 havzasının 1 numaralı alt havzasına ait yeniden sınıflandırılmış sayısal yükseklik modeli örnek olarak gösterilmektedir. Böylelikle, oluşturulan bu sınıf aralıkları SWAT modelinin yükseklik bantlarını temsil etmiş olur. Her bir yükseklik sınıf aralığını temsil eden KSE değeri, kesikli bir değer olarak, yeniden sınıflandırılmış hücresel formatlı katmanın veri tabanı tablosunda yeni bir sütun açılarak girilmiştir. Sonuçta, her bir yükseklik sınıfına tekabül eden KSE değeri, yeniden sınıflandırılmış hücresel formatlı katmanda ulaşılabilir duruma gelmiş olur.



Şekil 4.3. Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait yeniden sınıflandırılmış SYM

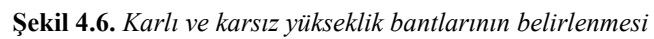
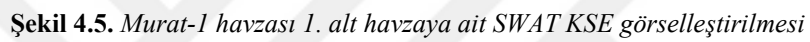
Bu aşamadan sonra yapılması gereken, 10 yükseklik bandını temsilen oluşturulmuş SYM hücresel verisinin içerdiği KSE değerlerinin kar kaplı alanı temsil edip etmeyeceğine karar vermektir. Şöyle ki, tüm bantlarda farklı bir KSE değeri var olmasına karşın belirlenecek olan bir eşik değeri ile bu KSE değerlerinin kar örtüsü olarak nitelendirilebilir olup olmadığına karar verilmesi gerekmektedir.

Görselleştirme işlemi her iki havzanın bütün alt havzaları için ayrı ayrı uygulanıp sonuçta bütün bir havzayı temsil eden kar kaplı alan görüntüsü elde edilebilmiştir. Bu prosedürde en önemli husus KSE eşik değerini belirlemek olduğu için bunun üzerine odaklanılmıştır. Bu odak noktasında karar mekanizması olarak uzaktan algılama aracı olan MODIS kar kaplı uydu görüntüleri tercih edilmiştir ve her bir alt havzaya ait uydu görüntüleri birer birer incelenerek çalışma detaylandırılmıştır. Şekil 4.4'te Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait bir MODIS uydu görüntüsü, seçilen 4 Aralık 2005 tarihi için gösterilmektedir. Görüldüğü gibi uydu görüntüsünde iki farklı renk mevcuttur; bu renkler kar (sarı renk) ve kara (kahverengi renk) olarak sınıflandırılmıştır.

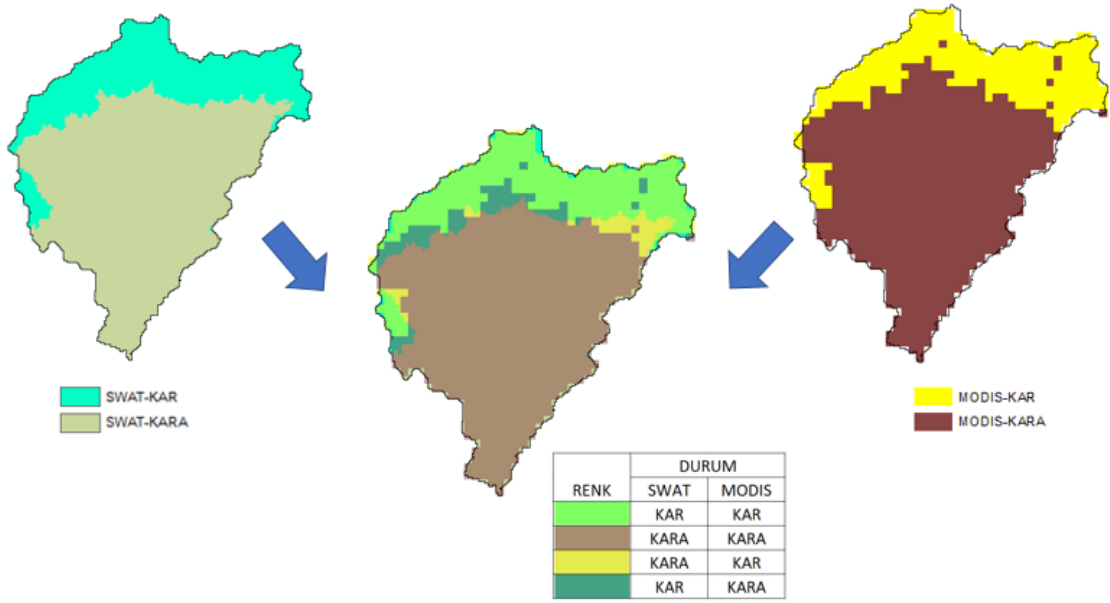


Şekil 4.4. Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait MODIS görüntüsü (4 Aralık 2005)

Alt havzaların incelenmesi ve MODIS görüntüleriyle kıyaslanması sonucunda belirlenecek olan KSE eşik değerinin üzerinde kalan SWAT KSE değerleri kar, altında kalan değerler ise kara olarak nitelendirilebilir. Şekil 4.5'te Murat-1 havzası 1. alt havzasına ait örnek bir SWAT KSE görselleştirilmesi verilmiştir. Bu görselleştirilme de tıpkı MODIS uydu görüntüsünde olduğu gibi 4 Aralık 2005 tarihine ait çıktı değerlerinden üretilmiş ve iki farklı renkle temsil edilmektedir: Karlı kısımları temsil eden renk açık mavi, kara kısmını temsil eden bölgeler gri renkle nitelendirilmiştir. Bu görselden anlaşılacağı üzere alt havzaya ait yükseklik bantlarından bazıları karlı, bazıları ise karsız olarak belirlenmiştir. Bu ayrımın yapılmasında KSE eşik değeri dikkate alınmıştır. Örnek olarak gösterilen Murat-1 havzasına ait 1. alt havzada 4 Aralık 2005 tarihi için bu değer 8 mm olarak alınmıştır. Bu demektir ki, 8 mm'nin üzerindeki KSE değerlerine sahip yükseklik bantları kar kaplı olarak belirlenmelidir. Bu durumda Murat-1 havzasının 1. alt havzasında bulunan 8., 9. ve 10. bantlar karla kaplıyken diğer bantlar karsız olarak nitelendirilmelidir (Şekil 4.6).



42



Şekil 4.7. Murat-1 havzası 1. alt havzaya ait karşılaştırılma işlemi

Tablo 4.4. Çakıştırılmış görüntüye ait bilgiler

RENK	DURUM		Sonuç
	SWAT	MODIS	
	KAR	KAR	Tutarlı
	KARA	KARA	Tutarlı
	KARA	KAR	Tutarsız
	KAR	KARA	Tutarsız

Bu kısımda açıklanan görselleştirme işlemi bir alt havza için örnek olarak verilmiştir. İşlem aynı prosedürle her iki havzaya ait bütün alt havzalarda uygulanarak iki havzanın tümünde karşılaştırılmış görseller elde edilmiştir.

Görselleştirme işlemi sonucu üst üste getirilerek karşılaştırılan haritalara ait görüntüler seçilen belirli tarihlerde incelenmiştir. Her iki havza için de üzerinde çalışılacak, bulut filtreleme metodunun olabildiğince az etki ettiği tarihler 2006 su yılına aittir. 2006 su yılında incelenecek günlerin seçiminde ise spesifik olarak kar yağışıyla birlikte kar örtüsünün oluşmaya ve kar erimesiyle beraber kar örtüsünün çekilmeye

başladığı, kar örtüsünün havza üzerini neredeyse tamamen kapladığı ve kar örtüsünün havzadan neredeyse tamamen kalktığı tahmin edilen tarihlere odaklanılmıştır. Bu tarihlerin yanı sıra üç farklı seçilmiş gün de dikkate alınıp üzerinde çalışılmıştır. Seçilen bu üç gün, MODIS uydu görüntüleri arasında kar ve kara ayrımının net bir şekilde yapılabildiği, buluttan temizlemek için yapılan filtreleme işleminin mümkün olduğunca az etki ettiği çekilme periyoduna ait tarihlerdir. Tablo 4.5'te seçilen tarihler özellikleriyle birlikte verilmiştir.

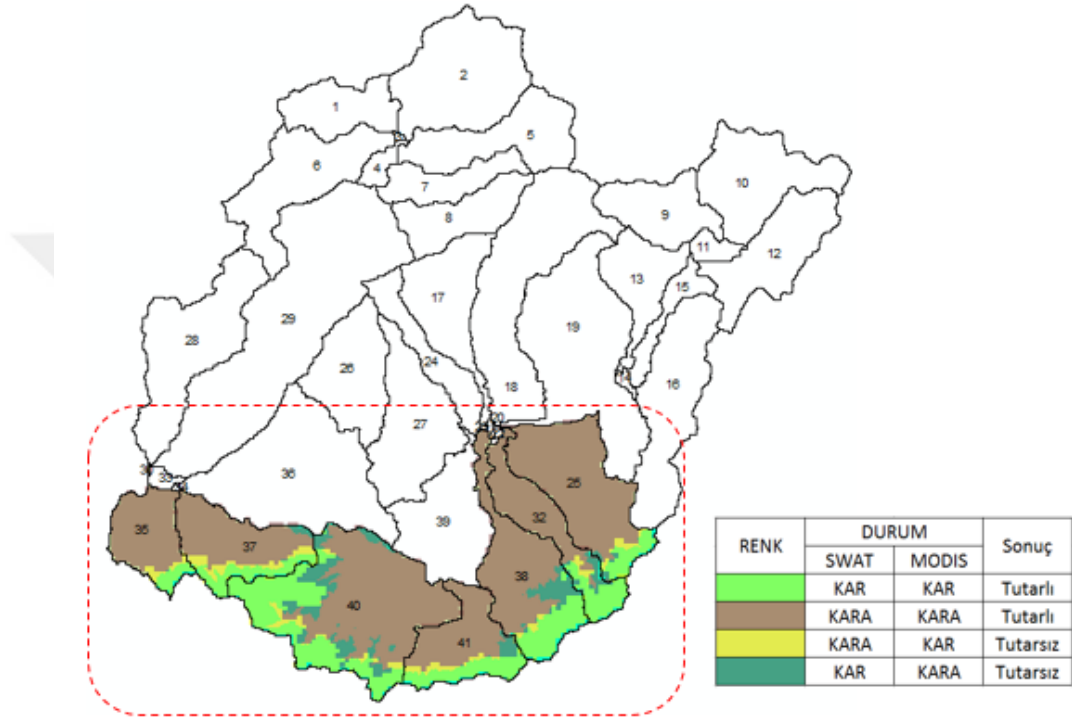
Tablo 4.5. Görselleştirme için seçilen tarihler ve özellikleri

Tarih	Özellik
4 Aralık 2005	Kar birikme
30 Aralık 2005	Tamamen karlı ($\approx \%100$)
30 Mart 2006	Kar çekilme
8 Nisan 2006	Kar çekilme
13 Nisan 2006	Kar çekilme
18 Nisan 2006	Kar çekilme
12 Mayıs 2006	Tamamen karsız ($\approx \%0$)

Görselleştirme işleminde son aşama KSE eşik değerinin her bir alt havza için belirlenerek tüm havzaya türetilen haritaların elde edilmesidir. Bu kısımda örnek olarak Murat-1 havzası 4 Aralık 2005 tarihi kar birikmesi, Karasu-1 havzası için ise 8 Nisan 2006 tarihi kar çekilmesi olarak incelenmiştir. Bu incelemeler için bazı komşu alt havzaların belirlenen KSE eşik değer aralıkları ile örtüşüp örtüşmediği ve sonuçta kar ve kara olarak ayrılan yükseklik bantlarının oluşturduğu kar sınır çizgisinin MODIS görüntüsü ile tutarlılığı gösterilecektir.

Bu işlemde genel olarak kabul edilen iki önemli husus vardır: Birinci olarak, her iki havzanın farklı topografik yapıları (yükseklik farklılıkları gibi) ve alansal özellikleri sebebiyle coğrafi anlamda farklılıklarının olması, KSE eşik değer aralıkları belirlenirken birbirinden ayrı tutularak değerlendirilmesini gerektirir. İkinci husus ise belirlenecek KSE eşik değerinin tek bir değer yerine bir değer aralığı olarak seçilmesidir; çünkü havzaların her alt havzası için SWAT KSE değerlerine ait çıktılar aynı mertebedeki yükseklik

Karasu-1 havzası örneğine ait bazı alt havzaların görselleştirilmesi Şekil 4.9’da gösterilmektedir; bunlara ait belirlenen KSE eşik değer aralığı 25-30 mm’dir ve alt havzaların bu eşik değer aralığına tekabül eden bantlarına ait KSE değer aralıkları Tablo 4.7’deki gibidir.



Şekil 4.9. Karasu-1 havzasında bazı alt havzaların görselleştirilmesi örneği (4 Aralık 2005)

Tablo 4.7. Karasu-1 havzası örneğinde kullanılan alt havzaların KSE eşik değer aralıkları

Alt havza numarası	KSE eşik değer aralığı (mm)
25	28.4 - 50.21
32	27.73 - 56.6
35	21.23 - 56.63
37	23.6 - 67.23
38	26.6 - 67.4
40	21.5 - 55.66
41	28.43 - 77.83

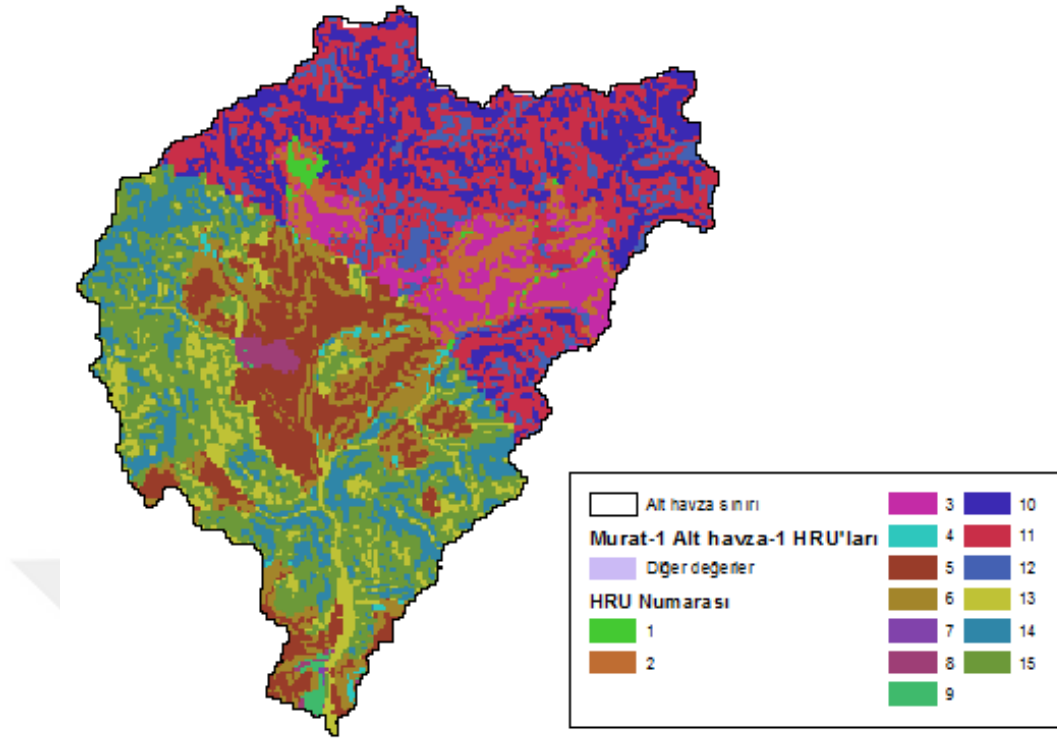
Görüldüğü gibi her iki havzada da birbirinden bağımsız olarak belirlenen KSE eşik değer aralıklarına göre oluşturulan görselleştirme örneklerinde tutarlılık oldukça yüksektir. Bu işlem sırasında havzalar içerisinde belli bölgelerde bulunan alt havzaların farklı KSE eşik değer aralıkları kullanılarak görselleştirilmesi bu örneklerdeki gibi yapılmıştır ve tüm havzaya ait haritalar elde edilmiştir. Ortaya çıkan sonuç haritaları ve yorumlanması detaylı olarak çalışmanın bu bölümünün sonuç kısmında verilecektir.

4.3.2. SWAT KSE – MODIS KKA verilerinin zamansal karşılaştırılması

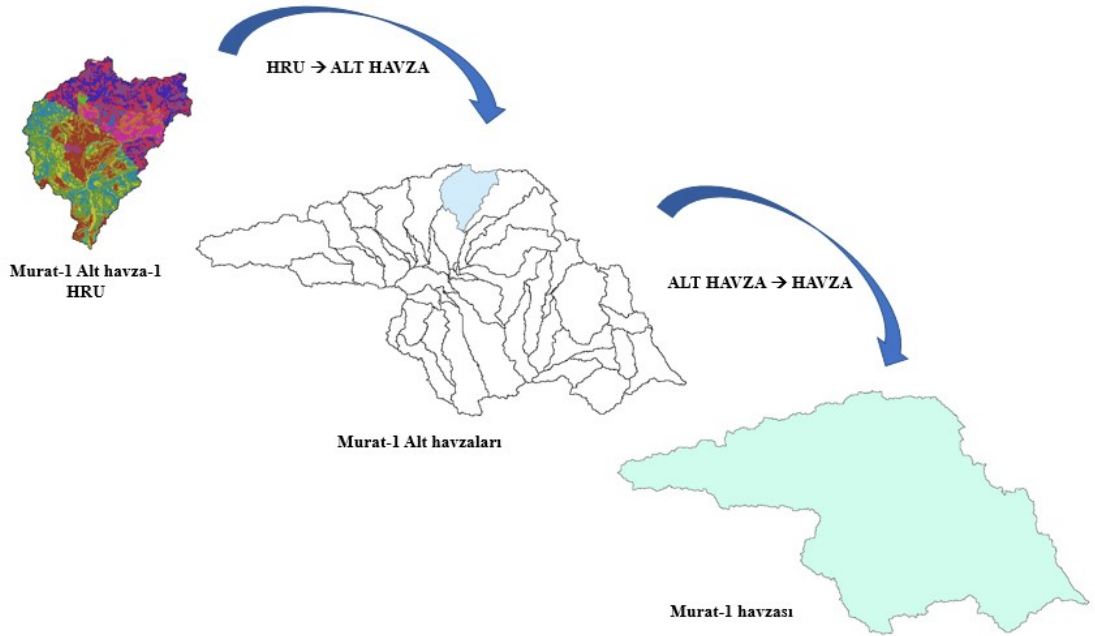
SWAT modeli dağılımlı bir model olduğu için çalışma prensibi olarak model içerisindeki süreçleri HRU’larda yürütmektedir. Benzer şekilde, kar erime sürecine dair işlemler de HRU ölçeğinde hesaplanır. Model her bir HRU’ya ait yükseklik bantlarında günlük olarak KSE çıktısı vermektedir. MODIS uydu görüntülerinden elde edilmiş KKA değerleri ise havza ölçeğinde elde edilmiştir. Dolayısıyla, SWAT KSE değerlerinin HRU ölçeğinden havza ölçeğine dönüştürülmesi bu süreçte yapılması gereken ilk adımdır.

SWAT modeline ait her bir HRU, her alt havzada kendi içerisinde bölünerek kendine has bir kodla tanımlanmaktadır ve bu HRU’lar mekansal olarak karmaşık bir dağılım göstermektedir. Şekil 4.10’da örnek olarak Murat-1 havzasının 1 numaralı alt havzasına ait HRU’lar gösterilmektedir. Görüldüğü gibi HRU’lar mekansal olarak farklılık gösterebilmektedir, diğer bir deyişle dağınık bir yapıya sahiptir.

HRU ölçeğinde elde edilen KSE çıktı değerlerinin MODIS görüntülerinden üretilmiş KKA verileri ile karşılaştırılabilmesi için HRU bazındaki KSE değerlerinin havza bazına genişletilmesi gerekmektedir. Bu işlem iki aşamada gerçekleştirilmiştir: İlk olarak her bir alt havzaya ait HRU’lar alansal değer yüzdelikleriyle çarpılarak alt havza ölçeğinde, daha sonra her bir alt havza için elde edilmiş olan değerler yine alansal yüzdelikleri göz önünde bulundurularak tüm havza ölçeğindeki KSE değerlerine türetilmiştir (Şekil 4.11). Böylece, SWAT’ın bir çıktısı olan günlük KSE değerleri ile MODIS görüntülerine ait KKA değerleri aynı ölçekte (bütün bir havza ölçeğinde) karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.



Şekil 4.10. Murat-1 havzası 1 numaralı alt havzasına ait HRU'lar



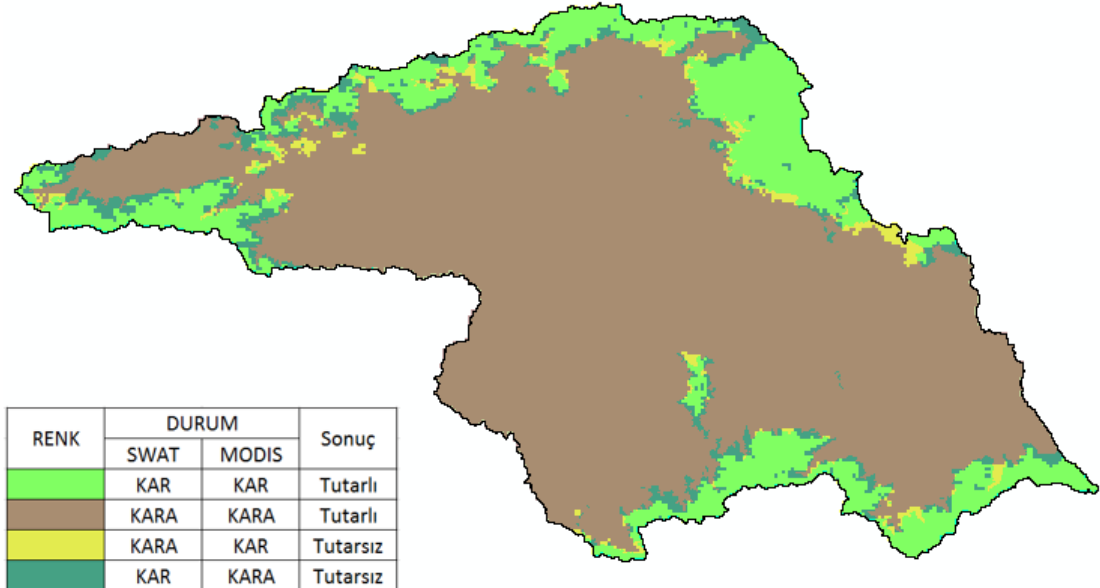
Şekil 4.11. HRU değelerinin tüm havzaya türetilmesi işlemi

Bu metotta dikkat edilmesi gereken kısım, karşılaştırılması yapılacak iki kar bileşeninin (KSE ve KKA) direkt olarak kıyaslanamamasıdır. Çünkü bu iki bileşen aynı birimde değildir: KSE değerleri mm cinsinden, KKA değerleri ise yüzdelik (%) olarak mevcuttur. Bu sebeple, bir çizgi grafiği üzerinde karşılaştırılacak kar bileşeni değerlerini direkt olarak kıyas etmek yerine, değer çizgilerine ait paternlerin incelenmiş ve karlı veya karsız gün sayısına göre KSE ve KKA verileri değerlendirilerek bir başarı oranı hesaplaması yapılmıştır. Bu değerlendirmeler ve yapılan hesaplamalar detaylı olarak çalışmanın bu bölümünün sonuç kısmında verilecektir.

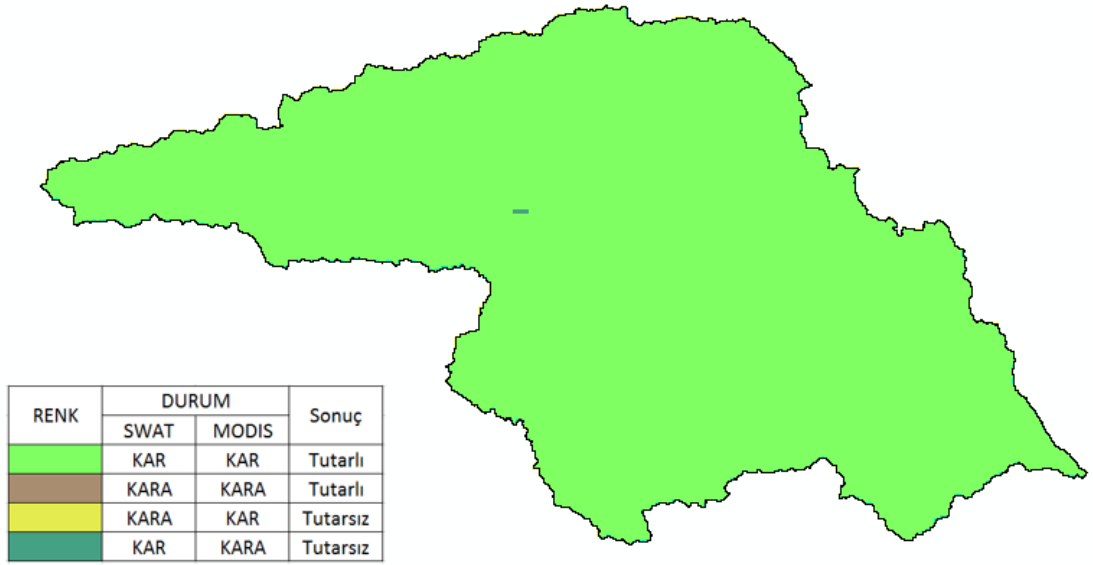
4.4. Parametrizasyon İşleminin Sonuçları

4.4.1. Görselleştirme işlemi sonuçları ve yorumlanması

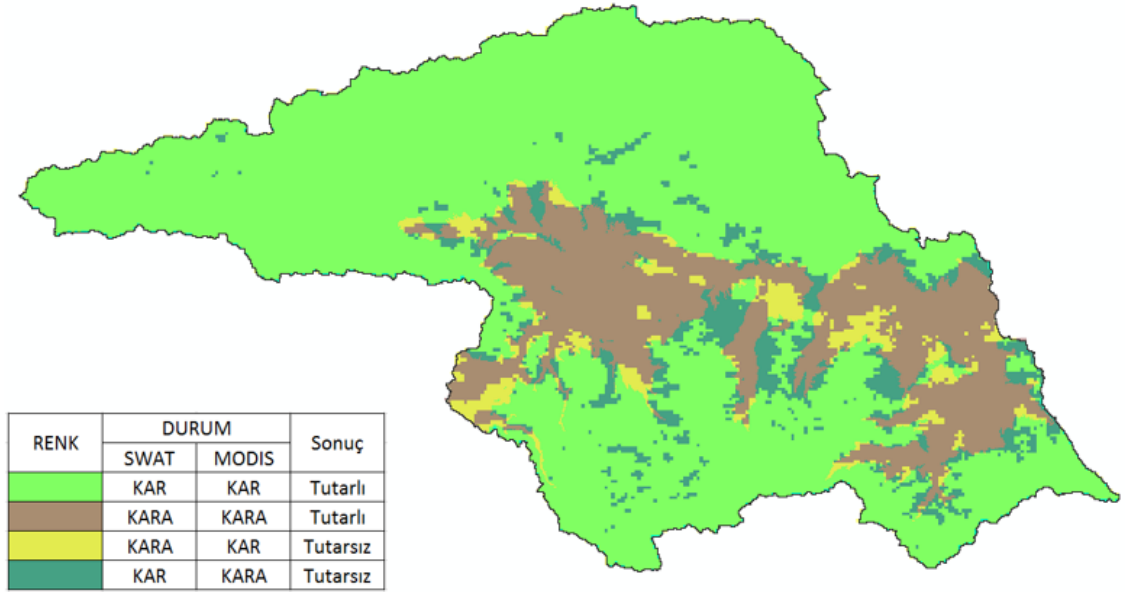
Belirlenen KSE eşik değer aralıkları ile seçilen spesifik tarihlerde incelenen SWAT KSE çıktı verilerinin görselleştirilip MODIS uydu görüntüleri ile karşılaştırılarak oluşturulmuş haritalar Murat-1 havzası için Şekil 4.12 – Şekil 4.18’de, Karasu-1 havzası için ise Şekil 4.19 – Şekil 4.25’te gösterilmektedir.



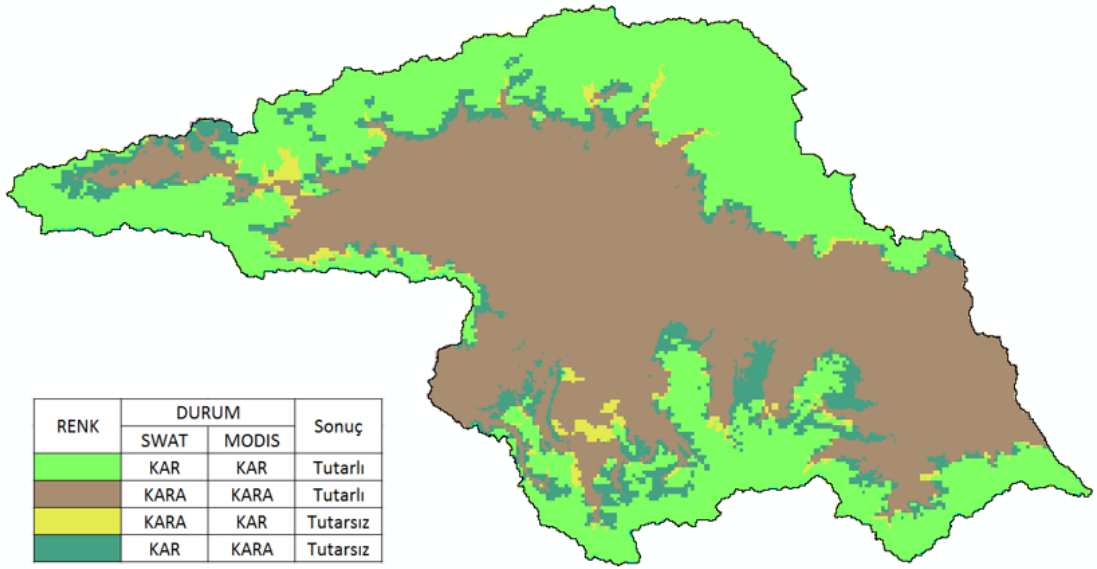
Şekil 4.12. Murat-1 havzası 4 Aralık 2005 tarihli karşılaştırılmış görseli



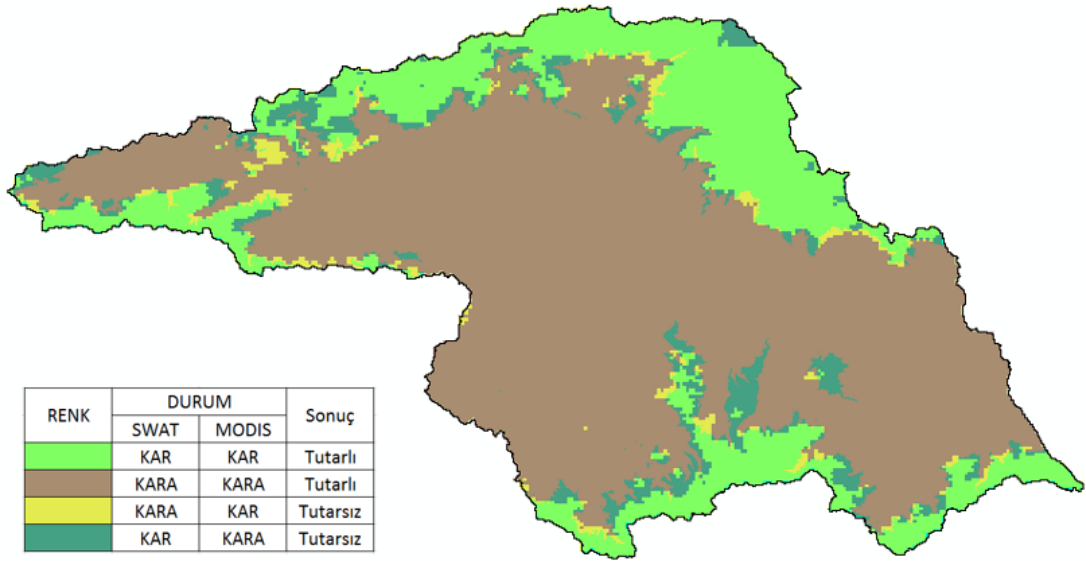
Şekil 4.13. Murat-1 havzası 30 Aralık 2005 tarihli karşılaştırılmış görseli



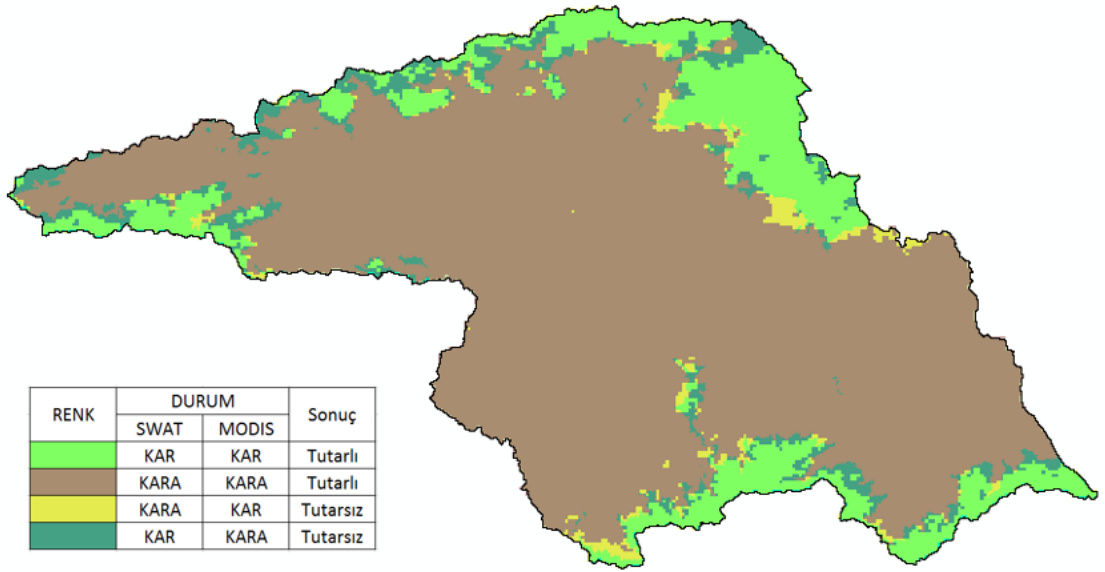
Şekil 4.14. Murat-1 havzası 30 Mart 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli



