



**UYDU KAR GÖRÜNTÜLERİNİN
DOĞRULANMASI, HİDROLOJİK
MODELDE UYGULANMASI VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sinan AÇIKYOL

Eskişehir, 2022

**UYDU KAR GÖRÜNTÜLERİNİN DOĞRULANMASI, HİDOLOJİK MODELDE
UYGULANMASI VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Sinan AÇIKYOL

Yüksek Lisans Tezi

Hidrolik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

ESKİŞEHİR

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2022

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Sinan AÇIKYOL'un “Uydu Kar Görüntülerinin Doğrulanması, Hidrolojik Modelde Uygulanması ve İklim Değişikliği Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı tezi 27/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Hidrolik Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökçen UYSAL

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans đrencisi Sinan AÇIKYOL, ‘‘UYDU KAR GÖRÜNTÜLERİNİN DOğRULANMASI, HİDOLOJİK MODELDE UYGULANMASI VE İKLİM DEğİşİKLİğİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ’’ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı

Doç. Dr. Ali Arda şORMAN

ÖZET

UYDU KAR GÖRÜNTÜLERİNİN DOĞRULANMASI, HİDOLOJİK MODELDE UYGULANMASI VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sinan AÇIKYOL

Hidrolik Anabilim Dalı Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2022

Danışman: Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

İklim değişikliği ve su kaynakları yönetimi çalışmaları için, hidrolojik döngünün temel bileşenlerinden olan kar örtüsünün dağılımı ve değişkenliği önemli parametrelerdir. Özellikle kar potansiyelinin yüksek olduğu dağlık havzalarda, kar erimesinden kaynaklı yıllık akımda meydana gelecek değişikliklerin hesaplanması ve modellenmesi bakımından kar örtüsünün zamansal ve mekânsal olarak izlenmesi önemli bir girdi değişkeni olmaktadır. Bu çalışmada, NOAA/NESDIS tarafından sağlanan 1, 4 ve 24 km çözünürlükteki günlük kar kaplı alan IMS görüntüleri 2019 su yılı referans alınarak ilk etapta 292 adet yer istasyonunun verisi yardımıyla, kategorik istatistik yöntemlerle (POD, FAR, HR) Türkiye ve coğrafi bölgelerinin doğrulanması yapılmıştır. Türkiye genelinde 1, 4 ve 24 km’lik IMS görüntülerinde sırasıyla, POD değeri 0.81, 0.80 ve 0.67, FAR ise 0.19, 0.23 ve 0.28 olarak bulunmuştur. İkinci aşamada, 2004–2020 periyodunda 4 km çözünürlüğündeki IMS görüntüleri kullanılarak CBS’de elde edilen KKA eğrileri, ortalama yükseltileri 2000 m’nin üzerinde Çoruh, Fırat ve Aras memba havzalarında (E21A054, E21A022, D24A096 ve E23A004) SRM hidrolojik modeline temel değişken girdisini oluşturmuştur. Yapılan kalibrasyon sonucunda, yükseklik ve iklimi benzer, birbirine sınır teşkil eden; Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt’ta R^2 sonuçları sırasıyla, 0.86, 0.86, 0.88 ve 0.89, D_v ise, %1.11, %0.99, %0.92 ve %2.91 olarak hesaplanmıştır. Havzalarda R^2 değeri 0.86’nın üzerinde ve D_v %3’ün altında kalması sonuçlardaki hata payının az olduğunu göstermiştir. Son etapta, 2008-2011 su yıllarında SRM kullanılarak sıcaklık 1–5 °C arasında arttırılıp havzalarda iklim değişikliği etkisi gözlenmeye çalışılmıştır. Kar erime döneminde 4 °C sıcaklık artışında KKA’nın 12–28 gün azaldığı, %50 akım hacmine ulaşılan günde ise 9–21 gün arasında öne kaydığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, IMS, Hidrolojik modelleme, SRM, İklim değişikliği

ABSTRACT

VALIDATION OF SATELLITE SNOW PRODUCTS, APPLICATION IN HYDROLOGICAL MODEL AND INVESTIGATION OF CLIMATE CHANGE IMPACTS

Sinan AÇIKYOL

Department of Department of Hydraulics

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2022

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Arda ŞORMAN

The extent and variability of snow cover, which is one of the main components of the hydrological cycle, are important parameters for climate change and water resources management studies. Especially, in mountainous basins with high snow potential, temporal and spatial monitoring of snow cover is a significant input variable in terms of modeling of changes in annual flow due to snowmelt. In the first stage of the study, 292 ground stations are utilized to validate IMS daily snow cover products provided by NOAA/NESDIS with 1, 4 and 24 km resolutions in Turkey and its geographical regions taking 2019 water year as reference using categorical statistical methods (POD, FAR, HR). The POD and FAR results for 1, 4, 24 km resolutions are found to be 0.81, 0.80, 0.67 and 0.19, 0.23, 0.28 respectively. In the second stage, SCA curves are obtained for the mountainous headwater basins of Çoruh, Fırat and Aras (E21A054, E21A022, D24A096 and E23A004) having average elevations above 2000 m, using IMS images with 4 km resolution for the 2004–2020 period. SCA is used as one of the main variables of the SRM hydrological model. As a result of the calibration in SRM for these adjacent basins having similar altitudes and climate; model performance results for Karasu, Murat, Kayabaşı and Bayburt are calculated as 0.86, 0.86, 0.88, 0.89 using R^2 while D_v is calculated as 1.11%, 0.99%, 0.92%, 2.91% respectively. The margin of error in the results are found low while the R^2 value is above 0.86 and the D_v below 3% in the basins. In the last stage, climate change studies are carried out in the basins by increasing the temperature between 1–5 °C using SRM during the melting period of 2008-2011 water years. By 4 °C temperature increase in the melting period, SCA decreased between 12–28 days and the center-time date for reaching 50% runoff volume is shifted forward between 9-21 days.

Keywords: Remote sensing, IMS, Hydrologic model, SRM, Climate change

TEŞEKKÜR

Mekân ve zaman fark etmeksizin her koşulda, her durumda iletişimimizi sürdürdüğümüz; tezimin en büyük destekçisi, yönlendiricisi olan danışmandan öte, yeri geldiğinde babam gibi, kimi zaman arkadaş gibi her konuda fikrini alıp tartışabildiğim çok sevdiğim danışmanım ve ebedi akıl hocam Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN'a,

Yüksek lisansa başlamama vesile olan, Hidroloji sevdiren, sorgulama ve araştırma yönlerimi güçlendiren bilim aşığı çok değerli hocam Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN'a,

Tezimi yazmaya başladığım ilk günden beri her zaman arkamda durup, tatlı desteklerini bir an bile esirgemeyen, belki de benden çok bu tezi bitirmemi arzulayan ve bu konuda teşvik eden, enerji ve ilham kaynağım, hayatımın anlamı, geleceğim, kalbim, hayat arkadaşım Nazlı CAN'a,

Bilgisayarımın başına ne zaman geçiyor olsam masamın bir köşesinde biricik kedim Sid'i buldum, verdiği enerji ve motivasyon için mintoş kedime,

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailem; canım annem Lemye AÇIKYOL, babam Yunus AÇIKYOL, abim İsa AÇIKYOL ve kardeşim Yusuf AÇIKYOL'a çok teşekkür ederim.

Sinan AÇIKYOL

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.

Sinan AÇIKYOL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın İçeriği	2
2. UYDU KAR GÖRÜNTÜLERİNİN DOĞRULANMASI.....	4
2.1. Türkiye ve Coğrafi Bölgeleri.....	4
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri	4
2.3. Uzaktan Algılama (UA)	11
2.3.1. Kar çalışmalarının uzaktan algılama tarihçesi.....	11
2.3.2. Karla kaplı alan verisinin uzaktan algılanması	12
2.3.3. Interactive multisensor snow and ice mapping system (IMS)	12
2.4. IMS Ürünlerinin Validasyonu	16
2.4.1. İstasyon Verileri.....	16
2.4.2. Doğrulama Yöntemi	17
2.4.3. Validasyon analizi ve sonuçları	18
2.5. Farklı Çözünürlükteki IMS Görüntülerinin Kıyası	27
2.6. Türkiye ve Bölgelerinin Kar Kaplı Alanları.....	36
3. HİDROLOJİK MODELLEME.....	47
3.1. Snowmelt Runoff Model (SRM)	47
3.1.1. Değişkenler	50

3.1.1.1. Sıcaklık ve derece günler, T	50
3.1.1.2. Yağış, P	51
3.1.1.3. Kar Kaplı Alan, S	52
3.1.2. Parametreler	53
3.1.2.1. Akış katsayısı, C	53
3.1.2.2. Derece-gün faktörü, a	53
3.1.2.3. Sıcaklık değişim oranı, γ	54
3.1.2.4. Kritik sıcaklık, T_{cr}	54
3.1.2.5. Yağış katkı alanı, RCA	55
3.1.2.6. Çekilme katsayısı, k	55
3.1.2.7. Gecikme zamanı, L	56
3.1.3. Model doğruluğunun değerlendirilmesi	57
3.1.4. Model kalibrasyonunu	57
3.2. Çalışma Alanı, Analizler, Parametreler ve Model Değişkenleri.....	58
3.2.1. Havzalar	58
3.2.2. Coğrafi bilgi sistemleri analizleri	59
3.2.3. Hidro-meteorolojik veri analizleri	70
3.2.4. Karla kaplı alan analizi.....	82
3.2.5. Model parametreleri kalibrasyonları	95
3.2.5.1. Derece-gün katsayısı	95
3.2.5.2. Akış katsayıları kalibrasyonu (C_S ve C_R).....	96
3.2.5.3. Çekilme katsayısı kalibrasyonu	100
3.2.5.4. Yağış katkı alanı kalibrasyonu (RCA)	105
3.2.5.5. Kritik sıcaklık kalibrasyonu.....	106
3.2.5.6. Gecikme Zamanı (L)	106
3.3. Analizler ve Akım Hidrografları	106
4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ	123
4.1 Dünya’da ve Türkiye’de Yapılan Çalışmalar.....	123
4.2. Havzalardaki İklim Değişikliği Etkileri	125
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	152
KAYNAKÇA	156
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye ve coğrafi bölgelerin topoğrafik haritası.....	5
Şekil 2.2. Türkiye ve bölgelerinin yükseklik alan ilişkisi	8
Şekil 2.3. Türkiye ve coğrafi bölgelerin eğim haritası	9
Şekil 2.4. Türkiye arazi kullanım haritası.....	10
Şekil 2.5. 4 km Çözünürlüklü Kuzeyyarım Küre'nin 25.02.2021 tarihi IMS görüntüsü	13
Şekil 2.6. 2019 Su yılı aylara göre karlı gün sayısı dağılımı.....	20
Şekil 2.7. 1,4 ve 24 km çözünürlükteki IMS verilerinin aylık POD değişimleri	20
Şekil 2.8. 1,4 ve 24 km çözünürlükteki IMS verilerinin aylık FAR değişimleri.....	20
Şekil 2.9. 1,4 ve 24 km çözünürlükteki IMS verilerinin aylık HR değişimleri.....	21
Şekil 2.10. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık SD değişimleri ...	24
Şekil 2.11. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık POD değişimleri	25
Şekil 2.12. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık FAR değişimleri	25
Şekil 2.13. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık HR değişimleri...	25
Şekil 2.14. Diyarbakır-Kırkpınar Bölgesi Çerçevesi	28
Şekil 2.15. Samsun-Kunduz Dağı Bölgesi Çerçevesi.....	29
Şekil 2.16. Sivas-Zara Bölgesi Çerçevesi	29
Şekil 2.17. Sivas-Zara, 24 Km Çözünürlükteki 250,000 km ² Penceresi	30
Şekil 2.18. Diyarbakır-Kırkpınar, 4 Km Çözünürlükteki 100,000 km ² Penceresi	30
Şekil 2.19. Samsun-Kunduz Dağı, 1 Km Çözünürlük, 10,000 km ² Penceresi	31
Şekil 2.20. Sivas-Zara, 1 Mart Günü, farklı pencerede KKA değişimi.....	32
Şekil 2.21. Sivas-Zara, 1 Mart Günü, 2 Farklı Çözünürlüğün Kıyası	32
Şekil 2.22. Diyarbakır-Kırkpınar, 1 Mart Günü, farklı pencerede KKA değişimi.....	33
Şekil 2.23. Diyarbakır-Kırkpınar, 1 Mart Günü, 2 Farklı Çözünürlüğün Kıyası	33
Şekil 2.24. Samsun-Kunduz Dağı, 1 Mart Günü, farklı pencerede KKA değişimi.....	34
Şekil 2.25. Samsun-Kunduz Dağı, 1 Mart Günü, 2 Farklı Çözünürlüğün Kıyası	34

Şekil 2.26. Sivas-Zara Bölgesinin 5 Farklı Gün İçin Analizi	36
Şekil 2.27. Türkiye'nin 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi.....	37
Şekil 2.28. Türkiye, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı.....	37
Şekil 2.29. Doğu Anadolu'nun 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi	38
Şekil 2.30. Doğu Anadolu, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı.....	38
Şekil 2.31. Karadeniz'in 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi	39
Şekil 2.32. Karadeniz, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı.....	39
Şekil 2.33. İç Anadolu'nun 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi	40
Şekil 2.34. İç Anadolu, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı	40
Şekil 2.35. Akdeniz'in 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi	41
Şekil 2.36. Akdeniz, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı.....	41
Şekil 2.37. Marmara'nın 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi	42
Şekil 2.38. Marmara, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı.....	42
Şekil 2.39. Ege'nin 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi.....	43
Şekil 2.40. Ege, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı	43
Şekil 2.41. Güneydoğu Anadolu'nun 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi	44
Şekil 2.42. Güneydoğu Anadolu, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı.....	44
Şekil 2.43. Türkiye ve coğrafi bölgelerinin ortalama kar kaplı alanları.....	45
Şekil 3.1. SRM Model Yapısı (Martinec, 2008).....	49
Şekil 3.2. 2011 yılı Karasu havzasının çekilme akımı grafiği örneği.....	56
Şekil 3.3. Türkiye'nin 26 temel ana su havzası ve çalışma alanlarının konumu	58
Şekil 3.4. Havzaların yükseklik haritası	61
Şekil 3.5. Havzaların hipsometri eğrileri.....	62
Şekil 3.6. Karasu Havzası Zon Dağılımı	63
Şekil 3.7. Murat Havzası Zon Dağılımı.....	64
Şekil 3.8. Kayabaşı Havzası Zon Dağılımı.....	65
Şekil 3.9. Bayburt Havzası Zon Dağılımı.....	66

Şekil 3.10. Havzaların eğim haritası.....	67
Şekil 3.11. Havzaların bakı haritası.....	68
Şekil 3.12. Havzaların arazi kullanımı bilgisi	69
Şekil 3.13. Havzaların çevresinde bulunan istasyonların dağılımı.....	70
Şekil 3.14. Karasu Havzası MGİ'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar	72
Şekil 3.15. Karasu yıllık toplam yağışlar	72
Şekil 3.16. Karasu aylık ortalama sıcaklıklar	72
Şekil 3.17. Murat Havzası MGİ'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar	73
Şekil 3.18. Murat yıllık toplam yağışlar	73
Şekil 3.19. Murat aylık ortalama sıcaklıklar.....	73
Şekil 3.20. Kayabaşı Havzası MGİ'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar	74
Şekil 3.21. Kayabaşı yıllık toplam yağışlar	74
Şekil 3.22. Kayabaşı aylık ortalama sıcaklıklar	74
Şekil 3.23. Bayburt Havzası MGİ'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar	75
Şekil 3.24. Bayburt yıllık toplam yağışlar	75
Şekil 3.25. Bayburt aylık ortalama sıcaklıklar	75
Şekil 3.26. Karasu aylık ortalama akım.....	79
Şekil 3.27. Murat aylık ortalama akım	79
Şekil 3.28. Kayabaşı aylık ortalama akım	79
Şekil 3.29. Bayburt aylık ortalama akım	79
Şekil 3.30. Karasu yıllık toplam akım	80
Şekil 3.31. Murat yıllık toplam akım.....	80
Şekil 3.32. Kayabaşı yıllık toplam akım.....	80
Şekil 3.33. Bayburt yıllık toplam akım.....	80
Şekil 3.34. Karasu Havzasının 2004- 2020 su yılı KKA'sı.....	83
Şekil 3.35. Karasu Havzasının 2004-2020 su yıllarındaki Min. Ort. ve Maks. KKA'sı	83
Şekil 3.36. Karasu Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	84

Şekil 3.37. Karasu Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı.....	84
Şekil 3.38. Karasu Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı.....	85
Şekil 3.39. Karasu Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı	85
Şekil 3.40. Murat Havzasının 2004- 2020 su yılları KKA'sı	86
Şekil 3.41. Murat Havzasının 2004-2020 su yıllarındaki Min. Ort. ve Maks. KKA'sı..	86
Şekil 3.42. Murat Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	87
Şekil 3.43. Murat Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	87
Şekil 3.44. Murat Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	88
Şekil 3.45. Murat Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı	88
Şekil 3.46. Kayabaşı Havzasının 2004- 2020 su yılları KKA'sı	89
Şekil 3.47. Kayabaşı Havzası 2004-2020 su yıllarındaki Min. Ort. ve Maks. KKA'sı..	89
Şekil 3.48. Kayabaşı Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı.....	90
Şekil 3.49. Kayabaşı Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	90
Şekil 3.50. Kayabaşı Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	91
Şekil 3.51. Kayabaşı Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı	91
Şekil 3.52. Bayburt Havzasının 2004- 2020 su yılları KKA'sı	92
Şekil 3.53. Bayburt Havzası 2004-2020 su yıllarındaki Min. Ort. ve Maks. KKA'sı....	92
Şekil 3.54. Bayburtı Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı.....	93
Şekil 3.55. Bayburtı Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	93
Şekil 3.56. Bayburtı Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı	94
Şekil 3.57. Bayburtı Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı	94
Şekil 3.58. Karasu, Kayabaşı ve Bayburt Havzaları derece-gün katsayısı.....	95
Şekil 3.59. Murat Havzası derece-gün katsayısı.....	96
Şekil 3.60. Karasu Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s)	97
Şekil 3.61. Murat Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s).....	97
Şekil 3.62. Kayabaşı Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s)	97
Şekil 3.63. Bayburt Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s)	98

Şekil 3.64. Havzaların kar akış katsayıları ortalamaları	98
Şekil 3.65. Karasu Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)	99
Şekil 3.66. Murat Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)	99
Şekil 3.67. Kayabaşı Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)	99
Şekil 3.68. Bayburt Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)	100
Şekil 3.69. Havzaların Yağmur Akış Katsayısı ortalamaları (C_r)	100
Şekil 3.70. Karasu 2004, 2005 ve 2006 yılı simülasyon sonuçları	107
Şekil 3.71. Karasu 2007, 2008 ve 2009 yılı simülasyon sonuçları	108
Şekil 3.72. Karasu 2010 ve 2011, Murat 2004 yılı simülasyon sonuçları	109
Şekil 3.73. Murat 2005, 2006 ve 2007 yılı simülasyon sonuçları	110
Şekil 3.74. Murat 2008, 2009 ve 2010 yılı simülasyon sonuçları	111
Şekil 3.75. Murat 2011, Kayabaşı 2008 ve 2009 yılı simülasyon sonuçları	112
Şekil 3.76. Kayabaşı 2010, 2011 ve 2012 yılı simülasyon sonuçları	113
Şekil 3.77. Kayabaşı 2013, 2014 ve 2015 yılı simülasyon sonuçları	114
Şekil 3.78. Bayburt 2004, 2005 ve 2006 yılı simülasyon sonuçları	115
Şekil 3.79. Bayburt 2007, 2008 ve 2009 yılı simülasyon sonuçları	116
Şekil 3.80. Bayburt 2010, 2011 ve 2012 yılı simülasyon sonuçları	117
Şekil 3.81. Bayburt 2013, 2014 ve 2015 yılı simülasyon sonuçları	118
Şekil 4.1. Bayburt 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	126
Şekil 4.2. Bayburt 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	126
Şekil 4.3. Karasu 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	127
Şekil 4.4. Karasu 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	127
Şekil 4.5. Murat 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	128
Şekil 4.6. Murat 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	128
Şekil 4.7. Kayabaşı 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	129
Şekil 4.8. Kayabaşı 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	129
Şekil 4.9. Bayburt 2009 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	130

Şekil 4.10. Bayburt 2009 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	130
Şekil 4.11. Karasu 2009 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	131
Şekil 4.12. Karasu 2009 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi.....	131
Şekil 4.13. Murat 2009 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	132
Şekil 4.14. Murat 2009 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	132
Şekil 4.15. Kayabaşı 2009 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	133
Şekil 4.16. Kayabaşı 2009 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	133
Şekil 4.17. Bayburt 2010 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	134
Şekil 4.18. Bayburt 2010, Yılı Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	134
Şekil 4.19. Karasu 2010 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	135
Şekil 4.20. Karasu 2010 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi.....	135
Şekil 4.21. Murat 2010 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	136
Şekil 4.22. Murat 2010 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	136
Şekil 4.23. Kayabaşı 2010 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	137
Şekil 4.24. Kayabaşı 2010 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	137
Şekil 4.25. Bayburt 2011 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	138
Şekil 4.26. Bayburt 2011 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	138
Şekil 4.27. Karasu 2011 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi	139
Şekil 4.28. Karasu 2011 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi.....	139
Şekil 4.29. Murat 2011 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	140
Şekil 4.30. Murat 2011 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	140
Şekil 4.31. Kayabaşı 2011 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi.....	141
Şekil 4.32. Kayabaşı 2011 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi	141
Şekil 4.33. Murat Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası.....	143
Şekil 4.34. Karasu Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası	143
Şekil 4.35. Bayburt Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası.....	144
Şekil 4.36. Kayabaşı Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası....	144

Şekil 4.37. 2008 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası	145
Şekil 4.38. 2009 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası	145
Şekil 4.39. 2010 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası	146
Şekil 4.40. 2011 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası	146
Şekil 4.41. 2008 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası	147
Şekil 4.42. 2009 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası	147
Şekil 4.43. 2010 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası	148
Şekil 4.44. 2011 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası	148



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Türkiye ve coğrafi bölgeleri, yüzdesel alan dağılımı ve topoğrafik bilgiler ..	6
Tablo 2.2. Alanı 30 km ² 'den büyük olan göller.....	6
Tablo 2.3. Bölgelere göre göl alanı dağılımları	7
Tablo 2.4. Türkiye ve coğrafi bölgelerin yükseklik-alan ilişkisi	7
Tablo 2.5. Türkiye ve coğrafi bölgelerin eğim-alan dağılımı	9
Tablo 2.6. Türkiye ve coğrafi bölgelerin arazi kullanımı-alan dağılımı	10
Tablo 2.7. IMS görüntülerine girdi olarak kullanılan algılayıcılar	15
Tablo 2.8. İstasyonların Türkiye ve bölgeleri üzerindeki yükseklik bazında dağılımı ..	16
Tablo 2.9. Türkiye ve bölgelerinde istasyonların arazi kullanımı dağılımı	17
Tablo 2.10. İhtimal (contingency) tablosu	18
Tablo 2.11. 1 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin aylık analiz sonuçları	19
Tablo 2.12. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin aylık analiz sonuçları	19
Tablo 2.13. 24 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin aylık analiz sonuçları	19
Tablo 2.14. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin POD sonuçları.....	23
Tablo 2.15. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin FAR sonuçları	23
Tablo 2.16. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin HR sonuçları	23
Tablo 2.17. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin SD (Gün) sonuçları	24
Tablo 2.18. Türkiye ve bölgelerinin genel sonuçları	24
Tablo 2.19. Sivas-Zara Bölgesinin 5 Farklı Gün İçin Analizi	35
Tablo 3.1. SRM Modeli Parametreler ve Değişkenler	50
Tablo 3.2. Havzaların karakteristik özellikleri.....	60
Tablo 3.3. Havzaların Yükseklik-Alan ilişkisi.....	61
Tablo 3.4. Karasu havzasının zonlarının karakteristik özellikleri.....	63
Tablo 3.5. Murat havzasının zonlarının karakteristik özellikleri	64
Tablo 3.6. Kayabaşı havzasının zonlarının karakteristik özellikleri	65