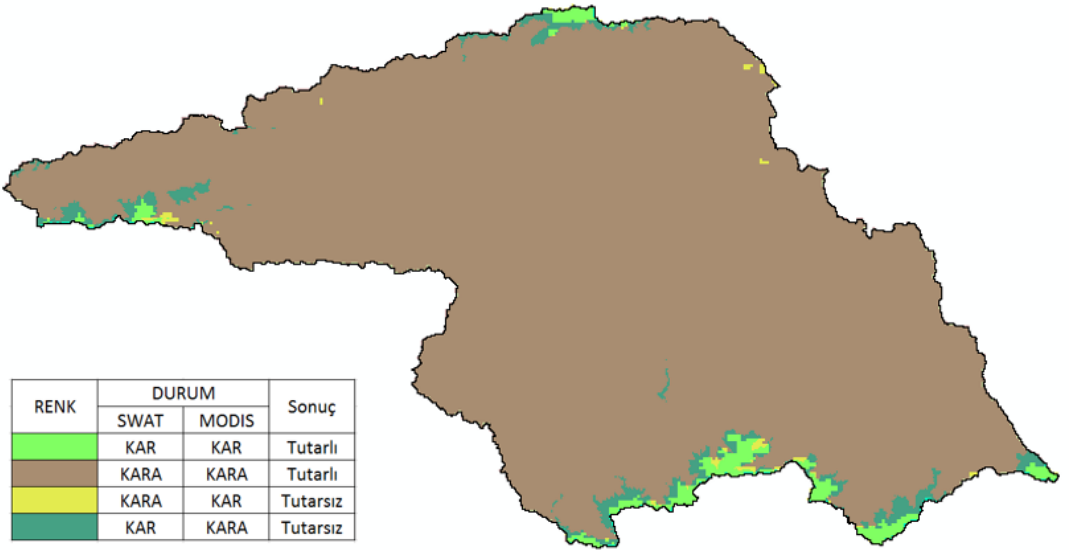
Şekil 4.15. Murat-1 havzası 8 Nisan 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli



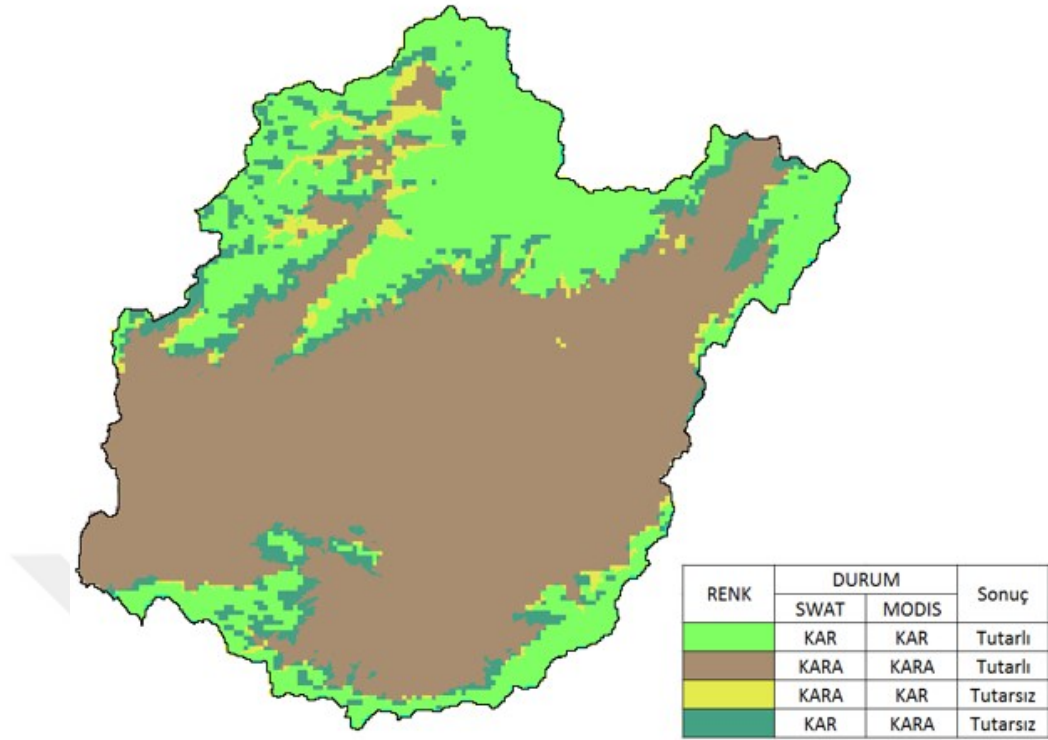
Şekil 4.16. Murat-1 havzası 13 Nisan 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli



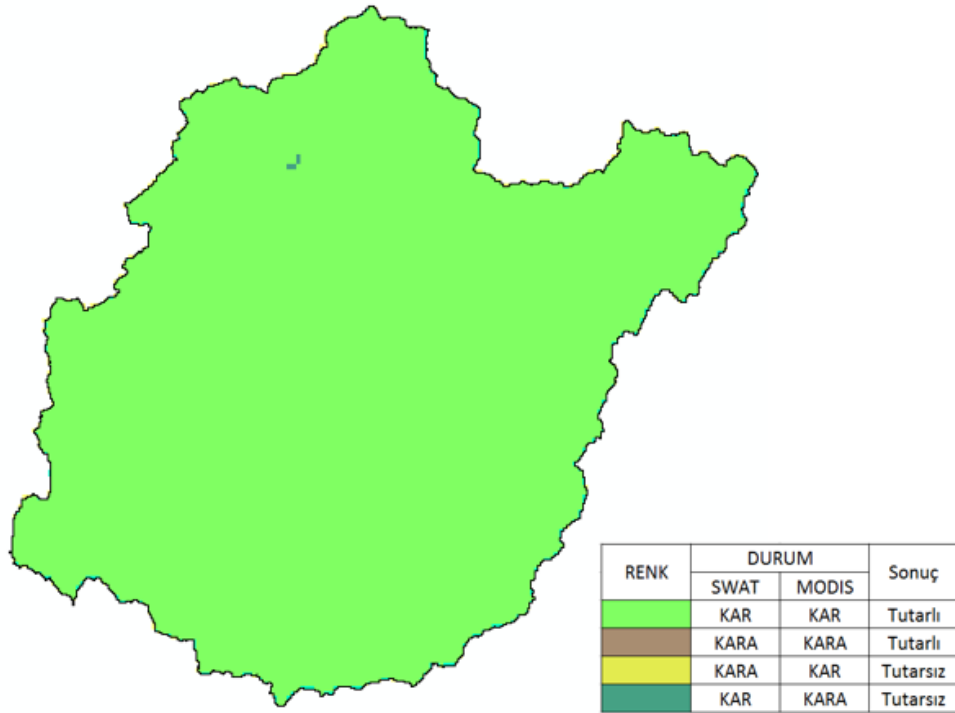
Şekil 4.17. Murat-1 havzası 18 Nisan 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli



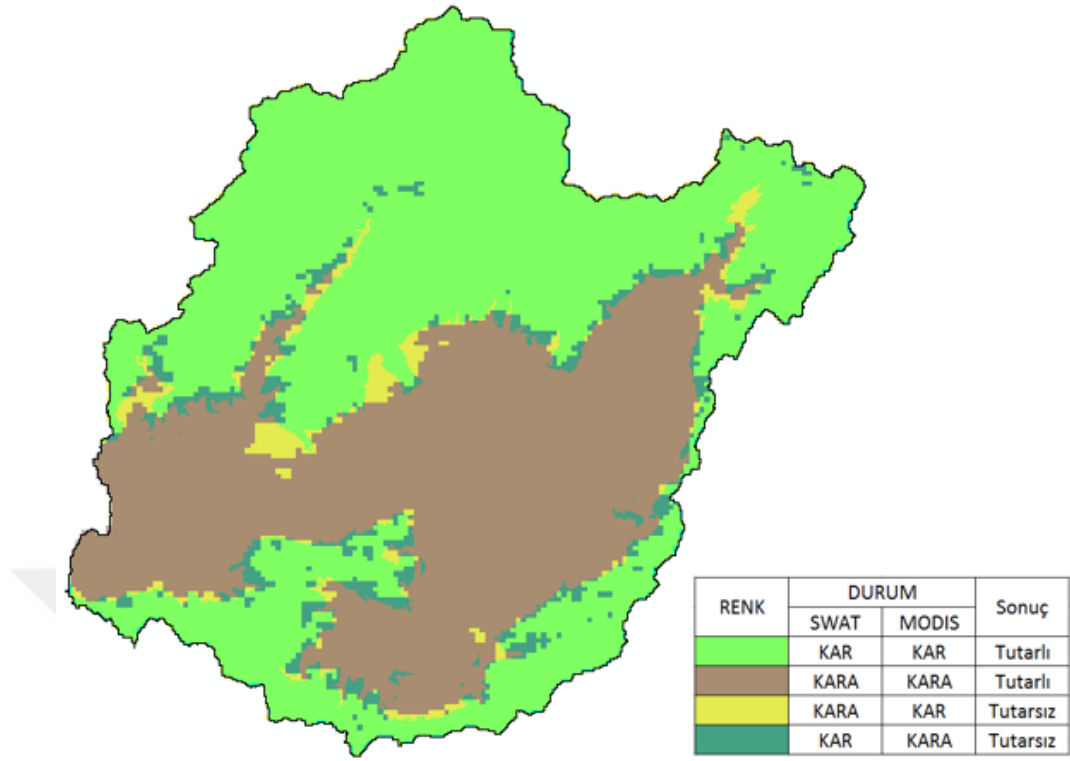
Şekil 4.18. Murat-1 havzası 12 Mayıs 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli



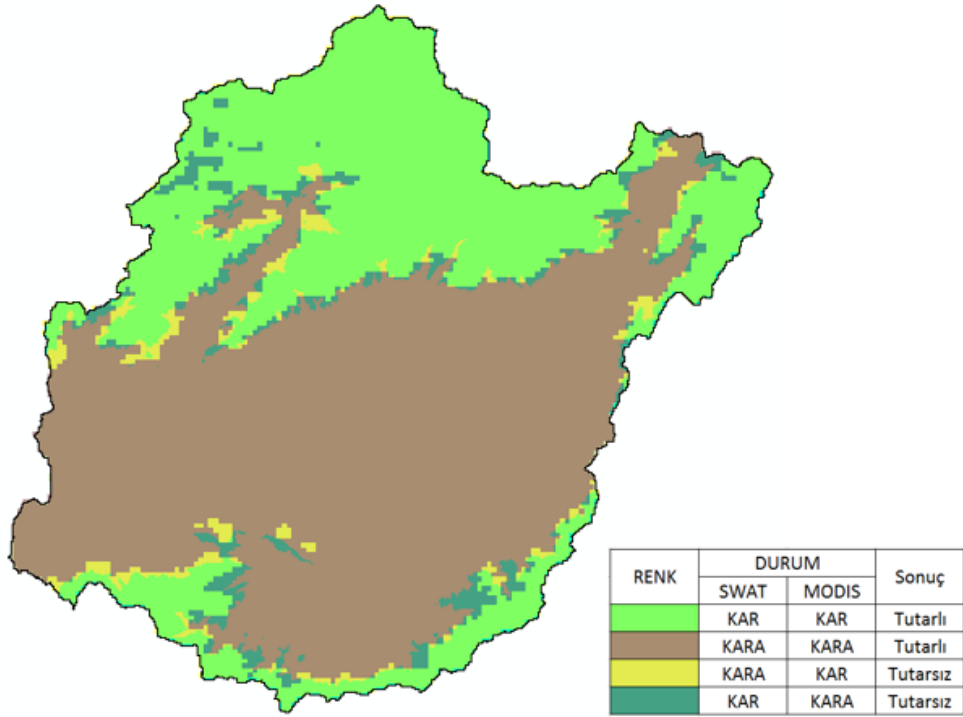
Şekil 4.19. Karasu-1 havzası 4 Aralık 2005 tarihli karşılaştırılmış görseli



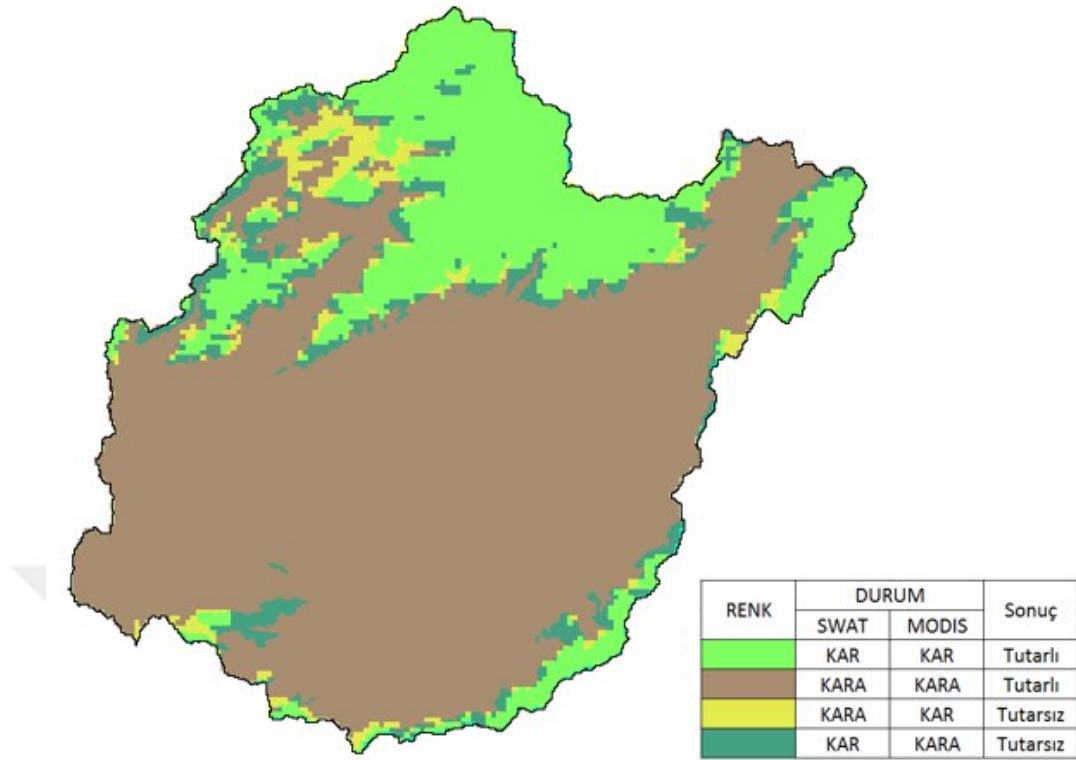
Şekil 4.20. Karasu-1 havzası 30 Aralık 2005 tarihli karşılaştırılmış görseli



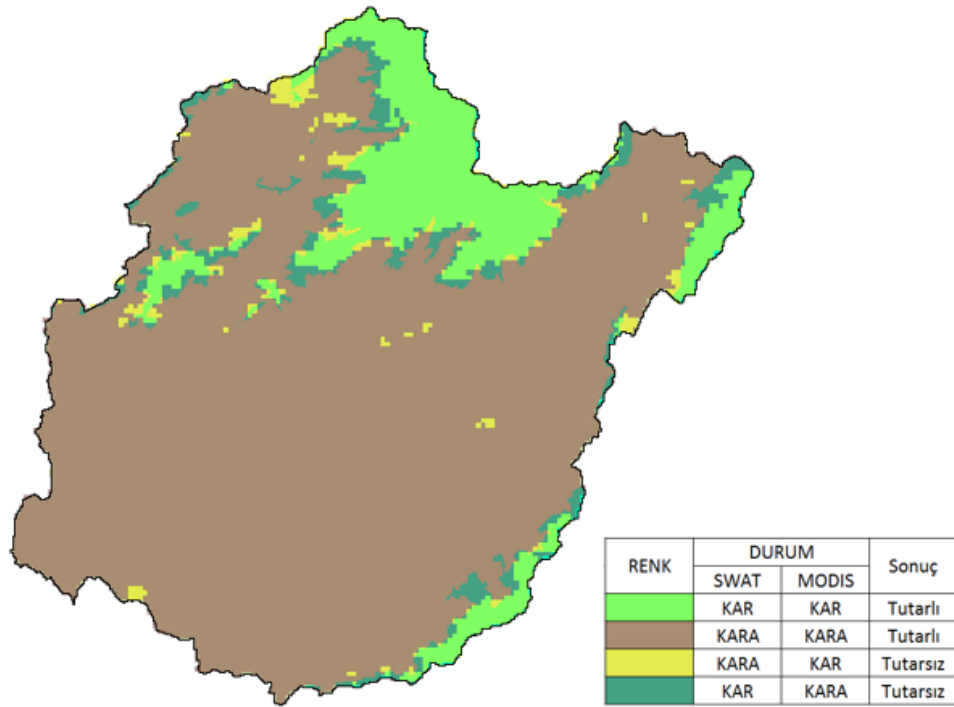
Şekil 4.21. Karasu-1 havzası 30 Mart 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli



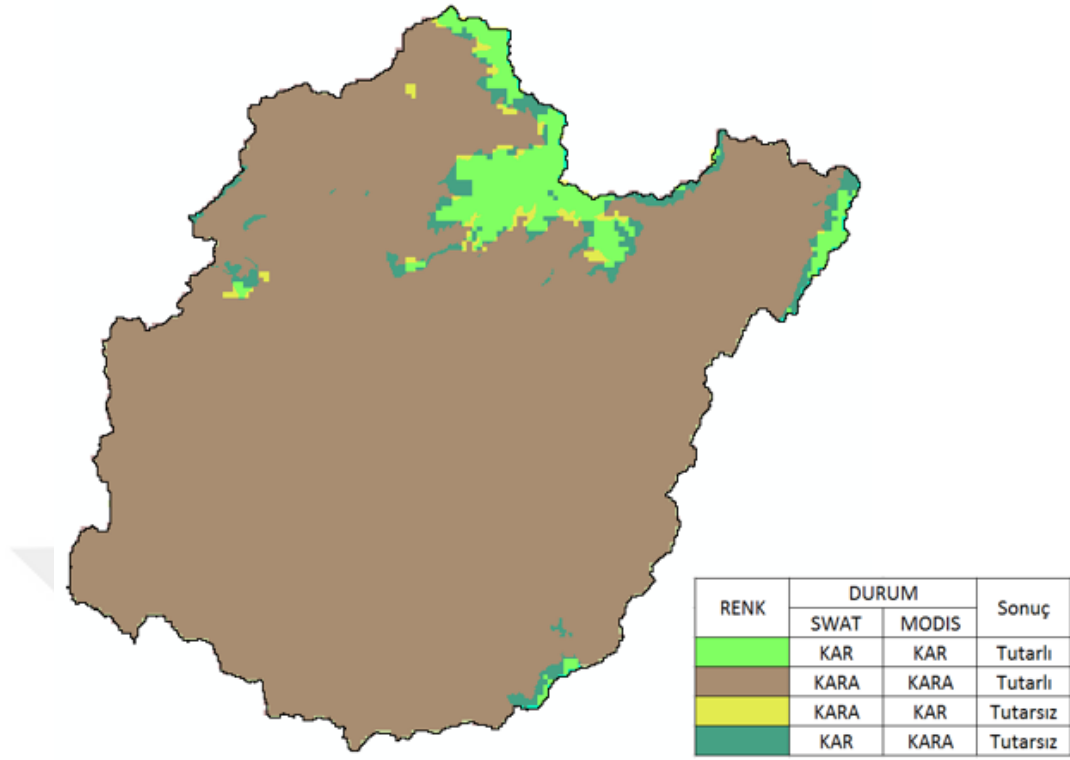
Şekil 4.22. Karasu-1 havzası 8 Nisan 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli



Şekil 4.23. Karasu-I havzası 13 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli



Şekil 4.24. Karasu-I havzası 18 Nisan 2006 tarihli çakıştırılmış görseli



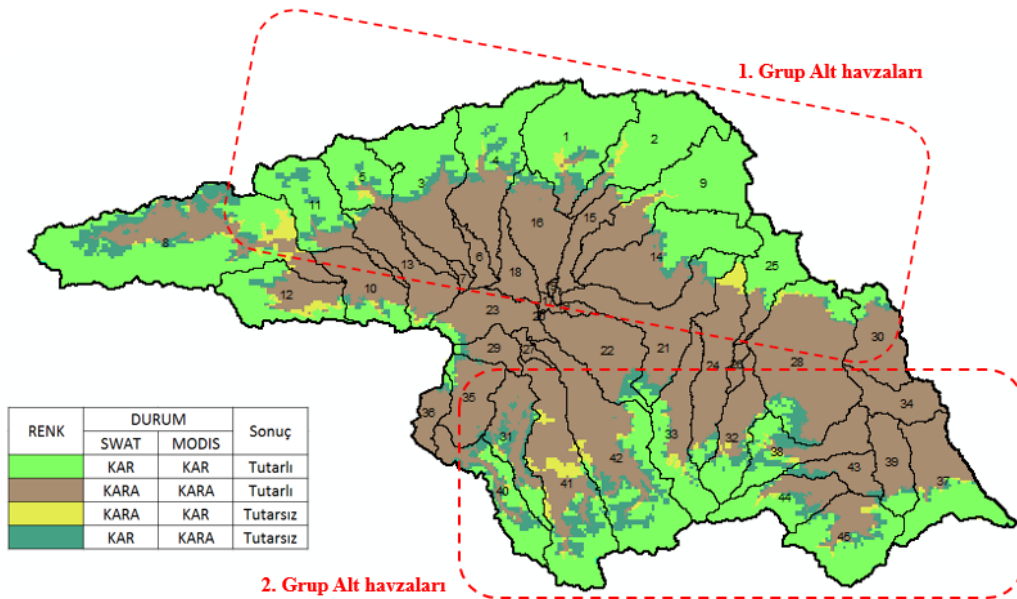
Şekil 4.25. Karasu-1 havzası 12 Mayıs 2006 tarihli karşılaştırılmış görseli

Her iki havzaya ait karşılaştırılmış görseller incelendiğinde SWAT KSE görselleştirmeleri ile MODIS kar kaplı uydu görüntülerinin birbiri ile büyük ölçüde tutarlılık gösterdiği görülmektedir. Görsel anlamda yapılan bu kıyaslama çalışmasında uyumluluk oranının yüksek olması, belirlenen KSE eşik değer aralıklarının iyi seçilmesine bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Bunun için Murat-1 ve Karasu-1 havzaları birbirinden bağımsız olarak ve her havzanın alt havzaları kendi içlerinde ortak özelliklerine göre gruplandırılarak KSE eşik değer aralıklarına karar verilmiştir.

Grusson ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada KSE değerleri için MODIS uydu görüntülerinin kar ve kara olarak değerlendirilmesinde kullanılan değer olan 15 mm'yi (Klein ve Barnet, 2003), KSE değerlerinin en yüksek olduğu ve kar örtüsünün tamamen yok olduğu tarihler için kullanmıştır. Bu çalışmada ise, KSE eşik değerlerinin alt havzalara ait alan, biçimsel farklılık, ortalama yükselti ve yükseklik dağılımı gibi sebeplerden ötürü tek bir değer olarak kullanılması yerine eşik değer aralığı olarak değerlendirilmesine karar verilmiştir. Değer aralıklarını belirlemede bazı geçerli ve anlamlı kabuller yapılmıştır. Bu kabullerin yapılmasında her iki havzanın alt havzalarının

bölgesel ve topografik olarak birbirinden farklılık göstermesi sebep olmaktadır. Alt havzaların ortalama yükseklikleri, yükseklik farklılıkları, bakıları, SWAT modeline bağlı otomatik bölünme biçimleri ve alanlarının farklı oluşu KSE değer aralıklarının birbirinden farklı değerlendirilmesine sebep olmaktadır.

Murat-1 havzasına ait 8 Nisan 2006 tarihli görselleştirilmiş görüntüye bakıldığında havza içerisinde alt havzaların farklı iki bakıya sahip grup oluşturdukları açıkça görülmektedir. Çalışmanın 2. kısmındaki Şekil 2.7'deki bakı haritası da göz önünde bulundurularak, ilk gruptaki havzalar kuzey bölgesinde yer alan güneye bakan yamaçlar bulunduran, ikinci gruptakiler ise güney bölgesinde yer alan kuzeye bakan yamaçlar bulunduran alt havza gruplarıdır (Şekil 4.26). KSE eşik değer aralıkları belirlenirken bu alt havza gruplarının farklı bakılara ve yüksekliğe sahip olmaları göz önünde bulundurularak karar verilmiştir; çünkü bakı, kar erimesini ve karın yerde tutulmasını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. 1. grup alt havzaları için KSE eşik değeri aralığı 10-15 mm olarak belirlenirken 2. grup alt havzalarında bu değeri aralığı 50-60 mm olmaktadır. Alt havzaların bu eşik değeri aralığına tekabül eden bantlarına ait KSE eşik değeri aralıkları Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'da sırasıyla 1. ve 2. alt havza grupları için gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Murat-1 havzasında bakı olarak farklılık gösteren alt havza grupları

Tablo 4.8. *Murat-1 havzası 8 Nisan 2006 1. alt havza grubu KSE eşik değer aralıkları*

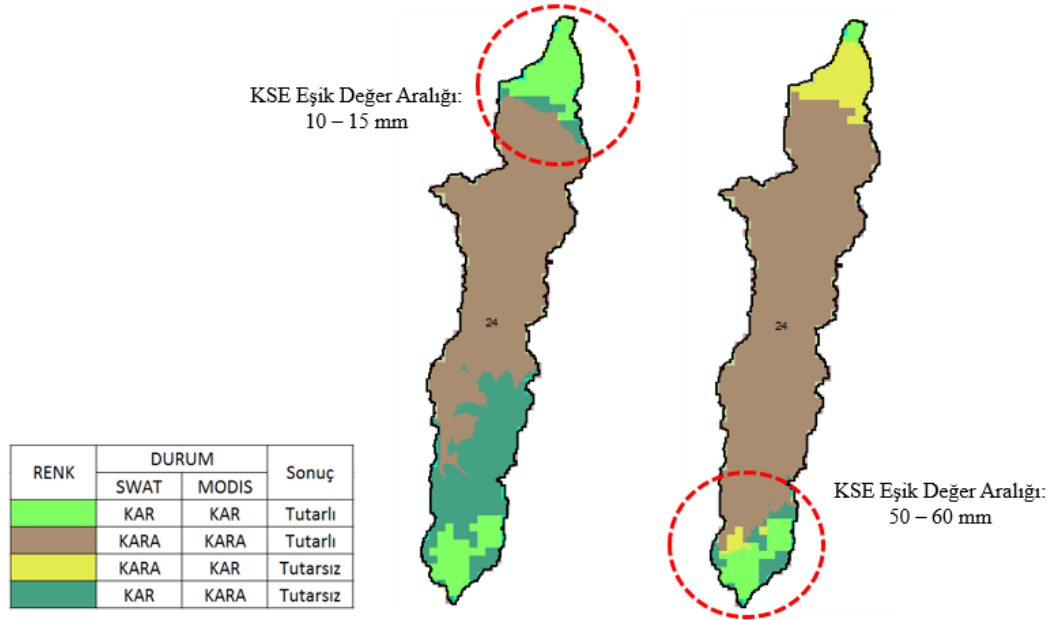
Alt havza numarası	KSE eşik değer aralığı (mm)
1	10.84 - 12.98
2	11.7 - 17.49
3	11 - 15.23
4	12.63 - 17.23
5	14.18 - 18.58
9	11 - 15.25
11	12.87 - 16.95
14	14.73 - 22.73
25	12.97 - 22.31

Tablo 4.9. *Murat-1 havzası 8 Nisan 2006 2. alt havza grubu KSE eşik değer aralıkları*

Alt havza numarası	KSE eşik değer aralığı (mm)
31	55.75 - 67
32	50.18 - 60.34
33	59.47 - 63.93
37	53.81 - 60.52
38	50.48 - 68.45
39	58.78 - 69.16
40	53.83 - 55.21
41	57.52 - 77.06
42	55.44 - 75.03
43	50.1 - 60.6
44	57.38 - 67.05
45	53.53 - 61.53

Alt havzaların KSE değer aralıkları, bakı ve yükseklik etkisi dikkate alınarak belirlenen KSE eşik değer aralıklarına bakıldığında 2 farklı grup olarak birbirinden bağımsız olarak örtüştüğü görülmektedir. Burada bazı alt havzaların KSE değer aralıkları gösterilmemiştir; bu alt havzaların ortak özelliği iki farklı bakıya sahip bölgelerinin bulunmasıdır. Bunlar 8., 21., 24. ve 28. alt havzalardır ve karar verirken iki farklı alt havza

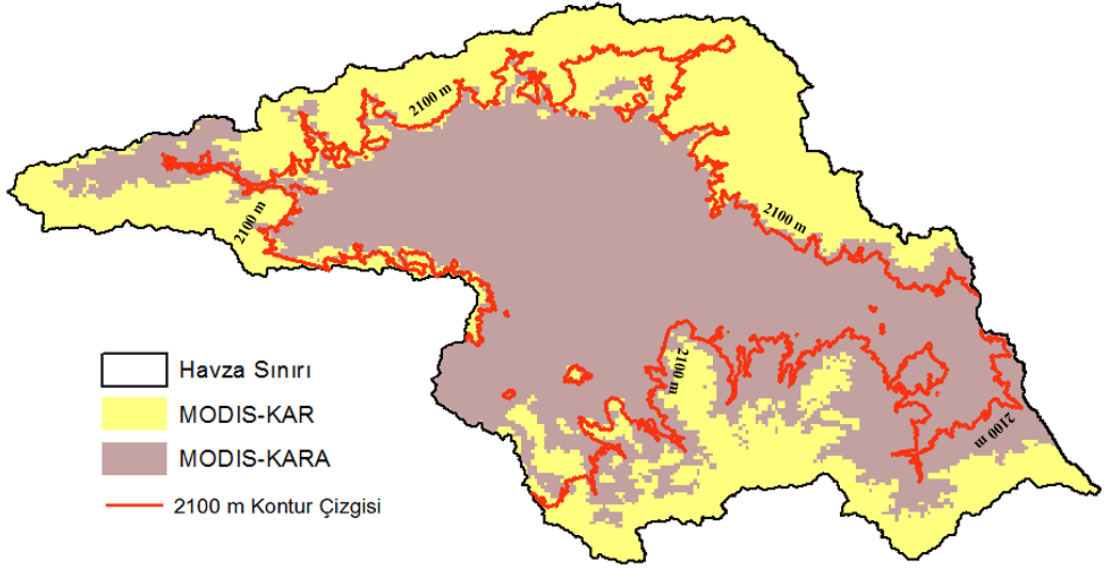
grubuna da dahil edilebilir; eğer 1. gruba dahil edilirse güney kısmında tutarsızlık, 2. gruba dahil edilirse kuzey kısmında tutarsızlıkla karşılaşılacaktır. Bu durum görsel olarak 24 numaralı alt havza üzerinde Şekil 4.27’de açıklanmaktadır.



Şekil 4.27. KSE eşik değeri aralığı belirlemede bakının etkisi

Murat-1 havzasına ait alt havzalar incelendiğinde birbirinden farklı ortalama yükselti ve yükseklik farkı (en düşük ve en yüksek kot arasındaki fark) değerlerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum KSE eşik değeri aralığı belirlemede oldukça etkili bir faktördür; çünkü KSE değerlerine göre kar örtüsünün olup olmadığına karar verirken alt havzalara ait yükseklik bandı sayıları benzer olmasına karşın bu bantlara ait KSE değerleri birbirinden farklı olabilmektedir. Diğer bir deyişle, kar sınır çizgisi aynı havza içerisinde farklı bölgelerde farklı kotlarda görülmesi mümkündür. Bu durumu açıkça inceleyebilmek adına 8 Nisan 2006 tarihli MODIS uydu görüntüsü üzerinde Murat-1 havzasına ait belirlenen bir kontur çizgisi Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Şekilde yer alan kırmızı kontur çizgisi 2100 m’yi temsil etmektedir ve açıkça görüldüğü üzere bu çizgi havzanın kuzey bölgelerinde kar sınır çizgisi ile örtüşürken güney bölgelerindeki kar sınır çizgisi bu kontur çizgisinin çok üzerinde kalmaktadır. Bu durum alt havzaların bulundukları bölgelerde yükseklik farklılıklarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır ve KSE eşik değeri aralığı belirlerken dikkate alınmıştır. Murat-1 havzasının güney

bölgesinde bulunan alt havzalara ait 50-60 mm KSE eşik değeri aralığının yüksek olması bu bilgi ile örtüşmektedir.



Şekil 4.28. Murat-1 havzası MODIS KKA (8 Nisan 2006) ve 2100 m kontur çizgisi karşılaştırılması

Bakı ve yükseklik farkı etkisinin yanında alt havzaların SWAT modeli tarafından otomatik yapılan bölünmeleri farklı alan ve biçim özelliklerinin oluşmasına sebep olan diğer bir durumdur.

Bütün bunlar göz önünde bulundurularak belirlenen KSE eşik değeri aralıkları her iki havzanın alt havzaları gruplandırılarak Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de sırasıyla Murat-1 ve Karasu-1 için verilmiştir. Burada, havzalar 4 ana grupta toplanmıştır: Kuzey bölgesinde yer alanlar (Kuzey), güney bölgesinde yer alanlar (Güney), tamamen karsız ve tamamen kar kaplı alt havzalar.