Tablo 3.7. Bayburt havzasının zonlarının karakteristik özellikleri	66
Tablo 3.8. Havzaların Eğim-Alan İlişkisi	67
Tablo 3.9. Havzaların Bakı-Alan İlişkisi	68
Tablo 3.10. Havzaların Arazi Kullanımı-Alan İlişkileri	69
Tablo 3.11. İstasyon Bilgileri.....	71
Tablo 3.12. Havzaların yağış değerlendirmesi.....	77
Tablo 3.13. Havzaların sıcaklık değerlendirmesi.....	78
Tablo 3.14. Havzaların akım değerlendirmesi	81
Tablo 3.15. Karasu Havzası yıllık akım değerleri.....	101
Tablo 3.16. Karasu havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri	101
Tablo 3.17. Murat Havzası yıllık akım değerleri	102
Tablo 3.18. Murat havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri.....	102
Tablo 3.19. Kayabaşı Havzası yıllık akım değerleri	103
Tablo 3.20. Kayabaşı havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri.....	103
Tablo 3.21. Bayburt Havzası yıllık akım değerleri	104
Tablo 3.22. Bayburt havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri.....	104
Tablo 3.23. Yağış Katkı Alanı değişimi.....	105
Tablo 3.24. Kritik Sıcaklık parametresi değişimi	106
Tablo 3.25. Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi.....	121
Tablo 3.26. Havzaların hesaplanan ve ölçülen akım hacimlerindeki farklar	121
Tablo 4.1. Havzaların Yıllara Göre Pik Akım Değişimleri	142
Tablo 4.2. 2008-2011 arası sıcaklık artışında %50 KKA'nın ötelenme aralığı	150
Tablo 4.3. 2008-2011 arası sıcaklık artışında %5 KKA ötelenme aralığı	150
Tablo 4.4. 2008-2011 arası sıcaklık artışında %50 Akım ötelenme aralığı	150
Tablo 4.5. 2008-2011 arası sıcaklık artışında Pik Akım ötelenme aralığı	150

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Derece Gün Katsayısı
A	: Area (Alan)
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AKD	: Akdeniz
AMSU	: Advanced Microwave Sounding Unit
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer
C _s	: Kar Akış Katsayısı
C _R	: Yağmur Akış Katsayısı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CLC	: Corine Land Cover
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
D _v	: Hacim Farkı
DSİ	: Devlet Su İşleri
DOA	: Doğu Anadolu
EO	: Earth Observation
FAR	: False Alarm Rates (Yanlış Alarm Oranı)
GDA	: Güneydoğu Anadolu
GOES	: Geostationary Operational Environmental Satellites
HR	: Hit Rate (Kar/Kara Oranı)
IMS	: Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
İÇA	: İç Anadolu
k	: Çekilme Katsayısı
KKA	: Karla Kaplı Alan
KRD	: Karadeniz
L	: Lag Time (Gecikme Zamanı)
MAR	: Marmara
METEOSAT	: European Geostationary Meteorological Satellites
MGİ	: Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MODİS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NESDİS	: National Environmental Satellite Data and Information Service
NIC	: National Ice Center
NIR	: Near Infrared (Yakın Kızılötesi Bölge)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
OMGI	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
P	: Precipitation (Yağış)
POD	: Probability of Detection (Kar Saptama İhtimali)
POES	: Polar Operational Environmental Satellites
Q	: Discharge (Akım)
R ²	: Determinasyon Katsayısı
RCA	: Rainfall Contributing Area (Yağış Katkı Alanı)
RCP	: Representative Concentration Pathway
S	: Snow Cover Area (Kar Kaplı Alan Oranı)
SD	: Snow Day (Karlı Gün Sayısı)
SRM	: Snowmelt Runoff Model
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
T	: Temperature (Sıcaklık)
UA	: Uzaktan Algılama
WMO	: World Meteorological Organization

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Günümüzde, dünyanın yüzleştği en temel sorunlardan biri, küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği olmakta ve özellikle hava durumundaki değişiklikler en çok da canlıların yaşamında hayati önem taşıyan su kaynaklarında belirsizliklere ve farklılıklara yol açmaktadır. İnsan kaynaklı faaliyetler, sanayi devriminden bu yana buzulların geri çekilmesine sebep olmakla beraber hızla gelişen nüfusun ihtiyaçlarını doğru planlamak, su kaynaklarının verimli kullanımının önemini ortaya çıkarmaktadır. Su kaynaklarının etkin kullanımının sağlanması hidroloji bilimine olan ihtiyacı göstermektedir. Hidrolojik döngünün ve kriyosferin en önemli ögesi olan karın, dağılımının ve değişkenliğinin zamansal ve konumsal olarak gözlenmesi su kaynaklarının yönetiminin yanı sıra iklim değişikliği bakımından da önemli veri oluşturmaktadır. Kar yağışının etkin olduğu bölgelerde yapılan hidrolojik modelleme çalışmaları ile akım tahmini yapılarak taşkın kontrolünde, hidroelektrik üretiminde, sulamada, baraj işletmesinde ve kuraklık tahmininde su kaynaklarının verimli kullanımını sağlar.

Asya ve Avrupa kıtalarının kesişiminde yer alan Türkiye'nin ortalama yükseltisi 1140 m'dir ve ülkemizin doğu kesiminde dağlık alanların artması hasebiyle kış ayında kar yağışının etkin olduğu, önemli barajlarımızın (Atatürk, Keban, Karakaya, Deriner, Yusufeli) da bulunduğu bölgede, ilkbahar ayında artan sıcaklıkla birlikte kar erimesinin akıma katkısı oldukça fazladır. Hidro-meteorolojik verilerin toplanması bölgenin engebeli olması dolayısıyla zor olmakta ve akımın büyük kısmı kar erimesinden kaynaklandığı için karla kaplı alanların gözlemi, uygulanacak hidrolojik model açısından önem kazanmaktadır.

Türkiye'nin özellikle doğu kesiminin dağlık coğrafyaya sahip olması yer istasyonları sayısının seyrek olmasına dolayısıyla karla kaplı alanın günlük değişiminin bu istasyonlardan izlenmesinin zorlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, hidro-meteorolojik istasyonlar noktasal veri olduğundan yakın çevresinin temsilini yapamamaktadır. Bu nedenlerden ötürü, uydular kar kaplı alan değişiminin takip edilmesinde sıklıkla kullanılır olmaktadır ve elde edilen veri hidrolojik modellerin girdisini teşkil etmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'nin 26 hidrolojik havzasından, sınır aşan 3 büyük havzasının içerisinde yer alan; Fırat'ın Yukarı Fırat bölümünden Karasu Havzası (E21A054), Orta Fırat bölümünden de Murat Havzası (E21A022), Aras'ın alt havzası olan Kayabaşı

Havzası (D24A096) ve Çoruh Havzasının membası (E23A004) pilot havzaları seçilmiştir. Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik, Deriner, Yusufeli, Aksu, Muratlı, Borçka, Artvin, Arkun, Güllübağ, Laleli, İspir, Aras, Arpaçay, Meghri, Khoda Afarin ve Karkamış gibi barajların da havzalar içerisinde yer alması nehir akımının takip edilmesini ve kontrolünün önemini arttırmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Türkiye genelini kapsayacak şekilde önceki yıllarda yapılan çalışmalara nazaran daha fazla yer istasyon verisi kullanılarak uydu görüntülerinden sağlanan karla kaplı alanların doğrulanması sağlanmıştır. Ayrıca, analizlerde kullanılan uydu verisinin - Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) sağladığı 3 farklı çözünürlükteki veri setinin karşılaştırması 2019 yılı ölçeğinde yapılmış olup hangi alanda hangi çözünürlüğün kullanılabileceği belirlenmiştir.

Çalışmanın diğer bir amacı ise, Hidroloji Biliminde son zamanlarda sıklıkla kullanılan farklı spektral, zamansal ve mekânsal çözünürlükteki uydu kar görüntüleriyle, ülkemizin kar potansiyelinin yüksek olduğu dağlık bölgelerinde birbirine sınırı olan, topoğrafik ve iklim olarak benzer niteliklere sahip 4 farklı havzada yapılan yağış-akış modellemesi sonucu havza karakteristiklerinin belirlenip su kaynaklarının verimli kullanımının sağlanmasıdır.

Küresel ısınmanın da etkisiyle değişen hava koşullarının iklim değişikliğini etkilemesi kaçınılmaz hale geldiğinden Hidroloji Biliminin ana uğraşlarından biri de gelecek yıllardaki akımın projeksiyonu olmaktadır. Su kaynaklarına erişim noktasında yaşanacak problemlerden; taşkın, içme, sulama ve hidroelektrik açısından ülkemizde yapılacak iklim değişikliği çalışmaları önem arz etmektedir. Bu çalışmada 4 farklı havza için seçilen ortak su yıllarının verileri kullanılarak sıcaklığın farklı değerlerde artması durumunda akımın ve kar kaplı alandaki değişimin nasıl olacağını sorusunun cevabı bulunmaya çalışılmıştır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Tez, ilk olarak içerikle alakalı genel bilgilerin verildiği giriş kısmı ile başlayıp ikinci olarak da çalışma alanı ve veri setlerinin anlatıldığı bölüm ile devam etmektedir. Bu kısımda, Türkiye'nin ve 7 coğrafi bölgesi hakkında yapılan topoğrafik çalışmalardan ve analizlerde kullanılan uydu kar görüntüleri ile yer istasyon verisinden bahsedilmiştir.

Ayrıca, 3 farklı çözünürlükteki uydu kar verisi alanlar bazında kıyaslanmış ve seçilen çözünürlükteki veriyle kar kaplı alanlar Türkiye ve coğrafi bölgeleri için elde edilmiş, sonrasında yer istasyon verileriyle uydu görüntülerinin doğrulanması yapılmıştır. Üçüncü bölümde ise tezde kullanılan hidrolojik modele değinilmiş olup, modelleme çalışmalarının yapıldığı pilot alanların topoğrafik analizinin yanı sıra havzalardaki hidro-meteorolojik istasyonlardan bahsedilmiştir. Ayrıca, model için girdi olacak karla kaplı alan verilerine değinilmiş, model kalibrasyonu neticesinde ortaya çıkan havza karakteristikleri değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde, iklim değişikliği etkisiyle kar kaplı alan eğrilerinde ve akım hidrografında meydana gelecek değişimler tespit edilerek değerlendirilmiştir. Tezin son bölümünde ise, elde edilen sonuçlar, model çıktıları, değerlendirmeler, öneriler ve çalışmanın bundan sonraki araştırmacılara sağlayacağı katkılar özetlenmiştir.

2. UYDU KAR GÖRÜNTÜLERİNİN DOĞRULANMASI

2.1. Türkiye ve Coğrafi Bölgeleri

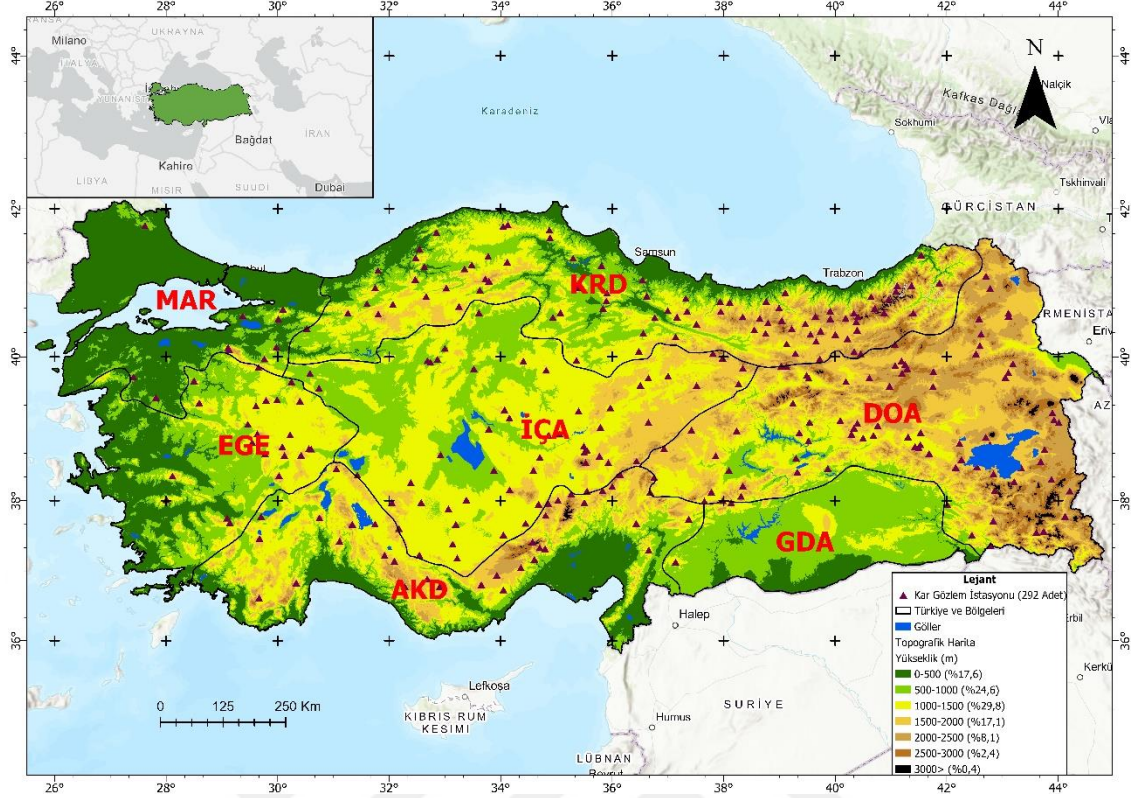
Türkiye, coğrafi konum olarak 26-45° Doğu Meridyenleri ve 36-42° Kuzey Paralelleri arasında, Asya ve Avrupa kıtalarının kesişiminde yer alır. Avrupa kıtasının Güneybatısında konumlanan, Kuzeyinde Karadeniz, Güneyinde Akdeniz ve Batısında Ege Denizinin olduğu Türkiye’de yükseklik, İç Anadolu’dan doğuya doğru gidildikçe artmaktadır (Elibüyük ve Yılmaz, 2010; Deniz vd., 2011).

Türkiye’nin iklimi yeryüzü şekilleri ve coğrafi konumu neticesinde biçimlenmektedir. Kıyı kesiminde deniz tesiriyle ılıman iklim görülürken iç kesimlerde dağların uzanışı ve yükseltisi nedeniyle karasal iklim görülmektedir. Bitki örtüsünün bozkır olduğu karasal iklim tipi Trakya’nın iç bölgeleri, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde hâkim olmaktadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçmektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen bitki örtüsünün ağırlıklı maki olduğu Akdeniz iklimi ise Akdeniz, Ege ve Güney Marmara Bölgelerinde görülür. Kuzey Marmara ve Karadeniz bölgelerinde yazların serin, kışların ılık geçtiği kurak mevsimin görülmediği bitki örtüsünün iğne yapraklı ağaçların oluşturduğu Karadeniz iklimi etkilidir.

Türkiye’nin 3 tarafının denizlerle çevrilmiş olması, kuzeyde ve güneyde dağların denizlere paralel olması ve doğu-batı eksenli uzanması nedeniyle iç kesimlerin kıyılardan ayırması, iklim ve bitki örtüsü de dikkate alınarak Türkiye; Akdeniz, Karadeniz, Ege, Marmara, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu olarak toplamda 7 coğrafi bölgeye ayrılmış ve bu alanlar çerçevesinde Bölüm 2.2’de bölge karakteristiklerinin anlaşılması amacıyla yapılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri anlatılmıştır.

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri

Türkiye’nin topoğrafik özellikleri, National Aeronautics and Space Administration (NASA) Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) 30 m mekânsal çözünürlükteki Sayısal Yükseklik Modeli (SYM),(http-1) CBS yazılımı olan ArcGIS Pro programında işlenmesi sonucu elde edilmiştir. Analizlerde koordinat sistemi olarak; orta enlemlerde doğu-batı yönünde uzanan kara kütlelerinin uyumlu haritalanması için en uygun yöntem olan Lambert Conformal Conik izdüşümü seçilmiştir. Türkiye ve coğrafi bölgelerinin yükseklik haritası Şekil 2.1’de gösterilmekte olup CBS’de yapılan analiz sonuçları Tablo 2.1’de özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye ve coğrafi bölgelerin topoğrafik haritası

Lambert konik izdüşümü kullanıldığında Türkiye'nin yüzölçümü 798,630.2 km² olarak hesaplanmıştır. 30 m mekânsal çözünürlükteki SYM verisiyle yapılan analizde, Türkiye'nin ortalama yüksekliğinin 1144 m ve ortalama eğiminin %20.6 olduğu Tablo 2.1'de görülmektedir.

Bu tez çalışması sırasında farklı piksel boyutundaki SYM raster verileri de kullanılarak yükseklik ve eğim çalışması yapılmıştır. Yapılan analizde 30 m, 90 m, 500 m ve 4000 m çözünürlükteki yükseklik veriseti kullanılmış CBS'de Türkiye analiz edilmiştir. Çıkan sonuçlardan, piksel boyutu artsa da ortalama yükseklik değerinin aynı kaldığı görülmüştür. Ancak, eğim için bakıldığında; 30 m, 90 m, 500 m ve 4000 m için sırasıyla Türkiye'nin ortalama eğimleri; %20.6, %17.3, % 10.9 ve %3.7 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, çözünürlük kabalaştıkça eğim düşmekte ancak yükseklik sabit kalmaktadır.

Tablo 2.1'e bakıldığında, ülkemizin en düz bölgesi %11 ile Güneydoğu Anadolu iken en dik bölgesi ise %24.9 ile Karadeniz bölgesidir, ayrıca, en alçak bölgesi ortalama yüksekliğin 277 m olduğu Marmara iken en yüksek bölgesi ise 1834 m ortalama yükselik ile Doğu Anadolu'dur. Ülkemizin en yüksek noktası da 5112 m ile Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Ağrı Dağı'nda ölçülmüştür.

Tablo 2.1. Türkiye ve coğrafi bölgeleri, yüzdesel alan dağılımı ve topoğrafik bilgiler

Bölgeler	Alan (km ²)	Ortalama Eğim (%)	Min. Yükseklik (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Maks. Yükseklik (m)
Doğu Anadolu	167,057.7 (%20.9)	24.9	433	1834.7	5112
İç Anadolu	155,566.1 (%19.5)	11.3	465	1198.1	3883
Ege	89,366.6 (%11.2)	18.8	0	739.9	2524
Marmara	63,405.2 (%7.9)	14.7	0	277.1	2535
Güneydoğu Anadolu	62,443.4 (%7.8)	11.0	317	750.6	2528
Akdeniz	119,979.5 (%15.0)	24.8	0	1076.1	3707
Karadeniz	140,811.7 (%17.6)	30.2	0	1161.3	3914
Türkiye	798,630.2 (%100)	20.6	0	1144.1	5112

CBS’de yapılan başka bir analizde ise alanı 30 km² üzerinde olan Türkiye’deki göller irdelenmiş, çıkan sonuçlara göre Türkiye’deki göllerin ve barajların toplam alanı 11,924.8 km² olarak hesaplanmıştır. Tablo 2.2’de göl/baraj alanları listelenmiştir. Eğim ve yükseklik analizinde kullanılan alan Türkiye’nin toplam alanından göl alanlarının çıkarılmasıyla bulunmuştur.

Tablo 2.2. Alanı 30 km²’den büyük olan göller

Göl/Baraj Adı	Alan (km ²)	Göl/Baraj Adı	Alan (km ²)	Göl/Baraj Adı	Alan (km ²)
Van Gölü	3643.6	Çıldır Gölü	122.8	Ömerli Barajı	51.1
Tuz Gölü	1751.4	Altınkaya Barajı	102.2	Işıklı Gölü	51.0
Atatürk Barajı	858.9	Ercek Gölü	101.7	Tersakan Gölü	50.6
Beyşehir Gölü	683.9	Ergene	99.0	Suğla Gölü	49.0
Keban Barajı	586.3	Sürgüç	96.1	Sapanca Gölü	48.6
Eğirdir Gölü	490.6	Akyayan Gölü	86.9	Arias Gölü	47.6
Karakaya Barajı	351.3	Yamula Barajı	82.3	Demirköprü Barajı	47.4
Akşehir Gölü	345.8	Hazar Gölü	81.7	Nazik Gölü	47.0
İznik Gölü	300.2	Bafa Gölü	71.7	Salda Gölü	43.9
Burdur Gölü	220.1	Seyfe Gölü	71.4	Aslantaş Barajı	40.8
Hirfanlı Barajı	172.9	Marmara Gölü	71.2	Karamik Gölü	40.7
Kuş Gölü	165.1	Çatalan Barajı	66.6	Seyhan Barajı	40.0
Acıgöl	158.5	Sarıyar Barajı	64.0	Batman Barajı	39.7
Ulubat Gölü	152.8	Amik Gölü	63.3	Yay Gölü	38.3
Eber Gölü	130.8	Köyceğiz Gölü	61.0	Balık Gölü	35.2

Toplam göl alanı bazında bölgelerimiz incelendiğinde Doğu Anadolu Bölgesinin 5006.1 km² ile en fazla alana sahip olduğu ve en az göl alanı kaplayan bölge ise 258.2 km² ile Ege’nin olduğu Tablo 2.3’te görülmektedir.

30 m mekânsal çözünürlükteki SYM verisi üzerinde yapılan analizlerde Türkiye’nin ve coğrafi bölgelerin yükseklik-alan ilişkisi Tablo 2.4’te verilmiştir. Buna göre, alanın %85’inin 0-500 m aralığında olmasından ötürü Marmara en alçak bölge,

2000 m üzerinde en fazla alana sahip bölgenin yaklaşık %38 ile Doğu Anadolu olduğundan en yüksek bölge olmaktadır. Türkiye alanının yaklaşık %30'u 1000-1500 m yükseklik aralığında bulunmaktadır.

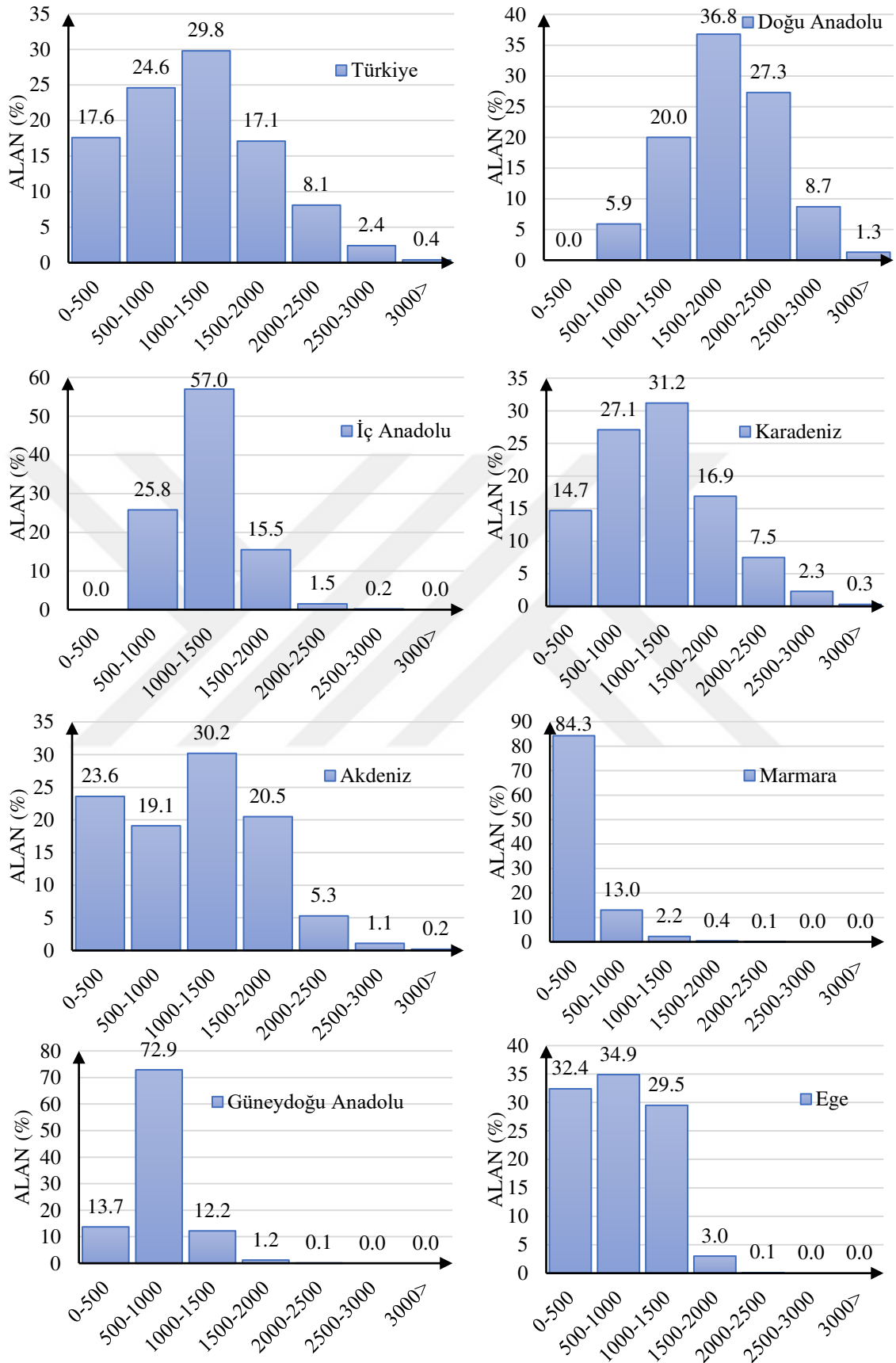
Tablo 2.3. Bölgelere göre göl alanı dağılımları

Bölge Adı	Alanı (km ²)	Bölge Adı	Alanı (km ²)
Akdeniz	2028.4	Güneydoğu Anadolu	898.6
Doğu Anadolu	5006.1	İç Anadolu	2740.4
Ege	258.2	Karadeniz	165.4
Marmara	816.7		

Tablo 2.4'teki sonuçların daha anlaşılır bir şekilde görülüp yorumlanabilmesi için Şekil 2.2'de Türkiye ve her bir bölge için yükseklik-alan grafikleri hazırlanmıştır. Aşağıdaki grafikler incelendiği zaman, Türkiye'ye en yakın dağılımı gösteren bölgenin Karadeniz olduğu ortaya çıkmakta, Doğu Anadolu Bölgesi 1500-2000 m yükselti basamağında, İç Anadolu Bölgesi ise 1000-1500 m aralığında normal dağılım (çan eğrisi şeklinde) sergilemektedir. Marmara'nın yaklaşık %85'inin 0-500 m aralığında, Güneydoğu Anadolu'nun ise %73'ünün 500-1000 m aralığında olduğu görülmektedir. Akdeniz'de alanının yaklaşık %93'ünü 2000 m yüksekliğe kadar 500 m'lik dilimler halinde eşit biçimde dağıldığı, Ege'de de aynı şekilde 1500 m yüksekliğe kadar yükselti eşit dağılmaktadır.

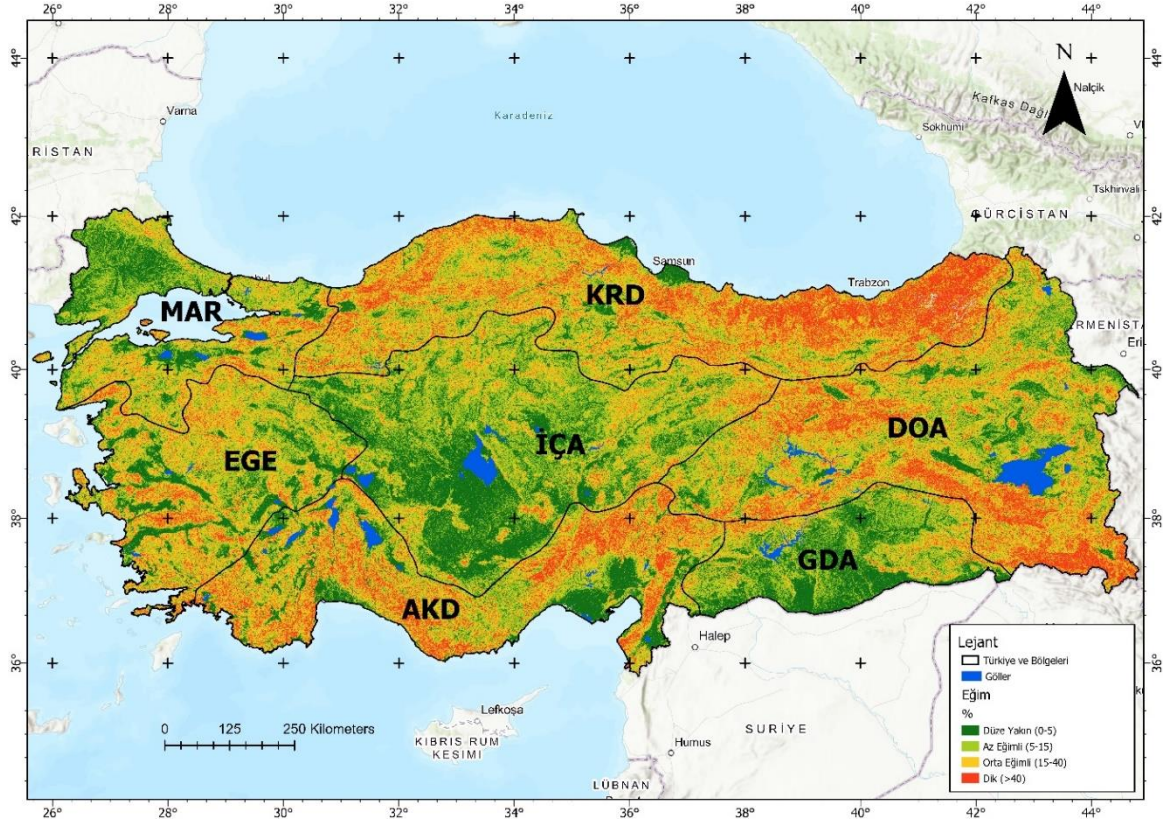
Tablo 2.4. Türkiye ve coğrafi bölgelerin yükseklik-alan ilişkisi

Yükselti Basamakları (m)	Karadeniz (km ²)	Marmara (km ²)	Akdeniz (km ²)	Güneydoğu Anadolu (km ²)	Ege (km ²)	Doğu Anadolu (km ²)	İç Anadolu (km ²)	Türkiye (km ²)
0-500	20624.0 (%14.7)	52736.6 (%84.3)	27827.3 (%23.6)	8417.4 (%13.7)	28872.8 (%32.4)	12.9 (%0)	25.8 (%0)	138548.8 (%17.6)
500-1000	38075.6 (%27.1)	8151.9 (%13.0)	22552.5 (%19.1)	44837.7 (%72.9)	31114.9 (%34.9)	9585.0 (%5.9)	39497.0 (%25.8)	193817.9 (%24.6)
1000-1500	43863.2 (%31.2)	1390.8 (%2.2)	35657.0 (%30.2)	7491.1 (%12.2)	26310.9 (%29.5)	32403.4 (%20.0)	87117.7 (%57.0)	234235.5 (%29.8)
1500-2000	23802.8 (%16.9)	242.0 (%0.4)	24157.0 (%20.5)	728.8 (%1.2)	2691.6 (%3.0)	59569.0 (%36.8)	23667.4 (%15.5)	134860.3 (%17.1)
2000-2500	10540.2 (%7.5)	67.0 (%0.1)	6214.0 (%5.3)	69.3 (%0.1)	118.1 (%0.1)	44189.7 (%27.3)	2263.7 (%1.5)	63463.2 (%8.1)
2500-3000	3267.0 (%2.3)	0.3 (%0)	1286.0 (%1.1)	0.5 (%0)	0.1 (%0)	14177.0 (%8.7)	234.2 (%0.2)	18966.1 (%2.4)
3000<	473.4 (%0.3)	-	257.4 (%0.2)	-	-	2114.6 (%1.3)	19.9 (%0)	2865.4 (%0.4)
Toplam	140,646.3 (%100)	62,588.5 (%100)	117,951.1 (%100)	61,544.8 (%100)	89,108.4 (%100)	162,051.6 (%100)	152,825.7 (%100)	786,757.2 (%100)



Şekil 2.2. Türkiye ve bölgelerinin yükseklik alan ilişkisi

Ülkemiz ve coğrafi bölgeleri özelinde hazırlanan eğim haritası Şekil 2.3'te gösterilmiş olup eğim sınıflarına göre tablosu ise Tablo 2.5'te verilmiştir. Buna göre; Karadeniz'in toplam alanının yaklaşık %72'sinde eğimin %15'ten büyük olduğu görülmekte ve böylece ülkemizin en eğimli bölgesinin Karadeniz olduğu yapılan analizlerde ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin en düz bölgeleri sırasıyla Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Marmara olmaktadır.



Şekil 2.3. Türkiye ve coğrafi bölgelerin eğim haritası

Tablo 2.5. Türkiye ve coğrafi bölgelerin eğim-alan dağılımı

Eğim Sınıfı (%)	Karadeniz (km ²)	Marmara (km ²)	Akdeniz (km ²)	Güney-doğu Anadolu (km ²)	Ege (km ²)	Doğu Anadolu (km ²)	İç Anadolu (km ²)	Türkiye (km ²)
0-5	11433.2 (%8.1)	18478.2 (%29.0)	23488.9 (%19.6)	26346.6 (%42.2)	19479.7 (%21.8)	25405.9 (%15.2)	60200.6 (%38.7)	184833.4 (%23.1)
5-15	27944.8 (%19.8)	21956.1 (%34.5)	27062.3 (%22.5)	21941.3 (%35.1)	25780.2 (%28.8)	44476.0 (%26.6)	56474.6 (%36.3)	225635.4 (%28.2)
15-40	63465.4 (%45.0)	19573.8 (%30.7)	45516.9 (%37.9)	11750.0 (%18.8)	35062.0 (%39.2)	65554.5 (%39.2)	33987.5 (%21.8)	274910.3 (%34.4)
>40	38206.3 (%27.1)	3685.7 (%5.8)	24040.6 (%20.0)	2394.4 (%3.8)	9195.1 (%10.3)	31641.9 (%18.9)	4947.5 (%3.2)	114111.6 (%14.3)
Toplam	141,049.8 (%100)	63,693.9 (%100)	120,108.8 (%100)	62,432.3 (%100)	89,517.0 (%100)	167,078.4 (%100)	155,610.3 (%100)	786,757.2 (%100)

Corine Land Cover (CLC) veri kümelerinden biri olan CLC2018, Copernicus Arazi Görüntüleme Programı çerçevesinde üretilen 2018 yılının arazi örtüsü/kullanım durumunu 100 m çözünürlükte sunulduğu veri setleri <http-2> internet adresinden indirilerek ArcGIS üzerinde işlenmiş olup ülkemizin arazi kullanım haritası elde edilmiş (Şekil 2.4) ve Tablo 2.6’da ise analiz sonuçları listelenmiştir.

Şekil 2.4. *Türkiye arazi kullanım haritası*

Arazi Kullanımı	Karadeniz (km ²)	Marmara (km ²)	Akdeniz (km ²)	Güney-doğu Anadolu (km ²)	Ege (km ²)	Doğu Anadolu (km ²)	İç Anadolu (km ²)	Türkiye (km ²)
Şehir	1464.8 (%1.0)	3193.5 (%5.0)	2104.6 (%1.8)	1243.1 (%2.0)	2525 (%2.8)	1588.4 (%1.0)	3550.3 (%2.3)	15682.6 (%2.0)
Tarım	46438.8 (%33.0)	33091.9 (%52.2)	40052.1 (%33.4)	39712.8 (%63.6)	39289.9 (%44.0)	52535.2 (%31.4)	97370.7 (%62.6)	348482.9 (%43.6)
Orman	46516 (%33.0)	17733.3 (%28.0)	23520.5 (%19.6)	468.7 (%0.8)	19048.8 (%21.3)	6843.3 (%4.1)	3174.1 (%2.0)	117537.7 (%14.7)
Otlak	32745.5 (%23.3)	7449.6 (%11.7)	33321 (%27.8)	11761.7 (%18.8)	24287.8 (%27.2)	46035.6 (%27.6)	25489.1 (%16.4)	181061.6 (%22.7)
Çıplak Arazi	11956.4 (%8.5)	295.6 (%0.5)	18041.6 (%15.0)	8028.3 (%12.9)	3384.3 (%3.8)	53601.5 (%32.1)	20975.8 (%13.5)	116092 (%14.5)
Göl	1690.2 (%1.2)	1641.3 (%2.6)	2939.7 (%2.5)	1228.7 (%2.0)	830.9 (%0.9)	6453.7 (%3.9)	5006 (%3.2)	19773.3 (%2.5)
Toplam	140,811.7 (%100)	63,405.2 (%100)	119,979.5 (%100)	62,443.4 (%100)	89,366.6 (%100)	167,057.7 (%100)	155,566.1 (%100)	798,630.2 (%100)

Tablo 2.6 ve Şekil 2.4'e bakıldığında Türkiye'nin arazi kullanımı sınıflandırmasına göre; şehir alanı en yüksek bölgesi %5 ile Marmara, tarım alanı en yüksek bölgesi %63.6 ile Güneydoğu Anadolu, ormanlık alanın en fazla olduğu bölge %33 ile Karadeniz, otlak arazi olarak sınıflandırmada bölgelerimizden Akdeniz, Ege ve Doğu Anadolu ön plana çıkmakta, çıplak arazi örtüsü ve göl oranlarının en yüksek olduğu bölge Doğu Anadolu olduğu görülmektedir.

2.3. Uzaktan Algılama (UA)

Arada mekanik bir temas olmaksızın bir cisimden yayılan veya yansıtılan elektromanyetik ışının nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilmesi ile cismin özelliklerinin uzaktan ortaya konması ve ölçülmesi işlemi uzaktan algılamadır (Sunar vd. 2018). Uzaktan algılama, dünya üzerindeki geniş ve uzak alanların durumunu ölçüp ortaya çıkarabildiğinden dolayı birçok bilimsel çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidroloji biliminde su kaynaklarının yönetilmesi, modellenmesi, işletilmesi ve tahmin çalışmaları gibi alanlarda uzaktan algılamanın sağladığı mekânsal veri kullanılmaktadır. Havza içerisinde kar örtüsünün alansal ve zamansal değişiminin takip edilerek uydu görüntülerinden faydalanılması, kar hidrolojisi çalışmalarına önemli kaynak oluşturmaktadır.

2.3.1. Kar çalışmalarının uzaktan algılama tarihçesi

Yeryüzü Gözlem (Earth Observation – EO) uydu verisi, 1975'li yıllarda uygulanmaya başlamıştır. İlk çalışmalar; Rango vd., (1977) tarafından EO verisi kullanılarak karla kaplı alan çalışmasıyla beraber akım tahmini yapılmıştır. Rott (1978), farklı sensörlerden faydalanarak Alp Dağları'nda karla kaplı alan uygulaması yapmış, EO verisi kullanılarak yapılan ve o güne kadarki kar ve buz haritalama çalışmaları Hall ve Martinec, (1985) tarafından özetlenmiştir. Martinec ve Rango (1987) tarafından karla kaplı alan verisinin hidrolojik modellemede kullanılmasının faydasını gösteren çalışma yapılmış, Wiesnet vd., (1987) uzaktan algılama yöntemlerinin karla kaplı alan haritalamasındaki ilk vurgulayanlardan olmuş, Frank vd., (1988), Harrison ve Lucas (1989), Hu vd., (1993), Siedel vd. (1994), Baumgartner ve Rango (1995), Rango (1996), Nagler ve Rott (1997) bireysel olarak karla kaplı alan takibi çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Ancak, geniş kullanıcı kitlesiyle paylaşılan yöntem ve çalışma sonuçları özellikle Avrupa'da HydAlp (Rott vd., 2000) ve

SnowTools (Gunerriussen vd. 2000) projeleri ile başlamış ve Harmosnow (<http-3>), SnowEx (<http-4>) gibi projelerle son zamanlarda devam etmektedir.

Ülkemizde geniş alanlar için uydular kullanılarak gerçekleştirilen kar izleme çalışmaları 1990'lı yılların sonunda başlatılmış ve yeni uyduların da eklenmesiyle uygulamalar ilerlemektedir. (Kaya, 1999; Tekeli, 2000; Şorman vd. 2001; Akyürek ve Şorman, 2002; Tekeli vd., 2005; Şorman vd., 2007; Tekeli, 2008; Şorman vd., 2009; Akyürek vd., 2011; Şorman ve Yamankurt, 2011; Şorman ve Beşer, 2013; Sönmez vd., 2014; Kuter vd., 2018, Şorman vd., 2019, Peker ve Sorman, 2021)

2.3.2. Karla kaplı alan verisinin uzaktan algılanması

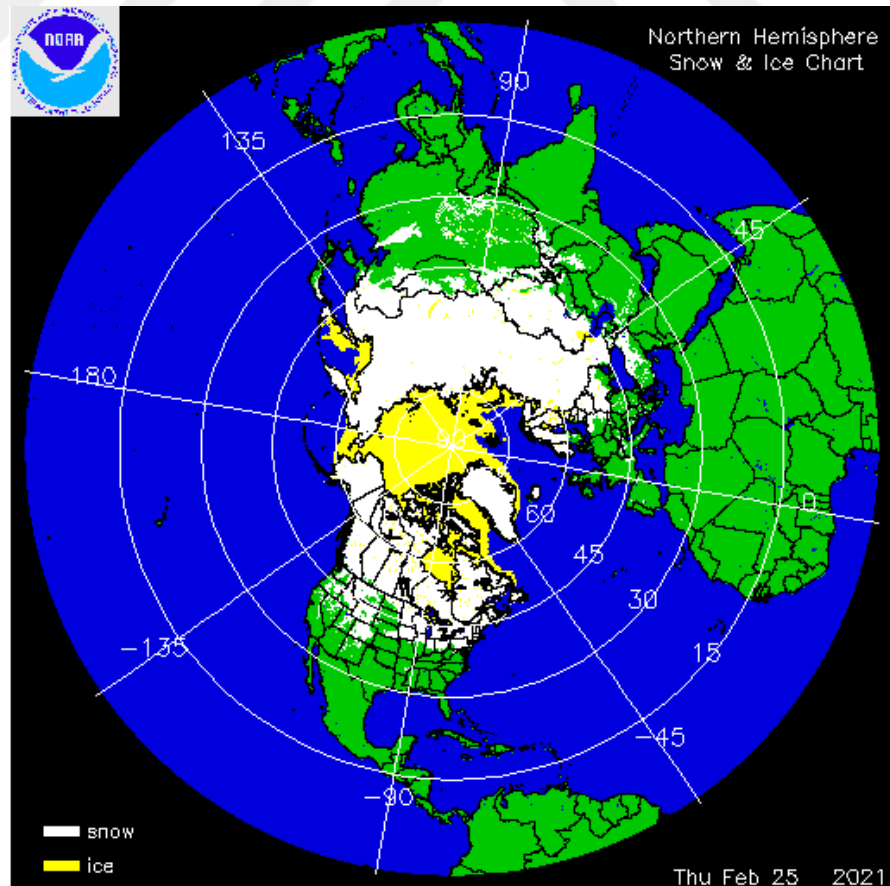
Kar ölçümlerinin ve gözleminin yer istasyonlardan yapılması ancak bulunduğu noktayı ve yakın çevresini temsil etmektedir. (Parajka ve Blöschl, 2012). Uzaktan algılama teknolojisindeki gelişmeler karla kaplı alan verisini elde etmede farklı çözünürlükteki uyduların kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Uyduların sağladığı mekânsal çözünürlüğün yanısıra yüksek zamansal çözünürlüğün olması kar örtüsü değişiminin gözlenmesinde kritik rol oynamaktadır.

Elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızıl ötesi (Near-Infrared, NIR) bölgeleri karın yansıma özellikleri sebebiyle uzaktan algılamada daha seçici olabilmektedir (Hall vd., 2002). Bahsi geçen spektral aralıklarda optik görüntüleyicilerin kullanılması uygun olmakta ancak, bu sensörler kar örtüsünü görüntülemeye sıklıkla bulutluluktan etkilenmektedir. Genellikle bulut etkisinden kurtulmak amacıyla filtreleme algoritmaları kullanılır ya da iyi çözünürlüğe sahip optik görüntüler kaba çözünürlüklü mikrodalga görüntüleriyle harmanlanır ve bulutluluk etkisi azaltılır (Hall ve Riggs, 2007). Bu çalışmada mikrodalga ve optik görüntülerin harmanlandığı ve bulutluluk etkisinin tamamen ortadan kaldırıldığı Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) verisi kullanılmıştır.

2.3.3. Interactive multisensor snow and ice mapping system (IMS)

1966 yılından itibaren Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi altında Ulusal Çevre Uydu Veri ve Bilgi Servisi (National Oceanic and Atmospheric Administration's National Environmental Satellite Data and Information Service, NOAA/NESDIS) tarafından sağlanan IMS verisi en uzun kayıtlı kuzey yarım küreye ait haftalık kar ve buzul kaplı alanı gösterdiği kabul edilir (Robinson, 1993).

IMS, geniş coğrafi sistem içerisinde günlük bazda çeşitli veri kaynaklarının interaktif kullanımıyla kar örtüsünü takip edilmesine olanak sağlamaktadır (Helfrich vd., 2007). IMS verisinin temel girdileri; NOAA'nın kutup yörüngeli (POES) ve sabit yörüngeli (GOES) uyduları, Japanese Geostationary Meteorological Satellites (GMS), European Geostationary Meteorological Satellites (METEOSAT), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU), Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı kutupsal yörüngeli uyduları ve Savunma Meteoroloji Uydu Programı (DMSP) uydularıdır. Kullanılan diğer veri kaynakları ise Ulusal Buz Merkezi'nin (National Ice Center, NIC) sağladığı haftalık çizelgesi ve Birleşik Devletleri Hava Kuvvetlerinin günlük kar derinliği ve buz örtüsü ürünleridir (Ramsey, 1998). Son yıllarda, AVHRR 3A kanalı ve MODIS kanal 1 gibi eklemeler yapılarak IMS ürünü geliştirilmiştir (Mazari vd., 2013). Çeşitli araçların ve uyduların kullanılması sonucu olarak IMS ürünü temiz gökyüzü görüntüsü sunmaktadır. Örnek olarak 25.02.2021 gününün IMS görüntüsü Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. 4 km Çözünürlüklü Kuzeyyarım Küre'nin 25.02.2021 tarihi IMS görüntüsü

1966 yılı itibariyle kar ve buz haritaları haftalık olarak 190 km mekânsal çözünürlük ile yaklaşık 30 yıl boyunca kullanıcılara sunulmuştur. Kullanıcıların ihtiyaçlarının ve beklentilerinin artmasıyla, IMS ürünü daha yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlük bakımından geliştirilmiş ve 4 Şubat 1997 tarihi itibarıyla veri setinin ilk sürümü olan Versiyon 1.1 piyasaya sürülmüş ve mekânsal çözünürlük 24 km olurken zamansal çözünürlük ise günlük olarak güncellenmiştir. 23 Şubat 2004 tarihinde ise mekânsal çözünürlükte ciddi değişim yapılarak 4 km'lik günlük veri Versiyon 1.2 sürümüyle sağlanmaya başlanmıştır. Son olarak, Versiyon 1.3 ise 3 Aralık 2014 tarihi sonrası mekânsal çözünürlük daha da iyileştirilerek 1 km yapılmıştır (Ramsay, 1998; Brown vd., 2014). Üç farklı çözünürlükteki girdiler, her bir versiyonun uyduları ve veri kaynaklarının değişmesi nedeniyle farklılık gösterir. Yeni versiyonlar ile iyileştirmeler yapılsa da eski versiyon ürünleri de halen bilimsel çalışmaların sürekliliği ve karşılaştırılması açısından kullanıcılara arz edilmektedir (Tablo 2.7)

IMS kar örtüsü ürününün piksel verileri; 1,2,3 ve 4 olarak kodlanıp bunlar da sırasıyla Deniz/Göl, Arazi, Buz ve Kara tekabül etmekte olup, “0” ise Kuzey Yarımküre dışındaki kısımları ifade etmektedir. Veriler, American Standard Code for Information Interchange (ASCII) formatında ya da raster verisi olarak Geotiff formatında sunulmaktadır.