Tablo 4.10. *Murat -1 havzasına ait tüm tarihler için KSE eşik değer aralıkları*

KSE Eşik Değer Aralıkları (mm)				
Tarih	Murat-1 havzası alt havza bölgeleri			
	Kuzey	Güney	Tamamen karlı	Tamamen karsız
4 Aralık 2005	7 - 8	25 - 30	Yok	0 - 2
30 Aralık 2005	> 20 (Tüm havza kar kaplı)			
30 Mart 2006	30 - 35	55 - 60	> 30	0 - 25
8 Nisan 2006	10 - 15	50 - 60	Yok	0 - 15
13 Nisan 2006	9 - 10	80 - 85	Yok	0 - 8
18 Nisan 2006	7 - 8	25 - 30	Yok	0 - 5
12 Mayıs 2006	0	1 - 2	Yok	0

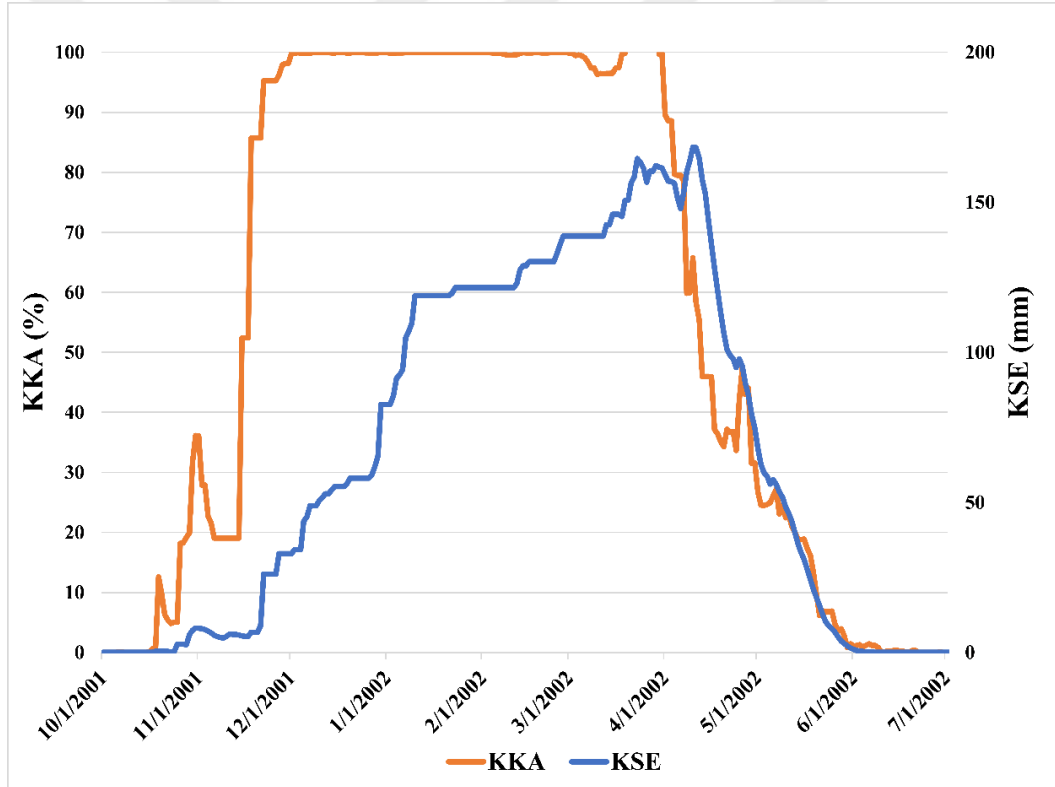
Tablo 4.11. *Karasu -1 havzasına ait tüm tarihler için KSE eşik değer aralıkları*

KSE Eşik Değer Aralıkları (mm)				
Tarih	Karasu-1 havzası alt havza bölgeleri			
	Kuzey	Güney	Tamamen karlı	Tamamen karsız
4 Aralık 2005	25 - 30	35 - 40	Yok	0 - 15
30 Aralık 2005	> 25 (Tüm havza kar kaplı)			
30 Mart 2006	25 - 30	45 - 50	> 50	0 - 15
8 Nisan 2006	25 - 30	45 - 50	Yok	0 - 15
13 Nisan 2006	10 - 15	25 - 35	Yok	0 - 10
18 Nisan 2006	10 - 20	25 - 35	Yok	0 - 10
12 Mayıs 2006	3 - 4	3 - 4	Yok	0 - 2

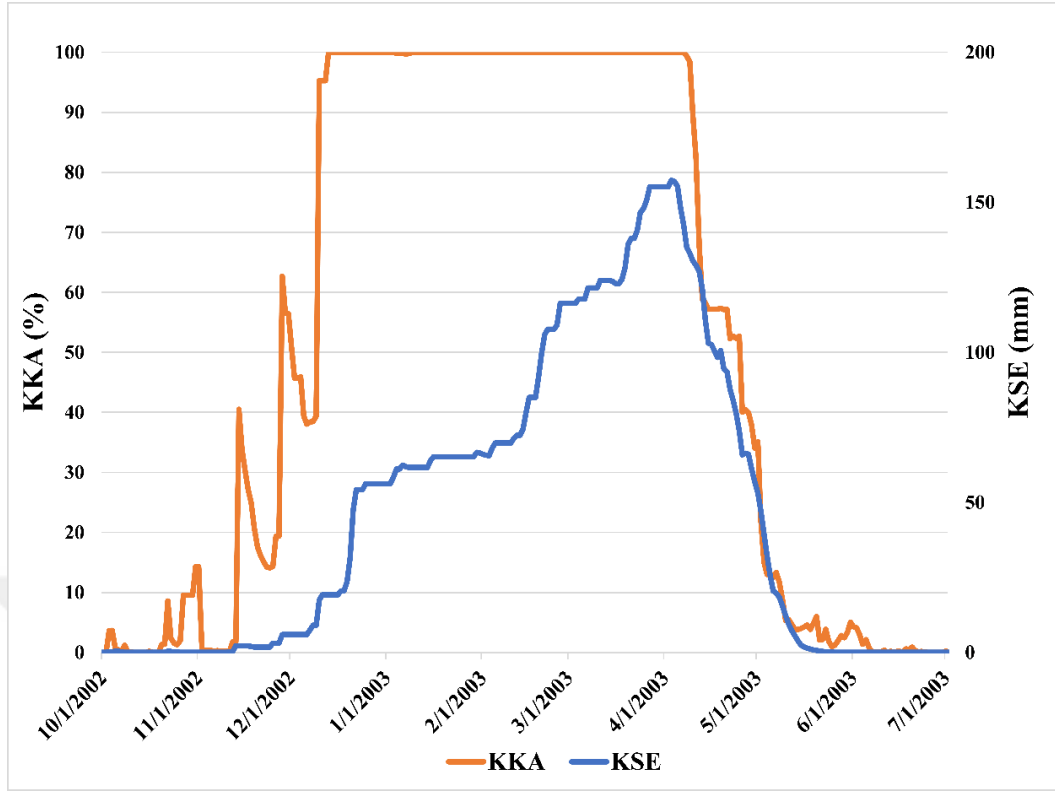
4.4.2. KSE – KKA karşılaştırması sonuçları ve yorumlanması

SWAT KSE değerleri mm cinsinden, MODIS KKA değerleri ise yüzdelik (%) olarak daha önce açıklanan prosedürle elde edilmiştir. SWAT çıktı veri tabanından alınan KSE değerleri ve MODIS KKA değerleri günlük zaman dilimindedir.

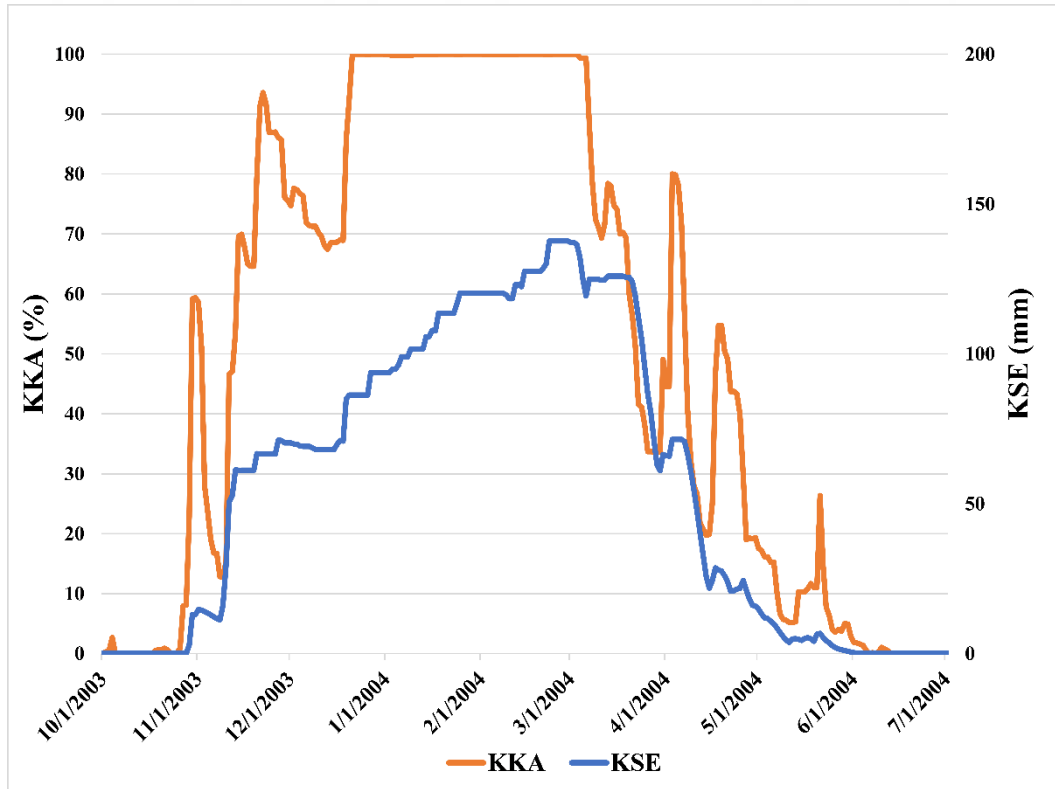
Burada çizgi grafiği üzerinde karşılaştırılmış SWAT KSE ve MODIS KKA değerleri verilecektir. Her iki havza modelinin çalıştırıldığı yıllar olan 2002-2011 su yıllarına ait grafikler her bir su yılı için Şekil 4.29 – Şekil 4.38’de, bütün bir periyot olarak Şekil 4.39’da Murat-1 havzası için gösterilmiştir. Karasu-1 havzası için de benzer şekilde karşılaştırma grafikleri sunulmuştur (Şekil 4.40 – Şekil 4.50).



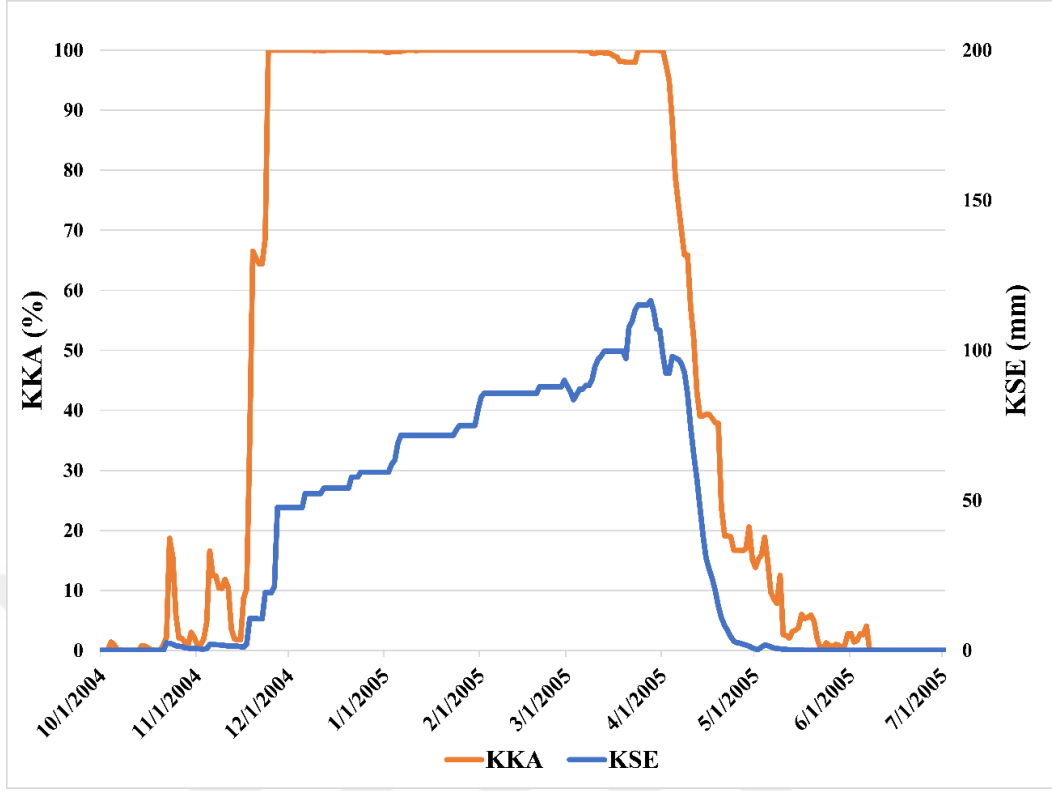
Şekil 4.29. Murat-1 havzası 2002 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



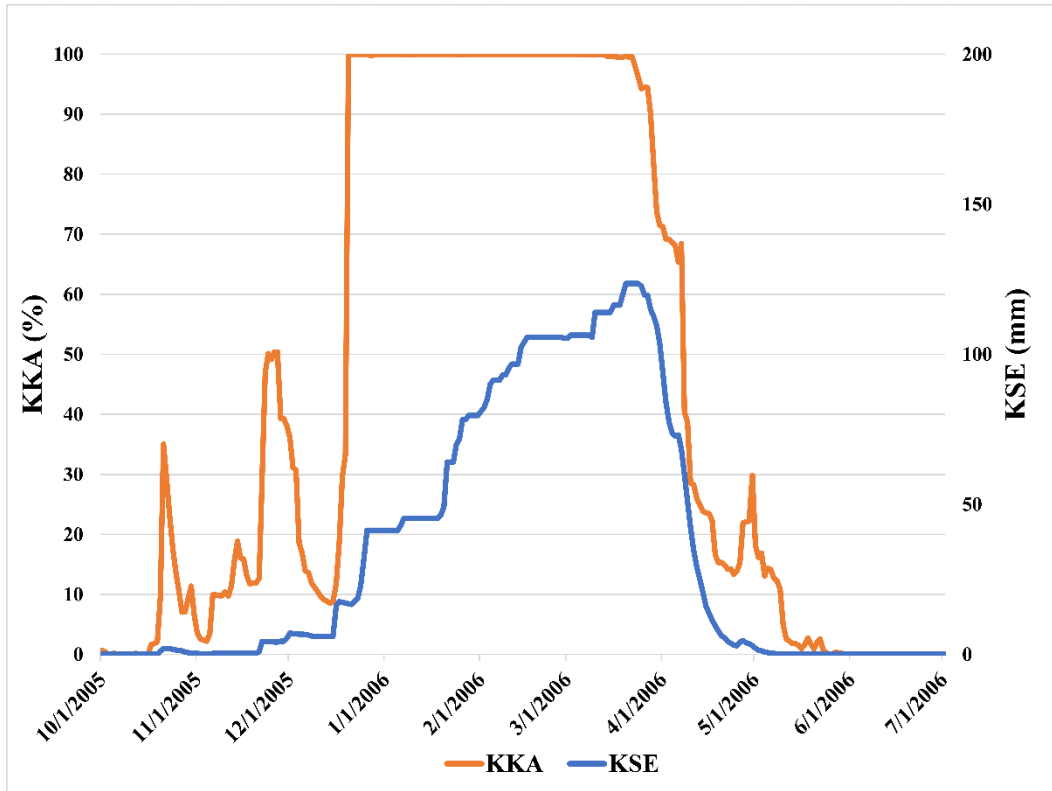
Şekil 4.30. Murat-1 havzası 2003 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



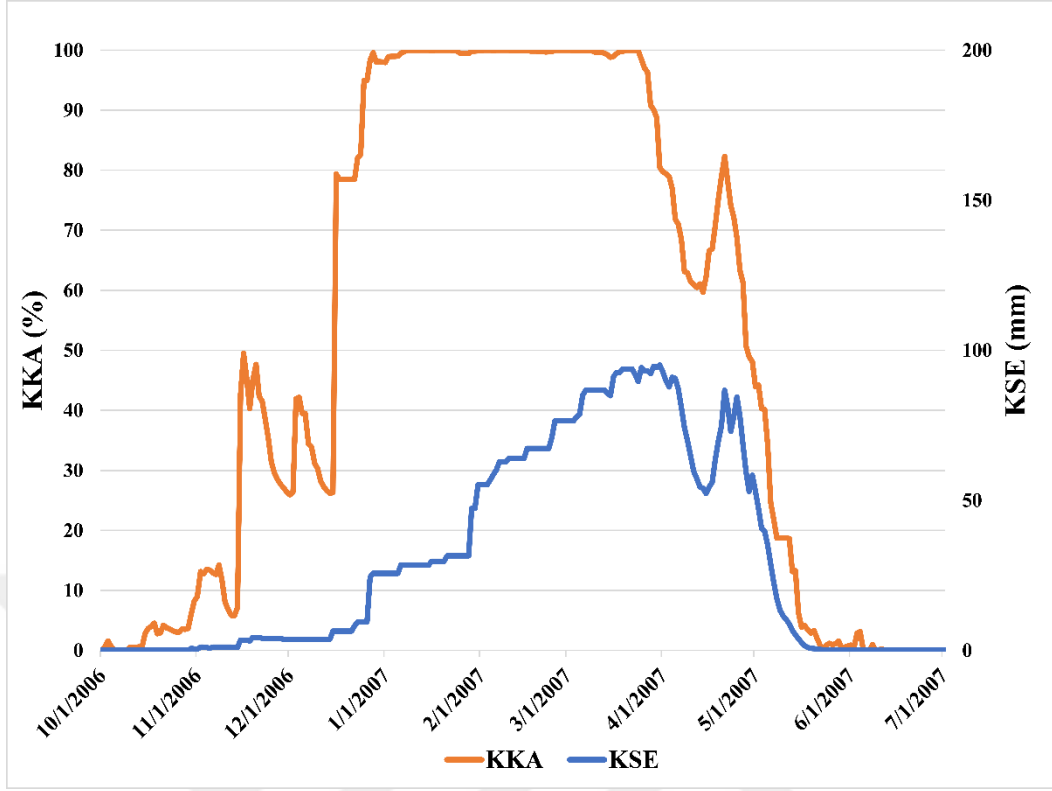
Şekil 4.31. Murat-1 havzası 2004 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



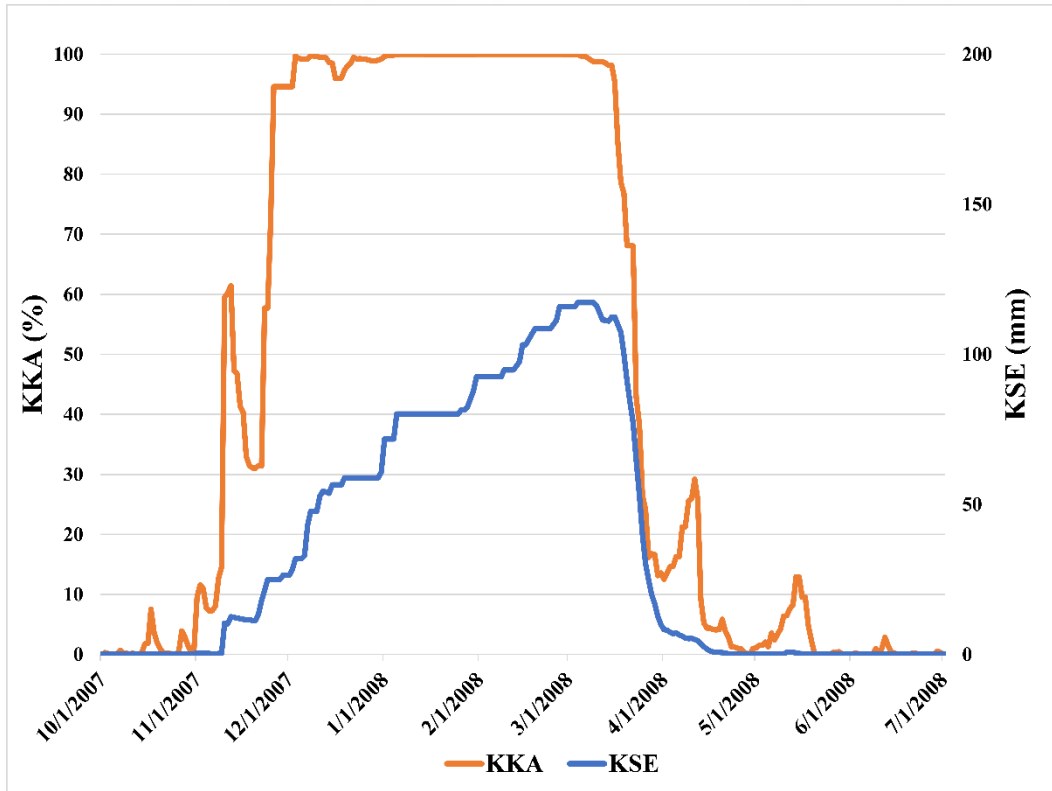
Şekil 4.32. Murat-1 havzası 2005 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



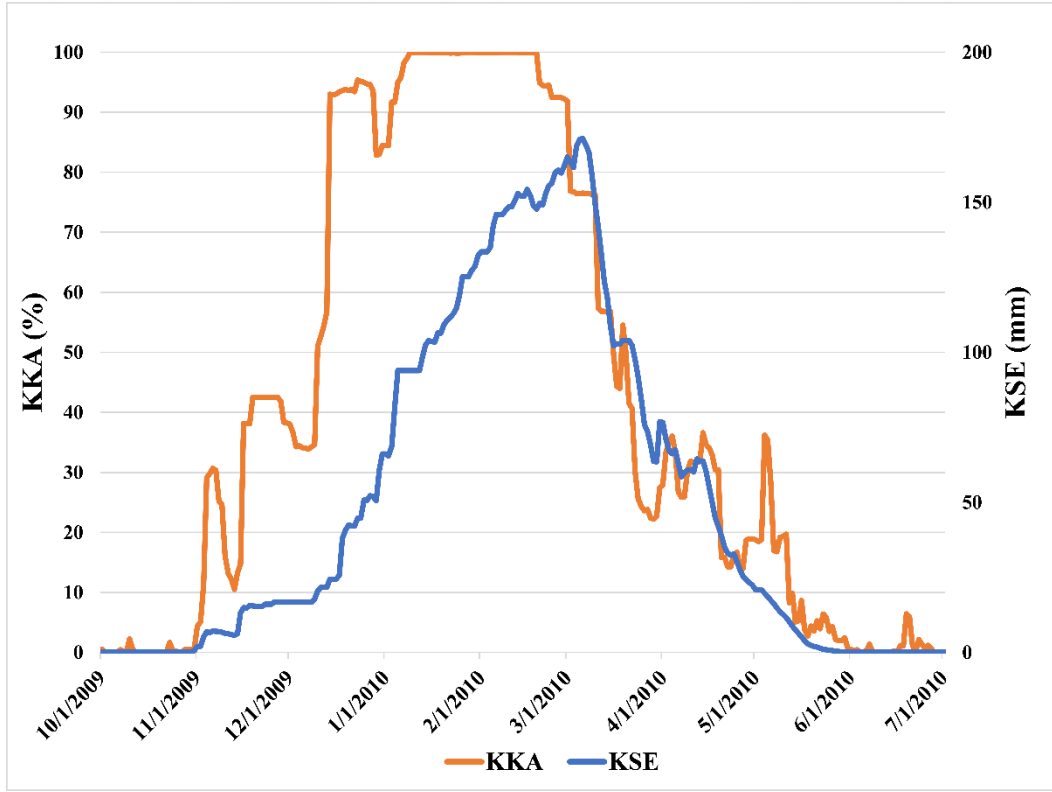
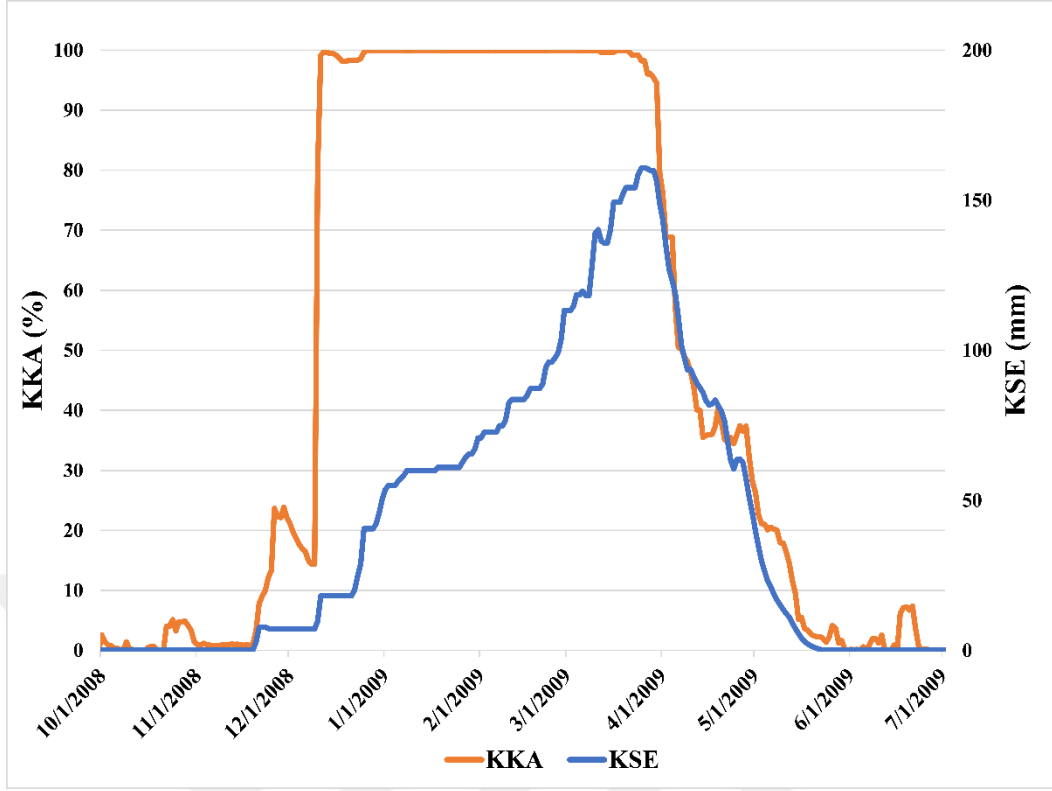
Şekil 4.33. Murat-1 havzası 2006 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği

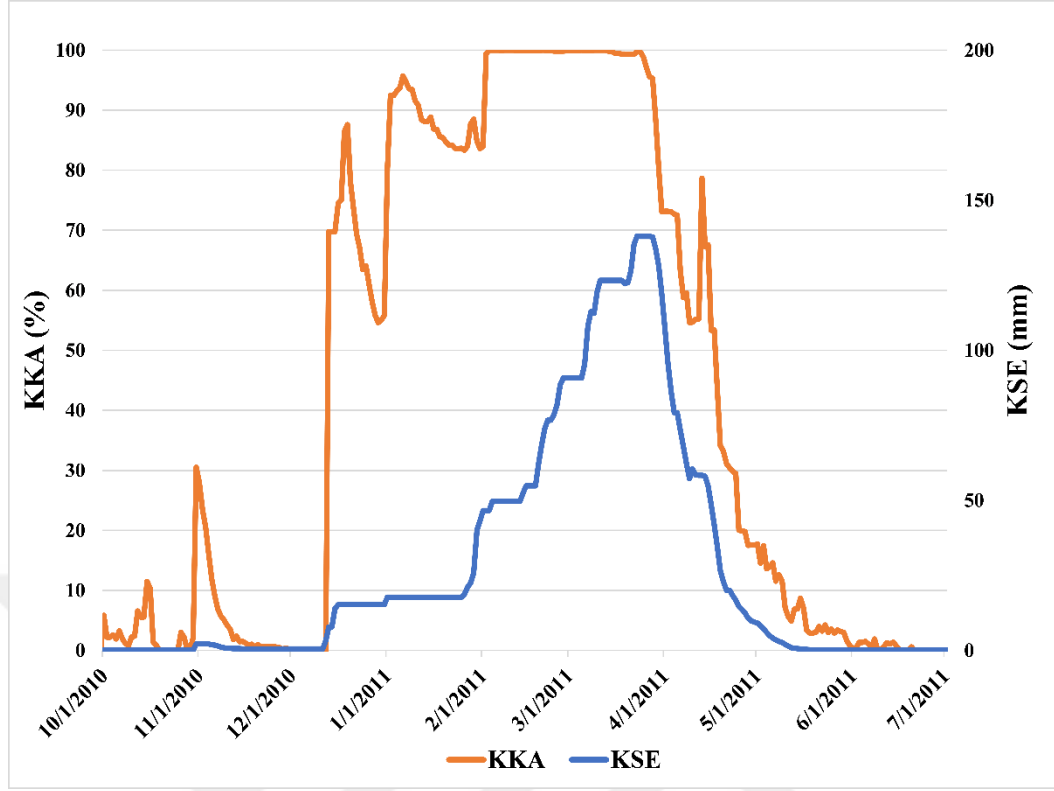


Şekil 4.34. Murat-1 havzası 2007 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği

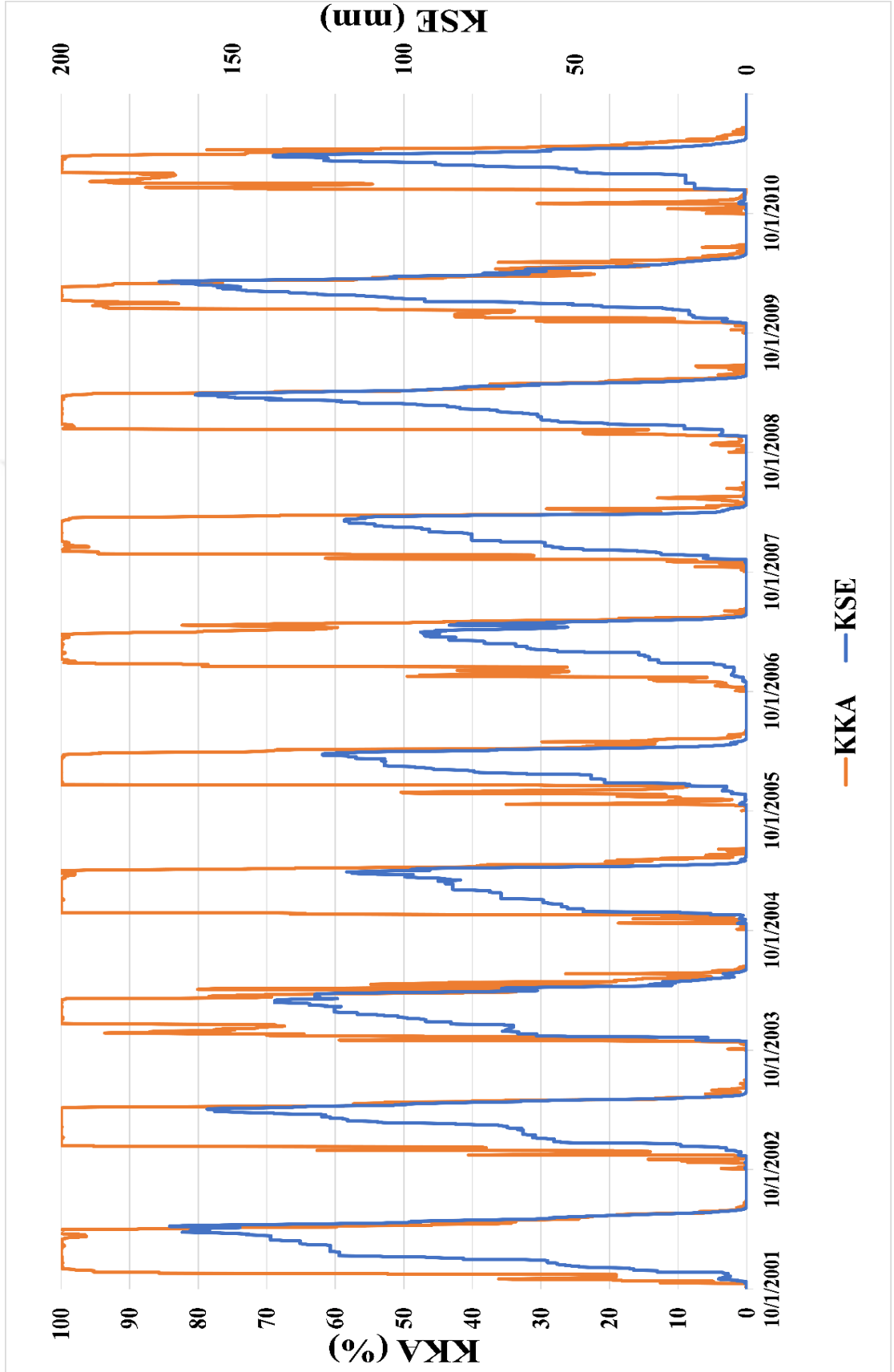


Şekil 4.35. Murat-1 havzası 2008 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği

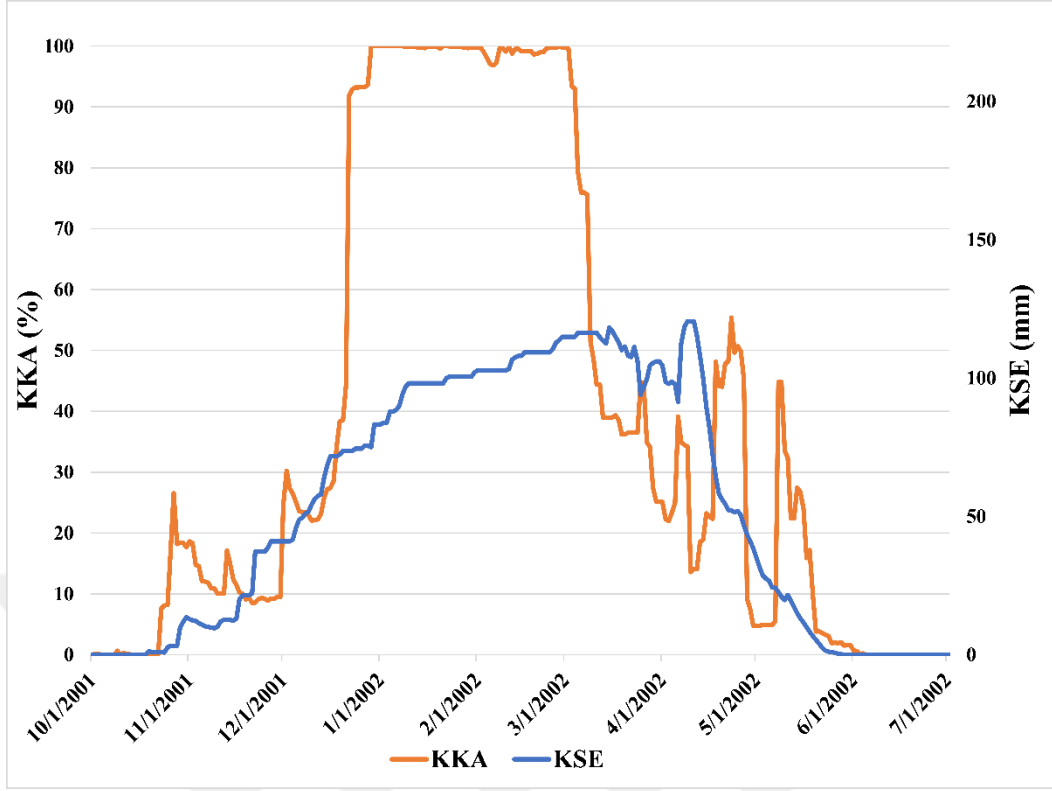




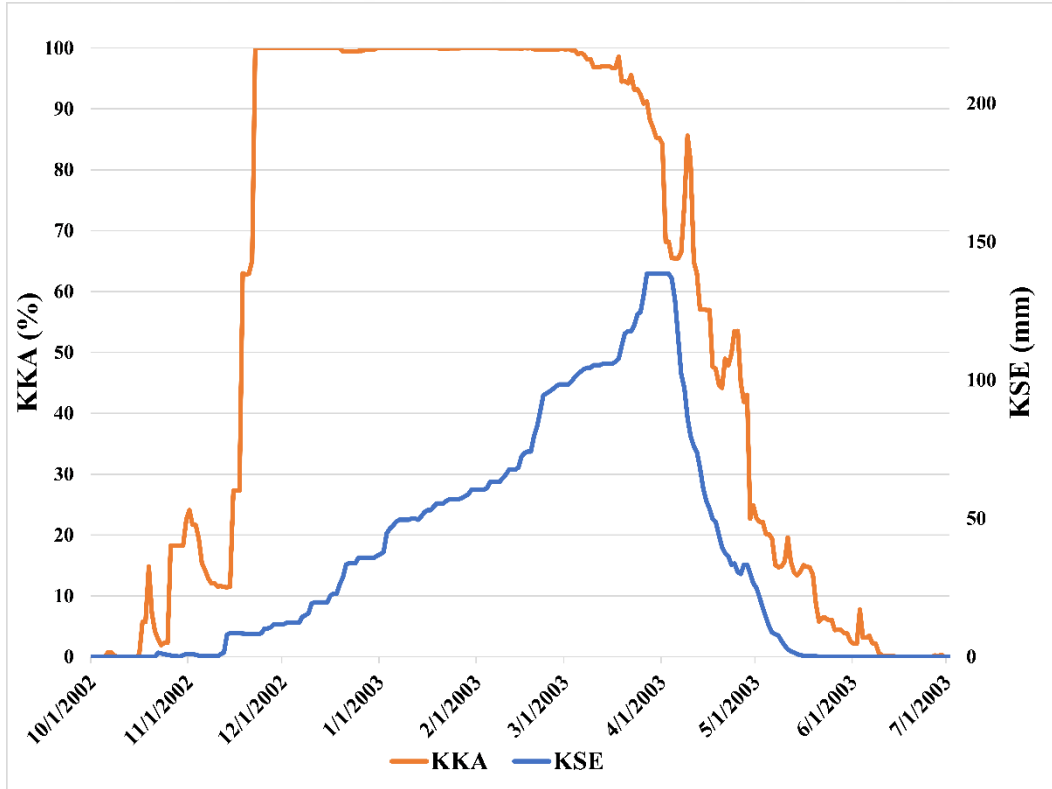
Şekil 4.38. Murat-1 havzası 2011 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