1, 4, ve 24 km olmak üzere 3 farklı çözünürlükte sunulan IMS görüntülerinin 2019 yılında 292 adet kar gözlem istasyonu kullanılarak doğrulama analizleri Bölüm 2.4'te yapılmıştır.

Tablo 2.7. *IMS görüntülerine girdi olarak kullanılan algılayıcılar*

Sensör veya Kaynaklar	Platform ya da Organizasyonlar	Verilerin Versiyonları
ACNFS sea ice area fraction and sea ice thickness	NIC	1.3
AMSR-2	GCOM-W	1.3
AMSU	NOAA POES Satellites (15 - 18), Aqua, EUMETSAT MetOp- A	1.1, 1.2, 1.3
ASCAT	EUMETSAT MetOp-A	1.2, 1.3
ATMS (MIRS based)	S-NPP	1.3
Automated snow detection layers	NESDIS and NCEP	1.1, 1.2, 1.3
AVHRR	NOAA POES Satellites (14 - 19), EUMETSAT MetOp-A	1.1, 1.2, 1.3
Canadian snow analysis	Environment Canada	1.3
GFS daily snow depth	NCEP	1.3
GMS Imager	JMA GMS-5 (Himawari 5)	1.1, 1.2
GOES Imager	NOAA GOES Satellites (9, 10, 11, 13)	1.1, 1.2, 1.3
Hourly surface weather reports	METAR	1.3
MODIS	Aqua and Terra	1.2, 1.3
MTSAT-1R Imager	JMA MTSAT-1R (Himawari 6)	1.2
MTSAT-2 Imager	JMA MTSAT-2 (Himawari 7)	1.3
MVIRI	MFG	1.1, 1.2
Radar	Various radar published from Europe, Japan, China, South Korea, Canada, or U.S.	1.3
SAR	Radarsat-2	1.3
SAR (C-band)	Sentinel-1A	1.3
SEVIRI	MSG	1.3
SNODAS	NOHRSC	1.1, 1.2, 1.3
SSM/I	DMSP Satellites	1.1, 1.2, 1.3
SSMIS	DMSP Satellites	1.2, 1.3
U.S. Air Force Snow and Ice Analysis Product	USAF	1.1, 1.2, 1.3
Various weather reports, ice charts, and snow depth reports	In situ data from U.S. and other foreign countries	1.3
VIIRS Binary Snow Cover EDR	NASA Goddard	1.3
VIIRS Sea Ice Characterization EDR	NASA Goddard	1.3
VIIRS (visible channels 1,2,3, IR channel 15, day/night bands)	S-NPP Satellites	1.3
Weekly sea ice analysis and ice edge	NIC	1.1, 1.2, 1.3

2.4. IMS Ürünlerinin Validasyonu

2.4.1. İstasyon Verileri

Kar verisi ölçen OMGI'ler, kar derinliği/kar su eşdeğeri, yağış ve hava sıcaklığı verileriyle beraber rüzgâr hızı, radyasyon, nemlilik, kar derinliği gibi ölçümler de yapmaktadır. Bu veriler yıllık su miktarı tahmini, taşkın tahmini ve genel iklim araştırmalarında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri tarafından işletilen toplamda 292 adet otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGI) kullanılmıştır. OMGI'ler dağlık bölgelerin yüksek kesimlerinde yer almaktadır. Tablo 2.8'de istasyonların Türkiye üzerinde yükseklik bazında dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 2.8'e bakıldığında, kar yağışının az olduğu ve genellikle deniz etkisine maruz kalan 0-500 m yükseklik aralığında, istasyon sayısı 6 adettir. İstasyonların %70'inin 1000-2000 m yükseklik aralığında olduğu görülmekte olup, istasyona ulaşılabilirlik azaldığından yükseklik arttıkça istasyon sayısının azaldığı ortaya çıkmaktadır. En fazla istasyon barındıran bölgenin 89 istasyonla Karadeniz, ardından 79 istasyonla Doğu Anadolu bölgeleri olmaktadır. İstasyon sayısının en az olduğu bölge 2 istasyonla Güneydoğu Anadolu bölgesidir.

Tablo 2.8. İstasyonların Türkiye ve bölgeleri üzerindeki yükseklik bazında dağılımı

Bölgeler	Yükseklik Sınıfları						Toplam
	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	>2500	
Ege	1	5	14	3	0	0	23
Karadeniz	3	13	35	25	10	3	89
İç Anadolu	0	11	28	9	6	0	54
Doğu Anadolu	0	3	25	29	19	3	79
Marmara	2	4	3	2	0	0	11
Akdeniz	0	1	11	21	1	0	34
Güneydoğu Anadolu	0	0	1	1	0	0	2
TÜRKİYE	6	37	117	90	36	6	292

Analizlerde kullanılacak istasyonlar arazi kullanımı açısından sınıflandırıldığında, ağırlıklı olarak tarım alanı, otlak arazi ve şehir gibi istasyon çevrelerinin açık olduğu düz alanlara istasyonlar yerleştirilmiştir (Tablo 2.9). Ormanlık alan içerisinde, 13 istasyon sayısıyla en fazla Karadeniz bölgesi bulunmaktadır.

Tablo 2.9. Türkiye ve bölgelerinde istasyonların arazi kullanımı dağılımı

Arazi Kullanımı	Ege	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	Marmara	Akdeniz	Güneydoğu Anadolu	Toplam
Şehir	4	12	24	24	3	3	0	70
Tarım Alanı	8	30	17	27	4	8	1	95
Otlak Arazi	8	29	8	15	1	13	1	75
Çorak Arazi	0	5	5	11	0	9	0	30
Orman	3	13	0	2	3	1	0	22

2.4.2. Doğrulama Yöntemi

Bulut engeli, topoğrafya, eğim, bakı, düşük yeryüzü sıcaklığı ve arazi kullanımı gibi çeşitli faktörlerden dolayı uydu verisinden kar ürünü sağlamak oldukça zorlayıcı bir süreçtir (Helfrich vd., 2007; Temimi vd., 2011). Kullanıcılar ürünün doğruluğu hakkında net bilgi gereksinimi duyduğundan, bu çalışmada IMS ürününün doğruluğunu belirleyebilmek için ihtimal (contingency) tablosu (Tablo 2.10) ve ilişkili istatistikler sunulmuştur.

İhtimal tablosu hazırlamak, özellikle kategorize edilebilen değişken verilerde, iki değişken arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasının etkili yoludur. Bu nedenle “kar var” ve “kar yok” bilgisini içeren IMS ürünü ve yer istasyonları arasındaki bu ilişkiyi kurmak uygun olmaktadır. İhtimal tablosunun bir örneği Tablo 2.10’da sunulmakta olup kar var ise “Evet”, kar bulunmuyorsa “Hayır” olacak şekilde iki farklı değişken için kategorize edilmiştir. IMS ürünü ile istasyonların kıyaslandığı durumlarda, örneğin, ‘A’ her iki değişkende de kar olması durumunu, ‘B’ ise IMS görüntüsünde kar olduğu ancak istasyonda kar olmadığını, ‘C’ için IMS verisinde kar göstermeyip istasyonda kar olduğu, son olarak ‘D’ de ise her iki değişkende de kar olmadığını ifade eder.

A: Pikselle eşleşen istasyonun kar derinliği ‘0’ dan büyük ve IMS görüntüsünde piksel ‘Kar’ sınıfında,

B: Pikselle eşleşen istasyonun kar derinliği ‘0’ a eşit ve IMS görüntüsünde piksel ‘Kar’ sınıfında,

C: Pikselle eşleşen istasyonun kar derinliği ‘0’ dan büyük ve IMS görüntüsünde piksel ‘Arazi’ sınıfında,

D: Pikselle eşleşen istasyonun kar derinliği ‘0’ a eşit ve IMS görüntüsünde piksel ‘Arazi’ sınıfında

Tablo 2.10. *İhtimal (contingency) tablosu*

		İstasyon	
		Evet	Hayır
IMS	Evet	A	B
	Hayır	C	D

Validasyon çalışmasının ilk aşamasında, çalışma alanı için daha önceki bölümlerde elde edilmiş olan IMS ürünü ve istasyon verileri kullanılmıştır. Günlük IMS ürünü raster veri setlerinden oluştuğundan dolayı bazı hücrelerin içerisine yer istasyonları düşmektedir. 2019 su yılı için günlük bazda ihtimal tablosu, her pikseli kar, su, arazi ve buz olarak sınıflandırılmış IMS ürünü ve 292 adet kar derinliği verisini içeren istasyon kullanılarak hazırlanmıştır.

IMS ürününün performansı, Tablo 2.10’da verilen parametreler yardımıyla hesaplanan Kar Saptama İhtimali (Probability of Detection, POD) ve Yanlış Alarm Oranı (False Alarm Rates, FAR) gibi kategorik istatistik oranlarıyla tanımlanmıştır. Yerde kar olduğunda ürünün karı saptama yeteneğini gösteren POD ve yerde kar olmayıp ürün kar görüntüsü verdiğinde kullanılan FAR aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

IMS ürününün yüzeydeki kar varlığını yakalamadaki başarısını ise Kar/Kara Saptama Oranı (Hit Rate, HR) belirlemektedir. HR hem istasyon hem de IMS’te “kar var” ya da “kar yok” olduğu durumdaki başarısını ortaya koymaktadır.

$$POD = \frac{A}{A+C} \quad (2.1)$$

$$FAR = \frac{B}{A+B} \quad (2.2)$$

$$HR = \frac{A+D}{A+B+C+D} \quad (2.3)$$

2.4.3. Validasyon analizi ve sonuçları

1, 4 ve 24 km çözünürlükteki 3 farklı IMS ürününe 2019 kar sezonu için POD, FAR ve HR analizi yapılmıştır. Türkiye üzerinde analiz edilen, günlük ihtimal tabloları 1 Ekim 2019 – 30 Haziran 2019 tarih aralığında toplamda 273 gün için hazırlanmıştır. Aşağıdaki tablolarda, genel yazan satırlardaki POD, FAR ve HR sonuçları, 273 gündeki tüm istasyonlardaki toplam A, B, C ve D sayılarının oranlanmasıyla bulunmuş, yine ay

bazında yapılan hesaplarda da ay içerisindeki gün sayısı referans alınarak değerler Türkiye geneli hesaplanmış, ayrıca SD ile gösterilen sütun, aylık ortalama karlı gün (Snow Day) sayısını göstermekte olup kar kalınlığını cm cinsinden verildiği istasyonlardaki değerin 0'dan büyük olduğu gün sayısının ortalamasını göstermektedir.

Tablo 2.11. 1 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin aylık analiz sonuçları

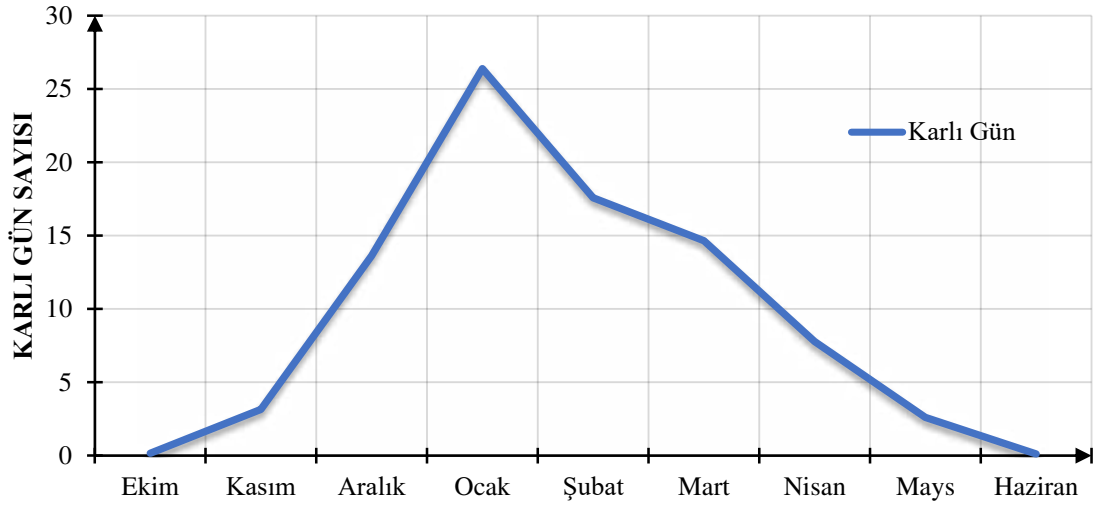
Aylar	POD	FAR	HR	SD (Gün)
Ekim	0.14	0.98	0.97	0.2
Kasım	0.61	0.51	0.89	3.2
Aralık	0.79	0.28	0.78	13.6
Ocak	0.94	0.08	0.88	26.5
Şubat	0.85	0.10	0.85	17.6
Mart	0.76	0.15	0.82	14.7
Nisan	0.64	0.33	0.82	7.8
Mayıs	0.30	0.51	0.91	2.6
Haziran	0.20	0.72	0.99	0.1
Genel	0.81	0.19	0.88	86.0

Tablo 2.12. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin aylık analiz sonuçları

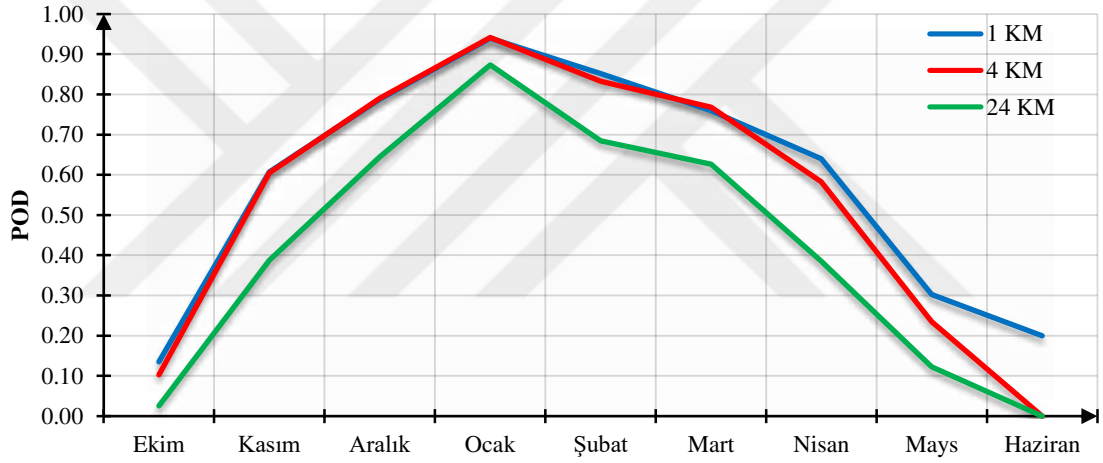
Aylar	POD	FAR	HR	SD (Gün)
Ekim	0.10	0.99	0.96	0.2
Kasım	0.60	0.53	0.89	3.2
Aralık	0.79	0.30	0.76	13.6
Ocak	0.94	0.08	0.88	26.5
Şubat	0.83	0.14	0.81	17.6
Mart	0.77	0.20	0.80	14.7
Nisan	0.58	0.43	0.77	7.8
Mayıs	0.23	0.72	0.88	2.6
Haziran	0.00	1.00	0.99	0.1
Genel	0.80	0.23	0.86	86.0

Tablo 2.13. 24 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin aylık analiz sonuçları

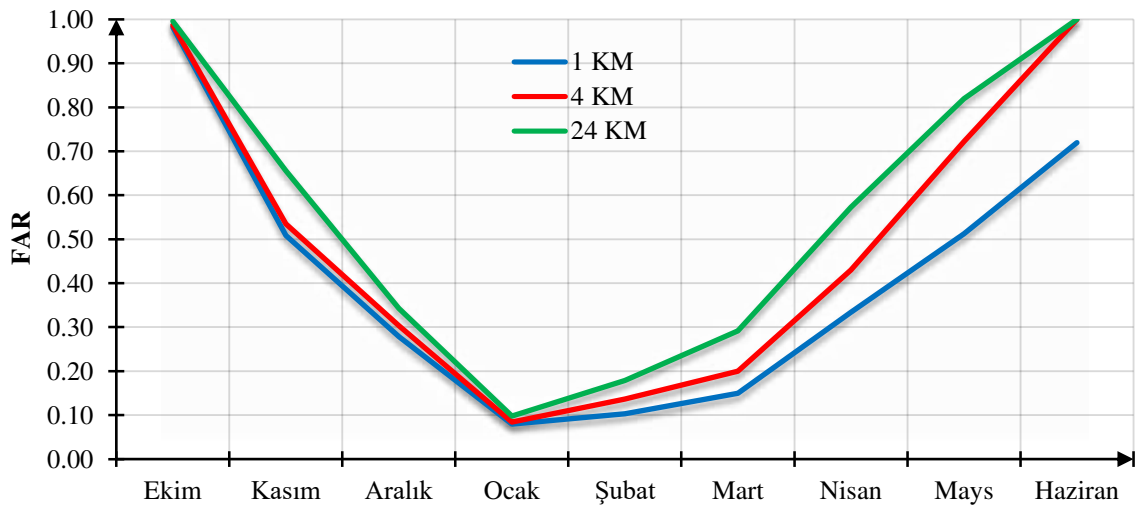
Aylar	POD	FAR	HR	SD (Gün)
Ekim	0.03	1.00	0.97	0.2
Kasım	0.39	0.66	0.86	3.2
Aralık	0.64	0.34	0.70	13.7
Ocak	0.87	0.10	0.81	26.4
Şubat	0.68	0.18	0.71	17.6
Mart	0.63	0.29	0.70	14.7
Nisan	0.39	0.57	0.70	7.8
Mayıs	0.12	0.82	0.88	2.6
Haziran	0.00	1.00	0.99	0.1
Genel	0.67	0.28	0.81	86.0



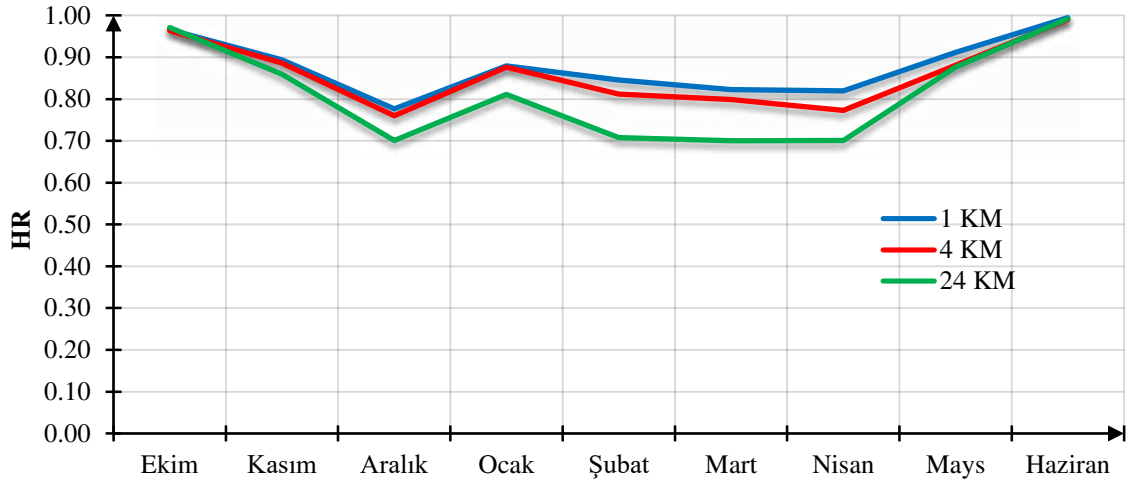
Şekil 2.6. 2019 Su yılı aylara göre karlı gün sayısı dağılımı



Şekil 2.7. 1,4 ve 24 km çözünürlükteki IMS verilerinin aylık POD değişimleri



Şekil 2.8. 1,4 ve 24 km çözünürlükteki IMS verilerinin aylık FAR değişimleri



Şekil 2.9. 1,4 ve 24 km çözünürlükteki IMS verilerinin aylık HR değişimleri

2019 su yılı özelinde Türkiye üzerinde yapılan bu çalışmada, Şekil 2.6’da istasyonlardaki karlı gün sayısının Ocak ayında ortalama 26 gün olduğu, Ekim, Kasım ve Aralık ayında hava sıcaklığının düşmesiyle beraber Ocak ayına doğru karlı gün sayısının arttığı ve sıcaklıkların artıp erimelerin başlamasıyla da Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ise eğrinin düşüş trendine girdiği görülmektedir.

Şekil 2.7 incelendiğinde POD değerinin karın birikmeye başladığı Aralık, Ocak ve Şubat aylarında en yüksek değerine ulaştığı, Ekim, Kasım aylarında kar yağışının yeni başlaması ve yüzeydeki kar oranının az olması dolayısıyla POD değerinin yavaşça yükseldiği ve son olarak da sıcaklıkların yükselmesiyle beraber erimelerin artması sonucu karın yavaşça yüzeyden çekilmesinin etkisiyle Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında POD değeri düşüş eğilimi sergilemektedir. Kısaca, kar yağışının gerçekleştiği aylarda yani yerde kar bulunduğu zaman POD değeri yüksekken yüzeyde kar örtüsünün hemen hemen hiç bulunmadığı veya sadece yüksek kesimlerde karın bulunduğu Eylül, Ekim, Kasım, Mayıs ve Haziran aylarında POD değeri sıfıra yaklaşmakta veya sıfır olmaktadır.

4 ve 24 km çözünürlüğündeki verilerin analizinde POD değeri Haziran ayında 0 olmaktadır. Bunun sebebi ise, uydunun yerdeki kar örtüsünü saptayamaması neticesinde Denklem 2.1’de A’nın sıfır olmasıdır.

POD değeri 3 farklı çözünürlükte yapılan analiz incelendiğinde; 1, 4 ve 24 km çözünürlüğündeki IMS verisi için grafik üzerinde aynı dağılımı göstermekte ancak, 24 km çözünürlüğündeki verinin POD başarısının 1 ve 4 km’ye göre daha düşük olduğu ve eğrinin farklı hareket ettiği gözlenmiştir.

Şekil 2.8’de Türkiye üzerinde yapılan FAR analizi incelendiği zaman; FAR değerinin kar yağışının başladığı Ekim, Kasım aylarında ve erimelerin yoğunlaştığı Mart ve Nisan aylarında arttığı görülecektir. FAR değeri en düşük değerine ise POD’un en başarılı olduğu Ocak ayında 3 farklı çözünürlük için de geçerli olacak şekilde ulaşmaktadır. Çözünürlük kıyaslaması yapıldığında ise benzer eğrilerin çizildiği görülmekte olup erime döneminde kar yakalamadaki hata oranının 24 km çözünürlükteki IMS ürünü için Mart ve Nisan aylarında daha fazla olduğu görülmüştür. Erimelerin başlamasıyla Mayıs ve Haziran ayında arazi üzerinde saptanacak kar miktarının düşmesi nedeniyle hata oranı artmakta ve FAR değeri 1’e yaklaşmaktadır. FAR eğrisinin, karlı gün sayısının aylara göre değişiminin gösterildiği Şekil 2.6 ile ters orantılı olduğu görülecektir.