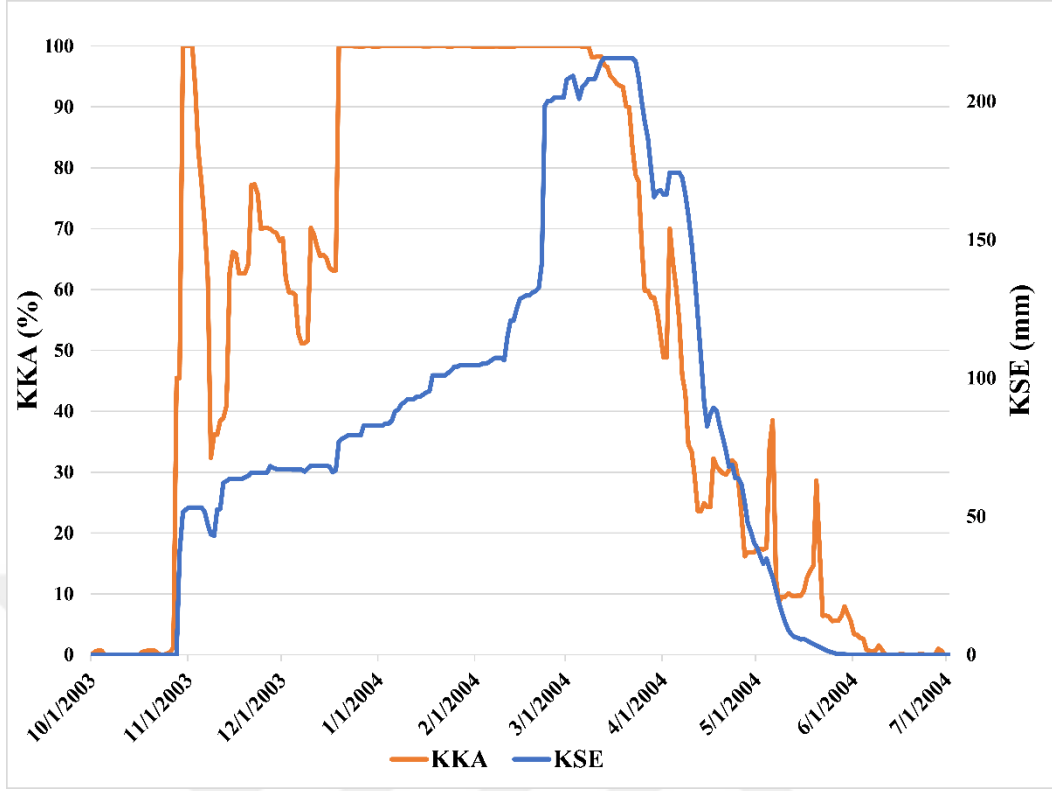
Şekil 4.39. Murat-1 havzası 2002 – 2011 su yıllarına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



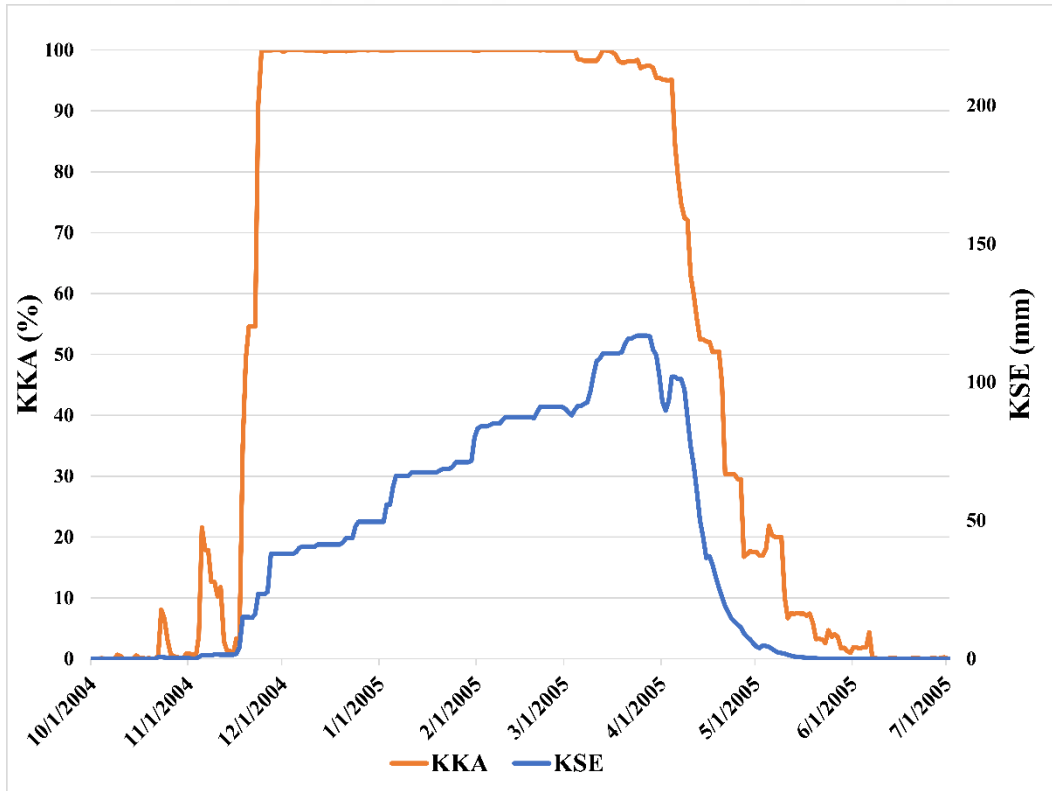
Şekil 4.40. Karasu-1 havzası 2002 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



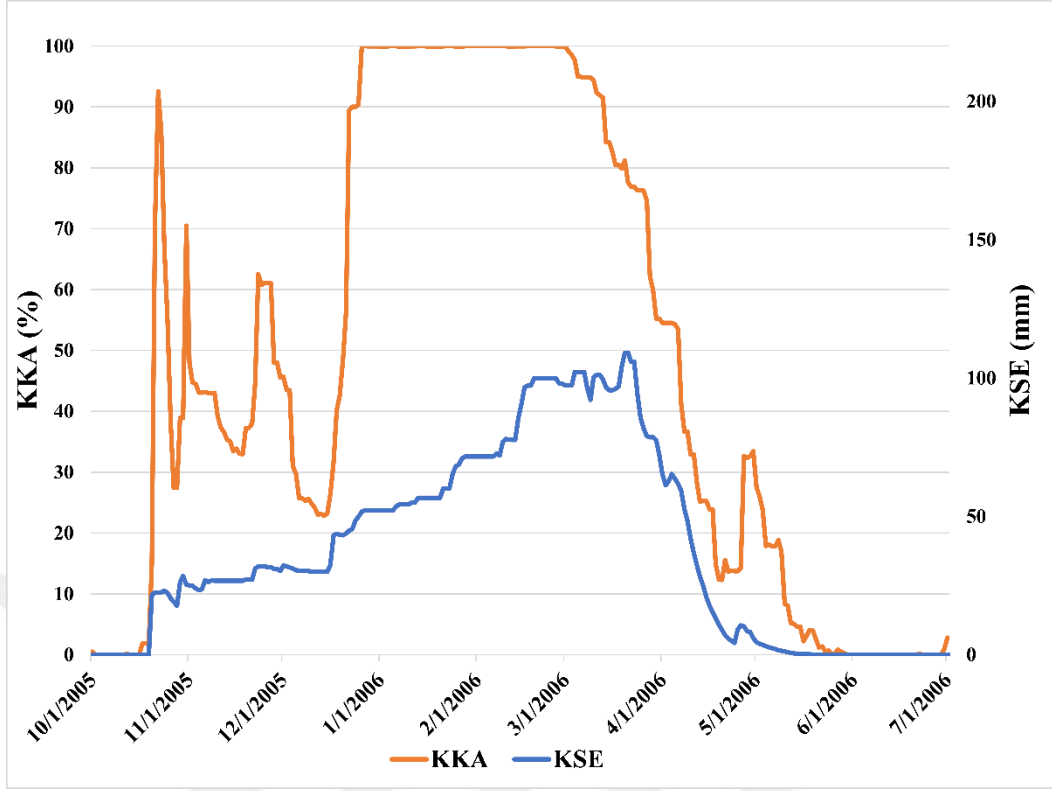
Şekil 4.41. Karasu-1 havzası 2003 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



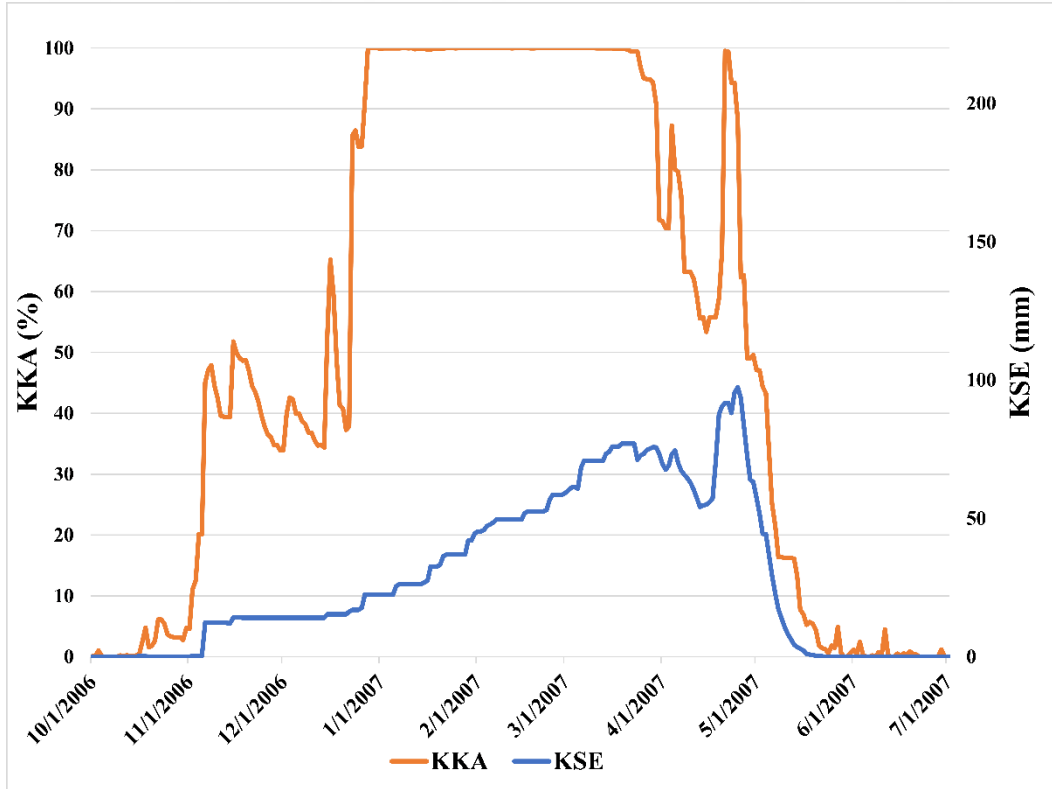
Şekil 4.42. Karasu-1 havzası 2004 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



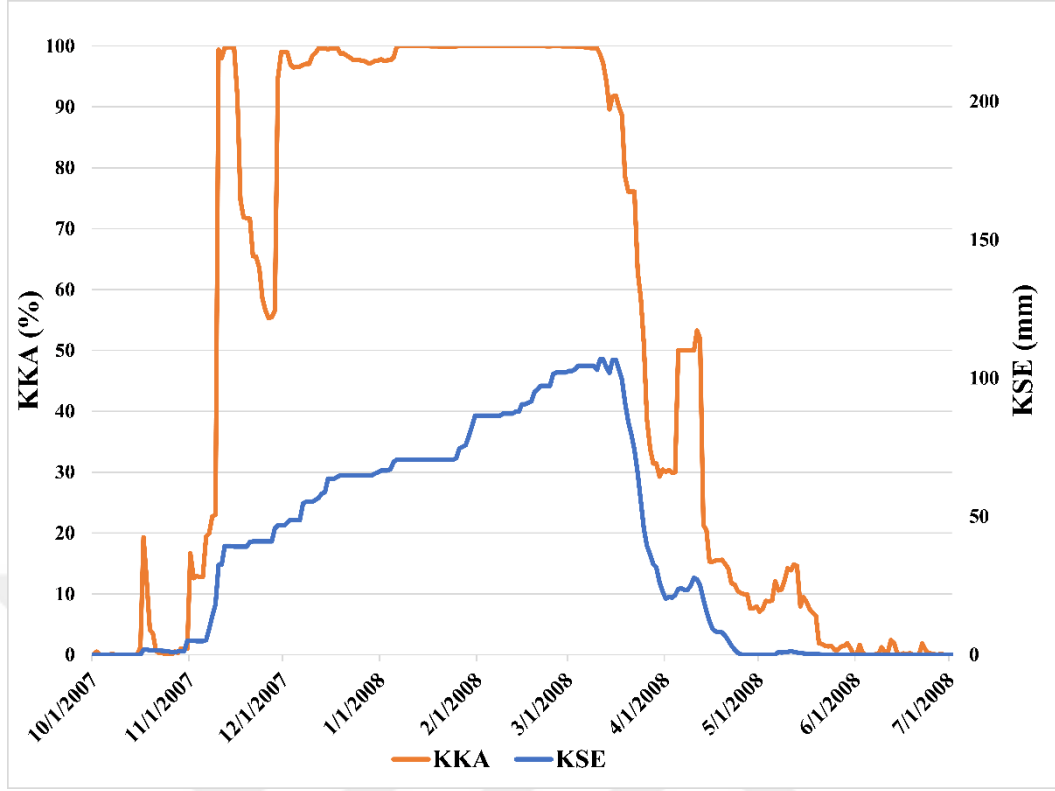
Şekil 4.43. Karasu-1 havzası 2005 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



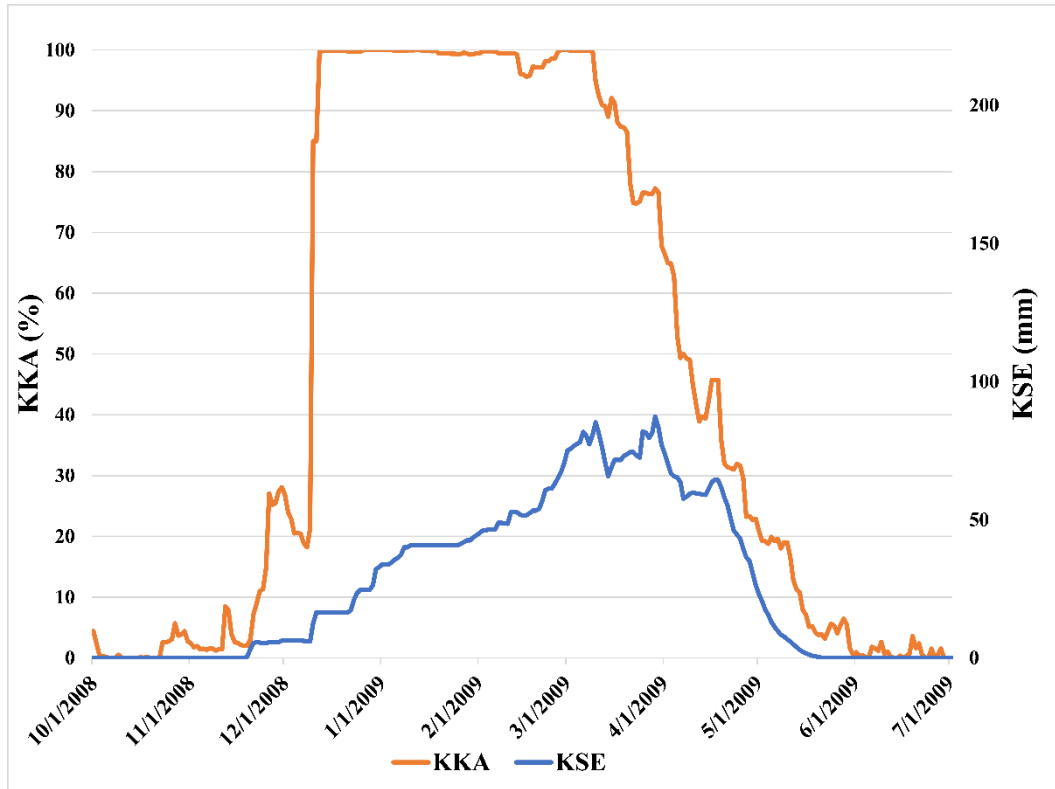
Şekil 4.44. Karasu-1 havzası 2006 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



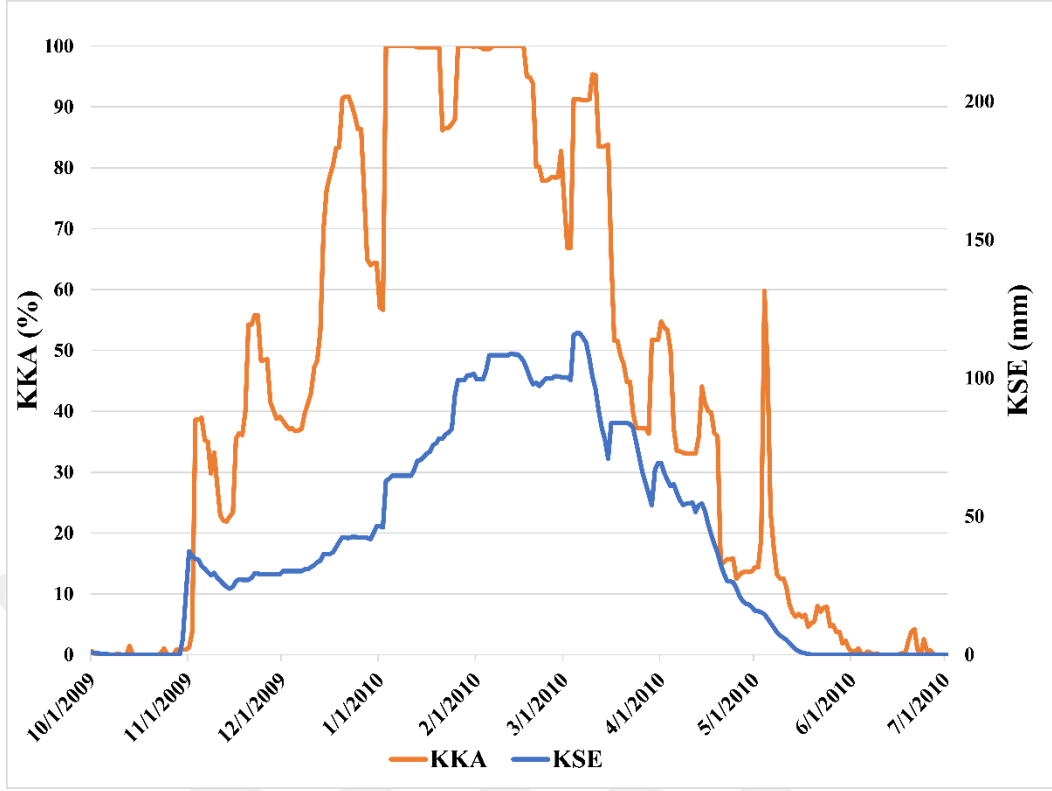
Şekil 4.45. Karasu-1 havzası 2007 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



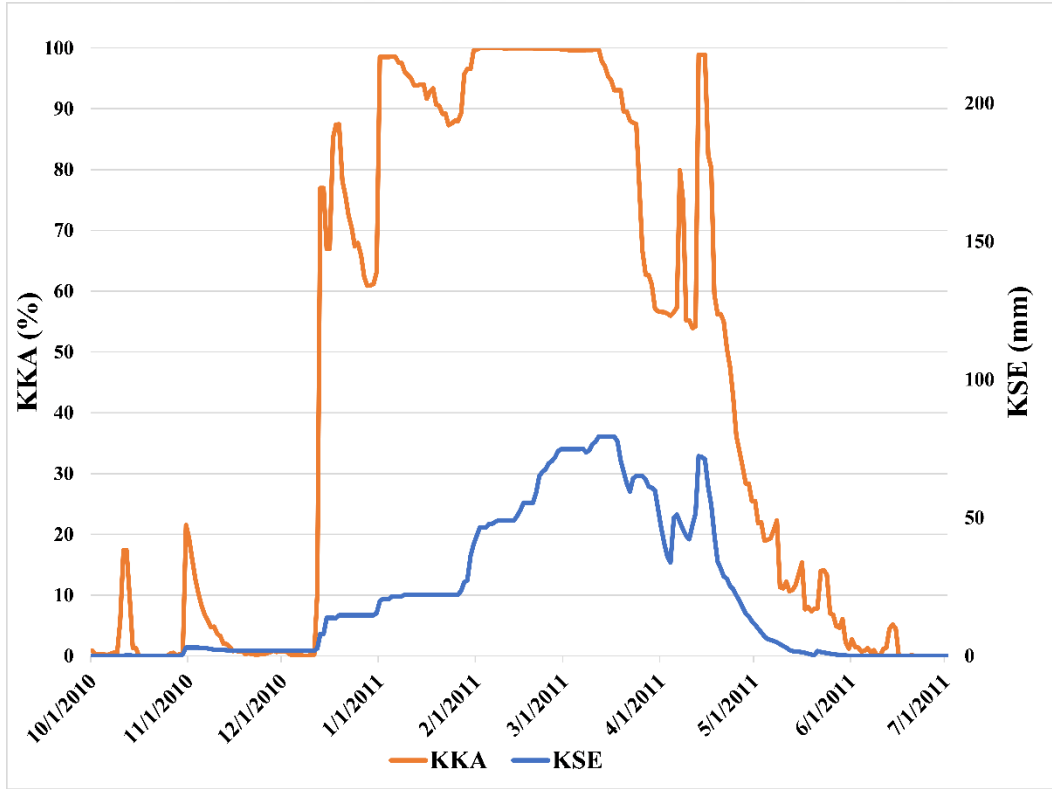
Şekil 4.46. Karasu-1 havzası 2008 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



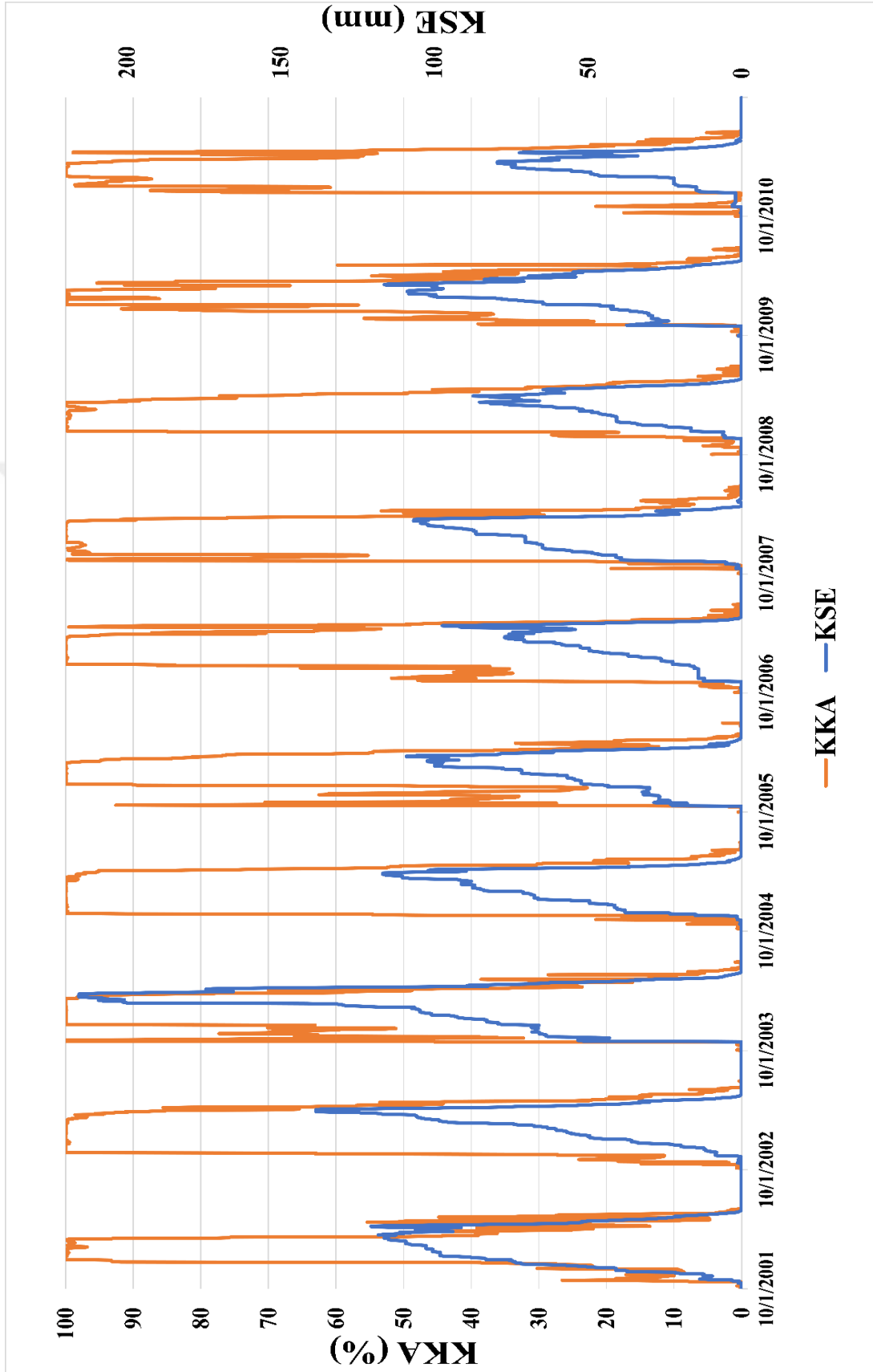
Şekil 4.47. Karasu-1 havzası 2009 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



Şekil 4.48. Karasu-1 havzası 2010 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği

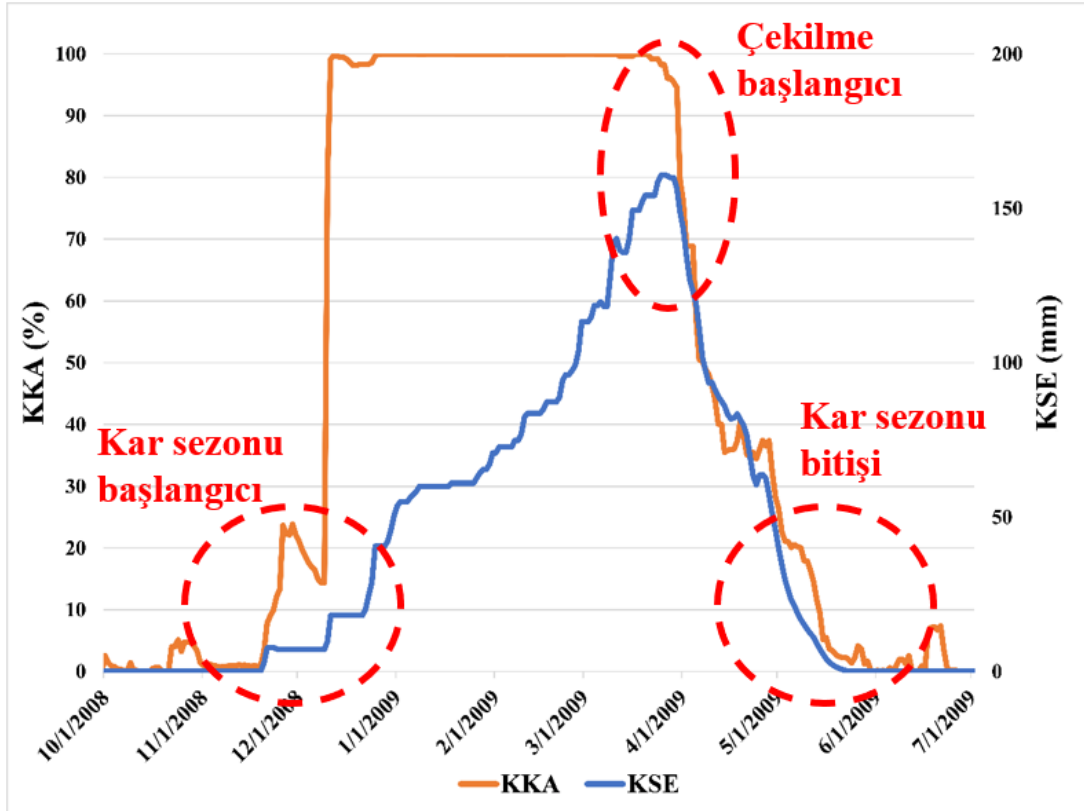


Şekil 4.49. Karasu-1 havzası 2011 su yılına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği



Şekil 4.50. Karasu-I havzası 2002 – 2011 su yıllarına ait SWAT KSE – MODIS KKA grafiği

Her iki havzaya ait KSE-KKA grafikleri direkt olarak karşılaştırılamamaktadır; çünkü karşılaştırılması yapılan değerler KSE mm cinsinden, KKA yüzdelik (%) olmak üzere farklı birimlerde dir. Bu sebeple grafiklerde değerleri karşılaştırabilmek adına bazı odak kısımlar seçilmiştir. Şekil 4.51’de örnek bir su yılı üzerinden grafikteki odak kısımları gösterilmiştir. Buna göre, kar sezonunun başlangıcı (karın yağmaya başlayıp biriktiğinin görüldüğü tarih), kar sezonunun bitişi (karın erimeyle çekilmeye başlayıp tamamen bittiğinin görüldüğü tarih) ve havzanın %100 kar kaplı duruma ulaşmasından sonra erimeyle birlikte çekilmeye başladığı tarihler dikkate alınmıştır. Havzaların 2002-2011 su yıllarına ait bütün grafiklerine bakıldığında belirtilen bu tarihlerde SWAT KSE çıktıların MODIS KKA değerleri ile oldukça tutarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.51. KSE-KKA karşılaştırılmasında odak kısımlar

Grafiklerdeki tutarlılığın başarı oranını hesaplamak adına KSE ve KKA değerleri için belirlenen eşik değerleri ile karlı ve karsız gün sayılarına göre bir değerlendirme yapılmıştır. Yapılan farklı eşik değeri kombinasyonlarının sonuçlarına göre en uygun eşik değerleri; KSE çıktıları için 1 mm'nin altındaki değerler, KKA verileri için %5'in altında kalan değerler karsız olarak nitelendirilmiştir (Kaçar, 2017). Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait çıktılar üzerinde, günlük olarak elde edilmiş KSE ve KKA değerleri bu eşik değerlerine göre değerlendirilip Tablo 4.12'deki gibi sınıflandırılmıştır. Buna göre, her iki kar bileşeni için karlı olarak tayin edilen gün sayısı "a", karsız olarak belirlenen gün sayısı "d"; KSE değerlerine göre karlı, KKA değerlerine göre karsız tayin edilen gün sayısı "b", KKA değerlerinin karlı, KSE değerlerinin karsız belirlendiği gün sayısı "c" olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.12. Karlı ve karsız gün sayılarının değerlendirilmesi

KSE eşik: 1 mm KKA eşik: %5		KKA	
		Karlı	Karsız
KSE	Karlı	a	b
	Karsız	c	d

Yapılan bu sınıflandırmaya göre Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait değerler su yılları bazında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken başarı oranını hesaplamak için Denklem (4.1) kullanılmıştır. Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te sırasıyla Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait KSE-KKA başarı oranları verilmiştir.

$$(\text{Eşleşen gün sayısı} / \text{Toplam gün sayısı}) * 100 = [(a+d)/(a+b+c+d)] \quad \text{Denklem (4.1)}$$

Tablo 4.13. Murat-1 havzası KSE-KKA grafikleri başarı oranları

Su yılı	a	b	c	d	Başarı Oranı (%)
2002	213	7	5	140	96.71
2003	179	8	9	169	95.34
2004	209	5	2	150	98.36
2005	179	7	10	169	95.34
2006	171	0	26	168	92.88
2007	193	2	5	165	98.08
2008	157	2	19	188	94.52
2009	177	5	6	177	96.99
2010	198	6	3	158	97.53
2011	159	1	11	194	96.71
Toplam	1835	43	96	1678	96.25

Tablo 4.14. Karasu-1 havzası KSE-KKA grafikleri başarı oranları

Su yılı	a	b	c	d	Başarı Oranı (%)
2002	200	16	2	147	95.07
2003	184	2	33	146	90.41
2004	209	0	8	149	98.08
2005	183	6	9	167	95.89
2006	203	0	3	159	99.18
2007	193	0	9	163	97.53
2008	180	11	23	152	90.96
2009	178	2	8	177	97.26
2010	194	4	8	159	96.71
2011	169	34	11	151	87.67
Toplam	1897	71	114	1570	94.88

2002-2011 su yılları için yapılan hesaplamalarda KSE-KKA değerlerinin karşılaştırılması çalışmasında elde edilen grafiklere dair başarı oranları tablolardan görüldüğü gibi her iki havza için de ortalama %95'in üstündedir. Böylece, KSE-KKA grafiklerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen başarılı sonuçlar ayarlanan kar parametrelerinin ve değişme oranlarının doğruluğuna işaret etmektedir.

Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'teki "a" değerlerinin "d" değerlerinden genel olarak fazla olması, kar örtüsünün havzalarda altı aydan daha uzun bir süre kaldığına işaret etmektedir. Ayrıca, "c" değerlerinin "b" değerlerinden fazla olması havzada, MODIS KKA değerlerinin SWAT KSE çıktılarından daha fazla kar olduğunu gösterir; bu duruma,

MODIS kar kaplı uydu görüntüleri çözünürlüğünün SWAT hücre boyutlarından fazla olması sebep olarak gösterilebilir.

Kar parametrelerinin ve değişme oranlarının ayarlanması ve sabitlenmesi metotları ile bu parametrelere dair modellemede kullanılacak değerler elde edilmiş (Tablo 4.15) ve sabitlenen parametreler ile baz model kalibrasyon işlemi için hazır hale getirilmiştir. Bu parametre sabitleme metotlarının farklı parametre setleri denenerek uygulanmasının yanı sıra parametrelerin fiziksel anlamları ve üzerinde çalışılan uygulama alanlarında daha önce yürütülen modelleme çalışmalarına dair edinilen deneyimler de sabitlenen değerlerin belirlenmesinde göz önünde tutulmuştur.