4 ve 24 km çözünürlüğündeki verilerin analizinde Haziran ayında FAR sonucu 1 olmaktadır. Denklem 2.2’ye bakıldığında uydu, yerdeki karı göremediğinden A değeri sıfır olmakta ve B/B oranı 1 sonucunu vermektedir. Erime dönemi sonundaki aylarda yüksek dağlık kesimlerde, kar gözlem istasyonları yerde kar olduğunu gözlemekte ancak uydunun mekânsal çözünürlüğünün kaba olması neticesinde uydu, kar varlığını saptayamayıp FAR değerinin yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

Şekil 2.9’daki HR grafiğine bakıldığında, bu değer bütün çözünürlükler için 0.7’nin altına düşmediği ancak 24 km çözünürlükteki verinin diğerlerine göre nispeten daha başarısız olduğu, 1 ve 4 km’nin yine baş başa gidecek şekilde eğilim gösterdiği görülmektedir. Ekim ve Haziran gibi aylarda hem istasyonda hem de uydu görüntüsünde kar olmadığı için Denklem 2.3’teki HR formülünde A, B ve C değerlerinin 0 olması sebebiyle D/D oranı neticesinde HR 1 olmaktadır.

Karlı gün sayısı grafiği ile POD grafiğinin eğrileri oldukça benzerlik gösterdiğinden, bu iki grafik arasında şöyle bir ilişki kurulabilmektedir; karın yüzeyde daha fazla kaldığı aylarda POD değerinin yüksek olduğu, karlı gün sayısının ise düştüğü aylarda POD değerinin doğru orantılı olacak şekilde azalması çıkarımına varılabilir. Aynı şekilde FAR grafiği ile karlı gün sayısı incelendiğinde, iki grafik arasında ters orantı olmakta, böylelikle ay içerisinde yerde kar olmadığında veya az olduğunda FAR yüksek, ancak yerde kar bulunduğunda ise FAR düşük çıkmakta olduğu sonucuna varılabilir.

1 ve 4 km çözünürlüğündeki IMS uydu görüntüleri kullanılarak Türkiye üzerinde yapılan çalışmada 4 km’nin 1 km’ye çok yakın sonuçlar verdiği değerlendirildiğinde, 1 km görüntülerin 4 km görüntülere göre 15 kat daha fazla yer ve dolayısıyla işlem

zamanı aldığından, bundan sonra yapılacak Bölge analizlerinde 4 km görüntülerin kullanılmasının yeterli olacağı düşünüldüğünden sonraki aşamada 4 km çözünürlük kullanılarak Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinde analiz edilen 1 Ekim - 30 Haziran periyodunda POD, FAR, HR ve SD çalışması yapılmış olup sonuçlar aşağıdaki tablo ve grafiklerde verilmiştir.

Tablo 2.14. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin POD sonuçları

Aylar	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	Ege	Marmara	Akdeniz	Güneydoğu Anadolu	Türkiye
Ekim	0.00	0.17	0.38	0.00	0.00	0.00	-	0.10
Kasım	0.61	0.65	0.68	0.16	0.25	0.40	-	0.60
Aralık	0.79	0.80	0.84	0.72	0.60	0.80	0.20	0.79
Ocak	0.94	0.93	0.99	0.87	0.74	0.95	0.77	0.94
Şubat	0.81	0.67	0.94	0.64	0.64	0.88	0.57	0.84
Mart	0.75	0.53	0.91	0.59	0.59	0.70	0.00	0.78
Nisan	0.60	0.46	0.66	0.35	0.56	0.51	0.00	0.59
Mayıs	0.31	0.00	0.28	0.00	0.25	0.00	-	0.23
Haziran	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00

Tablo 2.15. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin FAR sonuçları

Aylar	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	Ege	Marmara	Akdeniz	Güneydoğu Anadolu	Türkiye
Ekim	1.00	0.98	0.96	1.00	1.00	1.00	-	0.99
Kasım	0.49	0.64	0.59	0.43	0.50	0.57	-	0.53
Aralık	0.32	0.32	0.27	0.31	0.20	0.35	0.00	0.30
Ocak	0.06	0.15	0.04	0.19	0.19	0.06	0.00	0.08
Şubat	0.14	0.19	0.06	0.25	0.12	0.17	0.00	0.14
Mart	0.20	0.15	0.16	0.28	0.07	0.27	-	0.20
Nisan	0.40	0.51	0.41	0.34	0.34	0.50	-	0.43
Mayıs	0.72	1.00	0.55	1.00	0.87	1.00	-	0.72
Haziran	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00

Tablo 2.16. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin HR sonuçları

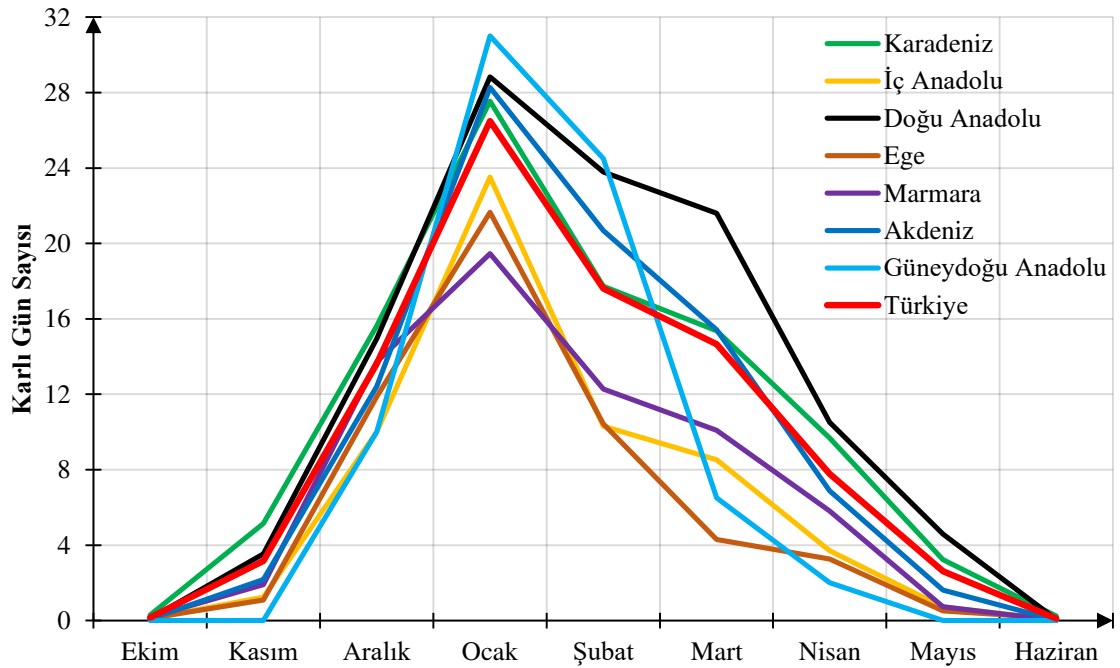
Aylar	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	Ege	Marmara	Akdeniz	Güneydoğu Anadolu	Türkiye
Ekim	0.94	0.97	0.97	0.97	0.99	0.95	1.00	0.96
Kasım	0.83	0.94	0.85	0.97	0.94	0.92	1.00	0.89
Aralık	0.71	0.82	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.76
Ocak	0.89	0.82	0.95	0.77	0.73	0.90	0.77	0.88
Şubat	0.80	0.82	0.90	0.79	0.81	0.78	0.63	0.81
Mart	0.78	0.85	0.81	0.89	0.86	0.73	0.79	0.80
Nisan	0.74	0.87	0.71	0.91	0.91	0.76	0.93	0.77
Mayıs	0.84	0.95	0.84	0.96	0.94	0.90	1.00	0.88
Haziran	0.97	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99

Tablo 2.17. 4 km çözünürlükteki IMS görüntülerinin SD (Gün) sonuçları

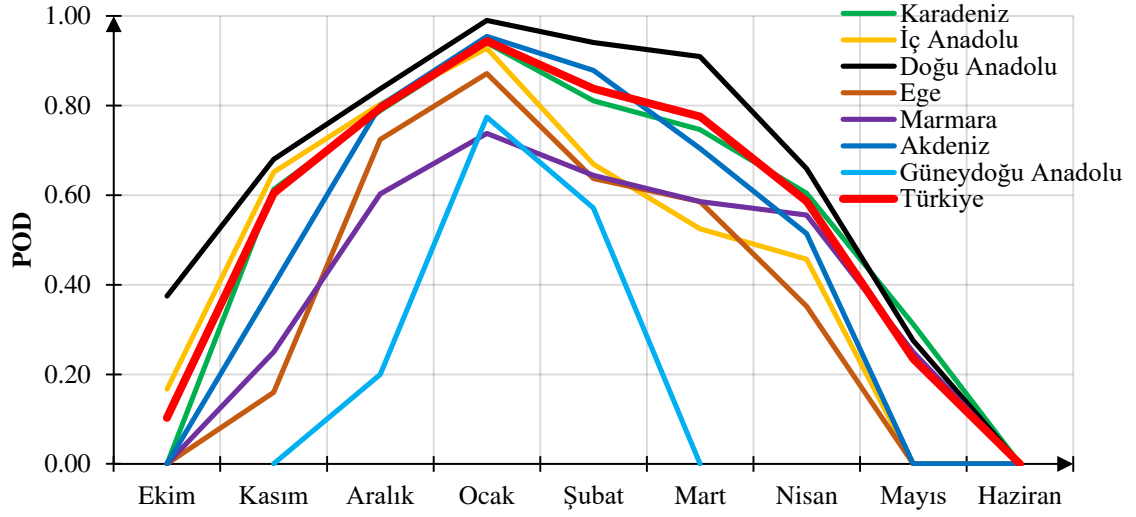
Aylar	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	Ege	Marmara	Akdeniz	Güneydoğu Anadolu	Türkiye
Ekim	0.29	0.11	0.10	0.13	0.18	0.09	0.00	0.16
Kasım	5.15	1.24	3.53	1.09	1.91	2.18	0.00	3.16
Aralık	15.63	10.00	14.95	11.87	13.73	12.41	10.00	13.62
Ocak	27.54	23.52	28.84	21.65	19.45	28.26	31.00	26.49
Şubat	17.73	10.31	23.78	10.43	12.27	20.68	24.50	17.61
Mart	15.36	8.52	21.59	4.30	10.09	15.41	6.50	14.66
Nisan	9.69	3.70	10.52	3.26	5.82	6.88	2.00	7.77
Mayıs	3.22	0.72	4.58	0.52	0.73	1.62	0.00	2.61
Haziran	0.25	0.06	0.05	0.13	0.00	0.03	0.00	0.11

Tablo 2.18. Türkiye ve bölgelerinin genel sonuçları

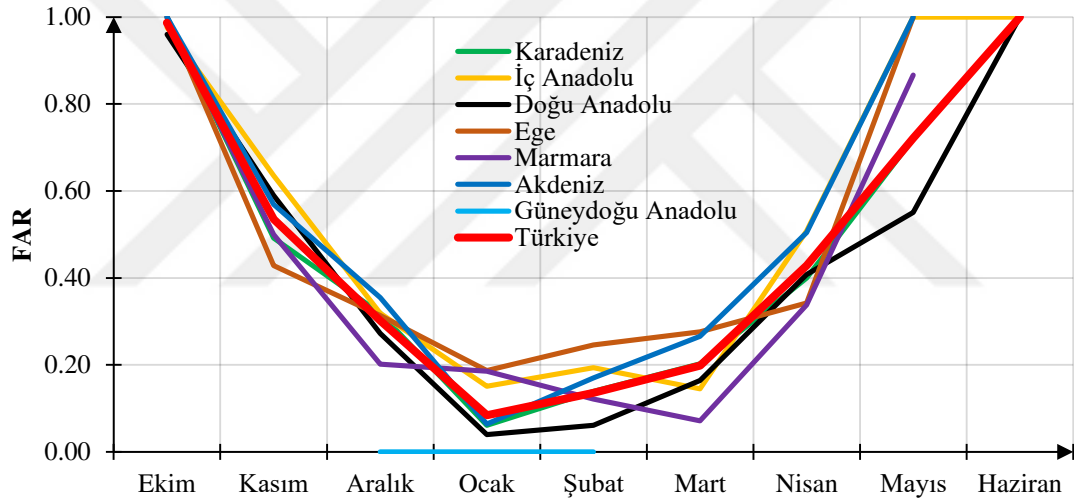
Bölgeler ve Türkiye	POD	FAR	HR	SD (Gün)
Karadeniz	0.78	0.25	0.83	86.1
İç Anadolu	0.75	0.25	0.89	58.2
Doğu Anadolu	0.87	0.19	0.87	107.9
Ege	0.68	0.38	0.86	53.4
Marmara	0.63	0.17	0.88	64.2
Akdeniz	0.80	0.24	0.85	87.6
Güneydoğu Anadolu	0.54	0.00	0.88	74.0
Türkiye	0.80	0.23	0.86	86.0



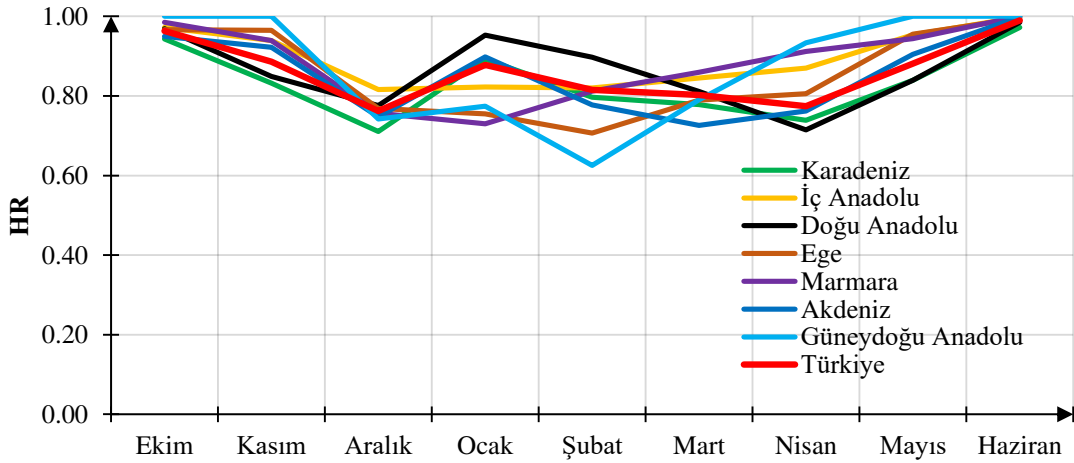
Şekil 2.10. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık SD değişimleri



Şekil 2.11. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık POD değişimleri



Şekil 2.12. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık FAR değişimleri



Şekil 2.13. 4 Km çözünürlükteki IMS verilerinin bölgelerdeki aylık HR değişimleri

Genel olarak, bölgeler de Türkiye gibi POD ve FAR dağılımı göstermiş; Ekim, Kasım, Mayıs ve Haziran aylarında ay içerisindeki karlı gün sayısına bağlı olarak POD değeri düşük olmaktadırken FAR yüksek çıkmakta; Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ise POD değeri artıp FAR değeri azalmaktadır. Alanda kar bulunmaması Ekim, Kasım, Mayıs ve Haziran aylarında POD değerini düşürmekte ancak, IMS ürününün yerde kar olmadığını da doğru saptadığı HR oranına bakıldığında bu aylarda 1'e yakın sonuç çıkmaktadır. Bu durumda IMS görüntülerinin başarısının aslında yüksek olduğu görülmektedir.

4 km çözünürlüğündeki IMS uydu kar görüntüsü kullanılarak 2019 su yılında analiz edilen 1 Ekim – 30 Haziran periyodu için Türkiye genelindeki POD oranının 0.80, FAR oranının 0.23, HR oranının 0.86 olduğu ve karlı gün sayısının 86 olduğu saptanmaktadır. Bölgeler arasında, en yüksek POD miktarını yüksekliği en fazla olan, kış döneminde yağışın genellikle kar şeklinde gerçekleştiği ve neredeyse yılın yarısında karın yüzeyde kaldığı; 0.87 ile Doğu Anadolu bölgesi olmaktadır. Yine aynı bölgede FAR değerinin 0.19 olduğu bulunmuştur. Ortalama yükseklik arttıkça karın yerde kalma süresi sıcaklığın daha düşük olmasına bağlı olarak artması nedeniyle POD başarısında Doğu Anadolu'yu takip eden diğer bölgeler sırasıyla, Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu olmuştur. Bu bölgelerin FAR oranı ise sırasıyla 0.24, 0.25 ve 0.25 olarak bulunmuştur.

Ülkemizin kıyı kesiminde yer alan ve ortalama yüksekliğin diğer bölgelere göre düşük olduğu Ege ve Marmara bölgelerinde POD değeri sırasıyla 0.68 ve 0.63 olarak hesaplanmıştır. Bu bölgelerde yağışın kıyı tarafında yağmur şeklinde gerçekleşmesi nedeniyle POD değeri düşmekte ve FAR değerleri yükselmektedir. HR ise 0.75 değerinin üzerinde bulunmaktadır.

Marmara'da 11 ve Güneydoğu Anadolu da ise toplamda 2 kar gözlem istasyonu kullanılarak bu analizler gerçekleştirilmiş, ihtimal tablosu kullanılarak elde edilen POD ve FAR sonuçlarındaki başarıların genel olarak diğer bölgelere göre ayırık hareketler gösterdiği görülmüştür. Kısaca, bu bölgelerde bulunan istasyon sayılarının yetersiz olması sebebiyle bölgeyi iyi temsil edemediği görülmüş, POD değerinin düşük, FAR değerinin kimi aylarda yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

Bölgelerdeki aylık POD sonuçlarının görüldüğü Tablo 2.14'e bakıldığında, Güneydoğu Anadolu'nun Ekim, Kasım, Mayıs ve Haziran ayları ile birlikte Marmara'nın Haziran ayının sonuçları “-”olarak gösterilmiştir. Bunu sebebi, Denklem 2.1'de A ve C değerinin bu aylarda “0” olması dolayısıyla 0/0 sonucunun tanımsız çıkmasıdır. Yine aynı

şekilde Tablo 2.15'te Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinin Haziran ayı ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin ise Ekim, Kasım, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında FAR değeri Denklem 2.2'deki A ve B'nin "0" olması hasebiyle "-olarak gösterilmiştir.

Arazi kullanımı bilgisi de POD ve FAR değerini etkilemekte olup, özellikle yoğun ormanlık alanların bulunması yüzeydeki karı engelleme potansiyeli doğurmakta, uydu sensörlerinin karı saptamasında karışıklığa neden olduğu başka çalışmalarda da ortaya konulmuştur (Hall vd., 1998; Chen vd., 2012). Şekil 2.5'te verilen arazi kullanımı haritasında; orman örtüsünün kıyı bölgelerinde daha yoğun olarak bulunduğu, IMS uydusunun karı saptama başarısında olumsuz etkisinin bulunacağı söylenebilir. Görece olarak en düşük POD ve en yüksek FAR değerine Güneydoğu Anadolu bölgesinde ulaşılmış olup, orman örtüsünün en seyrek olduğu bölgemizdir. Bunun sebebi, ülkedeki en yüksek sıcaklıkların bu bölgede ölçülmesi, en düşük nem oranına sahip bölgemiz olması yanı sıra kullanılan istasyonların az olması ve bu istasyonların şehir merkezlerinde bulunması dolayısıyla çevre istasyonlara göre kar derinliği kaydı gerçeği yansıtmamaktadır (ısı adası etkisiyle). Özetle, uydunun karı saptamasında yüzeydeki kar miktarının yüksek olması, bitki örtüsünün engellemelerine maruz kalmama, eğimin düşük olması ve yükseltinin fazla olması IMS ürününün başarı oranını artırırken, hata oranını düşürmektedir.

3 farklı çözünürlükteki IMS verilerinin doğrulamasının yapılmasının ardından bir sonraki bölümde, 1, 4 ve 24 km çözünürlükteki verilerin kapsadığı alana göre başarıları değerlendirilmiştir.

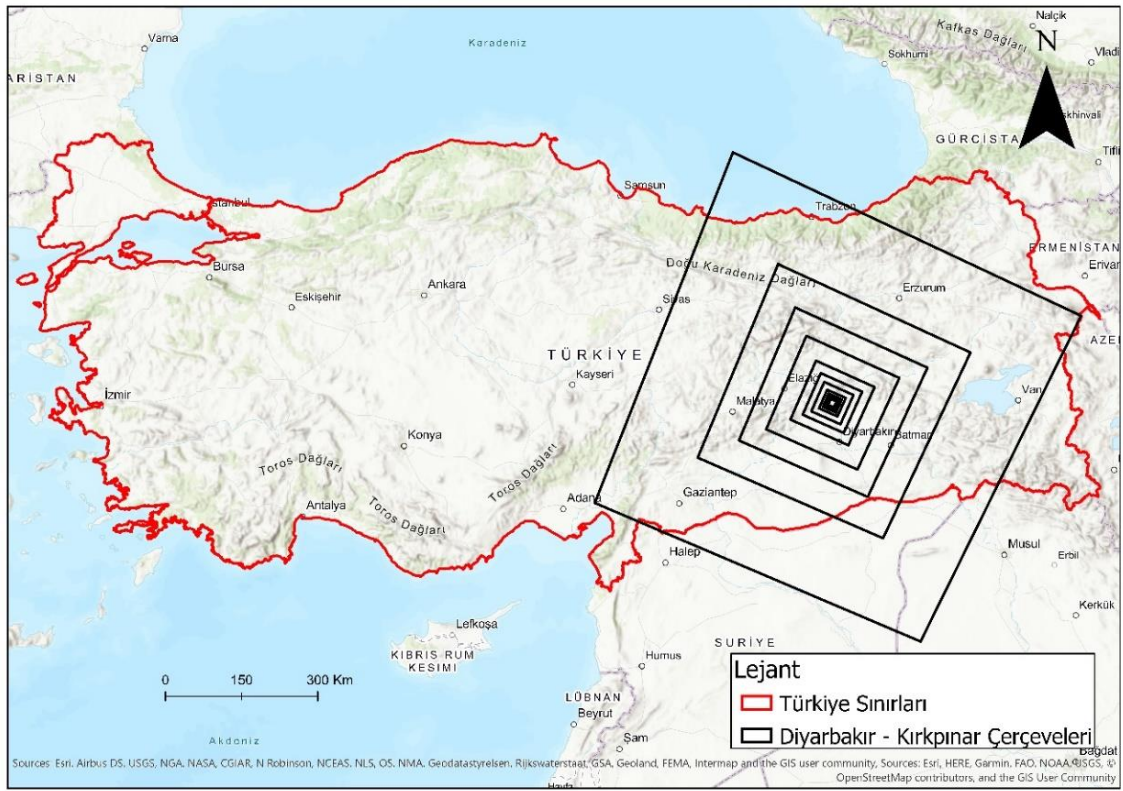
2.5. Farklı Çözünürlükteki IMS Görüntülerinin Kıyası

Farklı çözünürlükteki verilerin ne derece büyük alanlarda daha etkili kullanılacağına öğrenilmesi amacıyla Türkiye üzerinde Diyarbakır-Kırkpınar, Samsun-Kunduz Dağı ve Sivas-Zara bölgeleri olmak üzere 3 nokta seçilmiştir. Kar oranının çok yüksek olduğu Doğu Anadolu ve kar oranının çok düşük olduğu Ege ve Marmara bölgelerinde kıyaslamaların verimli olması açısından nokta seçilmemiştir.

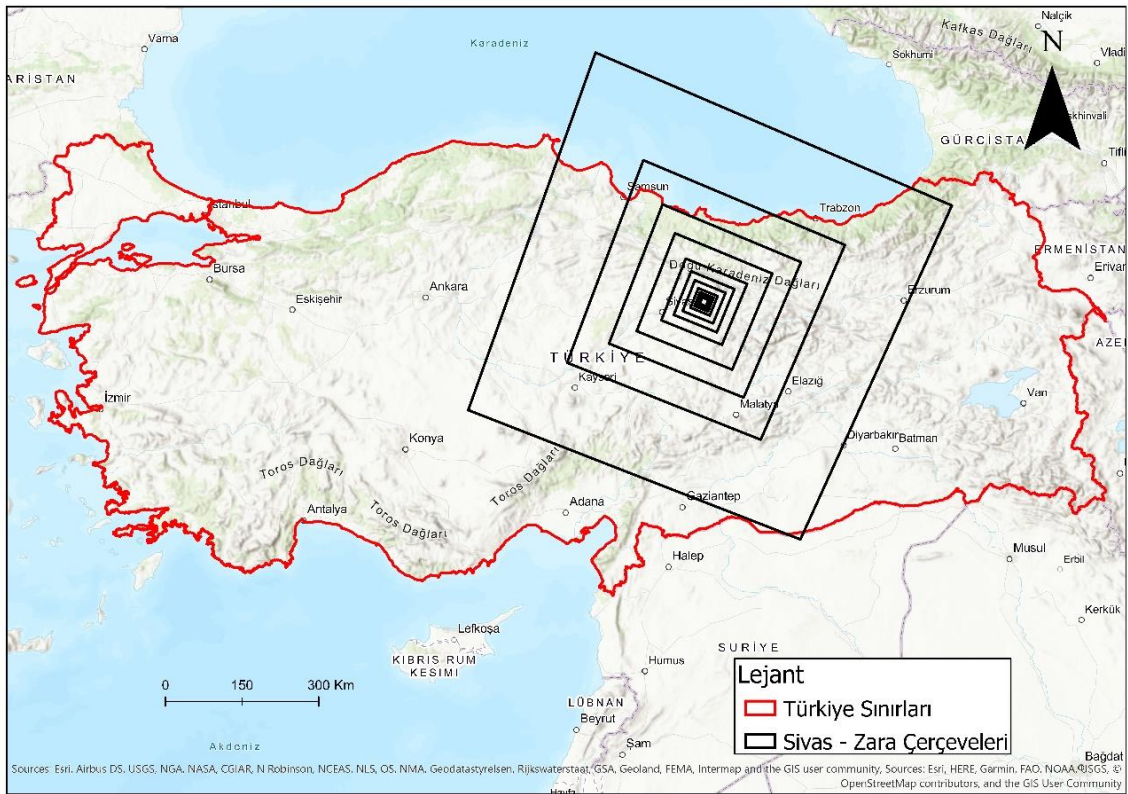
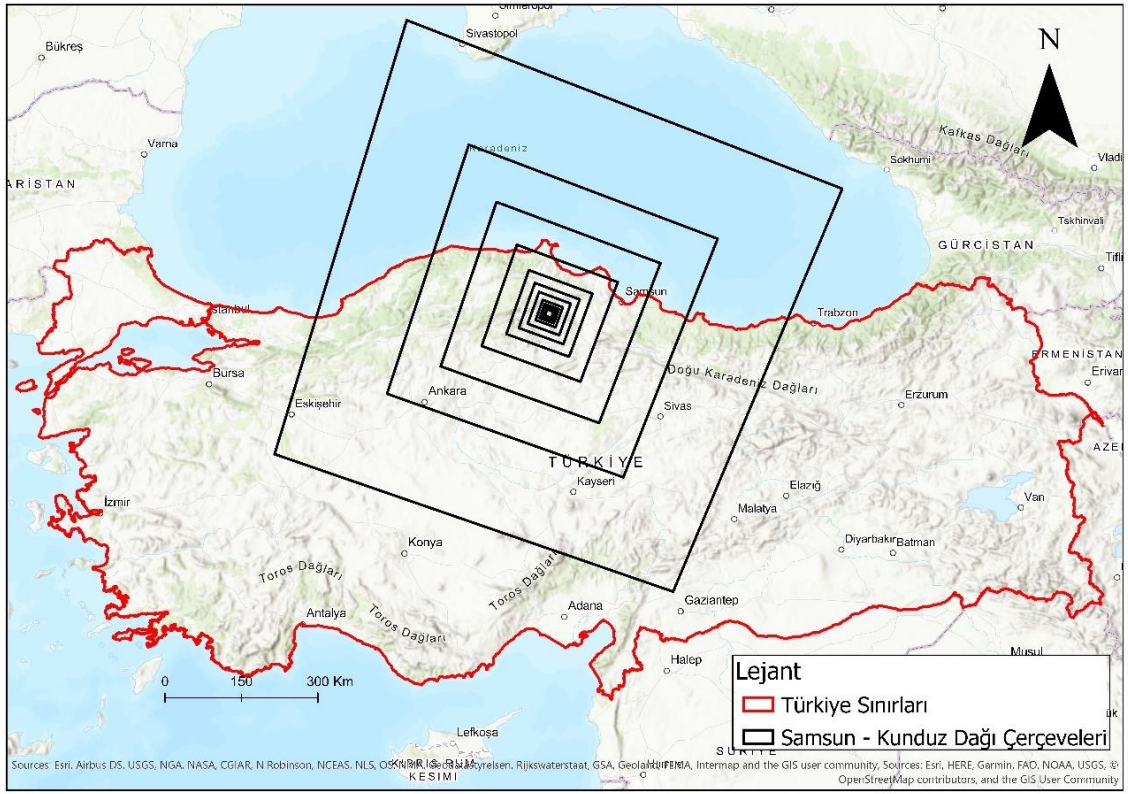
Analizde kullanılan bu noktaları içine alacak şekilde kare biçiminde alan pencereleri oluşturulmuştur. (Şekil 2.14-16) Bu pencerelerin içerdiği alanlar şu şekildedir; 100 km², 250 km², 500 km², 1,000 km², 2,500 km², 5,000 km², 10,000 km², 25,000 km², 50,000 km², 100,000 km² ve 250,000 km². Bu çerçeveler kullanılarak 1, 4 ve 24 km'lik IMS verileri, erime döneminin başladığı ve yerdeki kar oranının Türkiye

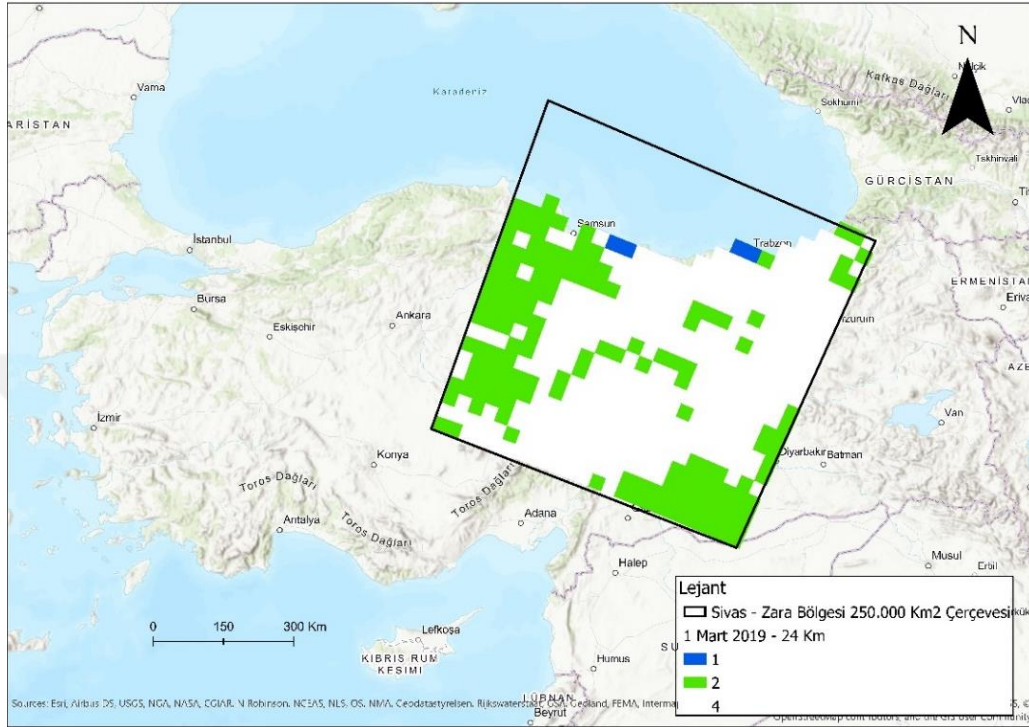
genelinde hemen hemen eşit dağıldığı 1 Mart 2019 günü seçilmiş, CBS’de kestirilip karşılaştırma yapılmıştır.

1 Mart 2019 gününün seçilmesinde kar dağılımı dikkate alınmıştır. Aralık ve Ocak ayları gibi kar yağışının yoğun olduğu, dolayısıyla kar kaplı alan oranı yüksek olduğu için seçilmemiş, tam tersi olarak düşünüldüğünde Ekim, Mayıs ve Haziran gibi kar yağışının az olduğu ve kar kaplı alanın çok düşük olduğu aylar seçilmemiş aksine erime dönemini içine kapsayan hemen hemen eşit bir şekilde dağılmış bir kar örtüsü görüntüsü içeren bir gün seçilerek kıyaslama yapılmıştır.

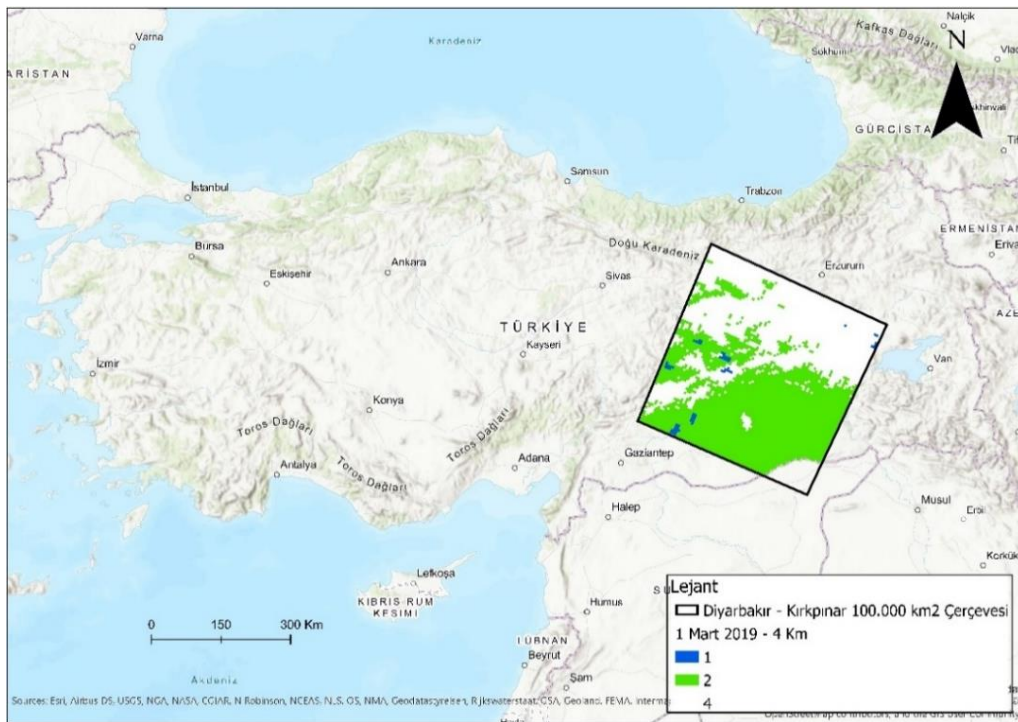


Şekil 2.14. Diyarbakir-Kirpınar Bölgesi Çerçevesi

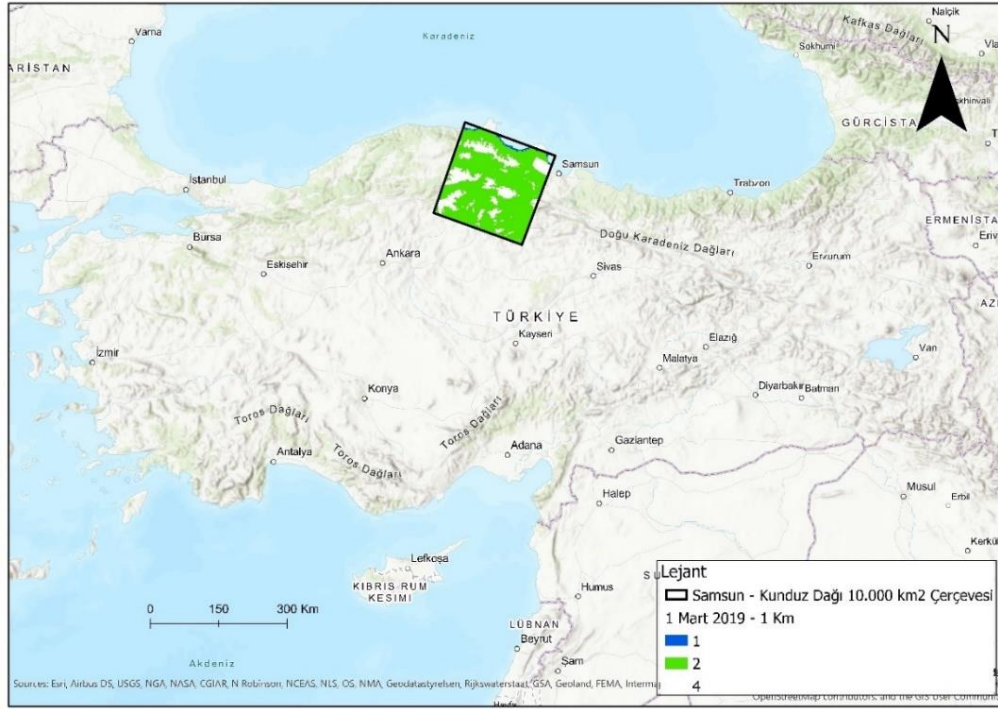




Şekil 2.17. Sivas-Zara, 24 Km Çözünürlükteki 250,000 km² Penceresi



Şekil 2.18. Diyarbakır-Kırkpınar, 4 Km Çözünürlükteki 100,000 km² Penceresi



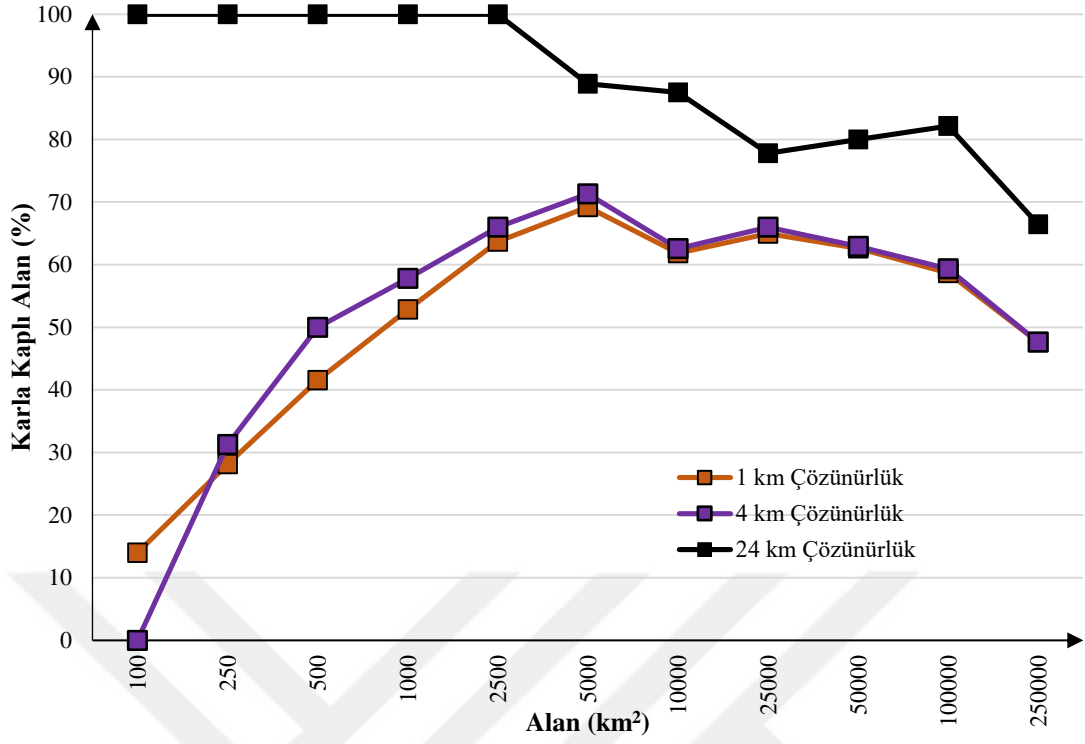
Şekil 2.19. Samsun-Kunduz Dağı, 1 Km Çözünürlük, 10,000 km² Penceresi

Yukarıdaki örnek teşkil eden görüntüler, her bir çerçeve için ArcMap platformunda Extract by Mask aracı kullanılarak kestirilmiş, ardından pencere içerisindeki kar, arazi ve su/göl alanları tablo haline getirilmiştir. Bunun sonucunda ise özet oluşturması amacıyla öncelikle her penceredeki KKA hesaplanıp, sonrasında 1 km, 4 km ve 24 km çözünürlükteki verilerin kıyaslanabilmesi için kar kaplı alan yüzdelерinin farkının mutlak değeri bulunmuştur (Denklem 2.1). Şekil 2.20-25'te bölgelerdeki analizler görülmektedir.

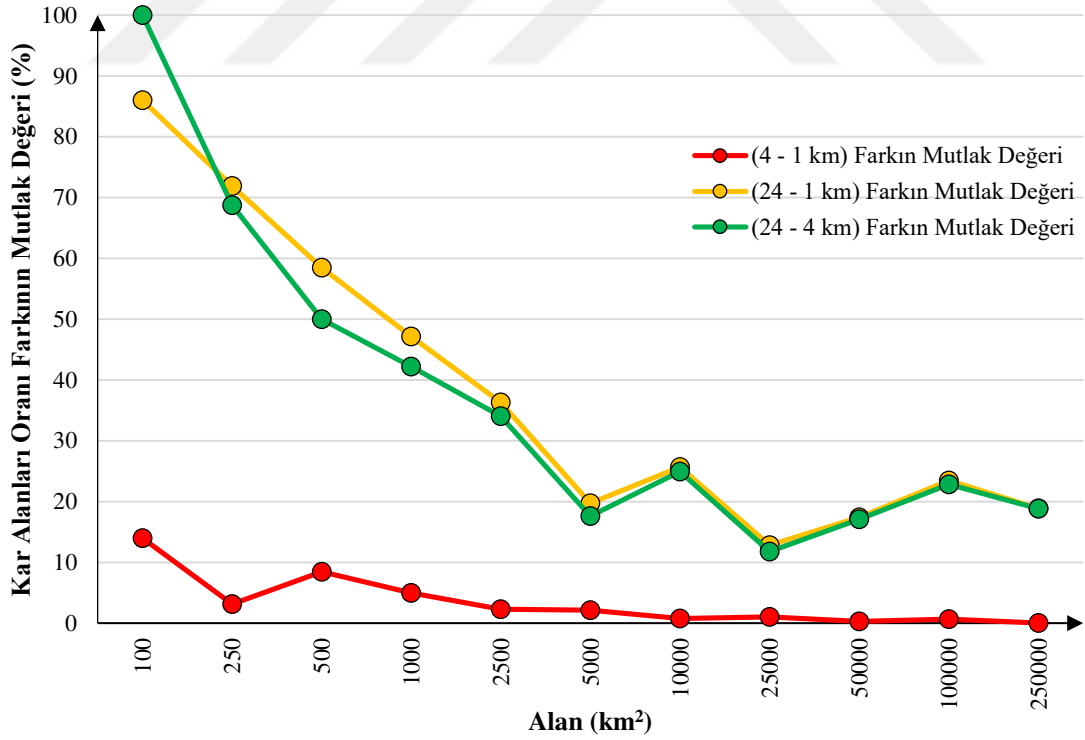
$$\begin{aligned}
 M_{1 \text{ km}, 4 \text{ km}} &= |S_{1 \text{ km}} - S_{4 \text{ km}}| \\
 M_{4 \text{ km}, 24 \text{ km}} &= |S_{4 \text{ km}} - S_{24 \text{ km}}| \\
 M_{1 \text{ km}, 24 \text{ km}} &= |S_{1 \text{ km}} - S_{24 \text{ km}}|
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

M: Aynı çerçeve içerisinde, farklı çözünürlükteki IMS görüntülerinin 1 Mart 2019 günündeki kar kaplı alan oranları farkının mutlak değeri (%)

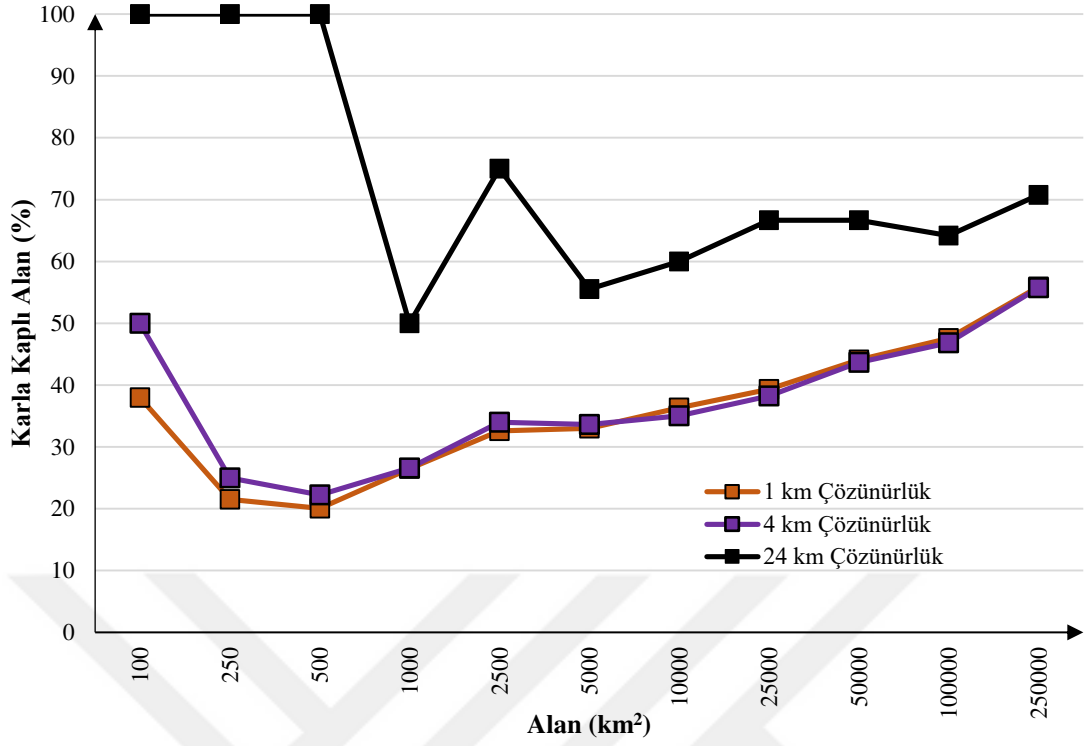
S: Belirli bir çerçeve özelinde, 1 Mart 2019 gününde kullanılan çözünürlükteki kar kaplı alan oranı (%)