Tablo 4.15. Sabitlenen kar parametreleri ve değişme oranları

Parametre	Sabitlenen değer
SFTMP	1 °C
SMTMP	0.5 °C
SMFMX	2.5 mm H ₂ O/°C-gün
SMFMN	0.5 mm H ₂ O/°C-gün
TIMP	1
SNOCVMX	55 mm H ₂ O
SNO50COV	0.55
PLAPS	175 mm H ₂ O/km
TLAPS	-5.5 °C/km

Sabitlenen kar parametreleri ile yağış ve sıcaklık düşme oranlarının aslında fiziksel olarak farklı yıllarda, hatta aynı yılın farklı günlerinde değişkenlik gösterebileceği bilinmektedir ancak kavramsal modellerde tüm girdi ve çıktılar ölçülebilir olmadığı için buna benzer basitleştirmeler yapılmak zorundadır.

5. MODEL KALİBRASYONU ve VALİDASYONU

SWAT, çok parametrelili bir model olduğu için kalibrasyon süreci de zorlu ve zaman gerektirmektedir. Gözlem akım değerlerine göre yapılacak olan kalibrasyon işlemleri için bir otomatik kalibrasyon programı olan SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Program) (Abbaspour, 2015b) kullanılmıştır.

SWAT-CUP, modelin otomatik kalibrasyonunu gerçekleştirmek adına ArcSWAT'tan ayrı bir yazılımdır ve SWAT kullanıcıları tarafından tercih edilen rahat ve etkili bir kalibrasyon programıdır (Arnold ve ark., 2012). Programın 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 validasyon işlemleri için tasarlanmış beş farklı algoritma mevcuttur. SUFI-2, sınırlı sayıda iterasyon ile başarılı kalibrasyon sonuçları veren bir algoritma olması sebebiyle bu tez çalışmasında kullanılması tercih edilmiştir (Yang ve ark., 2008).

Çalışmanın bu bölümünde, uzaktan algılama araçları ile kar parametreleri ve değişme oranları sabitlenerek kurulan modelin akım verilerine göre kalibrasyon işlemine odaklanılmıştır. Kalibrasyon işleminden önce kullanılacak parametrelerin duyarlılığını tespit edebilmek için hassasiyet analizi yapılmış, ardından kalibre edilen model farklı yıllarda çalıştırılarak doğruluğunun kontrol edilmesi için validasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Akım verilerinin kalibrasyon ve validasyon sürecinin sonrasında modelin kar ile ilgili çıktılarına odaklanılıp akım verilerinin yanında kar verilerinin de validasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, KGİ'lere ait veriler SWAT KSE çıktıları ile her iki modelin çalıştırılma periyodu boyunca karşılaştırılıp doğrulaması yapılmıştır.

5.1. Hassasiyet Analizi

Model kalibrasyonu esnasında kullanılacak parametrelerin model sonuçlarını etkileme oranını belirlemek için hassasiyet (duyarlılık) analizi yapmak gerekmektedir. Hassasiyet analizi yapılarak çalışma alanlarına ait modelin iç yapısında var olan süreçleri doğrudan temsil eden parametrelerin belirlenmesi ve bu süreçlere büyük ölçüde etki eden

parametreleri tespit ederek etkili olmayan parametreleri eleyip kalibrasyon prosedürü esnasında daha az parametre ile çalışılabilmesi amaçlanmıştır (Abbaspour ve ark., 2017). Bunun için SWAT-CUP SUFI-2 algoritması kullanılarak her iki havza modeli için de 20 parametre analiz edilmiştir. Bu parametreler, daha önce literatürde yapılan çalışmalarda akım kalibrasyonu için hassasiyeti en yüksek tayin edilen parametreler arasından seçilmiştir (Arnold ve ark., 2012).

SWAT-CUP ile hassasiyet analizi iki farklı şekilde yapılabilir: Lokal hassasiyet analizi ile parametreler birer birer kontrol edilebilir (one-at-a-time) ya da global hassasiyet analizi ile parametre setleri olarak toplu bir şekilde incelenebilir (all-at-a-time). Bu çalışmada global hassasiyet analizi ile duyarlı parametrelerin belirlenmesi sağlanmıştır.

Hassasiyet analizi ile hassas parametrelerin belirlenmesi için literatürde önerildiği gibi her model için 1500 simülasyon gerçekleştirilmiştir (Yang ve ark., 2008). Tablo 5.1’de her iki havza için seçilen 20 parametre açıklamaları ile birlikte, Tablo 5.2’de ise global hassasiyet analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.1. Hassasiyet analizinde kullanılan parametrelerin açıklamaları

Parametre	Birimi	Açıklama
CN2	-	Eğri numarası
ALPHA_BF	1/gün	Taban akımı alfa faktörü
GW_DELAY	gün	Yer altı suyu gecikme süresi
GWQMN	mm	Geri akışın oluşabilmesi için sığ akiferdeki eşik su derinliği
REVAPMN	mm	“Revap” oluşabilmesi için sığ akiferdeki eşik su derinliği
GW_REVAP	-	Yer altı suyu 'revap' katsayısı
RCHRG_DP	-	Dip akifer sızma kısmı
ESCO	-	Topraktan buharlaşma dengeleme faktörü
EPCO	-	Bitki su alımı dengeleme faktörü
CH_K2	mm/sa	Ana kanalın efektif hidrolik iletkenliği
CH_N2	-	Ana kanalın Manning pürüzlülük katsayısı
CANMX	mm H ₂ O	Maksimum kanopi katsayısı
LAT_TTIME	gün	Yanal akış ulaşım süresi
SLSOIL	m	Yanal yüzey altı akışın eğim uzunluğu
SURLAG	-	Yüzey akışı gecikme katsayısı
FFCB	-	Başlangıçtaki toprak su depolaması
SOL_Z	mm	Toprak derinliği
SOL_AWC	mm/mm	Kullanılabilir su kapasitesi
SOL_BD	g/cm ³	Toprak hacimsel yoğunluğu
SOL_K	mm/sa	Doygun hidrolik iletkenlik

Tablo 5.2. *Global hassasiyet analizi sonuçları*

Parametre	Murat-1 havzası		Karasu-1 havzası	
	t-stat	p-value	t-stat	p-value
CN2	2.4816	0.0132	-11.7323	0.0000
ALPHA_BF	35.0565	0.0000	6.1800	0.0000
GW_DELAY	-6.8850	0.0000	4.5767	0.0000
GWQMN	-1.2975	0.1948	2.1830	0.0293
REVAPMN	2.1238	0.0339	1.8349	0.0668
GW_REVAP	-0.4357	0.6632	1.0672	0.2861
RCHRG_DP	1.4139	0.1577	9.8153	0.0000
ESCO	-0.1186	0.9056	-0.6874	0.4920
EPCO	-0.5707	0.5683	-0.4369	0.6622
CH_K2	0.6574	0.5110	0.4529	0.6507
CH_N2	-0.1977	0.8433	1.0101	0.3127
CANMX	-0.7118	0.4768	0.1735	0.8622
LAT_TTIME	-1.0183	0.3088	0.9133	0.3613
SLSOIL	0.3550	0.7226	0.3235	0.7464
SURLAG	0.6717	0.5019	0.5212	0.0360
FFCB	0.0679	0.9459	1.3649	0.1726
SOL_Z	-1.6655	0.0961	27.5447	0.0000
SOL_AWC	-1.2811	0.2004	6.2761	0.0000
SOL_BD	4.4383	0.0000	2.0995	0.1285
SOL_K	-11.9503	0.0000	4.6274	0.0000

Global hassasiyet analizinde, parametrelerin duyarlılığının belirlenmesinde etkili iki faktör olan t-stat ve p-value değerleri, hassas parametrelerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. t-stat bir parametrenin standart hatasıyla bölünmüş katsayısıdır; p-value ise her parametre katsayısının sıfırdan farklı olup olmadığını test eder. Global analiz esnasında t-stat mutlak değerinin yüksek, p-value değerinin sıfıra yakın olması parametrenin hassas olduğuna işaret eder (Abbaspour, 2015b).

Yapılan hassasiyet analizi sonucu her iki havza için de ortak olan 10 hassas parametre belirlenmiştir. Bu parametreler CN2, ALPHA_BF, SOL_Z, SOL_AWC, SOL_K, SOL_BD, GW_DELAY, RCHRG_DP, GWQMN ve REVAPMN'dir. Bir sonraki bölümde yapılacak otomatik kalibrasyon çalışması için kullanılacak olan parametreler belirtilen bu ortak hassas parametrelerdir.

5.2. Akım Verilerinin Kalibrasyonu ve Validasyonu

Otomatik kalibrasyon işlemi SWAT-CUP SUFI-2 algoritması kullanılarak, daha önce belirtildiği gibi 2002-2007 yılları arasındaki 6 yıllık periyotta gözlenen akım değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon için gerekli olan ilk adım hassas olduğuna karar verilen parametrelerin SWAT-CUP'ta hangi değer aralıklarında ve hangi değiştirme yöntemi kullanılarak yapılacağına karar vermektir. Program bu amaçla parametrelere dair önerilen değer aralıkları ve değiştirme yöntemleri sunmaktadır. Değiştirme yöntemi olarak her bir parametre üç farklı metotla ayarlanabilir: İlk metot parametre değerini direkt olarak değiştirmek (v_), ikinci metot parametreyi yüzde ($\pm$ %) olarak artırmak veya azaltmak (r_) ve son metot da parametre değerine bir değer eklemek veya çıkarmak (a_) olarak kullanılmaktadır.

Her iki havza modelinin akım kalibrasyonu için kullanılan değiştirme metodu ve değer aralıkları Tablo 5.3'te gösterilmektedir. SWAT-CUP, parametreleri bu başlangıç değer aralıkları ile istenen metotla değiştirilerek gözlem akım değerlerine yaklaştırmaktadır.

Stokastik bir yaklaşım olan SUFI-2 algoritması verilerden, kavramsal olan parametrelerden ve ölçümlerden kaynaklı bir belirsizlik taşımaktadır. SUFI-2'de bu belirsizlik parametre aralığı olarak ifade edilmektedir. Parametre aralıklarındaki bu belirsizlik yayılımı %95 olasılık dağılımıyla açıklanan, model çıktı değişkenlerinde belirsizliğe neden olmaktadır. Latin hiperküp örnekleme kullanılarak, parametre belirsizliklerindeki yayılım tarafından oluşturulan bir çıktı değişkenine ait kümülatif dağılımın %2.5 ve %97.5 seviyeleri hesaplanır. Buna %95 tahmin belirsizliği (95PPU) denilmektedir. 95PPU belirlenen parametre aralıkları ile üretilen iyi çözümlerden oluşan bir zarfı temsil eder. Burada, kalibrasyon işleminin sonucu olarak 95PPU'nun kabul edilebilir sonuçlarını tayin etmede iki istatistik kullanılır: p-faktör ve r-faktör. 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, 2015b).

Tablo 5.3. Hassas parametrelerin kalibrasyonunda kullanılan başlangıç değer aralıkları ve değiştirme metotları

Parametre	Değiştirme metodu*	Varsayılan değer aralığı		Başlangıç değer aralığı		Kalibre edilen değer	
		Alt limit	Üst limit	Alt limit	Üst limit	Murat-1 havzası	Karasu-1 havzası
CN2	r_	35	98	-0.3	0.3	-0.28	-0.16
ALPHA_BF	v_	0	1	0	1	0.73	0.75
SOL_Z	r_	0	3000	-0.3	0.3	-0.21	0.3
SOL_AWC	r_	0	1	-0.3	0.3	0.29	0.19
SOL_K	r_	0	2000	-0.3	0.3	-0.19	0.3
SOL_BD	r_	0.9	2.5	-0.3	0.3	0.1	0.12
GW_DELAY	v_	0	500	5	100	10.69	7.53
RCHRG_DP	v_	0	1	0.2	0.5	0.36	0.40
GWQMN	v_	0	5000	5	1000	172.85	155.04
REVAPMN	v_	0	1000	500	1000	770.45	750.1

* v_ : Parametrenin direkt değerini değiştirmek. r_ : parametreyi yüzde (%) olarak artırmak veya azaltmak.

Kalibrasyon işleminde, simülasyonun gözlenen değere ne kadar yaklaştığını tespit edebilmek için kalibre edilmiş olan model simülasyonunun başarı ölçütünü belirlemek gerekir. Kurulan modelin başarı ölçütünü belirlemede amaç fonksiyonu denilen kriter karar mekanizmasını oluşturmaktadır. SUFI-2 algoritmasında çeşitli amaç fonksiyonları yer almakla birlikte bu çalışmada oluşturulan modelleme çalışmasının başarı ölçütü olarak NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) seçilmiştir. NSE'nin yanında R^2 (Determinasyon katsayısı) ve PBIAS (Yüzdelik sapma) değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Böylece, gözlenen ve modellenen veriler arasındaki uyumu değerlendirmede farklı amaç fonksiyonları kullanılmıştır. Bunlara dair kullanılan formüller Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4. NSE, R^2 ve PBIAS amaç fonksiyonlarına ait formüller

Amaç Fonksiyonu	Formülü	En iyi performans*
NSE	$1 - \frac{\sum (Q_{göz} - Q_{mod})^2}{\sum (Q_{göz} - \overline{Q_{göz}})^2}$	1
R^2	$\frac{[\sum (Q_{göz} - \overline{Q_{göz}})(Q_{mod} - \overline{Q_{mod}})]^2}{\sum (Q_{göz} - \overline{Q_{göz}})^2 \sum (Q_{mod} - \overline{Q_{mod}})^2}$	1
PBIAS	$100 * \frac{\sum (Q_{göz} - Q_{mod})}{\sum Q_{göz}}$	0

*Model ve gözlem verisinin kusursuz eşleşmesini ifade eden değerdir.

Bu denklemlerde $Q_{göz}$ gözlenen akımları, $\overline{Q_{göz}}$ gözlenen akımların ortalamasını ve Q_{mod} modellenen akımları, $\overline{Q_{mod}}$ ise modellenen akımların ortalamasını temsil etmektedir.

NSE (Nash ve Sutcliffe, 1970), pik akımlara karşı daha duyarlı olup yağış – akış modellerinde en çok tercih edilen amaç fonksiyonudur. NSE için değer aralığı $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir ve en iyi model performansı 1'dir. Sıfırın altındaki değerler kabul

edilebilir değildir; bu gözlem değerlerinin ortalamasının alınmasından daha kötü sonuçları işaret eder.

R^2 değeri, model ve gözlem değerleri arasındaki doğrusallığın bir ölçüsüdür. 0 ve 1 arasında değişen değerler alabilirken model ile gözlem verilerinin kusursuz tutarlılığı 1 ile ifade edilir. Kabul edilebilir değer 0.5 değerinin üstündeki R^2 değerleri kabul edilebilirdir.

PBIAS amaç fonksiyonu model çıktılarının gözlenen değerlerden ne kadar saptığının bir ölçütüdür. Pozitif veya negatif değerler alabilir. Pozitif değerler modelin gözlenen değerlerin altında tahmin sonuçları verdiğini, negatif değerler ise üstünde sonuçlar verdiğini işaret eder (Gupta ve ark., 1999).

Tablo 5.5'te, NSE ve PBIAS amaç fonksiyonları için aylık zaman adımlarındaki akım değerleri için model performansı değerlendirilmesi gösterilmektedir (Moriasi ve ark. 2007). Buna göre, aylık akım modellemesinde NSE değerleri için 0.5'in üstündeki değerler, PBIAS için ise ± 15 ve ± 25 değer aralığı kabul edilebilirdir.

Tablo 5.5. NSE ve PBIAS amaç fonksiyonları için aylık zaman adımlarında akım modellemesi sonuçlarının değerlendirilmesi

Aralık		Durum
NSE	PBIAS	
$0.75 \leq NSE \leq 1$	$PBIAS < \pm 10$	Çok iyi
$0.65 \leq NSE \leq 0.75$	$\pm 10 < PBIAS < \pm 15$	İyi
$0.50 \leq NSE \leq 0.65$	$\pm 15 < PBIAS < \pm 25$	Orta
$NSE \leq 0.5$	$PBIAS > \pm 25$	Zayıf

Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait kurulan modeller üzerinde yapılan otomatik kalibrasyon işlemleri günlük zaman adımlarında gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemlerinin başarısının ölçütü olarak p-faktör ve r-faktör değerleri Murat-1 için sırasıyla 0.94, 0.38 ve Karasu-1 için sırasıyla 0.79, 0.21'dir.

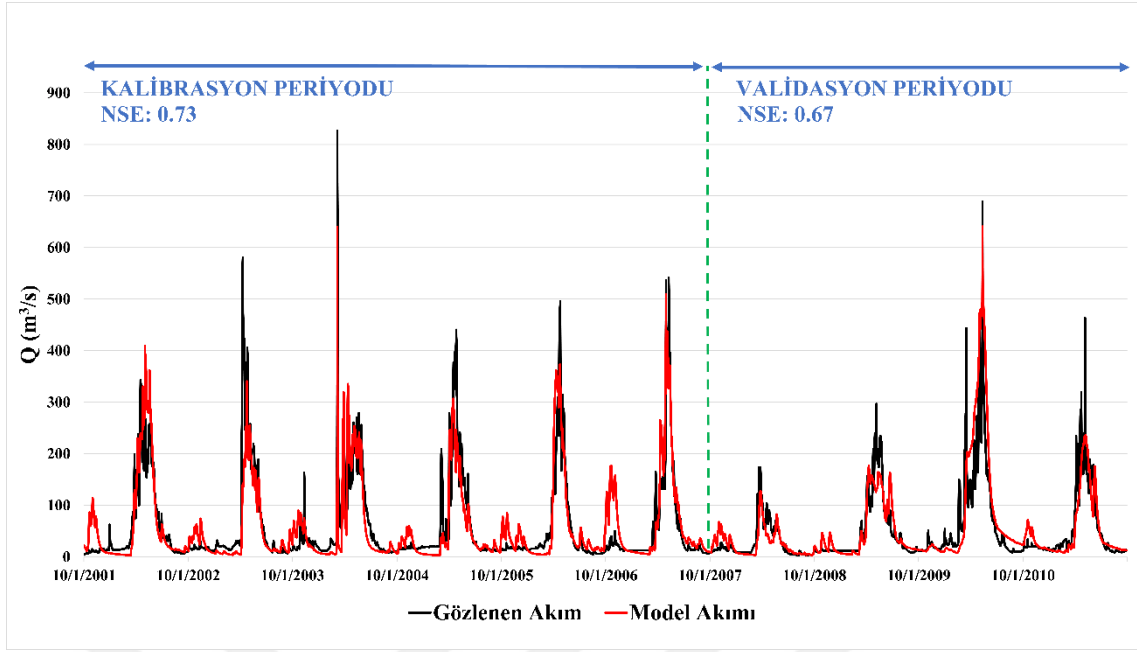
Otomatik kalibrasyon işlemi belirlenen hassas parametreler ile her iki havza için günlük zaman adımında yapıldıktan sonra modeller aylık olarak da çalıştırılmıştır. Havza modellerine ait kalibrasyon ve validasyon periyotlarındaki günlük ve aylık amaç fonksiyonu değerleri Tablo 5.6’da gösterilmektedir.

Tablo 5.6. *Murat-1 ve Karasu-1 için kalibrasyon ve validasyon istatistikleri*

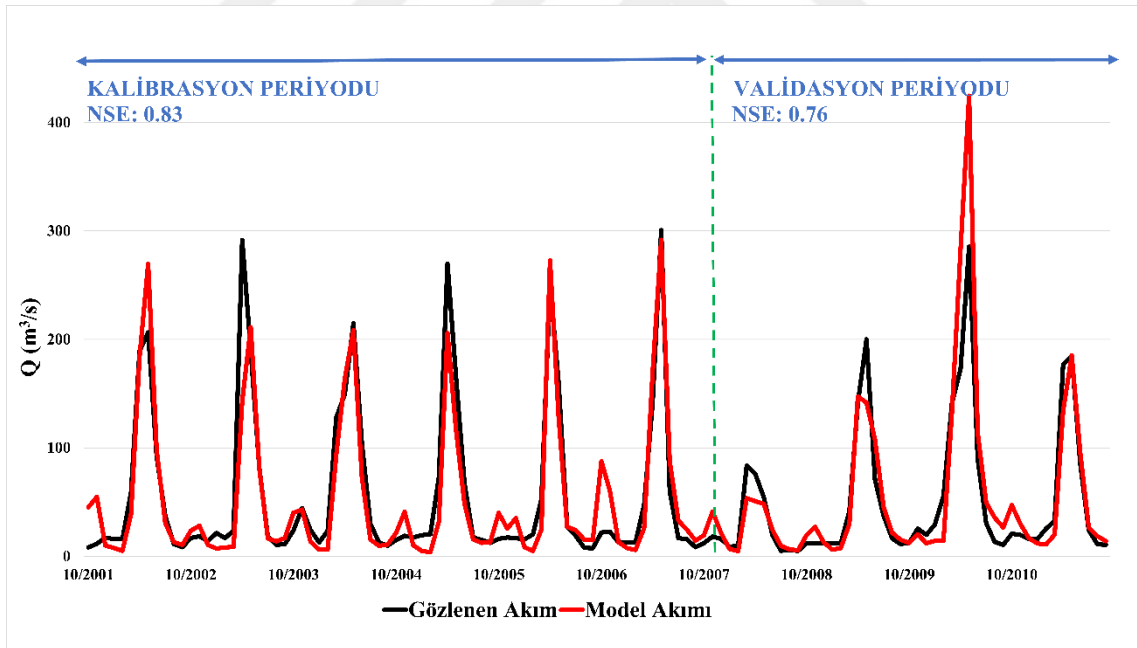
Başarı Ölçütü	Murat-1 havzası				Karasu-1 havzası			
	Kalibrasyon		Validasyon		Kalibrasyon		Validasyon	
	Günlük	Aylık	Günlük	Aylık	Günlük	Aylık	Günlük	Aylık
NSE	0.73	0.83	0.67	0.76	0.64	0.74	0.82	0.89
R ²	0.74	0.87	0.76	0.86	0.63	0.75	0.82	0.90
PBIAS	-4.30	-2.30	-14.00	8.50	8.50	11.50	-3.00	-2.10

Başarı ölçütü olarak belirlenen NSE, R² ve PBIAS amaç fonksiyonlarına ait istatistikler günlük zaman adımındaki bir modelleme olarak değerlendirildiğinde oldukça iyidir. NSE ve R² değerleri her iki modelin kalibrasyon ve validasyon periyotları için aylık zaman adımındaki bir model için kabul edilebilir değer olan 0.5’in üzerinde çıkmıştır. Üstelik, NSE değerlerine bakıldığında Murat-1 havzası günlük validasyon periyodu ve Karasu-1 havzası günlük kalibrasyon periyodu haricindeki tüm değerler 0.7’nin üzerinde olduğu göz önünde bulundurulursa modellerin başarısının oldukça yüksek olduğu söylenebilir. PBIAS değerlerinin sıfıra yakın sonuçlar vermesi de iyi ve güvenilir bir modelleme olduğuna işaret etmektedir.

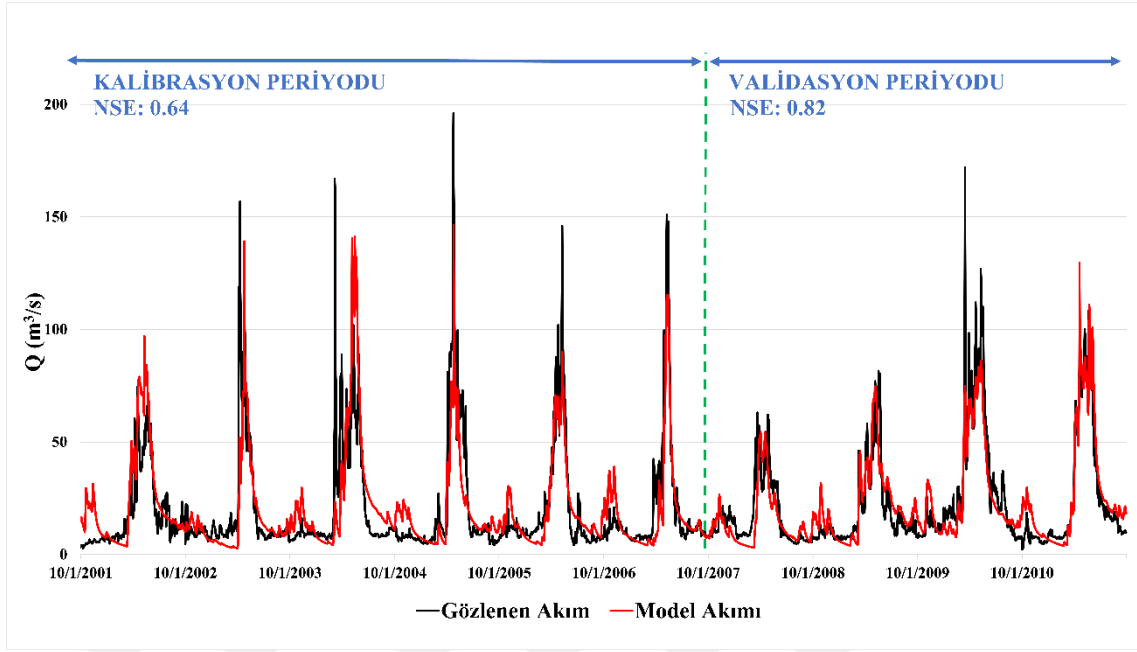
Kalibrasyon işlemi sonucunda elde edilen model akım verilerinin gözlenen verilerle karşılaştırmalı grafikleri (Murat-1 ve Karasu-1 havza modellerinin hidrografları) kalibrasyon ve validasyon periyotlarında (2002-2011) Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de Murat-1 havzası için sırasıyla günlük ve aylık olarak, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te Karasu-1 havzası için sırasıyla günlük ve aylık olarak gösterilmektedir.



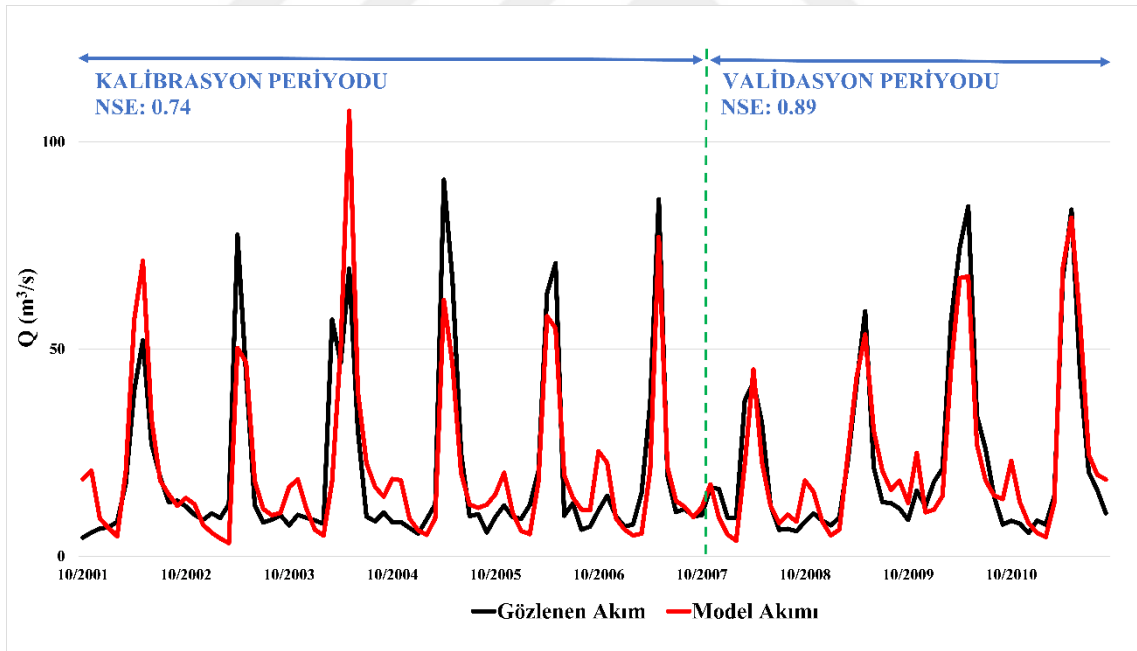
Şekil 5.1. Murat-1 havzası 2002-2011 yılları günlük akımları



Şekil 5.2. Murat-1 havzası 2002-2011 yılları aylık akımları



Şekil 5.3. Karasu-1 havzası 2002-2011 yılları günlük akımları



Şekil 5.4. Karasu-1 havzası 2002-2011 yılları aylık akımları

Model çıktılarına ait akım değerleri ile gözlenen akım değerleri hidrograflarda görüldüğü gibi görsel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Bunun yanında modellerin gözlenen değerlerle karşılaştırmalı su dengesi analizi yapılacaktır. SWAT, model çıktısı olarak yıllık ve aylık ortalama su dengesi bileşenleri de vermektedir. Bu bileşenler: Yağış, kar yağışı, kar erimesi, süblimleşme, yüzey akımı, yanal akım, sığ ve dip akiferlerde yer altı suyu akımı, ‘revap’, dip akifer ve toplam akifer geri beslemesi, toplam akıma geçen su, sızma, evapotranspirasyon (ET) ve potansiyel evapotranspirasyondur.

İlk olarak her iki havza modelinin yıllık ortalama akım çıktıları gözlenen değerlerle karşılaştırılmış ve Tablo 5.7’de bu değerler gösterilmiştir. Modellerin su dengesi bileşenlerine ait yıllık ortalama değerleri ise Tablo 5.8’de gösterilmiştir.

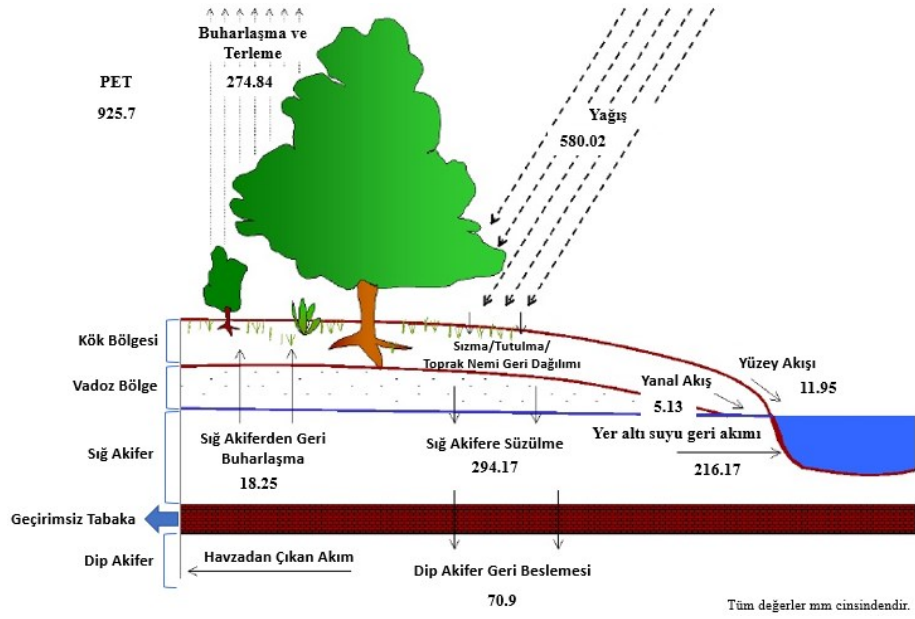
Tablo 5.7. Yıllık ortalama model ve gözlem akım değerleri

	Murat-1 havzası	Karasu-1 havzası
Model-Akım (mm)	304.2	246.3
Gözlenen-Akım (mm)	294.2	244.2

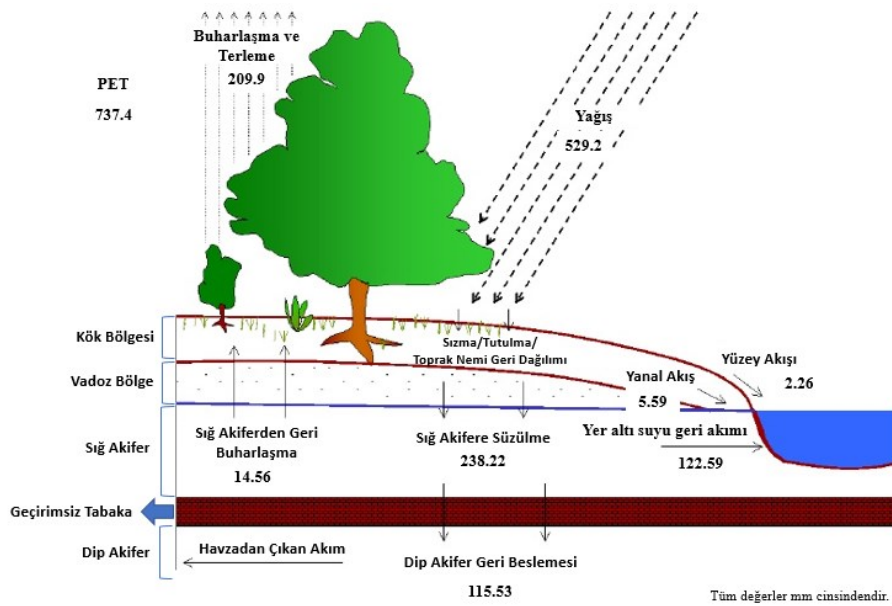
Tablo 5.8. Murat-1 ve Karasu-1 modelleri yıllık ortalama su dengesi bileşeni değerleri

Su dengesi bileşeni	Hacim (mm)	
	Murat-1 havzası	Karasu-1 havzası
Yağış	580.1	529.2
Kar yağışı	183.2	173.7
Kar erimesi	170.2	168.4
Süblimleşme	17	10.1
Yüzey akımı	11.9	2.3
Yanal akım	5.1	5.6
Yer altı suyu (Sığ akifer)	216.2	122.7
Yer altı suyu (Dip akifer)	70.9	115.6
Revap	18.2	14.6
Dip akifer geri beslemesi	70.9	115.5
Toplam akifer geri beslemesi	294.2	238.2
Toplam akıma geçen su	304.2	246.3
Sızma	294.2	238.1
Evapotranspirasyon	274.8	290.9
Potansiyel evapotranspirasyon	925.7	737.4

SWAT, tüm su dengesi bileşenlerine ait yıllık ortalama model değerlerini toprak fazındaki hidrolojik döngü şemasında çıktı olarak vermektedir. Buradaki değerler göz önünde bulundurularak hidrolojik döngünün bileşenleri nicelik olarak değerlendirilebilir ve gözlem değerleri ile karşılaştırılıp kontrol edilebilir. Şekil 5.5'te Murat-1 havzası için, Şekil 5.6'da ise Karasu-1 havzası için hidrolojik döngüde yer alan su bileşeni değerleri gösterilmiştir.