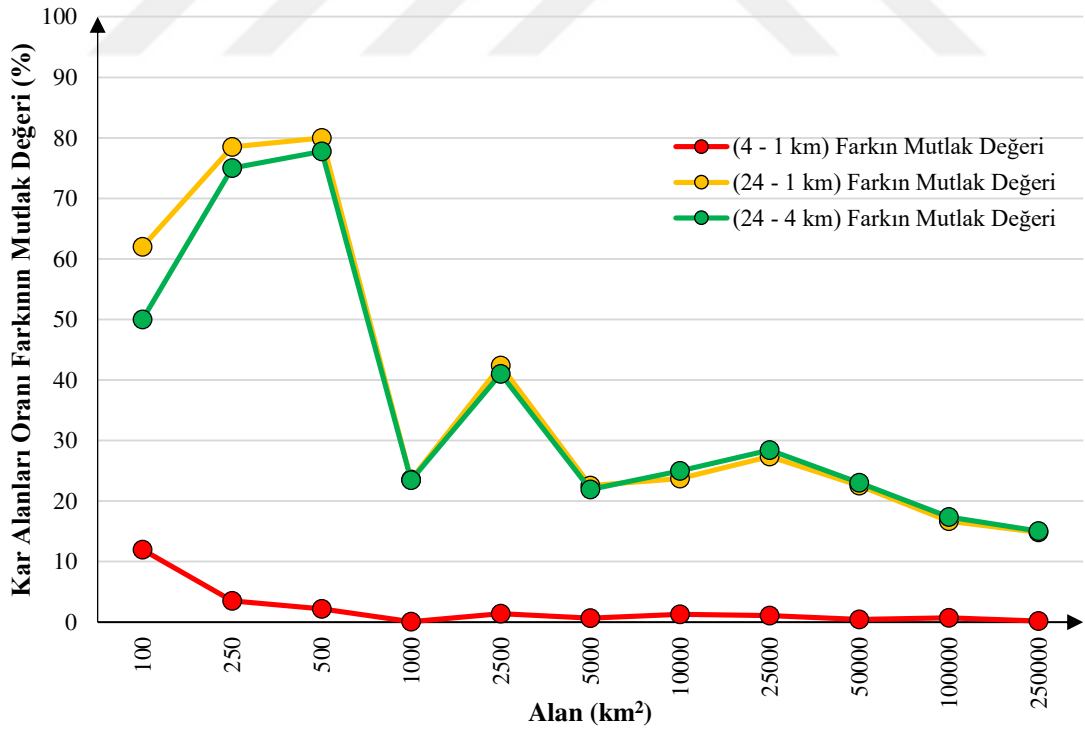
Şekil 2.20. Sivas-Zara, 1 Mart Günü, farklı pencerede KKA değişimi



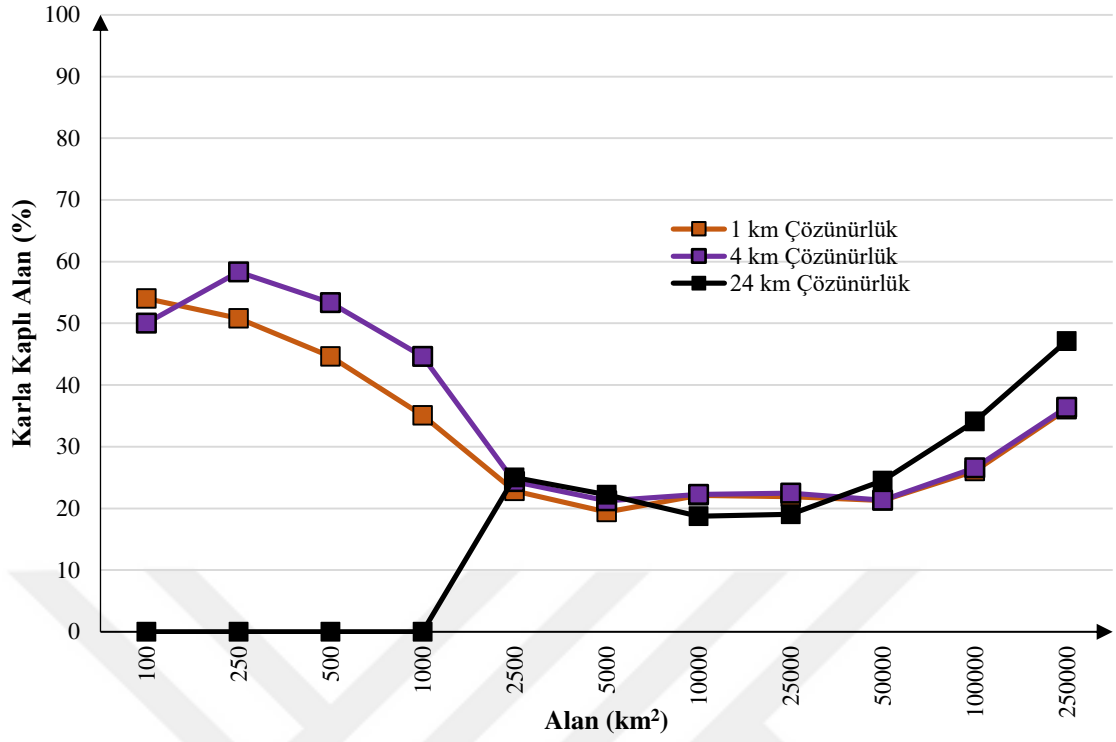
Şekil 2.21. Sivas-Zara, 1 Mart Günü, 2 Farklı Çözünürlüğün Kıyası



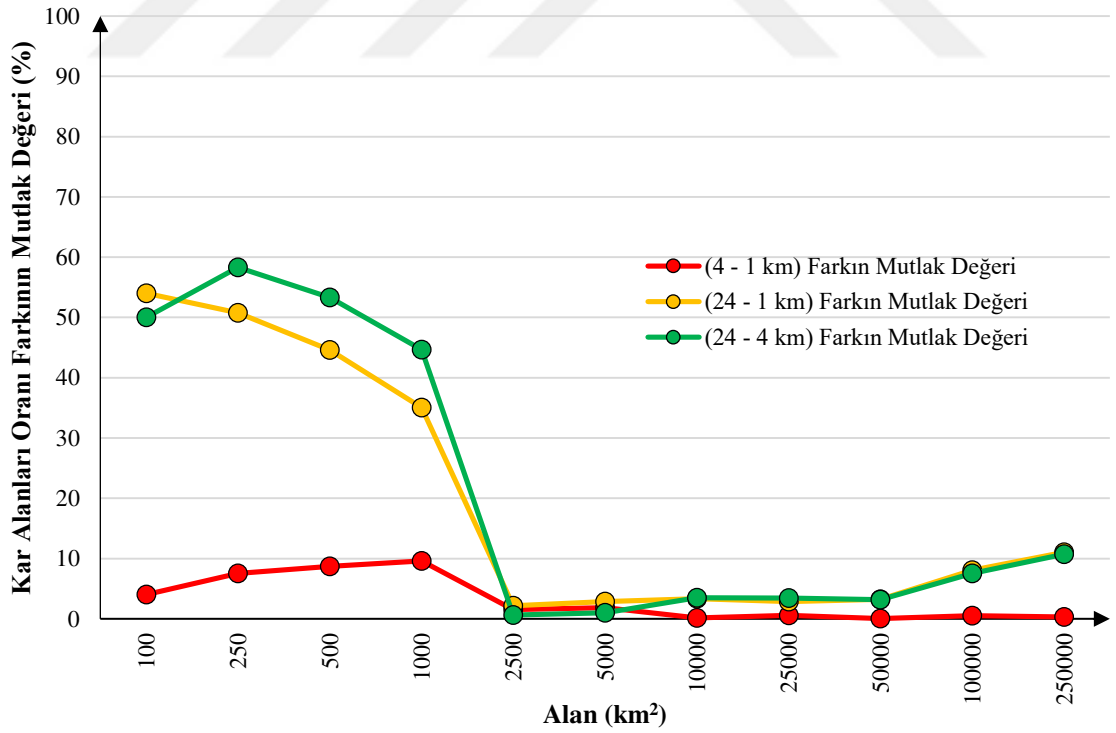
Şekil 2.22. Diyarbakır-Kırkpınar, 1 Mart Günü, farklı pencerede KKA değişimi



Şekil 2.23. Diyarbakır-Kırkpınar, 1 Mart Günü, 2 Farklı Çözünürlüğün Kıyası



Şekil 2.24. Samsun-Kunduz Dağı, 1 Mart Günü, farklı pencerede KKA değişimi



Şekil 2.25. Samsun-Kunduz Dağı, 1 Mart Günü, 2 Farklı Çözünürlüğün Kıyası

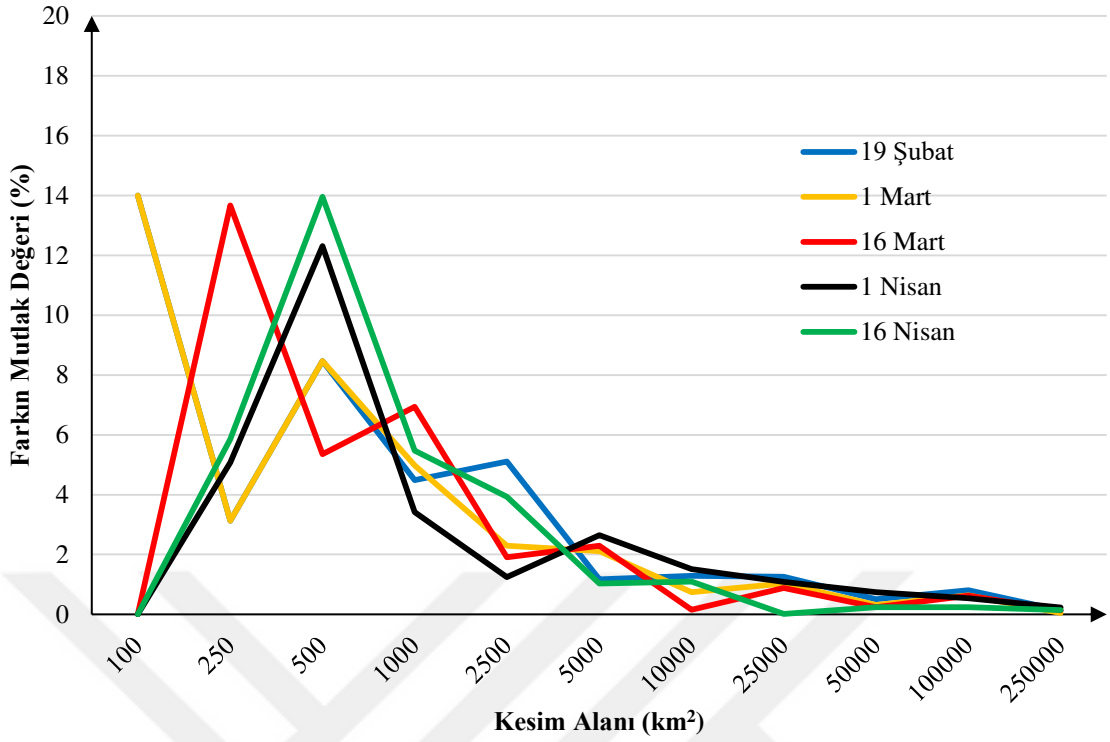
Yukarıdaki eğriler incelendiğinde 24 km çözünürlüğündeki IMS uydu görüntüsünün 1 ve 4 km'ye göre ayırık hareket ettiği anlaşılmaktadır. 250,000 km² alana 3 bölge için bakıldığında KKA değeri farkının %20'ye gerilediği görülmekte ve sonuç olarak şu çıkarım yapılabilir; alan arttıkça 24 km'lik verinin uyumu 1 ve 4 km'ye yaklaşmaktadır.

Şekil 2.21, Şekil 2.23 ve Şekil 2.25'e bakıldığında 1 ve 4 km çözünürlükteki verilerin baş başa hareket ettiği ve özellikle de 2,500 km² alan ve üzeri için mutlak değer farkının %4 değerini aşmadığı görülmektedir. 1,000 km²'den küçük alanlar için 1 km ve daha yüksek çözünürlükteki veriler analizlerde tercih edilmesi oluşabilecek hataların minimize edilmesini sağlayacağı aşîkârdır.

Sivas-Zara bölgesi referans alınarak yukarıdaki çalışma 19 Şubat, 1 Mart, 16 Mart, 1 Nisan, 16 Nisan olmak üzere erime dönemi içerisindeki ve başlamadan önceki 5 farklı gün seçilerek çalışma gerçekleştirilip değerlendirilmiş olup 24 km'nin yeniden farklı davranması sonucu hesaplara eklenmemiştir. Sadece, 1 ve 4 km'lik verilerin analizi Denklem 2.1'e göre farklı günle için yapılmıştır Tablo 2.19'da 1 ve 4 km çözünürlükteki IMS uydu kar görüntülerinin farklı günlerdeki farklı alanlar için içerdiği kar yüzdeleri farkı görülmekte ve bu tablonun grafik şeklinde ifadesi Şekil 2.26'da yer almaktadır.

Tablo 2.19. Sivas-Zara Bölgesinin 5 Farklı Gün İçin Analizi

Alan (km ²)	Kar Kaplı Alan Oranı Farkın Mutlak Değeri (4 km - 1 km)				
	19 Şubat	1 Mart	16 Mart	1 Nisan	16 Nisan
100	14.00	14.00	0.00	0.00	0.00
250	3.13	3.13	13.67	5.08	5.86
500	8.47	8.47	5.36	12.30	13.96
1,000	4.49	4.98	6.93	3.42	5.47
2,500	5.10	2.29	1.91	1.24	3.93
5,000	1.17	2.11	2.29	2.65	1.03
10,000	1.29	0.74	0.15	1.51	1.10
25,000	1.25	1.03	0.89	1.09	0.02
50,000	0.51	0.31	0.24	0.74	0.24
100,000	0.81	0.64	0.63	0.54	0.24
250,000	0.14	0.05	0.13	0.23	0.15



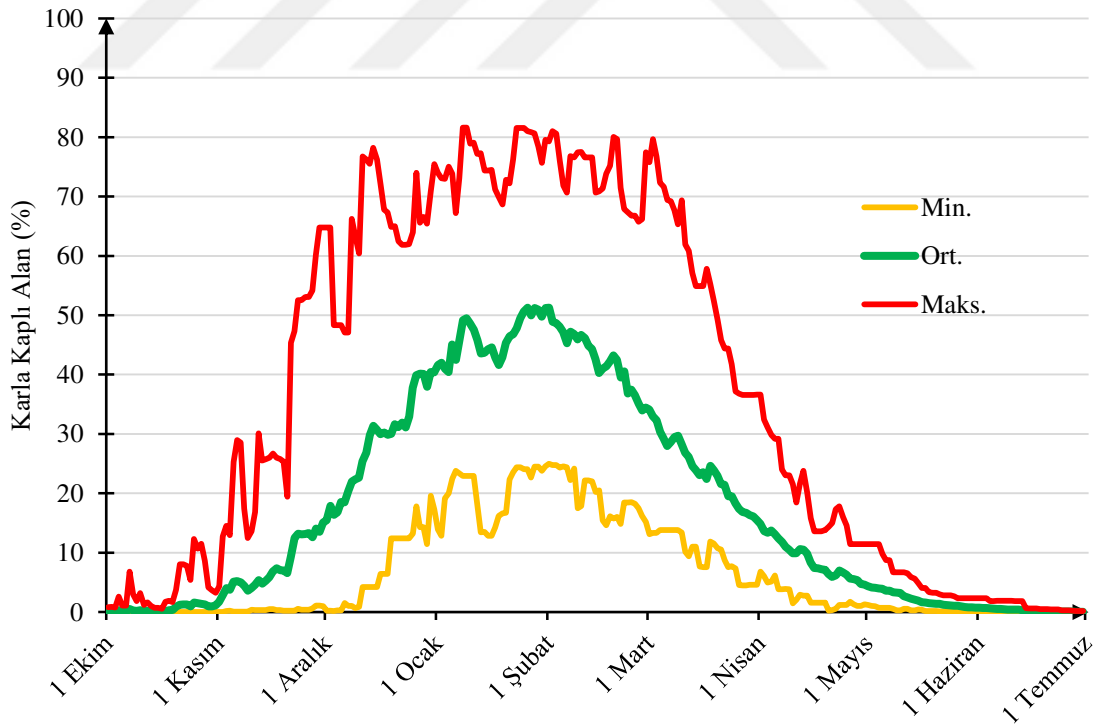
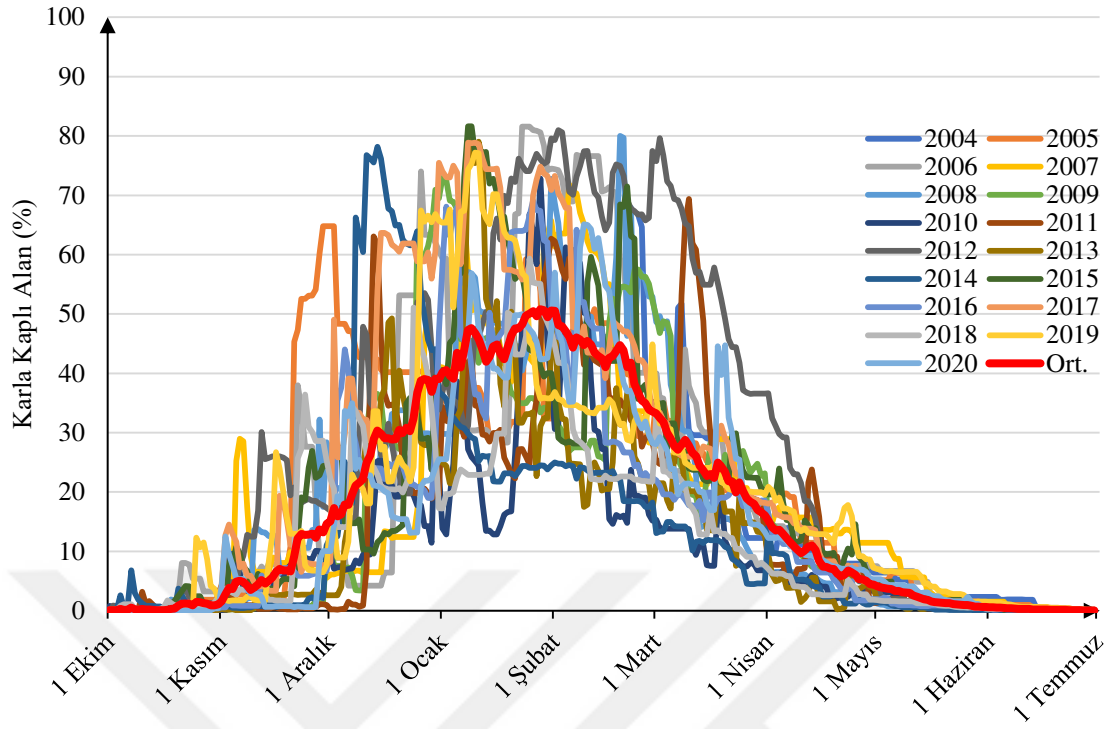
Şekil 2.26. Sivas-Zara Bölgesinin 5 Farklı Gün İçin Analizi

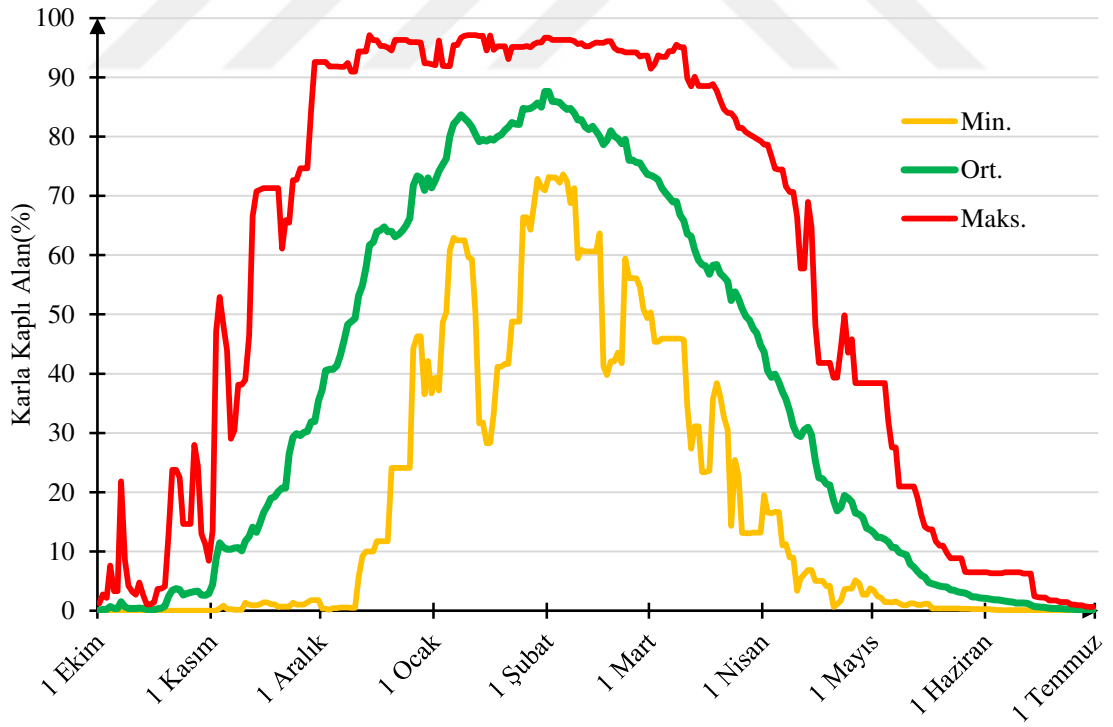
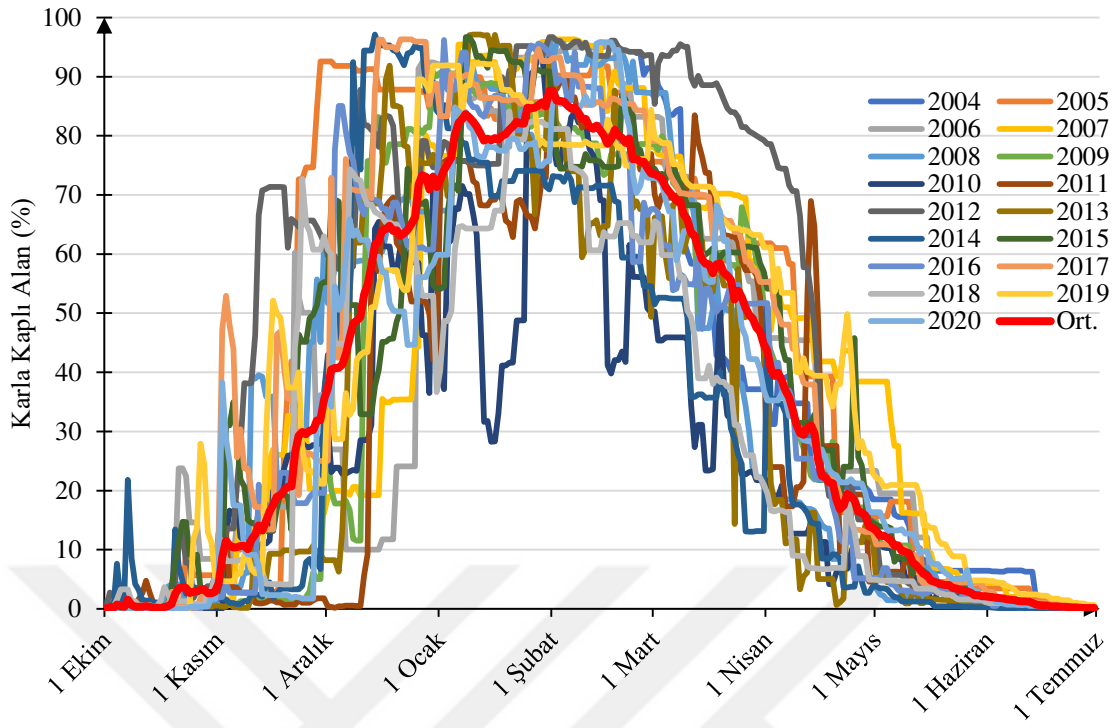
Şekil 2.26 incelendiği zaman 5 farklı günde de mutlak değer farkı %16'yı aşmamış, özellikle 2500 km² ve üzerindeki alanlar için farkın %5'in altında, 5000 km²'den sonrası için de farkın %2'nin altında seyrettiği görülmektedir.