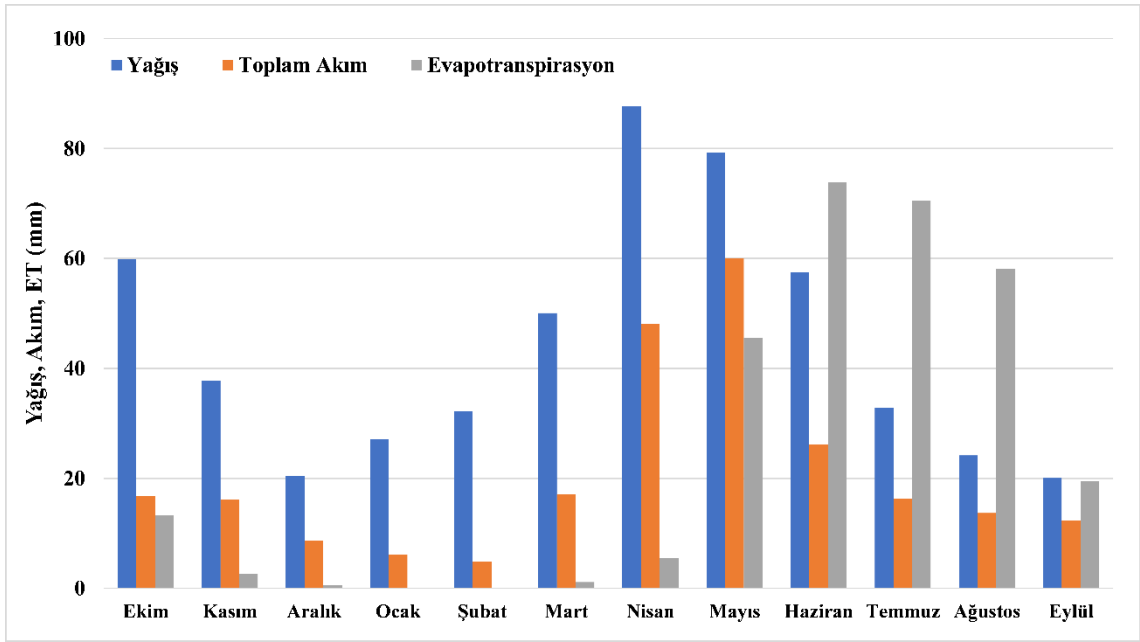


Şekil 5.5. Murat-1 havzasına ait SWAT su bileşeni değerleri

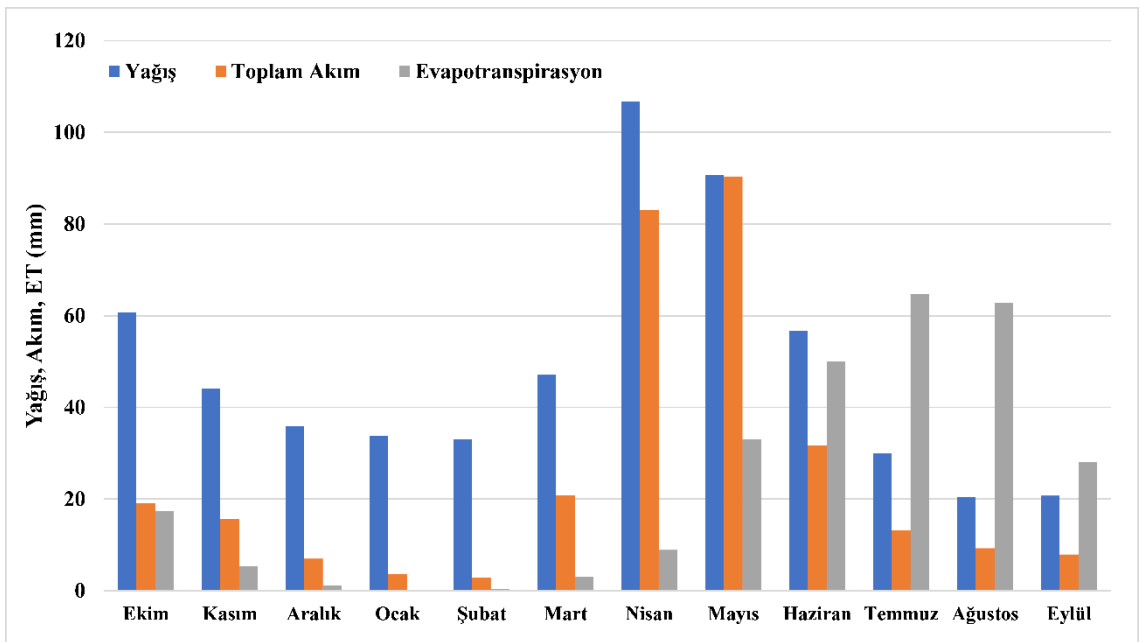


Şekil 5.6. Karasu-1 havzasına ait SWAT su bileşeni değerleri

Yıllık ortalama akım değerlerine bakıldığında gözlenen değerler ile model sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuca bağlı olarak havza modellerine ait aylık ortalama yağış, akım ve evapotranspirasyon değerleri de karşılaştırılmış ve Murat-1 ve Karasu-1 havzaları için sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Murat-1 havzası modeli aylık ortalama yağış, akım ve ET grafiği



Şekil 5.8. Karasu-1 havzası modeli aylık ortalama yağış, akım ve ET grafiği

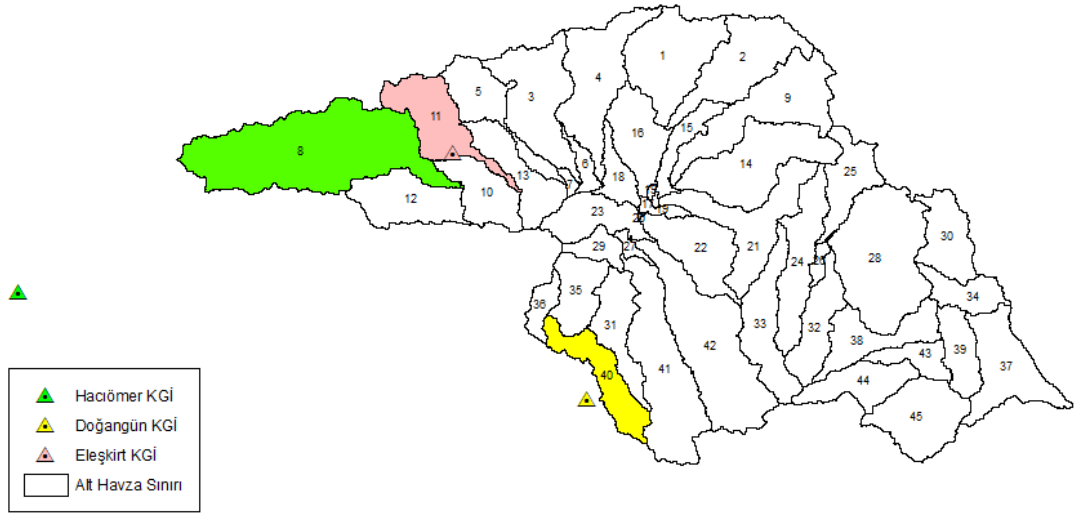
Gözlenen akım verilerine göre kalibre edilmiş modellere ait başarı ölçütleri günlük ve aylık bazda oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu modellerin güvenilirliği validasyon periyotlarında doğrulanmış ve benzer model başarıları bu periyotlarda da gözlenmiştir. Yapılan su dengesi analizlerinden model ile gözlem değerlerine ait aylık ve yıllık bazda hidrolojik döngüde yer alan su dengesi bileşen değerleri üzerinde durulmuş ve karşılaştırmalar sonucu modellerin gözlem değerlerine oldukça yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, akıma göre yapılan kalibrasyon işlemi ile tüm periyoda (2002-2011 yılları) ait akım çıktıları, Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait kurulan bu modellerin güvenilir ve kullanılabilir olduğu ifade edilebilir.

Çalışmanın bu aşamasından sonra akım çıktılarının yanında model kar bileşeni çıktılarına odaklanılıp, modellemeler sonucunda alınan çıktıların gözlenen kar bileşeni değerleri ile karşılaştırması yapılarak kar çıktılarının validasyonu işlemi gerçekleştirilecektir.

5.3. KSE Verilerinin Validasyonu

Çalışmanın 2. kısmındaki Şekil 2.2’de konumları gösterilen, Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait üçer adet KGİ bulunmaktadır. Dağlık bir bölgede yer alan çalışma alanlarını temsil eden bu istasyonlarda kar ölçümü yapmak ulaşım ve ekipman açısından oldukça zorlayıcıdır. Bu yüzden ölçüm istasyonlarında günlük sürekli veri bulunmamaktadır; istasyonlarda kar sezonuna ait belirli tarihlerde KSE ölçümleri yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında, KGİ’lerden elde edilen bu kesikli veriler ile SWAT KSE çıktıları karşılaştırılmıştır. Böylece, daha önce kar parametrelerinin ve değişme oranlarının ayarlanması ile elde edilen KSE çıktı verilerinin doğrulanması (KSE validasyonu) gerçekleştirilmiştir.

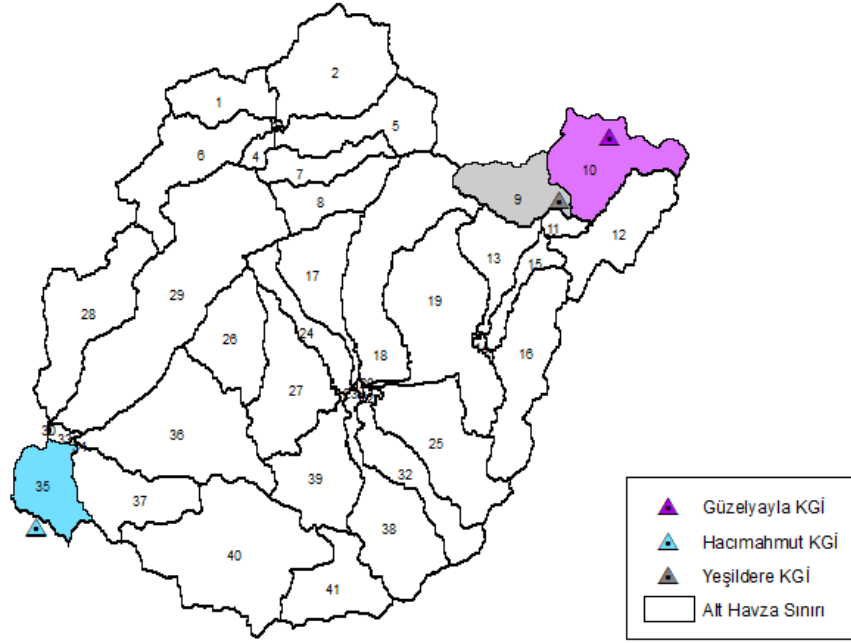
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da sırasıyla Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait KGİ’lerin konumları ile birlikte Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’de havza içerisinde temsil ettikleri alt havza ve her alt havzadaki yükseklik bandı değeri gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Murat-1 havzasına ait KGI'lerin konumu ve temsil ettikleri alt havzalar

Tablo 5.9. Murat-1 havzasında bulunan KGI'lere ait bilgiler

KGI	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Temsil Ettiği Alt Havza	Bulunması Gereken Bant
Doğangün	39.38	42.75	1660	40	Bant 1
Hacıömer	39.6	41.76	1865	8	Bant 1
Eleşkirt	39.77	42.69	1780	11	Bant 1



Şekil 5.10. Karasu-1 havzasına ait KGİ'lerin konumu ve temsil ettikleri alt havzalar

Tablo 5.10. Karasu-1 havzasında bulunan KGİ'lere ait bilgiler

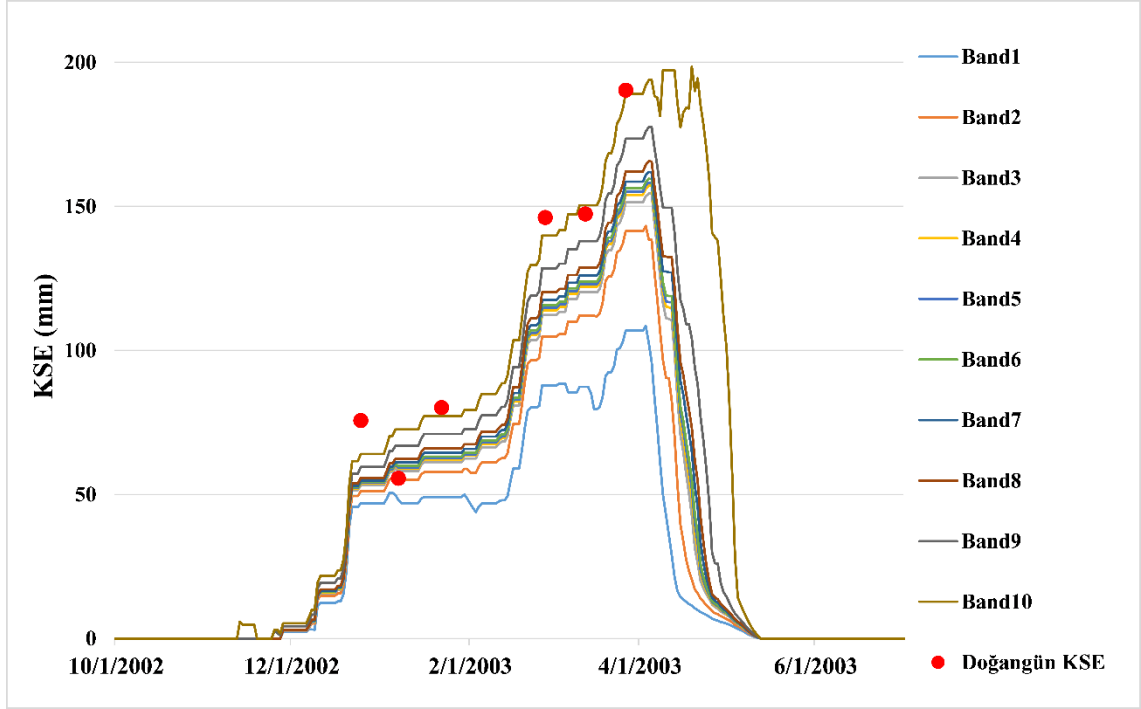
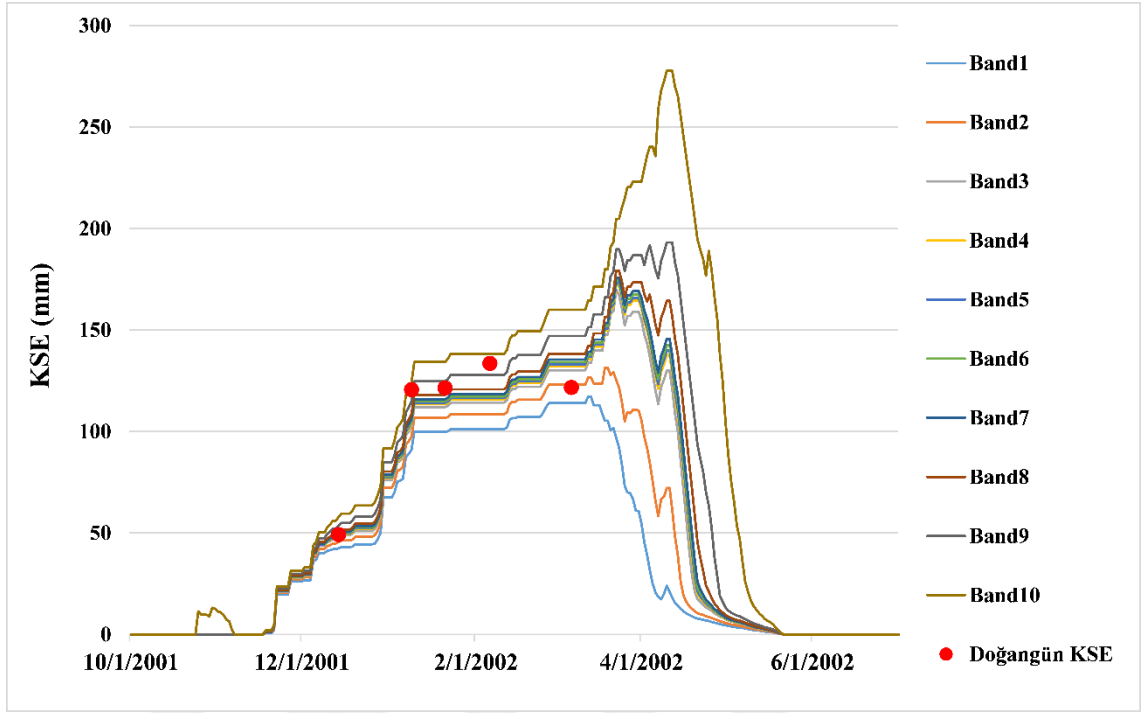
KGİ	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Temsil Ettiği Alt Havza	Bulunması Gereken Bant
Güzelyayla	40.2	41.47	2070	10	Bant 2
Hacımahmut	39.8	40.73	1945	35	Bant 6
Yeşildere	40.13	41.41	1935	9	Bant 1

Havzalarda bulunan her bir KGİ, o havzanın bir alt havzasındaki yükseklik bandına tekabül etmektedir. İstasyonların yükseklikleri, her bir alt havza için bölünmüş SWAT yükseklik bandı aralıklarından birini temsil etmektedir. Görüldüğü gibi bu her istasyon için temsil ettikleri alt havzanın yükseklik sınıflandırmasına göre farklılık göstermektedir.

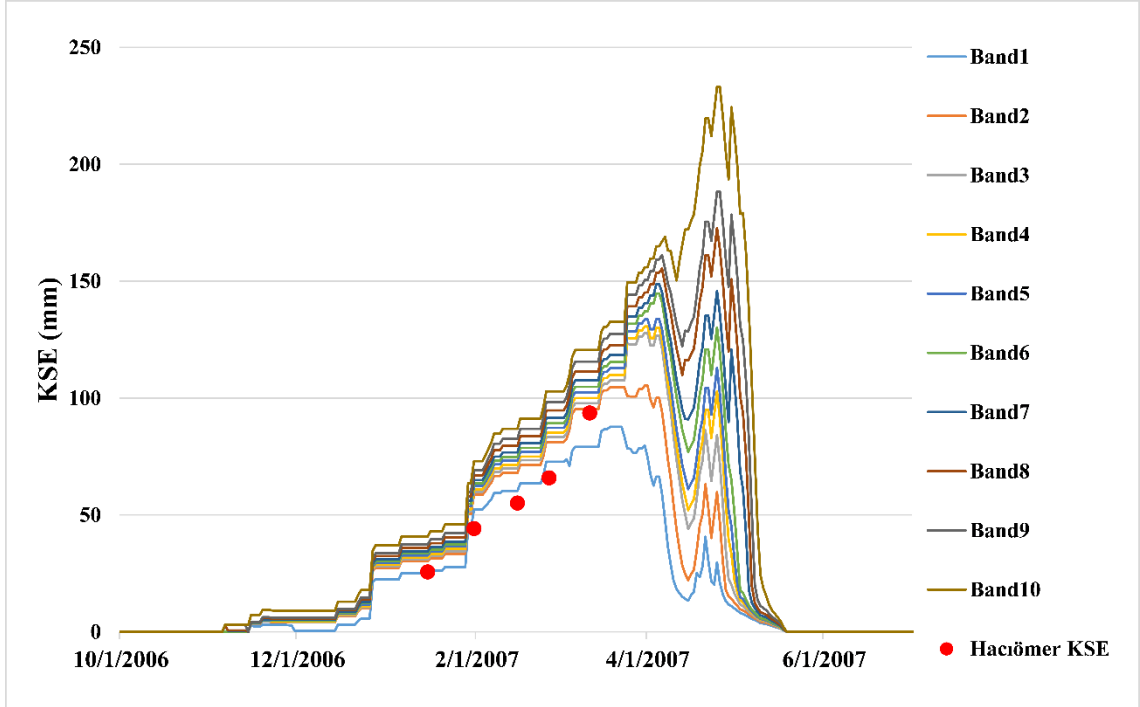
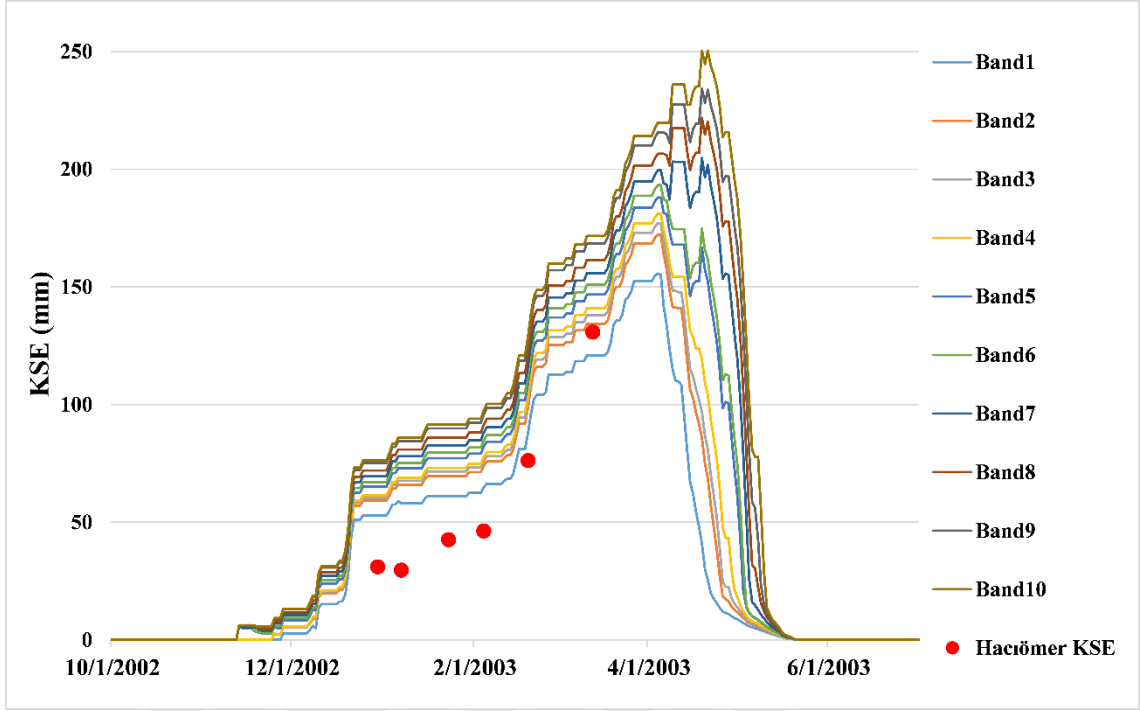
SWAT, çıktı olarak her bir HRU'ya ait KSE değeri verdiği gibi bu değerleri HRU'lara ait yükseklik bantlarına da dağıtmaktadır. Burada, istasyonlarda ölçümü yapılmış kesikli KSE değerleri her yükseklik bandına ait günlük bazdaki sürekli SWAT KSE çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.11 – Şekil 5.16'da SWAT bantlarındaki sürekli KSE değerleri ile kesikli istasyon ölçümlerinin karşılaştırma grafikleri gösterilmiştir. Grafiklerde, istasyonlarda sürekli ölçümler yapılamadığı için elde edilen verilere ait yıllar farklılık göstermektedir.

Görüldüğü gibi KGİ'lere ait kesikli veriler ile SWAT yükseklik bantlarından elde edilen KSE değerleri büyük ölçüde tutarlılık göstermektedir. Sürekli ölçüm verileri olmadığı için direkt karşılaştırma yapılamamasına karşın kesikli KSE verilerinin su yılı boyunca izlediği trend SWAT çıktıları ile eşleşmektedir.

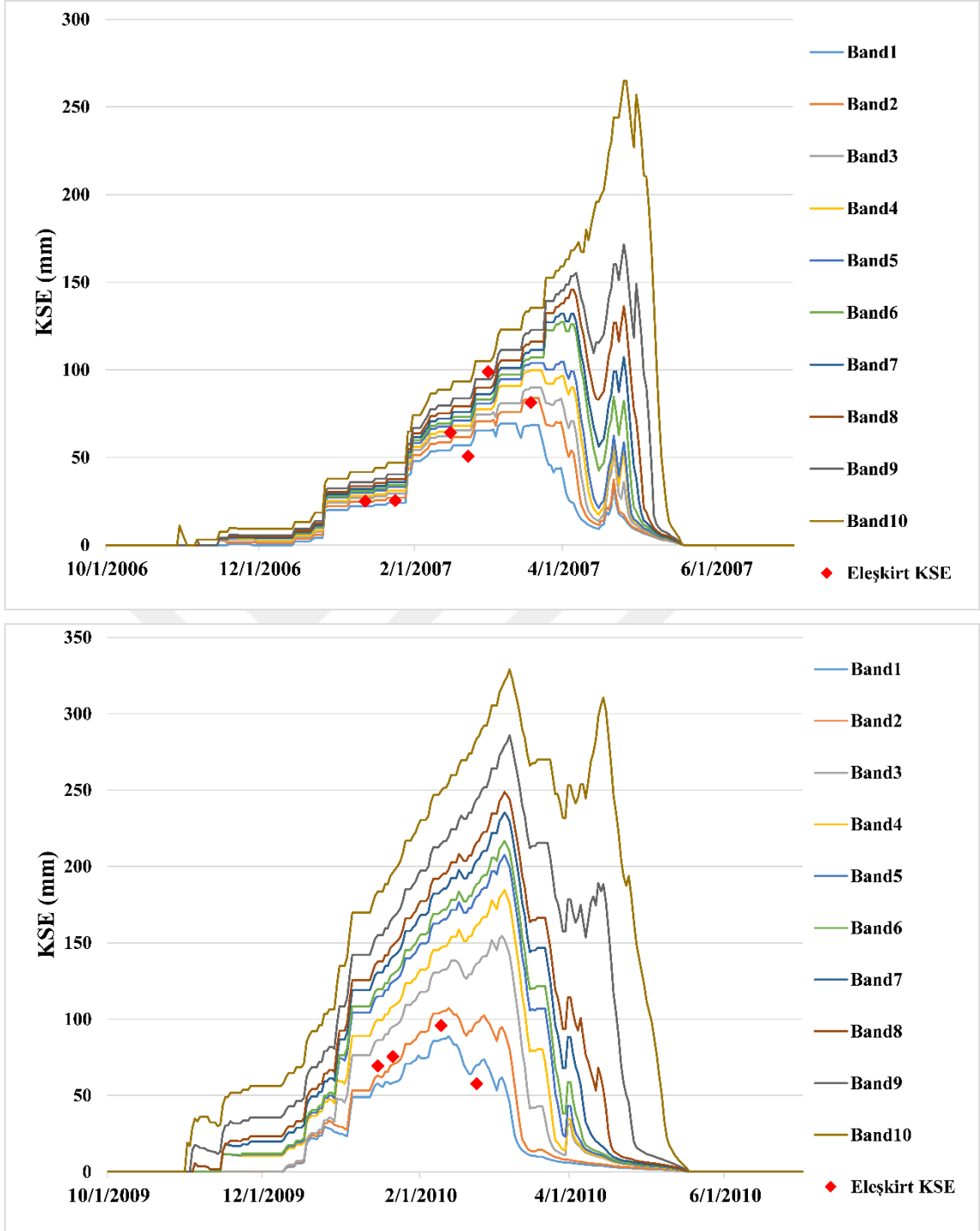
Böylece, modele ait KSE çıktı verilerinin doğrulanması KSE ölçüm istasyonlarına ait veriler kullanılarak oluşturulan kıyaslama grafikleri ile yapılmıştır. Sonuçta, kalibre edilmiş akım verilerinin validasyonu işleminin yanında düzenlenen kar parametreleri ve değişme oranları ile elde edilen SWAT KSE çıktılarının MODIS uydu görüntüleri ile kalibre edilmesinden sonra KGİ ile KSE validasyon işlemi de gerçekleştirilmiştir.



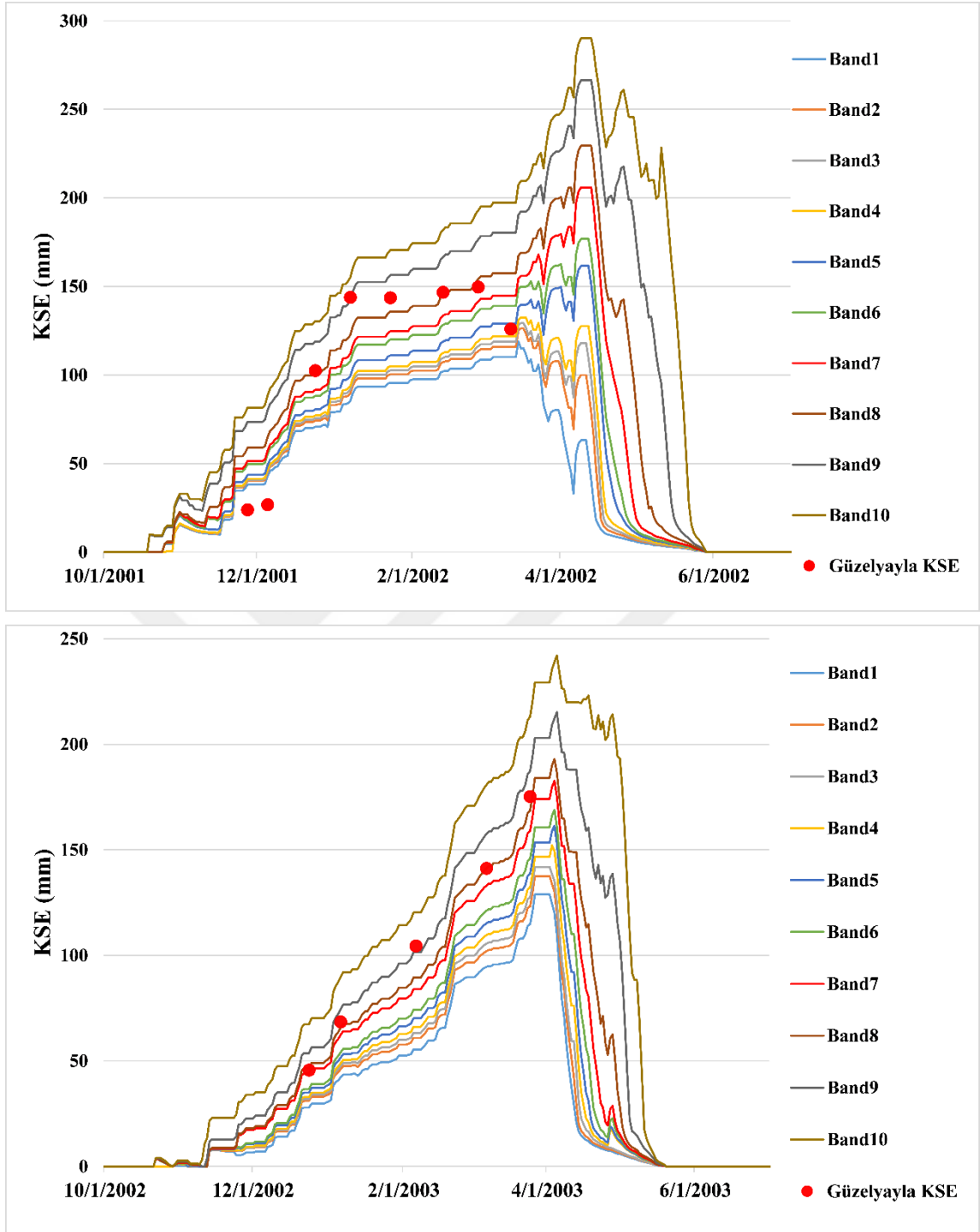
Şekil 5.11. 2002 ve 2003 su yılları için Doğangün KGI ve SWAT KSE grafiği



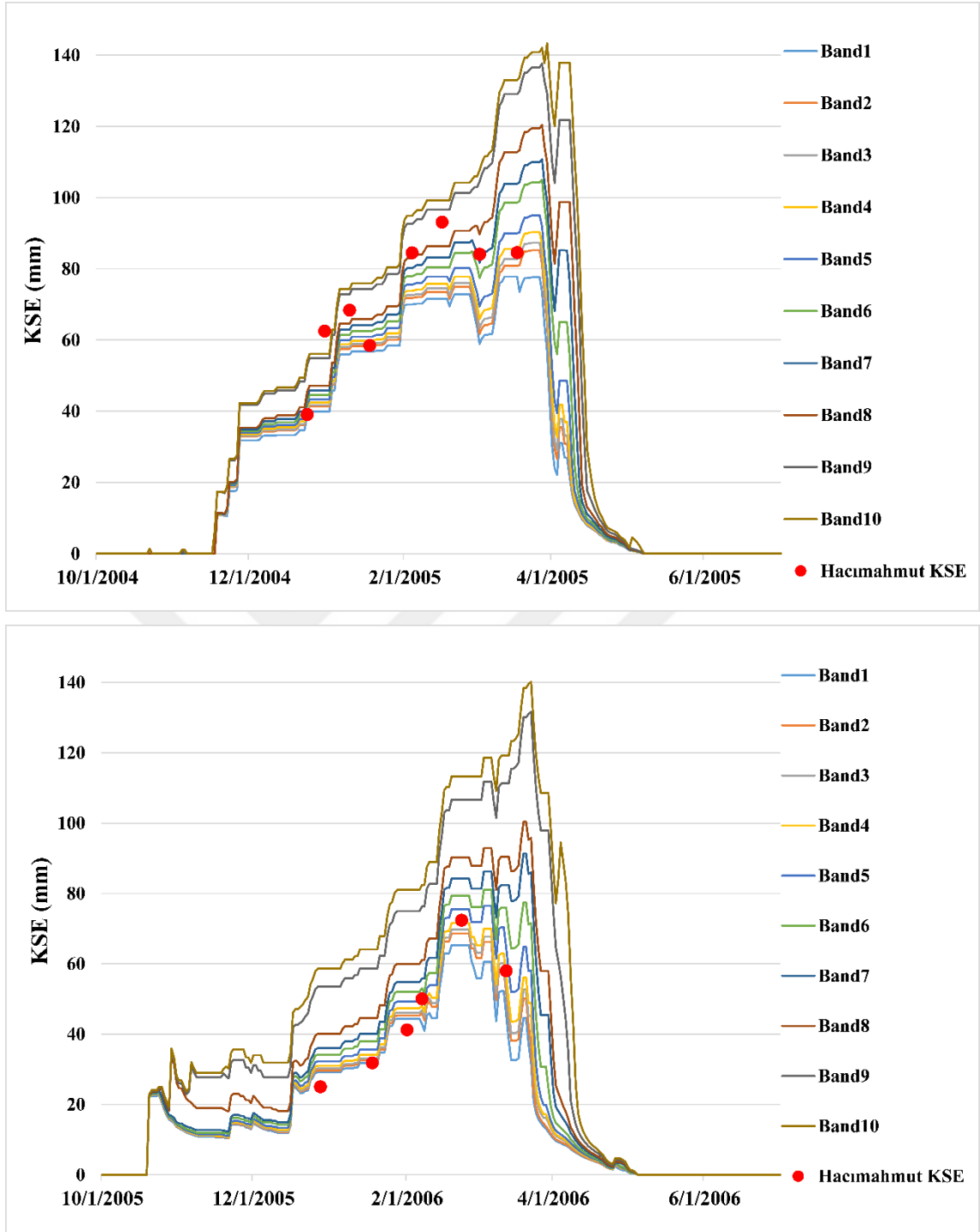
Şekil 5.12. 2003 ve 2007 su yılları için Hacıömer KGI ve SWAT KSE grafiği



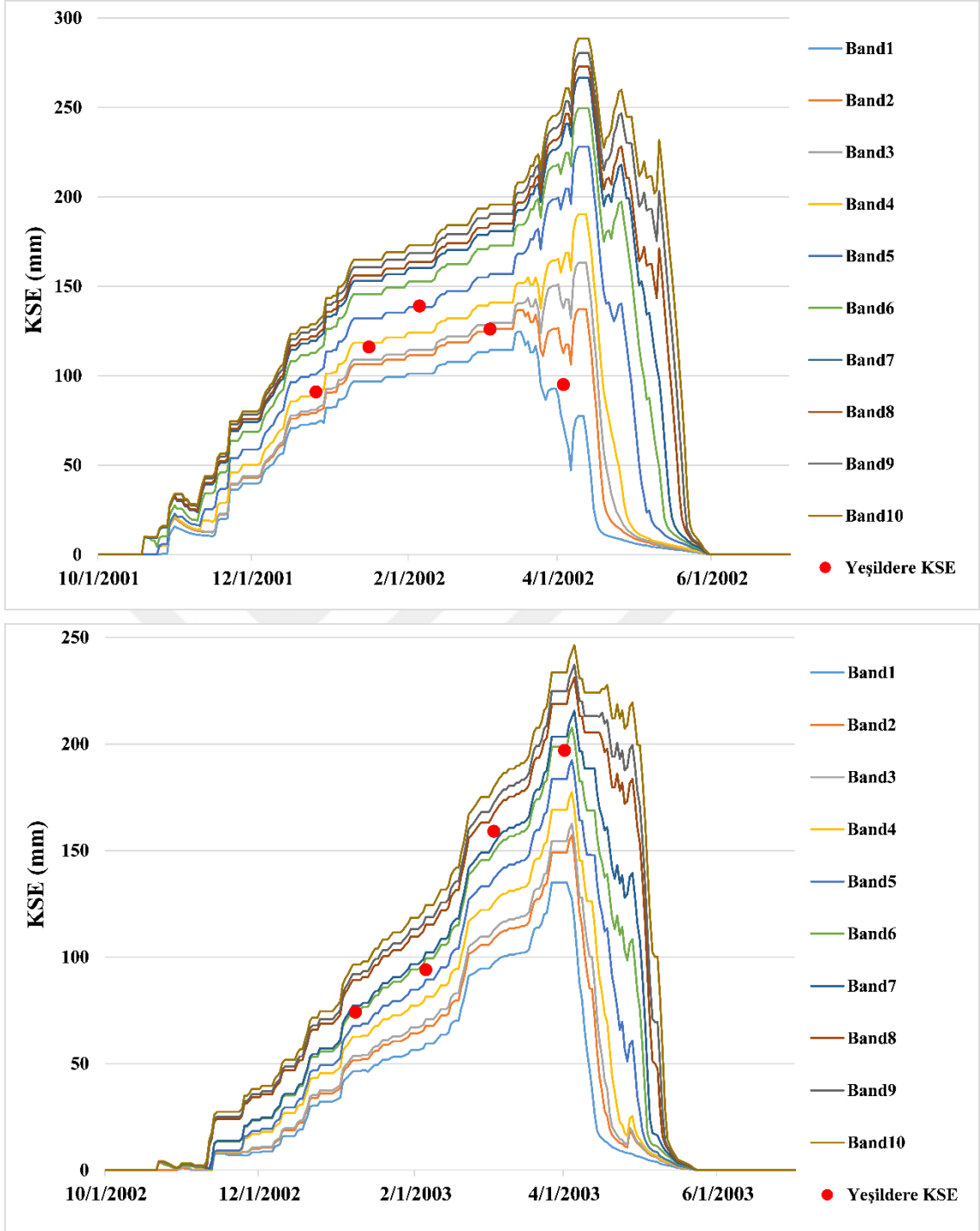
Şekil 5.13. 2007 ve 2010 su yılları için Eleşkirt KGİ ve SWAT KSE grafiği



Şekil 5.14. 2002 ve 2003 su yılları için Güzelyayla KGİ ve SWAT KSE grafiği



Şekil 5.15. 2005 ve 2006 su yılları için Hacımahmut KGI ve SWAT KSE grafiği



Şekil 5.16. 2002 ve 2003 su yılları için Yeşildere KGI ve SWAT KSE grafiği

6. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI

Tez çalışmasının bu kısmında, önceki bölümlerde bahsi geçen iki farklı çalışma alanında kalibre edilmiş hidrolojik modeller aracılığıyla, türetilmiş iklim verileri kullanılarak farklı iklim değişikliği senaryoları sonucundaki kar ve akım çıktıları değerlendirilmiştir. İklim değişikliği ile ilgili yapılan bu çalışma sonucunda, Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait gelecek zamanlı kar ve akım çıktıları elde edilmiş ve bu çıktıların değişen iklim koşullarından nasıl etkilendiği yorumlanmıştır.

İklim değişikliği, nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda ve/veya değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişiklikler biçiminde tanımlanmaktadır. Fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaştırma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleriyle atmosfere salınan sera gazı birikimlerindeki hızlı artışın doğal sera etkisini kuvvetlendirmesi sonucunda yerkürenin ortalama yüzey sıcaklıklarında artış meydana gelmekte ve bu da küresel iklim değişikliğine sebep olmaktadır.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli), iklim değişikliğiyle ilgili en güncel bilimsel, teknik ve sosyoekonomik bilgileri, çok sayıda bilim insanının katılımıyla, düzenli aralıklarla değerlendirerek raporlar yayımlamaktadır. Bu raporlara göre, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine hazırlıklı olunmalı ve bunun için iklim değişikliğinin doğal ve insan sistemlerine etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada, gözlenen ve geçmiş iklimi anlamak ve gelecekteki iklimi öngörebilmek için matematiksel modeller kullanılmaktadır. Uluslararası ortak çalışmalar yürütebilmek ve karşılaştırmaların sağlıklı ve kolay bir şekilde yapılabilmesi için Küresel İklim Modelleri, IPCC tarafından belirlenen senaryolar temel alınarak oluşturulmaktadır. Ayrıca, yerel ölçekte çözünürlüğü arttırmak amacıyla Küresel İklim Modelleri, Bölgesel İklim Modellerinde girdi olarak kullanılarak daha detaylı projeksiyonlar elde edilebilmektedir. Modeller aracılığıyla geleceğe yönelik iklim öngörülerinde farklı senaryolar kullanılmaktadır (http-6).

Senaryo, gelecekteki bazı olayları resmeden hikâyelerdir (Gregory ve Duran, 2001) ve senaryo geleceğin tahmini değil, olması muhtemel alternatif durumların tanımlanmasıdır (IPCC, 2000). Bu konuda, IPCC günümüze kadar 5 değerlendirme raporu hazırlamıştır (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. Geçmişten günümüze IPCC tarafından geliştirilen senaryolar

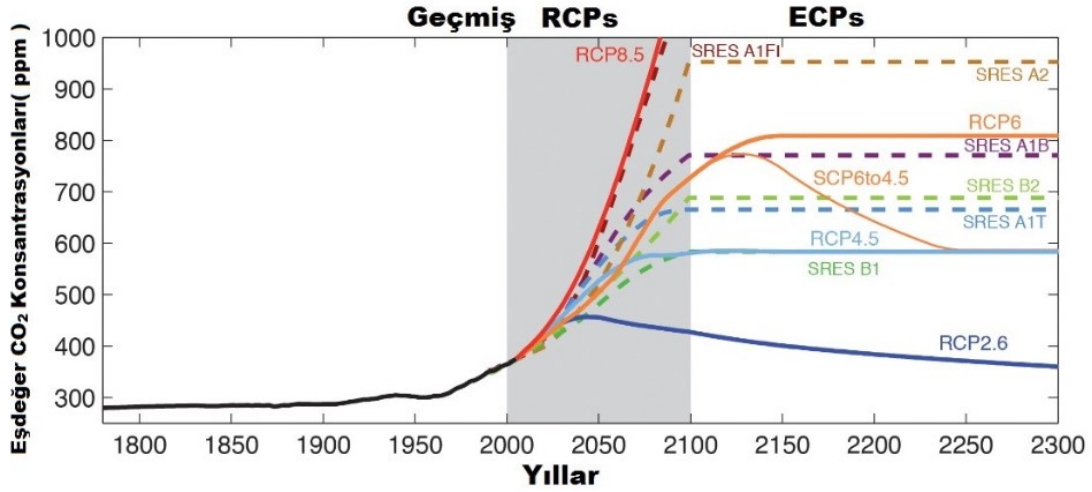
Senaryo Adı	Yayınlanma Yılı	Kullanıldığı IPCC Değerlendirme Raporu
SA90	1990	1. ve 2. Değerlendirme Raporu (FAR, SAR)
IS92a-f	1992	3. Değerlendirme Raporu (TAR)
SRES A-B	2000	3. ve 4. Değerlendirme Raporu (TAR, AR4)
RCPs	2007	5. Değerlendirme Raporu (AR5)
SSPs	Henüz yayınlanmadı.	6. Değerlendirme Raporu (AR6)

IPCC 5. Değerlendirme Raporu (AR5) kapsamında sunulan, CO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak SRES senaryoları yerine geliştirilmiş, ışımsal zorlama seviyeleri ve rotaları bakımından 4 farklı RCP (Representative Concentration Pathways) senaryosu bulunmaktadır (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. SRES ve RCP senaryoları için 2100 yılında yaklaşık eşdeğer CO₂ konsantrasyonları (Meinshausen ve ark., 2011; Moss ve ark., 2010; IPCC, 2007)

SRES	RCP	2100 yılında yaklaşık eşdeğer CO ₂ konsantrasyonları (ppm)
A1FI		1550
	8.5	> 1370
A1B		850
	6	850
B2		800
	4.5	650
B1		600
	2	490

Şekil 6.1’de ise SRES ve RCP senaryolarının gelecek dönem için ortaya koyduğu eşlenik CO₂ (ppm) konsantrasyonları gösterilmektedir.



Şekil 6.1. SRES ve RCP'lerin gelecek dönem için ortaya koyduğu eşlenik CO₂ (ppm) konsantrasyonları

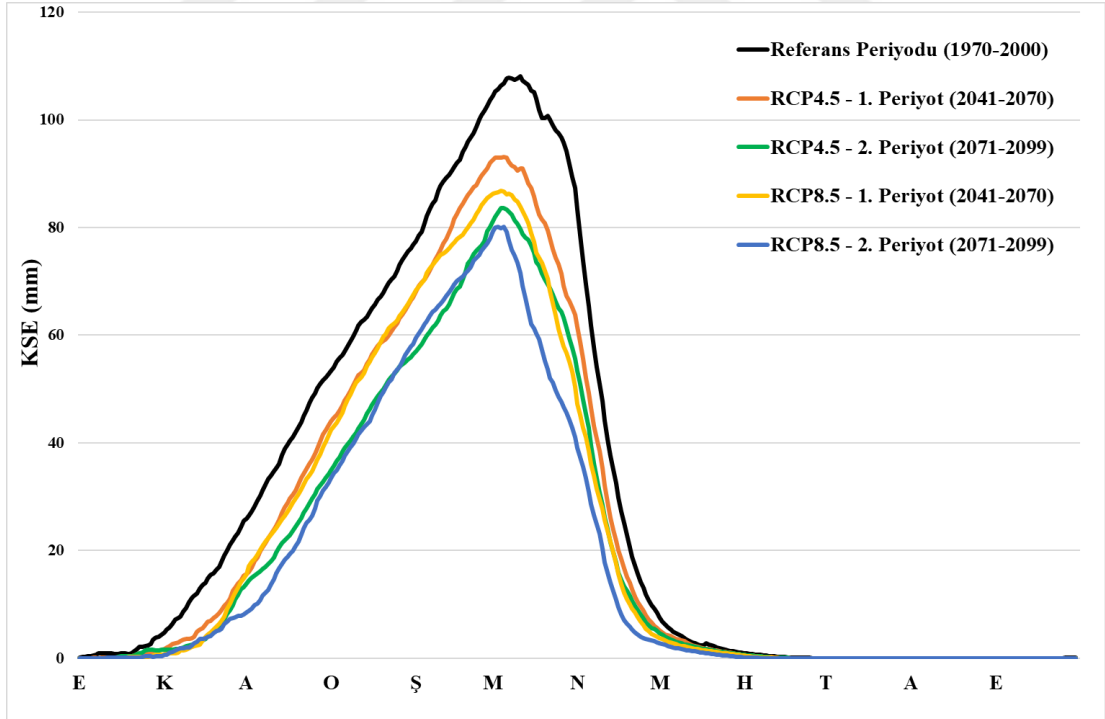
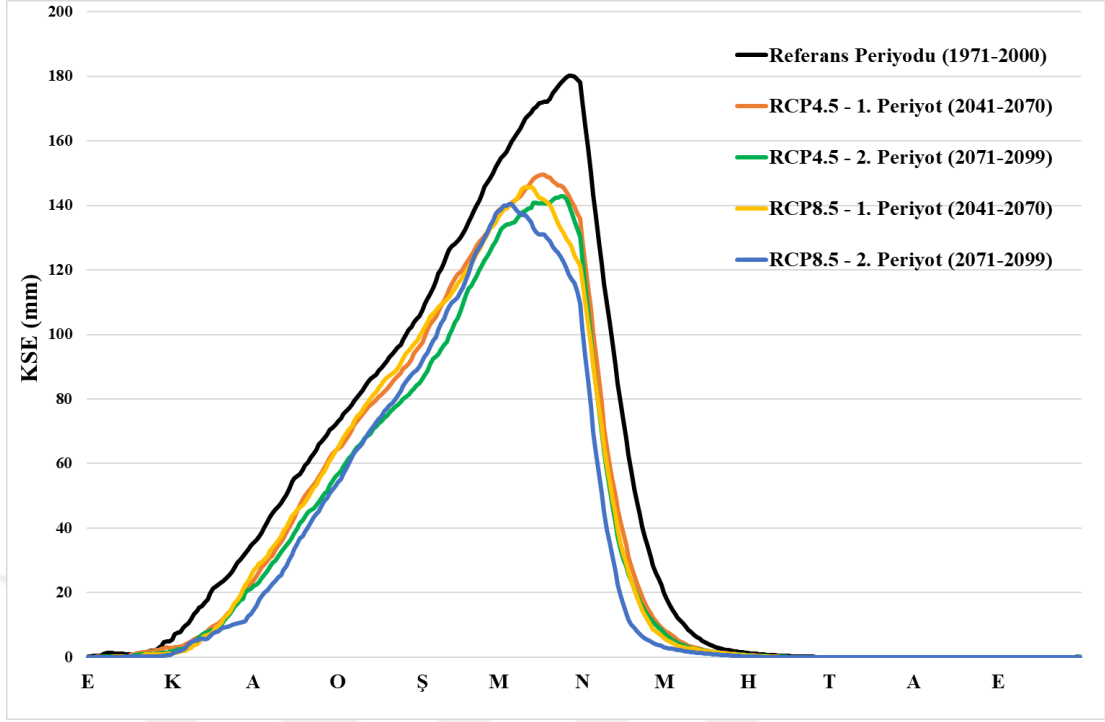
Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim değişikliğinin gelecekte ülkemize nasıl etkileyeceğini ortaya koyabilmek için 2016-2099 dönemi için 3 farklı küresel model ile iklim projeksiyonları geliştirmiştir. Çalışmada HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M küresel model veri setleri kullanılarak RegCM4.3.4 Bölgesel Modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemiyle RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre 1971-2000 referans periyotlu 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 gelecek periyotlu 20 km çözünürlüklü Türkiye ve bölgesi için projeksiyon sonuçları elde edilmiştir (Demircan ve ark., 2017).

Bu tez çalışmasında, SWAT modelinden elde edilen kar ve akım çıktılarının değerlendirilmesinde MPI-ESM-MR küresel iklim modeli ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için üretilen yağış ve sıcaklık projeksiyonları tercih edilmiştir. Böylece, biri insanlığın halihazırdaki uygulamalarını sürdürmesi (RCP8.5), diğeri ise daha çevreci teknolojiler ve azalan nüfus artışı kabullerini barındıran (RCP4.5) salınım senaryolarının farklı periyotlardaki sonuçları, iklim değişikliğinin akımlara ve kar erimelerine etkisinin yorumlanmasında kullanılmıştır. Seçilen bu senaryolar IPCC 5. Değerlendirme Raporu kapsamında en çok tercih edilenlerdir.

Her iki havza için 1971-2000 referans periyoduna göre iki farklı değerlendirme periyodu belirlenmiştir: Bu periyotlardan ilki 2041-2070 (1. iklim periyodu) ve ikincisi ise 2071-2099 (2. iklim periyodu) su yılları arasındaki periyotlardır.

Bu periyotlara ait yağış ve sıcaklık projeksiyonları kullanılarak SWAT modeli kurulmuş, kar ve akım çıktıları elde edilmiştir. Bu çıktıların değerlendirilmesinde, referans periyodu baz alınarak 1. ve 2. iklim periyoduna ait değişimler gözlenmiştir.

İlk olarak, iki senaryoya ait oluşturulan projeksiyonlar kullanılarak iklim değişikliğinin etkisini gözlemlemek adına KSE çıktılarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 sırasıyla Murat-1 ve Karasu-1 için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait KSE çıktılarını göstermektedir. Grafiklerde, senaryolara ait değerler referans değerlerine göre karşılaştırıldığında pik değerlerde düşüş ve hacim olarak azalış açıkça gözlenebilmektedir. Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'te sırasıyla Murat-1 ve Karasu-1 havzaları için, iki senaryonun referans periyoduna göre KSE ortalama değerlerindeki değişimleri 10'ar ve 30'ar yıllık periyotlarda gösterilmektedir. Ayrıca, kar sezonunun başlangıç tarihlerinde her iki senaryo için de ileri kayma söz konusuken kar sezonunun bitiş tarihleri geri çekilmiştir; sonuçta kar sezonunda bir daralma söz konusudur. Bu durum, havzalarda kar örtüsünün yerde kalma süresindeki azalışa işaret etmektedir. Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da havzalara ait kar sezonundaki daralmalar gösterilmektedir. Burada, kar birikme ve çekilme tarihleri 10 mm eşik değerine göre belirlenmiştir ve referans periyoduna göre birikme/çekilme tarihlerindeki farklar saptanarak daralmadaki toplam gün sayısı bulunmuştur.



Tablo 6.3. *Murat-1 havzası KSE ortalama değerlerindeki değişim*

Referans Periyodu (1971-2000): 45.73 mm					
RCP4.5	mm	%	RCP8.5	mm	%
2041-2050	37.32	-18.39	2041-2050	40.18	-12.14
2051-2060	34.61	-24.32	2051-2060	35.38	-22.64
2061-2070	39.60	-13.40	2061-2070	32.89	-28.07
2071-2080	34.06	-25.53	2071-2080	32.83	-28.20
2081-2090	34.52	-24.52	2081-2090	34.77	-23.97
2091-2099	33.50	-26.74	2091-2099	28.27	-38.18
2041-2070	37.18	-18.70	2041-2070	36.15	-20.95
2071-2099	34.04	-25.56	2071-2099	32.08	-29.84

Tablo 6.4. *Karasu-1 havzası KSE ortalama değerlerindeki değişim*

Referans Periyodu (1971-2000): 29.06 mm					
RCP4.5	mm	%	RCP8.5	mm	%
2041-2050	23.71	-18.43	2041-2050	23.38	-19.55
2051-2060	22.77	-21.64	2051-2060	20.49	-29.47
2061-2070	23.58	-18.84	2061-2070	20.83	-28.32
2071-2080	20.53	-29.35	2071-2080	17.75	-38.94
2081-2090	19.72	-32.15	2081-2090	20.07	-30.95
2091-2099	19.12	-34.20	2091-2099	15.27	-47.46
2041-2070	23.35	-19.64	2041-2070	21.57	-25.78
2071-2099	19.81	-31.82	2071-2099	17.78	-38.83

Tablo 6.5. *Murat-1 havzası için birikme/çekilme tarihlerindeki değişim ve kar sezonundaki daralma*

Referans Periyodu	RCP4.5		RCP8.5	
	Periyot 1	Periyot 2	Periyot 1	Periyot 2
Birikme Başlangıcı				
Kasım 07	Kasım 17	Kasım 19	Kasım 18	Kasım 24
Çekilme Başlangıcı				
Mayıs 08	Nisan 29	Nisan 28	Nisan 26	Nisan 19
Birikme Tarihindeki İleri Kayma	10 gün	12 gün	11 gün	24 gün
Çekilme Tarihindeki Geri Kayma	9 gün	10 gün	12 gün	19 gün
Toplam Daralan Gün Sayısı	19	22	23	43

Tablo 6.6. *Karasu-1 havzası için birikme/çekilme tarihlerindeki değişim ve kar sezonundaki daralma*

Referans Periyodu	RCP4.5		RCP8.5	
	Periyot 1	Periyot 2	Periyot 1	Periyot 2
Birikme Başlangıcı				
Kasım 10	Kasım 24	Kasım 26	Kasım 25	Aralık 05
Çekilme Başlangıcı				
Nisan 27	Nisan 23	Nisan 21	Nisan 20	Nisan 16
Birikme Tarihindeki İleri Kayma	14 gün	16 gün	15 gün	25 gün
Çekilme Tarihindeki Geri Kayma	4 gün	6 gün	7 gün	12 gün
Toplam Daralan Gün Sayısı	18	22	22	37

İkinci aşamada, iklim değişikliğinin akım çıktılarına etkisi incelenmiştir. Akım çıktılarındaki değişim incelenirken ilk olarak, her iki havzada RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarından elde edilen sonuçlara ait iki farklı periyottaki toplam akışa geçen su miktarlarının referans periyoduna göre yüzdelik değişimleri göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 6.7’de Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait gelecek periyotlardaki yıllık ortalama akım değerleri iki senaryo için gösterilmektedir.

Tablo 6.7’deki akım değerleri genel olarak incelendiğinde, referans periyoduna ait yıllık toplam akışa geçen su miktarları baz alınarak her iki senaryo için 1. ve 2. periyotlardaki akımların genel olarak düşüşü söz konusudur fakat Karasu-1 havzası için RCP4.5 1. periyot ve RCP8.5 2. periyot değerlerinde yüzde olarak bir artış vardır. Yüzdelik değişim oranları farklı senaryolar için farklı iklim periyotlarında değişkenlik göstermektedir. Akım değerlerinde, KSE çıktılarındaki gibi net bir düşüş trendi akım çıktılarındaki gözlenememektedir. Bu durumu anlayabilmek ve buna bağlı olarak akımlardaki değişimleri yorumlayabilmek için öncelikle iklim senaryolarına ait yağış ve sıcaklık değerleri incelenmelidir. Murat-1 ve Karasu-1 havzalarına ait ortalama yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerleri ile bunların referans periyoduna göre yüzdelik değişimleri sırasıyla Tablo 6.8 ve Tablo 6.9’da gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Referans ve iklim periyotlarında yıllık toplam akışa geçen su miktarları

Murat-1			
Referans Periyodu	Senaryo	1. Periyot	2. Periyot
(1971-2000)		(2041-2070)	(2071-2099)
436.46 mm	RCP 4.5	433.86 mm	424.45 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	-0.57	-2.73
	RCP 8.5	417.36 mm	431.20 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	-4.23	-1.18
Karasu-1			
Referans Periyodu	Senaryo	1. Periyot	2. Periyot
(1971-2000)		(2041-2070)	(2071-2099)
379.48 mm	RCP 4.5	394.02 mm	369.42 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	+3.83	-2.65
	RCP 8.5	373.78 mm	385.42 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	-1.50	+1.56

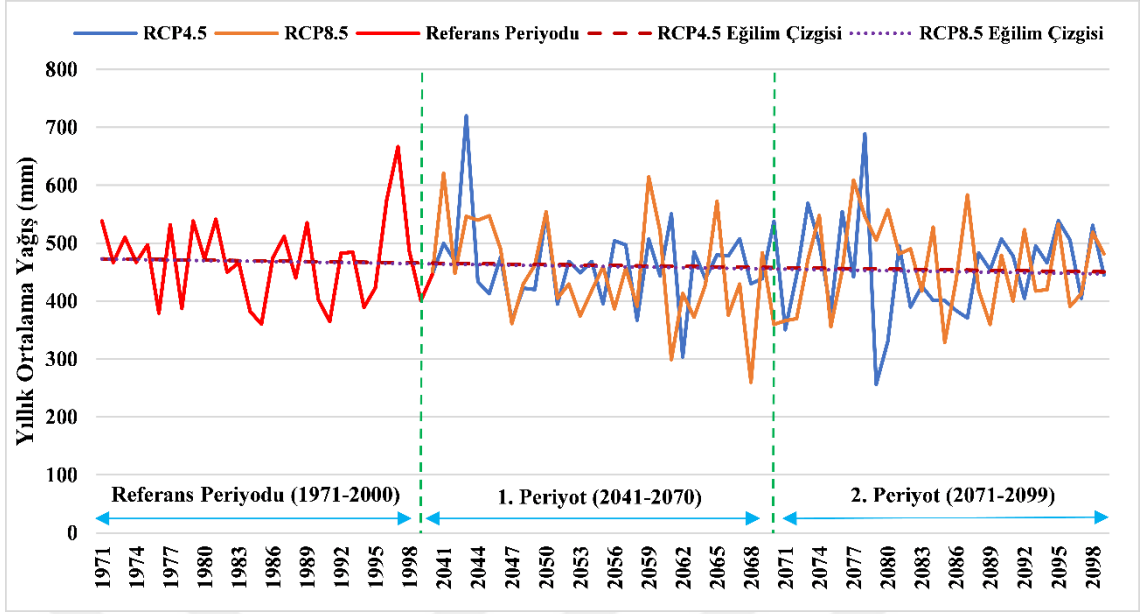
Tablo 6.8. Referans ve iklim periyotlarında ortalama yıllık toplam yağış

Murat-1			
Referans Periyodu	Senaryo	1. Periyot	2. Periyot
(1971-2000)		(2041-2070)	(2071-2099)
468.90 mm	RCP 4.5	463.76 mm	451.58 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	-1.10	-3.70
	RCP 8.5	448.30 mm	462.09 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	-4.40	-1.46
Karasu-1			
Referans Periyodu	Senaryo	1. Periyot	2. Periyot
(1971-2000)		(2041-2070)	(2071-2099)
422.40 mm	RCP 4.5	434.41 mm	403.83 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	+2.84	-1.82
	RCP 8.5	414.70 mm	427.95 mm
	Referansa Göre Değişim (%)	-4.40	+1.31

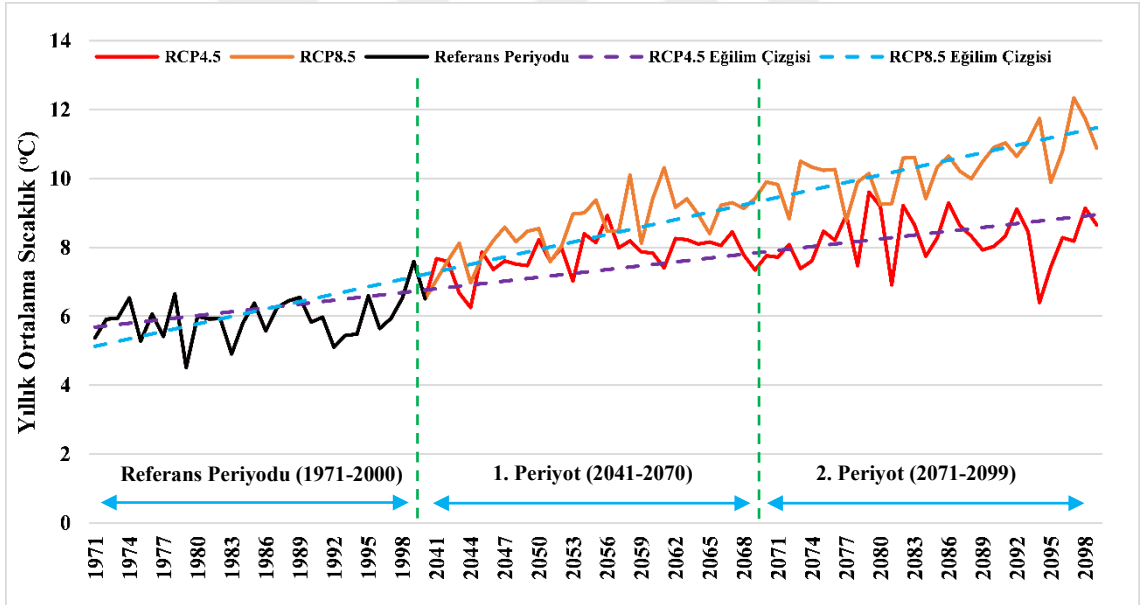
Tablo 6.9. Referans ve iklim periyotlarında ortalama yıllık sıcaklık

Murat-1			
Referans Periyodu	Senaryo	1. Periyot	2. Periyot
(1971-2000)		(2041-2070)	(2071-2099)
5.99 °C	RCP 4.5	7.85 °C	8.32 °C
	Referansa Göre Değişim (%)	+30.83	+38.73
	RCP 8.5	8.73 °C	10.42 °C
	Referansa Göre Değişim (%)	+45.51	+73.73
Karasu-1			
Referans Periyodu	Senaryo	1. Periyot	2. Periyot
(1971-2000)		(2041-2070)	(2071-2099)
5.85 °C	RCP 4.5	7.64 °C	8.14 °C
	Referansa Göre Değişim (%)	+30.58	+39.07
	RCP 8.5	8.52 °C	10.19 °C
	Referansa Göre Değişim (%)	+45.57	+74.17

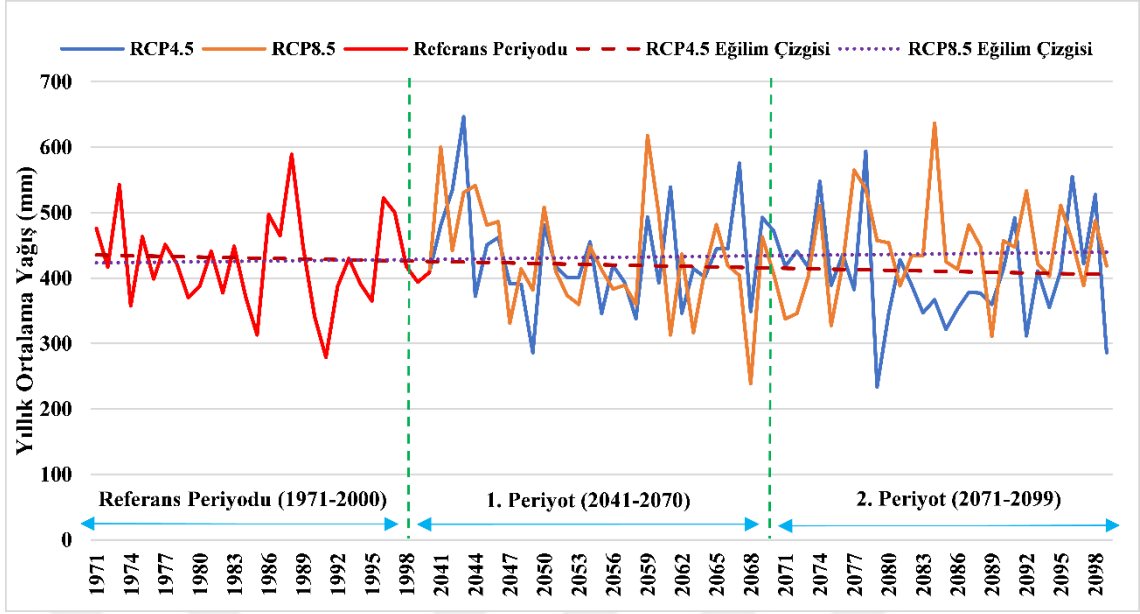
Ayrıca, havzalara ait ortalama yıllık yağış ve ortalama sıcaklık değerleri için grafikler Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te Murat-1 havzası, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de Karasu-1 havzası için verilmiştir.



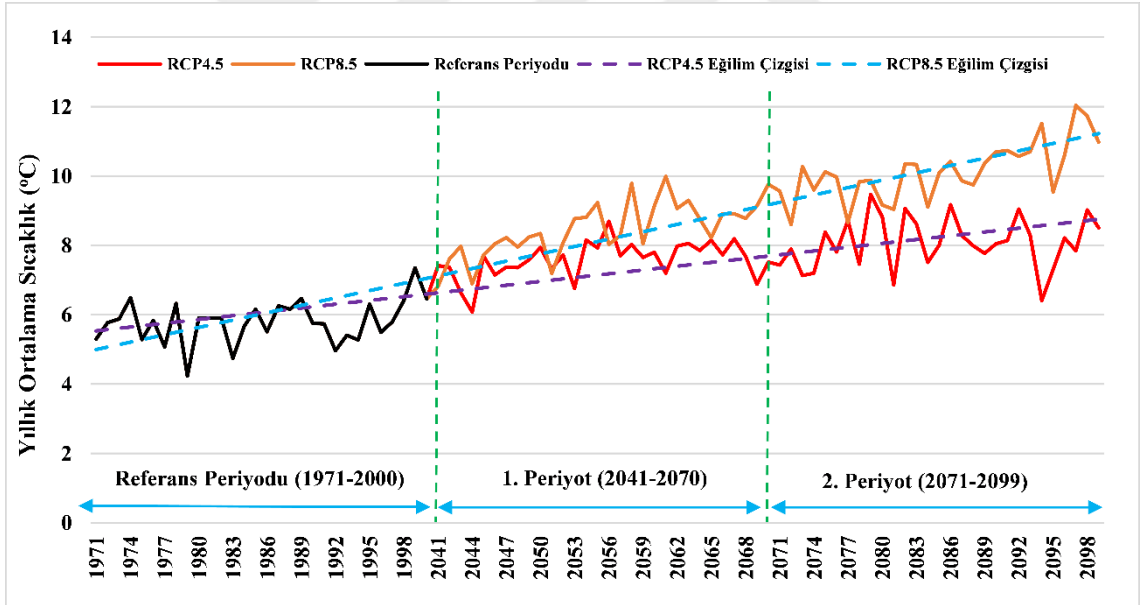
Şekil 6.4. Murat-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama yağış değerleri



Şekil 6.5. Murat-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 6.6. Karasu-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama yağış değerleri



Şekil 6.7. Karasu-1 havzası iklim senaryolarına ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri

İklim projeksiyonlarına ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde her iki senaryo için de gözlem periyotları boyunca trend olarak artış açıkça gözlenebilmektedir. Bu durum iki havza için de geçerlidir (şekil 6.5 ve şekil 6.7). Sonuçta, seçilen periyotlar süresince ortalama sıcaklıklar, yüz yıllık sürecin sonuna doğru %75 mertebesinde artmaktadır.

Diğer yandan, yıllık ortalama yağış değerleri göz önünde bulundurulduğunda, her iki senaryo için de bütün süreç boyunca genel olarak azalan bir trend olmasına karşın (şekil 6.4 ve şekil 6.6) yağış değerleri periyotlar bazında incelendiğinde ise her iki havzaya ait farklı senaryolarda değişkenlik göze çarpmaktadır. Yağışlardaki bu değişkenlik direkt olarak akım değerlerine de yansımıştır. Ayrıca, şekil 6.4 ve şekil 6.6’da görüldüğü gibi yağış değerleri birbirini takip eden yıllar arasında büyük farklılıklar göstermekte olup, Tablo 6.8’de 30’ar yıllık periyotlardaki yağış değerleri üzerinden hesap yapılmış olması bu farklılıkların etkisini iyi yansıtamamıştır. Bu sebeple, yağış değişkenliklerinin akıma etkilerini inceleyebilmek üzere farklı senaryolara ait farklı periyotlardaki değerler Tablo 6.10 ve Tablo 6.11’de, 30’ar yıllık süreçlerin yanında 10’ar yıllık süreçler için de gösterilmektedir.

Tablo 6.10. Murat-1 havzası akım ve yağış değerlerindeki değişim

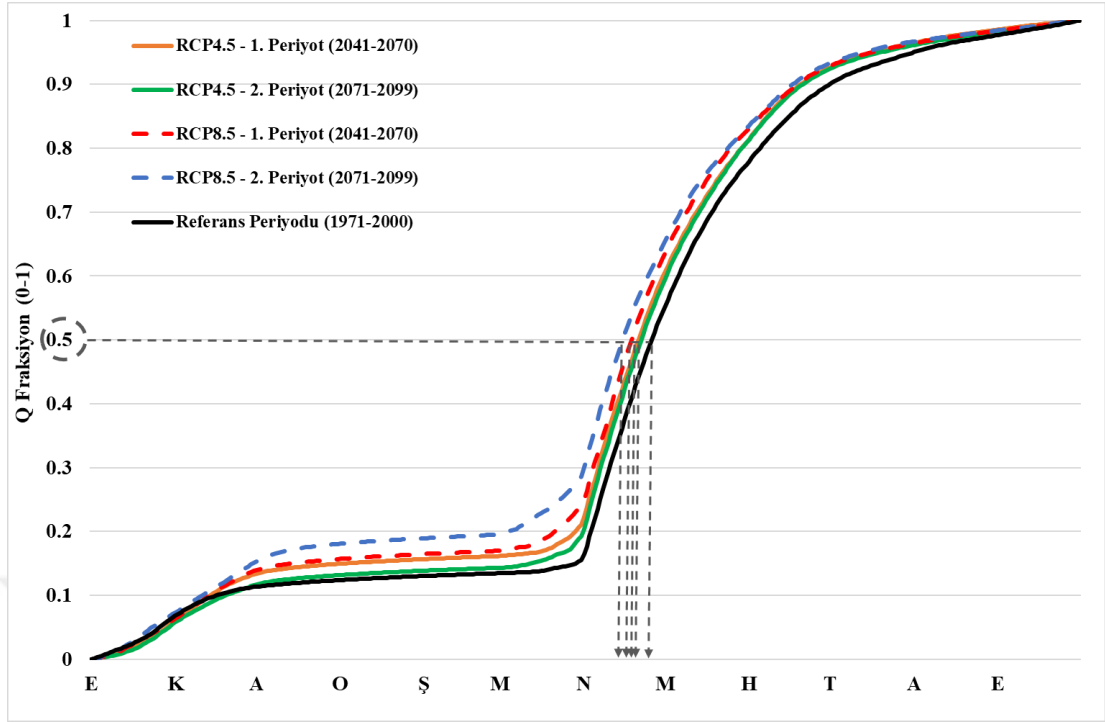
Akımlardaki Değişim					
Referans Periyodu (1971-2000): 436.46 mm					
RCP4.5	mm	%	RCP8.5	mm	%
2041-2050	438.17	0.41	2041-2050	468.81	7.44
2051-2060	426.31	-2.30	2051-2060	414.71	-4.96
2061-2070	435.88	-0.11	2061-2070	370.24	-15.15
2071-2080	425.51	-2.49	2071-2080	448.28	2.73
2081-2090	405.08	-7.17	2081-2090	421.04	-3.51
2091-2099	444.66	1.90	2091-2099	423.43	-2.96
2041-2070	433.86	-0.57	2041-2070	417.36	-4.23
2071-2099	424.45	-2.73	2071-2099	431.20	-1.18
Yağışlardaki Değişim					
Referans Periyodu (1971-2000): 468.90 mm					
RCP4.5	mm	%	RCP8.5	mm	%
2041-2050	476.90	1.70	2041-2050	499.95	6.61
2051-2060	449.42	-4.16	2051-2060	445.65	-4.96
2061-2070	464.97	-0.84	2061-2070	399.29	-14.85
2071-2080	451.68	-3.68	2071-2080	478.20	1.98
2081-2090	431.07	-8.07	2081-2090	452.08	-3.59
2091-2099	474.24	1.13	2091-2099	455.30	-2.91
2041-2070	463.76	-1.10	2041-2070	448.30	-4.40
2071-2099	451.58	-3.70	2071-2099	462.09	-1.46

Tablo 6.11. Karasu-1 havzası akım ve yağış değerlerindeki değişim

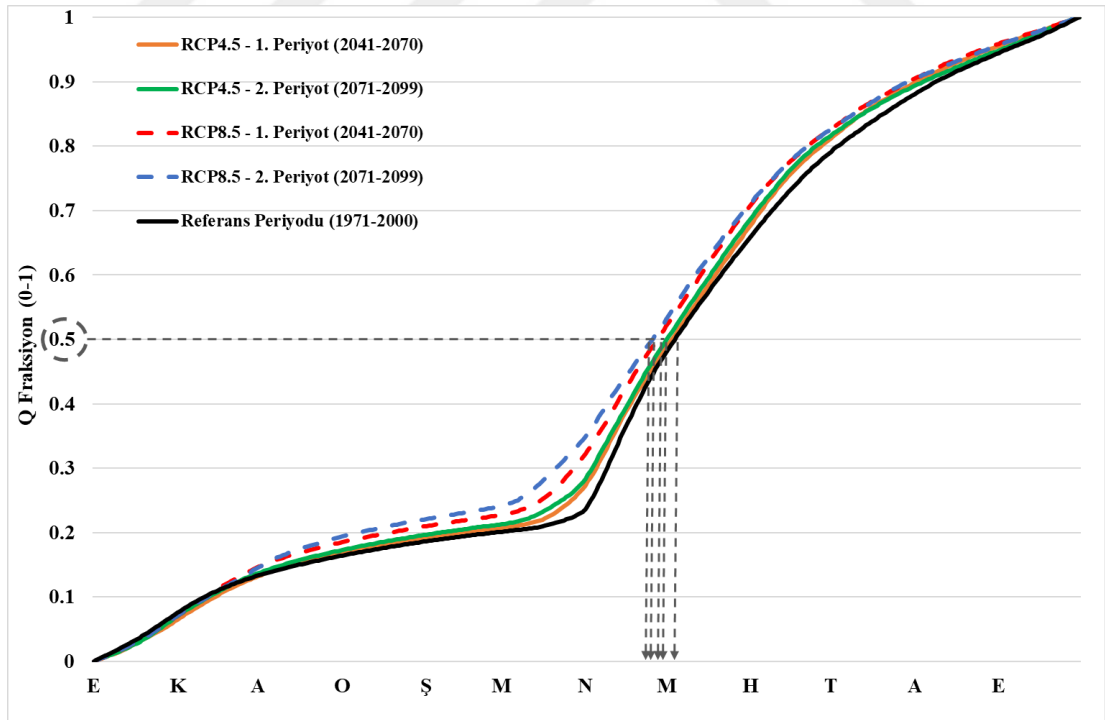
Akımlardaki Değişim					
Referans Periyodu (1971-2000): 379.48 mm					
RCP4.5	mm	%	RCP8.5	mm	%
2041-2050	407.67	7.43	2041-2050	416.39	9.73
2051-2060	368.30	-2.95	2051-2060	363.71	-4.16
2061-2070	405.99	6.99	2061-2070	341.23	-10.08
2071-2080	389.77	2.71	2071-2080	380.15	0.18
2081-2090	338.43	-10.82	2081-2090	380.38	0.24
2091-2099	381.16	0.44	2091-2099	396.82	4.57
2041-2070	394.02	3.83	2041-2070	373.78	-1.50
2071-2099	369.42	-2.65	2071-2099	385.41	1.56
Yağışlardaki Değişim					
Referans Periyodu (1971-2000): 422.40 mm					
RCP4.5	mm	%	RCP8.5	mm	%
2041-2050	449.50	6.42	2041-2050	456.94	8.18
2051-2060	405.77	-3.94	2051-2060	406.29	-3.81
2061-2070	447.95	6.05	2061-2070	380.85	-9.84
2071-2080	420.47	-0.46	2071-2080	420.68	-0.41
2081-2090	373.47	-11.58	2081-2090	423.80	0.33
2091-2099	419.08	-0.79	2091-2099	440.65	4.32
2041-2070	434.41	2.84	2041-2070	414.70	-1.82
2071-2099	403.83	-4.40	2071-2099	427.95	1.31

10'ar yıllık periyotlara ait yağış ve akışa geçen su miktarları incelendiğinde, yağış değerlerindeki değişkenliğin direkt olarak akımlara yansıdığı açıkça görülebilmektedir. Örneğin, Tablo 6.10'da yer alan, Murat-1 havzası için akımlarda yüzde olarak en yüksek düşüşün yaşandığı RCP8.5 senaryosuna ait 2061-2070 dönemi, aynı zamanda yağış olarak en düşük değerin görüldüğü periyottur. Ayrıca, akımlarda yüzdelik olarak artışın görüldüğü periyotlarda, yağış değerlerindeki yüzdelik değişimin de bu dönemler ile paralel olarak pozitif olduğu görülmektedir. Aynı saptamalar, Tablo 6.11'de, Karasu-1 havzası akım ve yağış değerlerindeki 10'ar yıllık yüzdelik değişimler arasındaki ilişkide de gözlenebilmektedir.

İklim değişikliğinin etkisini incelemek amacıyla, toplam akım miktarlarının değerlendirilmesinin yanında, referans periyoduna ait akım değerlerinin iklim projeksiyonlarına ait değerler ile karşılaştırılmasında kullanılan diğer bir yöntem, eklenik yıllık ortalama akımların yüzde olarak yarılandığı (%50'ye ulaştığı) tarihlerin belirlenerek iki farklı iklim periyodunda referans periyoduna göre olan kaymanın hesaplanmasıdır. Merkez zamanı (CT – Center Time) konsepti (Stewart ve ark., 2005) olarak bilenen bu metot ile yüzey akımlarındaki zamansal kayma tespit edilebilir. Şekil 6.8'de Murat-1, Şekil 6.9'da Karasu-1 havzası için 0 ile 1 skalasında hesaplanan fraksiyonlara ait eklenik akım grafikleri üzerinde %50 merkez zamanı gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Murat-1 havzası iklim senaryolarına ait eklenik akım grafiği



Şekil 6.9. Karasu-1 havzası iklim senaryolarına ait eklenik akım grafiği

Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da verilen grafiklerde kesikli dikey çizgiler merkez zamanlarını işaret etmektedir. Bu merkez zamanları Tablo 6.12’de referans periyoduna göre kayan gün sayısı ile birlikte detaylıca verilmiştir. Görüldüğü gibi her iki havzada eklenik akımların %50’ye ulaştığı günler referans periyoduna kıyasla geriye kaymaktadır. Bu duruma, iklim senaryolarında beklenildiği üzere sıcaklıkların artmasıyla akımlara katılan kar erimelerinin erken görülmesi sebep olmaktadır. Sonuç olarak, akım merkez zamanlarında, yüz yıllık periyodun sonuna doğru ortalama 9-11 günlük bir geriye kayma söz konusudur.

Tablo 6.12. Merkez zamanları tarihleri ve kayma süreleri

	Referans CT	Murat-1		Karasu-1	
		27 Nisan		5 Mayıs	
		CT	Kayma Süresi	CT	Kayma Süresi
1. Periyot	RCP 4.5	21 Nisan	6 gün	3 Mayıs	2 gün
	RCP 8.5	19 Nisan	8 gün	28 Nisan	7 gün
2. Periyot	RCP 4.5	22 Nisan	5 gün	1 Mayıs	4 gün
	RCP 8.5	15 Nisan	12 gün	26 Nisan	9 gün

Bozkurt ve Şen (2013), 880 000 km²’lik Fırat-Dicle havzası üzerinde yaptıkları çalışmada, kayma zamanı değerlerini farklı iklim değişikliği senaryoları ile 1 aydan fazla bir süre olarak elde etmişlerdir fakat bu tez çalışmasındaki havzalar Fırat nehrinin memba kısmını oluşturdukları için geri kayma sürelerindeki farklılıkların az olması olağan bir durumdur. Bu bölgede yapılan çalışmaların sonucu, merkez zamandaki geri kayma tarihlerinin, ortalama yükseltisi 2000 m’nin üzerindeki havzalarda 1-2 hafta, 1000-2000 m aralığındaki havzalarda ise 2-4 hafta olduğunu göstermektedir (Bozkurt ve Şen, 2013; Önel et al., 2013; Yücel ve ark., 2015). 1000 m’nin altındaki havzalarda kalıcı kar örtüsünün oluşmadığı varsayılmaktadır.

Sonuç olarak, tez çalışmasının bu kısmında iklim değişikliğinin kar erimelerine ve akımlara etkisi incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. İlk olarak, KSE pik değerlerindeki ve ortalamalardaki değişim incelenmiştir. Murat-1 havzası için KSE

ortalama değerlerinde yüz yılın sonunda doğru ortalama %26-30 düşüş gözlenirken, Karasu-1 için bu oran %32-39 mertebesindedir. İkinci bakış açısı KSE ıktılarının zamansal değerlendirilmesidir. Buna göre, kar birikmesi ve karın erimeye başlama süreleri arasındaki zaman farkının azaldığı, bunun sonucu olarak da kar örtüsünün yerde kalma süresinin kısılacacağı öngörülmektedir. Kar sezonundaki bu daralma, iklim değişikliği ile sıcaklık artışıların en yüksek olduğu RCP8.5 senaryosuna göre yüz yıllık sürecin sonlarında iki havza için 37-43 gün olarak bulunmuştur. Akım ıktılarının gözlenmesinde ise ilk odak noktası, farklı senaryolardaki gelecek periyotlarda toplam akım değerlerinin referans periyoduna göre karşılaştırılması olmuştur. Buna göre, 30'ar yıllık periyotlarda belirli bir trend gözlenmeyip, yağış değerleri ile akım çıktılarının ilişkisi 10'ar yıllık periyotlarda değerlendirilmiştir. Sonuçta, akım ve yağış değerleri 10'ar yıllık periyotlarda incelendiğinde yüzdelik değişimlerin birbiri ile uyumlu olduğu, akımlardaki değişimin yağış değişimlerinden direkt olarak etkilendiği sonucuna varılmıştır. Ortalama akım değerlerinde az düşüş veya yükseliş olması, KSE değerlerinde önemli ölçüde düşüş olması, gelecek periyotlarda kar yağışlarının yağmur yağışlarına dnőeeęine işaret etmektedir. Akım ıktıları ile yapılan diğer bir değerlendirme, merkez zamanlardaki değişimdir. Akımların merkez zamanlarında, RCP8.5 senaryosunda yüz yılın sonlarına doğru 9-11 günlük ne kayma söz konusudur. Bu durum, erken kar erimelerinin akıma katkısı ile akım değerlerindeki artışı erken görülmesi olarak yorumlanmaktadır.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Dağlık ve ortalama yükseltinin 2000 metreden fazla olduğu havzalarda hidrolojik modelleme çalışması yapmak, çalışma alanına ait veriye ulaşabilmenin zorluğu ve kar erime süreci ile ilgili mekanizmanın oldukça karmaşık olması sebepleriyle fazla uğraş gerektirmektedir. Çok parametrelili ve fiziksel tabanlı girdileri bulunan bir hidrolojik model olan SWAT'ın model parametrizasyonu ve kalibrasyonu açısından uğraştırıcı olması dağlık ve kar baskın havzalarda yapılan çalışmayı daha da zorlaştırmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, çalışma alanı olarak seçilen havzaların dağlık ve ortalama yükseklikleri 2000 metreden fazla olması göz önünde bulundurularak, iyi kalibre edilmiş güvenilir bir hidrolojik model elde etmek hedeflenmiştir. SWAT modeli ilk kez Türkiye'de dağlık ve kar baskın havzalar üzerinde uygulanmış ve bu hidrolojik modelleme uygulamasında uzaktan algılama aracı olarak MODIS kar kaplı alan uydu görüntüleri, özellikle modele ait kar parametreleri, yağış ve sıcaklık değişme oranları üzerinde etkin bir biçimde kullanılarak model parametrizasyonuna farklı bir bakış açısı getirilmiştir.

Fırat havzasının membasını oluşturan Murat-1 ve Karasu-1 havzaları için yapılan hidrolojik modelleme sonuçları kar ve akım çıktıları baz alınarak değerlendirilmiştir: MODIS uydu görüntülerine ait KKA verileri ile mekânsal ve zamansal olarak kıyaslanan SWAT KSE çıktılarının oldukça tutarlı ve anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Kar çıktılarının yanında akım çıktıları, günlük ve aylık zaman adımlarında NSE amaç fonksiyonu ile birlikte R^2 ve PBIAS değerleri de göz önünde bulundurularak kalibre edilmiştir. 6 yıllık yapılan akım kalibrasyonu sonucu Murat-1 havza modeli günlük 0.73, aylık 0.83, Karasu-1 havza modeli ise günlük 0.64, aylık 0.74 NSE değerleri ile oldukça başarılı olmuştur. 4 yıllık akım validasyonu sonuçları da Murat-1 havza modeli için günlük 0.67, aylık 0.76, Karasu-1 havza modeli için günlük 0.82, aylık 0.89 NSE değerleri ile modelin başarısını doğrulamaktadır.

Modelleme uygulamasının başarısında, kullanılan MODIS kar kaplı alan uydu görüntülerinden faydalanılmasının etkisi büyüktür. Model parametrizasyonu esnasında, bu görüntülere ait KKA verileri iki farklı metotla değerlendirilmiştir: Birinci metot SWAT KSE görselleştirmelerinin mekânsal olarak MODIS uydu görüntüleri ile görsel anlamda karşılaştırılması; ikinci metot ise, verilerin çizgi grafikleri üzerinde zamansal

olarak değerlendirilmesidir. Birinci metotta, kar sezonuna ait seçilen karın birikme ve çekilme, neredeyse tamamen karlı ve karsız olduğu tarihlerde SWAT KSE değerlerinin görselleştirilmesi yapılarak MODIS kar kaplı uydu görüntüleri ile üst üste getirilerek tutarlılıkları değerlendirilmiştir. Her iki havzaya ait karşılaştırılmış görüntüler incelendiğinde, görsel olarak tutarlılığın oldukça fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İkinci metotta, farklı birimlerdeki KSE ve KKA değerleri direkt karşılaştırılamadığı için, bunun yerine kar örtüsünün yerde birikmeye başladığı, pik değerden çekilmeye başladığı ve erime ile tamamen yerden kalktığı tarihlerdeki kısımlar dikkate alınmıştır. Çizgi grafiklerinde, bu bölgeler gözlenerek MODIS kar kaplı uydu görüntülerine ait KKA değerleri ile SWAT KSE çıktı değerleri arasında büyük ölçüde tutarlılık olduğu sonucuna varılmıştır. Tutarlılıktaki başarı oranları, 4.4.1 kısmında anlatıldığı üzere 2002-2011 yıllarındaki her bir su yılı için hesaplanmış ve sonuçlar %95'in üzerinde bulunmuştur. Bu durum, modellemedeki KSE çıktılarının havza ölçeğindeki sonuçlarının tutarlı ve anlamlı olduğuna işaretir.

Son olarak, MPI-ESM-MR iklim modeli ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için üretilen yağış ve sıcaklık projeksiyonları kullanılarak SWAT modelinden elde edilen kar ve akım çıktıları değerlendirilmiştir. Buna göre, değerlendirmeye tabi tutulan kar çıktısı olarak KSE verileri, referans periyoduna göre 21. yüzyılın sonlarına doğru pik ve ortalama değer bakımından %40'a varan düşüş göstermektedir. Kar sezonunda ise 43 güne varan daralma söz konusudur. Bu sonuçlar, düşen kar miktarında azalmaya ve karın daha geç tarihlerde birikip daha erken tarihlerde erimeye başlayarak yerde kalma süresinin azalacağına işaret etmektedir. Bunun yanında, akım çıktılarındaki düşüş miktarının az olması ise gelecek periyotlarda kar yağışlarının yerini yağmur yağışlarına bırakacağını göstermektedir. Akımlara ait merkez zaman tarihlerinin 1-2 hafta geri kayması, iklim değişikliğinin akım çıktılarına etkisinin bir diğer sonucudur. Bu durum, erken kar erimlerinin akıma katkısının bir sonucu olarak yorumlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, model parametrizasyonu ve kalibrasyonu aşamasında akım çıktılarındaki yanarda kar çıktılarındaki da göz önünde bulundurulması, güvenilir bir hidrolojik model oluşturma hedefinde başarıya götürmüştür. Modelin başarısı hem kar bileşenlerine hem de akım bileşenlerine ait sonuçlar değerlendirilerek belirlenmiştir. Öncelikle, Bölüm 4.3'te detaylıca anlatıldığı üzere kar parametreleri, yağış ve sıcaklık değişme oranları ayarlanarak KSE çıktılarındaki tutarlılığı doğrulanmış, ardından akım

kalibrasyonu amaç fonksiyonu NSE'ye göre yapılmıştır ve kabul edilebilir sonuçlar alınmıştır. Eğer, KSE bileşeni göz önünde bulundurulmadan, direkt olarak akım çıktıları kalibre edilmiş olsaydı, daha yüksek NSE değerleri elde edilebilirdi.

Bölüm 4.3.1'de açıklanan ve 4.4.2'de sonuçları verilen SWAT KSE görselleştirilmesi ve bunların MODIS kar kaplı uydu görüntüleri ile karşılaştırılması metodu oldukça zaman gerektiren uğraştırıcı bir yöntemdir. Bu metodun, bütün bir modelleme periyodu boyunca her gün için yapılabilmesi çok fazla zaman ve bilgisayar gücüne ihtiyaç vardır. Şöyle ki, oluşturulan SWAT KSE görselleri HRU ölçeğinden tüm bir havza ölçeğine dönüştürülerek her bir yükseklik bandında belirlenen KSE eşik değer aralıkları ile MODIS kar kaplı uydu görüntüleri karşılaştırılabilmektedir. Bu işlem için, model yazılımına yapılabilecek bir eklenti işlem süresini kısaltabilir; böylece kar bileşenlerinin daha fazla tarih için doğrulanması yapılabilir.

Ayrıca, SWAT KSE görselleştirilmesi ile MODIS kar kaplı uydu görüntülerinin kusursuz eşleşmemesinin geçerli ve anlamlı sebepleri bulunmaktadır: Bunlardan ilki, SWAT modellemesinde HRU'ların tanımlanması için kullanılan hücre boyutunun 90 m, MODIS kar kaplı uydu görüntülerinin ise 500 m olmasıdır. Bu durum, hücrelerin birbiri ile birebir örtüşmemesine ve tutarsızlıkların oluşmasına sebep olmaktadır. İkinci sebep, modellemede kullanılan yükseklik bantlarının her alt havza için aynı sayıda ve otomatik olarak yükseklik – alan ilişkisi ile belirlenmiş olmasıdır. Her alt havza, kendi içerisinde uygun yükseklik bantı sayısı ve bant aralığı ile tanımlanırsa daha tutarlı çakıştırılmış görüntüler elde edilebilir. Bunun yanında, bakı etkisinin alt havzaların kendi içerisindeki farklılıklarını önlemek amacıyla, modelleme aşamasında belirlenen minimum alt havza alanı eşik değerleri ayarlanarak daha uygun sonuçlara varılabilir. Tüm bu öneriler zaman gerektiren ve deneme – yanılma yoluyla anlaşılacak işlemler gerektirmektedir.

Sonuç olarak, bu tezin özgün bir nitelik taşımasını sağlayan çalışma hedefi Türkiye'de bulunan dağlık ve kar baskın bir havzada SWAT'ın başarılı bir şekilde uygulanması ile gerçekleşmiş, yapılan bu hidrolojik model uygulaması iklim değişikliğinin kar ve akım çıktılarına etkisinin incelenmesinde etkin bir biçimde kullanılmıştır.

KAYNAKÇA

- Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., Kløve, B. (2015a). 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. (2015b). *SWAT-CUP 2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs – A User Manual*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland, 100.
- Abbaspour, K.C., Vaghefi, S. A., Srinivasan, R. (2018). A Guideline for Successful Calibration and Uncertainty Analysis for Soil and Water Assessment: A Review of Papers from the 2016 International SWAT Conference. *Water*, 10(1), 6.
- Ahl, R.S., Woods, S.W., Zuuring, H.R. (2008). Hydrologic calibration and validation of SWAT in a snow-dominated rocky mountain Watershed, Montana, USA. *Journal of the American Water Resources Association*, 44(6), 1411-1430.
- Arnold, J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.
- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Allen P.M., Walker C. (1999). Continental scale simulation of the hydrologic balance. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(5), 1037-1052.
- Arnold, J.G., Fohrer, N. (2005). SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. *Hydrological Processes*, 19(3), 563-572.

- Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan R., Williams J.R., Haney E.B., Neitsch S.L. (2012). *Soil and water assessment tool input/output documentation: Version 2012*. College Station, TX: Texas Water Resources Institute, 654.
- Aytemiz, L., Kodaman, T. (2006). Sınır Aşan Sular Kullanımı ve Türkiye – Suriye İlişkileri, *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, Ankara, 527-537.
- BAP-1207F117 (2012-2014), *Türkiye'nin Dağlık Doğu Bölgelerinde Harmanlanan Uydu Görüntüleriyle Bulut Azaltma Yöntemleri ve Doğrulaması*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Bieger, K., Arnold, J.G., Rathjens, H., White, M.J., Bosch, Allen, P.M., Volk, M., Srinivasan, R. (2016). Introduction to SWAT+, a completely restructured version of the soil and water assessment tool. *Journal of the American Water Resources Association*, 53(1), 115-130.
- Bozkurt, D., Sen, O.L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161.
- Cüceloğlu, G., Abbaspour, K.C., Öztürk, İ. (2017). Assessing the water resources potential of Istanbul by using a soil and water assessment tool (SWAT) hydrological model. *Water*, 9(10), 814.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, 572.
- Crawford, N.H., Linsley, R.K. (1966). Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. *Contemporary Hydrology*, Technical report 39, 158-160.
- Cunderlik, M.J. (2003). *Hydrologic model selection for the CFCAS project: Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions*. Project report 1, 38.

- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H., Coşkun, M. (2017). Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 1(1), 22-43.
- Devi, G.K., Ganasri, B.P., Dwarakish, G.S. (2015). A review on hydrological models. Aquatic Procedia, International Conference on Water Resources, *Coastal and Ocean Engineering*, 4, 1001-1007.
- Dhami, B., Himanshu, S.K., Pandey, A., Gautam, A.K. (2018). Evaluation of SWAT Model for Water Balance Study of a Mountainous Snowfed River Basin of Nepal. *Environmental Earth Sciences*, 77(21).
- Ekdal, A., Gürel, M., Güzel, C., Ertürk, A., Tanık, A., Gönenç, İ.E. (2011). Application of WASP and SWAT models for a mediterranean coastal lagoon with limited seawater exchange. *Journal of Coastal Research*, 64, 1023-1027.
- Erdoğan, H.E., Şahin, M., Küsek, G. (2013). Uluslararası Sınıflandırma, İlişkilendirme ve İletişim için Bir Çerçeve. FAO, *Guidelines for Soil Description* (Çeviri), 97.
- Ertaş, M.C. (2014). *Dağlık Fırat Havzasında Ensemble Tahmin Sistemine Dayalı Hidrolojik Modelleme*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 118.
- Fontaine, T.A., Cruickshank, T.S., Arnold, J.G., Hotchkiss, R.H. (2002). Development of a snowfall – snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool. *Journal of Hydrology*, 262(1), 209-223.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G. (2007). The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(4), 1211-1250.

- Güngör, Ö., Göncü, S. (2012). Application of the soil and water assessment tool model on the lower Porsuk stream watershed. *Hydrological Processes*, 27, 453-466.
- Gregory, W.L., Duran, A. (2001). *Scenarios and Acceptance of Forecast. Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*, Edited by J. Scott Armstrong. Springer Science-Business Media, Inc. New York, 862.
- Grusson, Y., Sun, X., Gascoin, S., Sauvage, S., Srinivasan, R., Anctil, F., Sacher-Perez J. (2015). Assessing the capability of the SWAT model to simulate snow, snow melt and streamflow dynamics over an alpine watershed. *Journal of Hydrology*, 531(3), 574-588.
- Gupta, H.V., Sorooshian, S., Yapo, P.O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135-143.
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., Di Girolamo, N.E., Bayr, K.J. (2002) MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83, 181-194.
- Hall, D.K., Riggs, G.A. (2007). Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrological Processes*, 21(12), 1534-1547.
- Hartman, M.D., Baron, J.S., Lammers, R.B., Cline, D.W., Band, L.E., Liston, G.E., Tague, C. (1999). Simulation of snow distribution and hydrology in mountain basin. *Water Resources Research*, 35(5), 1587-1603.
- IPCC (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, England, 599.
- IPCC (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report on Scientific Aspects of Climate Change for Researchers, Students and Policymakers*, 103.

- Jha, M., Gassman, P.W., Secchi, S., Gu, R., Arnold, J. (2004). Effect of watershed subdivision on SWAT flow, sediment, and nutrient predictions. *Journal of the American Water Resources Association*, 40(3), 811-825.
- Kaçar, T. (2017). *Aras Havzası'nda HEC-HMS ile Hidrolojik Modelleme ve Akım Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 82.
- Kang, K., Lee, J.H. (2014). Hydrologic modelling of the effect of snowmelt and temperature on a mountainous watershed. *Journal Earth System Science*, 123(4), 705-713.
- Kinar, N.J., Pomeroy, J.W. (2015). Measurement of the physical properties of the snowpack. *Advancing Earth and Space Science, Reviews of Geophysics*, 53(2), 481-544.
- Klein, A.G., Barnett, A.C. (2003). Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000-2001 snow year. *Remote Sensing of Environment*, 86(2), 162-176.
- Kumar, S., Merwade, M. (2009). Impact of watershed subdivision and soil data resolution on SWAT model calibration and parameter uncertainty. *Journal of the American Water Resources Association*, 45(5), 1179-1196.
- Luo, Y., Arnold, J., Liu, S., Wang, X., Chen, X. (2013). Inclusion of glacier processes for distributed hydrological modeling at basin scale with application to a watershed in Tianshan Mountains, northwest China. *Journal of Hydrology*, 477, 72-85.
- Meinshausen, M., S.J. Smith, K.V., Calvin, J.S., Daniel, M., Kainuma, J., F., Lamarque, K., Matsumoto, S.A., Montzka, S.C.B., Raper, K., Riahi, A.M., Thomson, G.J.M., Velders and D., van Vuuren. The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their Extension from 1765 to 2300. *Climate Change*. 109, 213-241.

- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900.
- Moss, R.H.; Edmonds, J.A.; Hibbard, K.A.; Manning, M.R.; Rose, S.K.; Vuuren, D.P.; Carter, T.R.; Emori, S.; Kainuma, M.; Kram, T.; Meehl, G.A.; Mitchell, J.F.B.; Nakicenovic, N.; Riahi, K.; Smith, S.J.; Stouffer, R.J.; Thomson, A.M.; Weyant, J.P.; Wilbanks, T.J. (2010). The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment, *Nature*. 463(7282), 747-756.
- Mulvaney, T.J. (1850). On the use of self-registering rain and flood gauges. *Trans. Inst. Civ. Eng. Ireland*, 4(2), 1-8.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. (2011). *Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009*. College Station, TX: Texas Water Resources Institute. 618.
- Özcan, Z., Kentel, E., Alp, E. (2017). Evaluation of the best management practices in a semi-arid region with high agricultural activity. *Agricultural Water Management*, 194, 160-171.
- Pradhanang, S.M., Anandhi, A., Mukundan, R., Zion, M.S., Pierson, D.C., Schneiderman, E.M., Matonse, A., Frei, A. (2011). Application of SWAT model to assess snowpack development and streamflow in the Cannonsville watershed, New York, USA. *Hydrological Process*, 25(21), 3268-3277.

- Rahman, K., Maringati, C., Beniston, M., Widmer, F., Abbaspour, K.C., Lehmann, A. (2013). Streamflow modeling in a highly managed mountainous glacier watershed using SWAT: the upper rhone river watershed case in Switzerland. *Water Resources Management*, 27(2), 323-339.
- Singh, V.P., F. ASCE, Woolhiser, D. A., M. ASCE. (2002). Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(4), 270-292.
- Stehr, A., Debels, P., Arumi, J.L., Romero, F., Alcayaga, H., 2010. Combining the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and MODIS imagery to estimate monthly flows in a data-scarce Chilean Andean basin. *Hydrological Science Journal*, 54(6), 1053-1067.
- Stewart, I.T., Cayan, D.R., Dettinger, M.D. (2005). Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *Journal of Climate*, 18, 1136-1155.
- 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. *Hydrological Science Journal*, 63(4), 657-678.
- Troin, M., Caya, D. (2014). Evaluating the SWAT's snow hydrology over a Northern Quebec watershed. *Hydrological Processes*, 28(4), 1858-1873.
- Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K.C., Xia, J., Yang, H. (2008). Comparing uncertainty analysis technique for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. *Journal of Hydrology*, 358, 1-23.
- Yücel, İ., Güventürk, A., Şen, Ö.L. (2015). Climate change impacts on snowmelt runoff mountainous transboundary basins in eastern Turkey. *International Journal of Climatology*, 35, 215-228.
- Yanmaz, A.M., Usul, N., (2006). *Kavramsal Su Mühendisliği*. ODTÜ Yayınevi, 144.

Yoshino, F. (1999). *Areal modeling in hydrology using remote sensing data and geographical information system*. Publication No. 885, Operational Hydrology Report No. 44, WMO, Geneva, Switzerland, 30.

Zhang, X., Srinivasan, R., Debele, B., Hao, F. (2008). Runoff simulation of the headwaters of the yellow river using the SWAT model with three snowmelt algorithms. *Journal of the American Water Resources Association*, 44(1), 48-61.

İnternet Kaynakları:

http-1: <https://www.icisleri.gov.tr/turkiyenin-nufus-haritasi>

(30.06.2020 tarihinde erişildi.)

http-2: srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/

(30.06.2020 tarihinde erişildi.)

http-3: www.rda.ucar.edu/

(30.06.2020 tarihinde erişildi.)

http-4: land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/

(30.06.2020 tarihinde erişildi.)

http-5: www.fao.org/land-water

(30.06.2020 tarihinde erişildi.)

http-6: www.fao.org/tempref/NR/GeoSpatial/turkey/soil_zip/Toprak%20lejand.doc

(30.06.2020 tarihinde erişildi.)

http-7: www.mgm.gov.tr/

(30.06.2020 tarihinde erişildi.)

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı: İsmail Bilal Peker

Doğum Tarihi: 25.09.1993

İletişim: pekerbilal@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa,
İnşaat Mühendisliği Bölümü – Hidrolik Ana Bilim Dalı



Adı, Soyadı: İsmail Bilal Peker

Doğum Tarihi: 25.09.1993

İletişim: pekerbilal@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa,
İnşaat Mühendisliği Bölümü – Hidrolik Ana Bilim Dalı

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Sertifika : Advanced SWAT-CUP Workshop, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), 2019.

Bilimsel Faaliyetleri : Peker İ.B., Şorman A., "Application of SWAT in a mountainous region in Turkey using remote sensing data", INTERNATIONAL SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL CONFERENCE - SWAT 2019, Viyana, AVUSTURYA, 17-19 Temmuz 2019, pp.121-121.