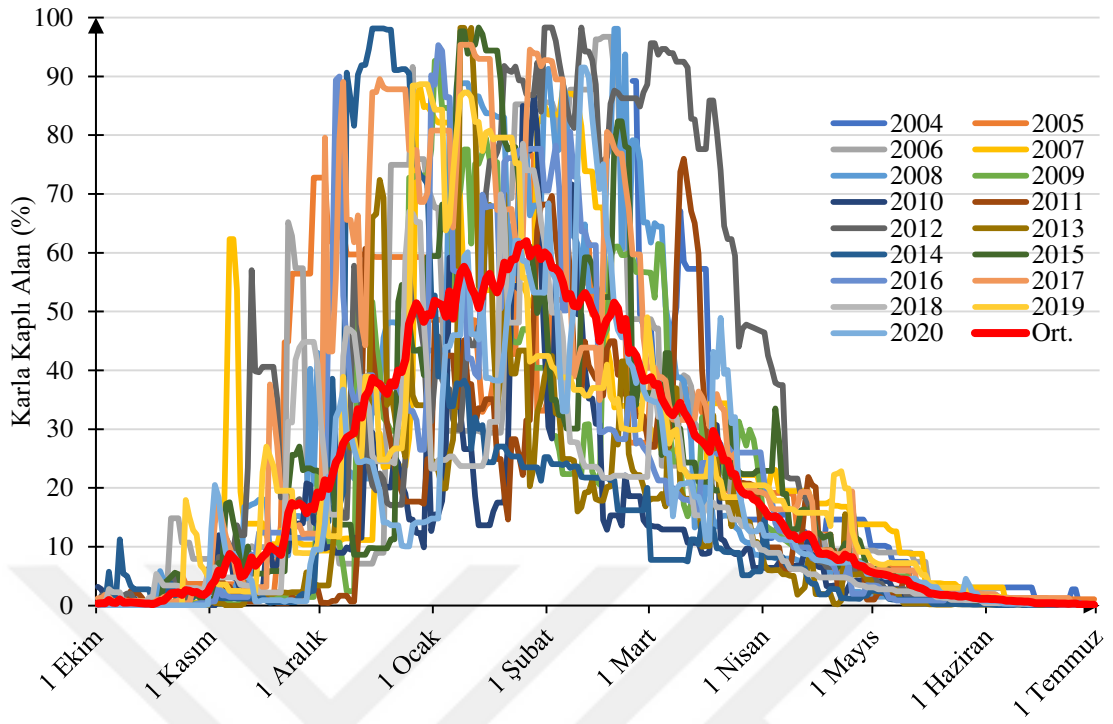
Türkiye ve bölgeleri için yapılacak KKA analizinde 4 km çözünürlüğündeki IMS uydu kar görüntülerinin kullanılmasının analiz ve değerlendirmeler için yeterli olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

2.6. Türkiye ve Bölgelerinin Kar Kaplı Alanları

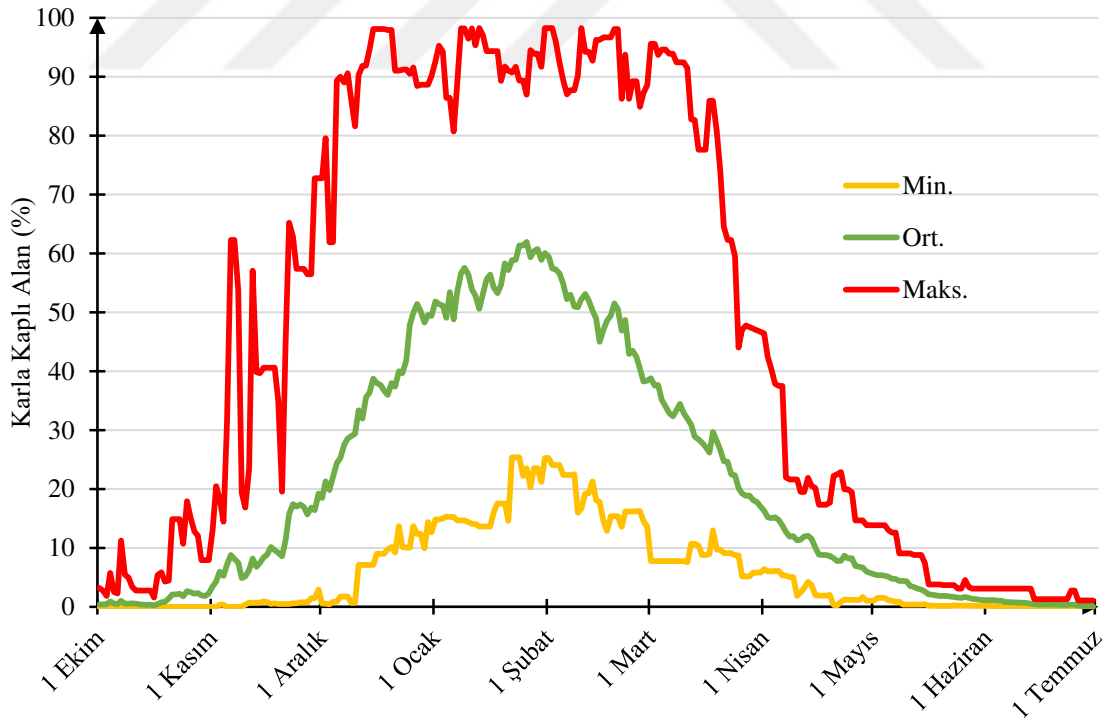
Bu çalışmada, 2004 – 2020 su yıllarında her su yılının başlangıcı olan 1 Ekim gününden 30 Haziran gününe kadarki verileri kapsayan IMS uydu kar görüntüleri ASCII ve Geotiff formatlarında <https://nsidc.org/> adresinden indirilmiştir. ArcGIS üzerinden Türkiye ve Bölgeleri kestirilerek KKA grafikleri, bunun yanı sıra her bir bölgenin ve ülkemizin analiz edilen yıllara göre çıkarılan minimum, maksimum ve ortalama kar oranını günlere göre gösteren grafikler elde edilmiş ve bu grafikler aşağıda Şekil 2.27'dan Şekil 2.42'e kadar gösterilmektedir.



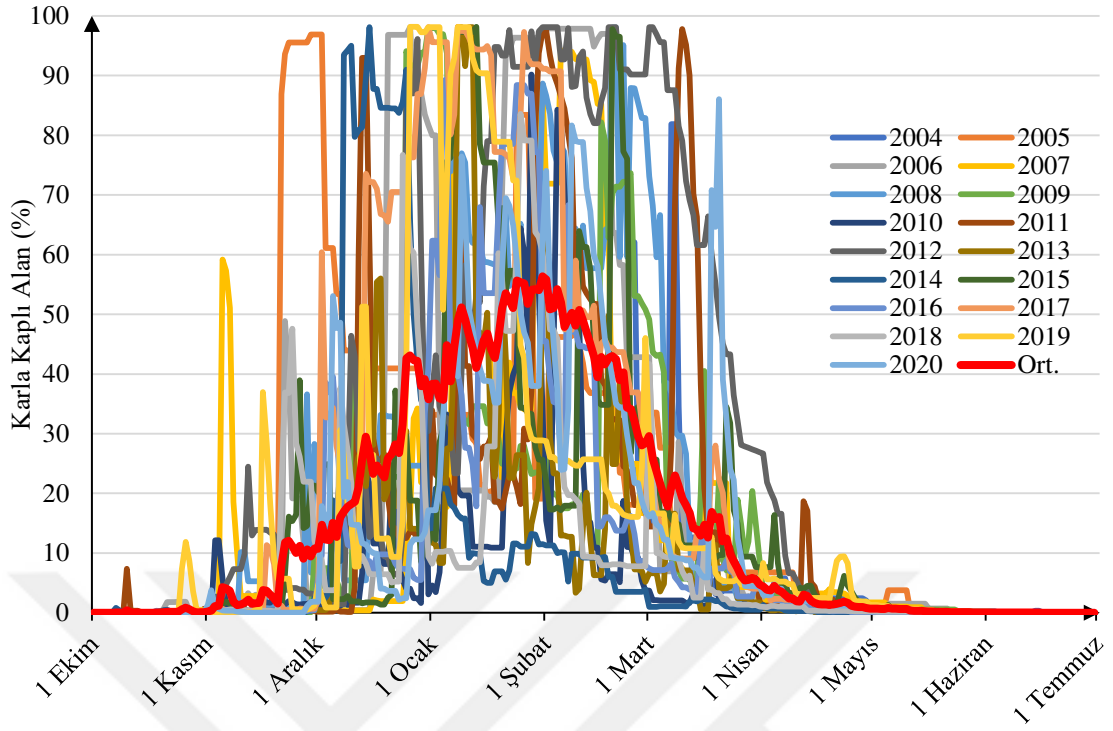




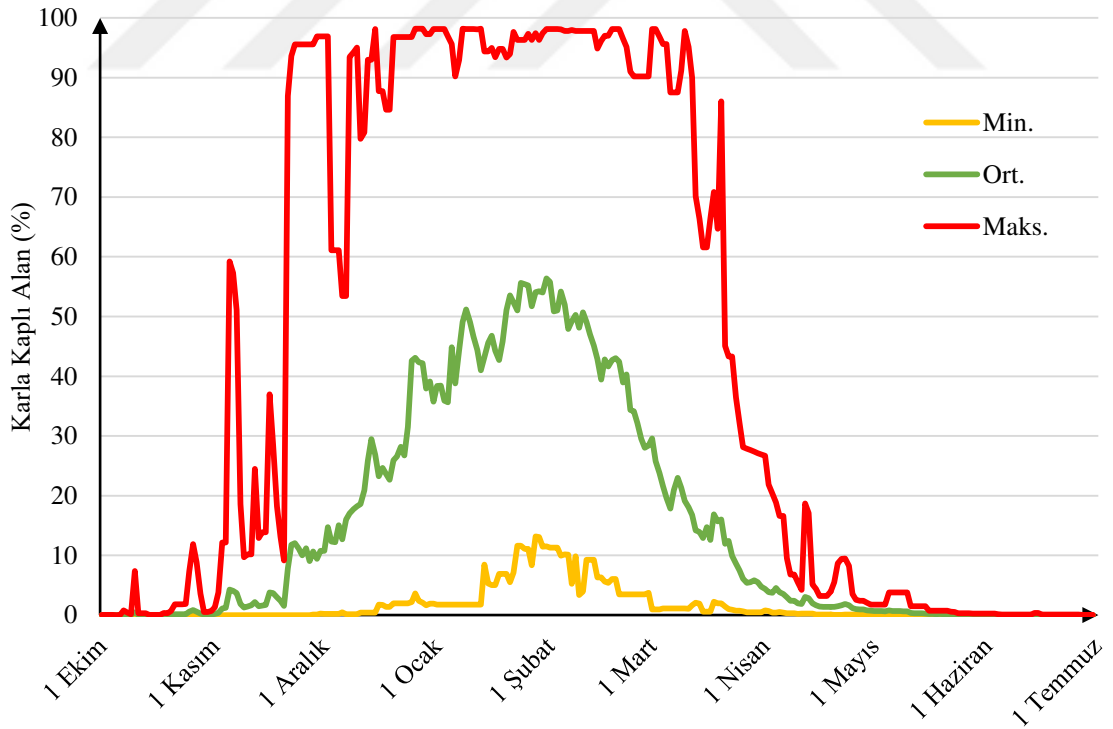
Şekil 2.31. Karadeniz'in 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi



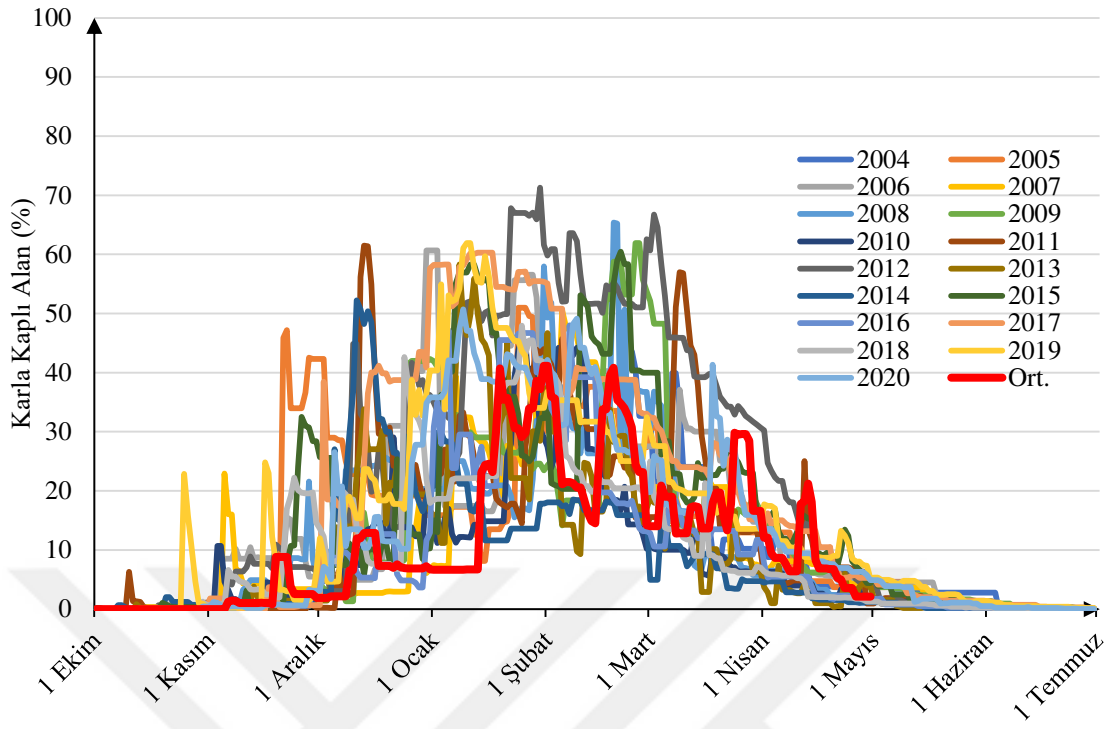
Şekil 2.32. Karadeniz, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı



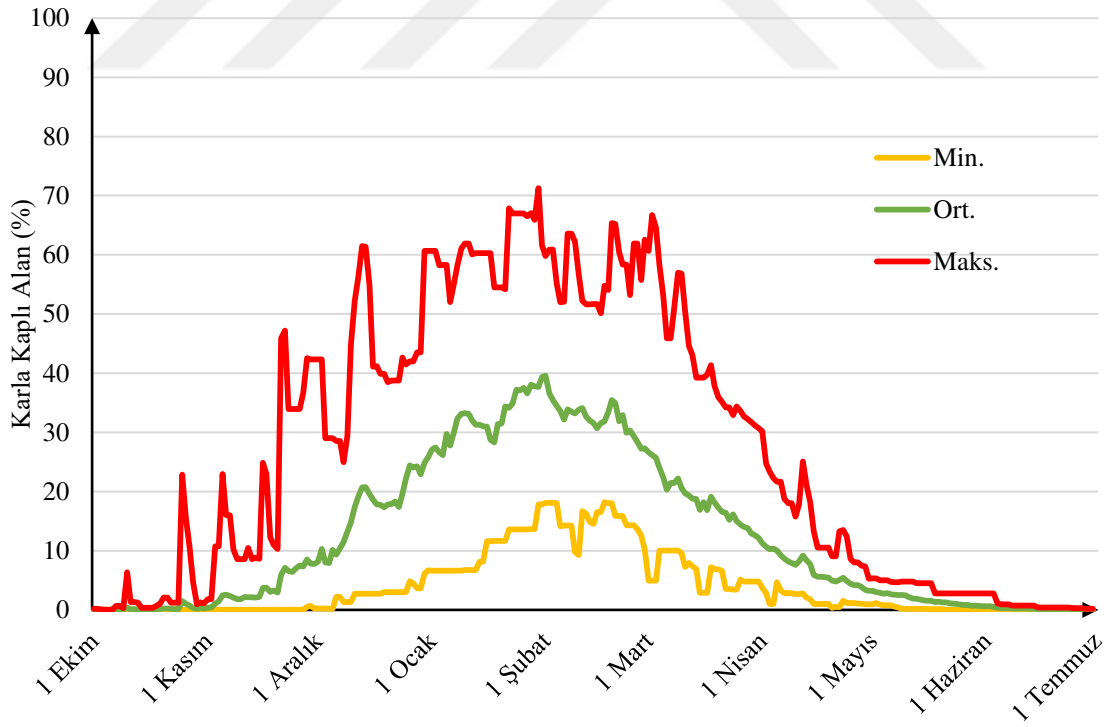
Şekil 2.33. İç Anadolu'nun 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi



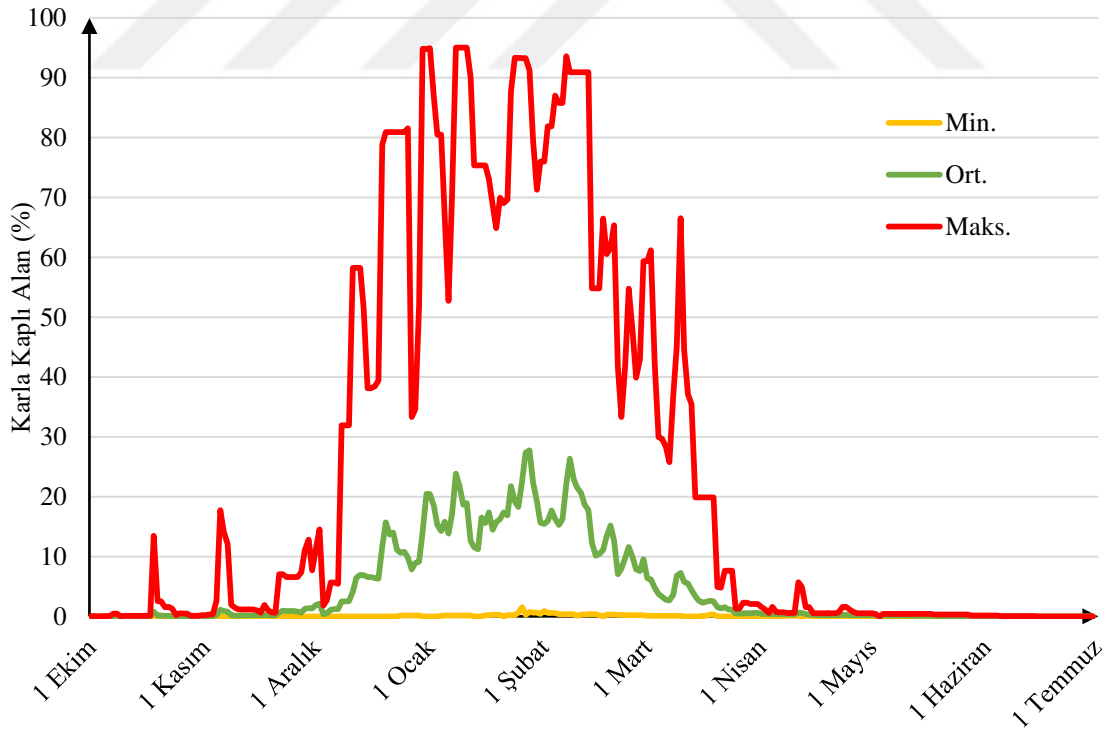
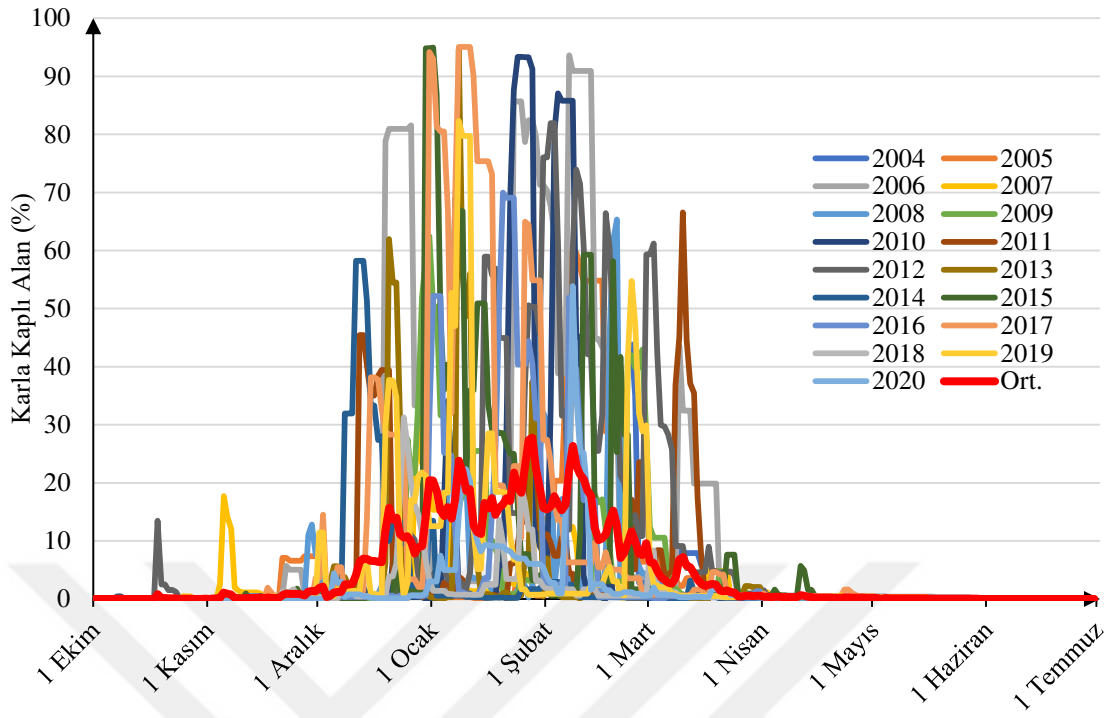
Şekil 2.34. İç Anadolu, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı

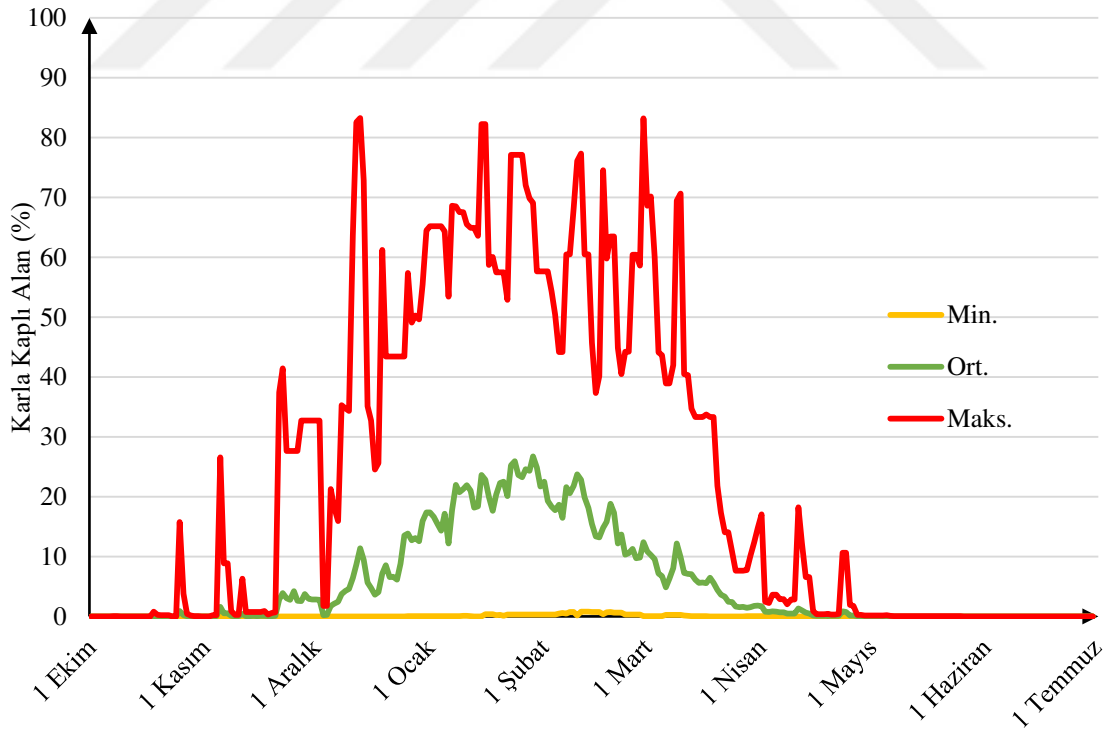
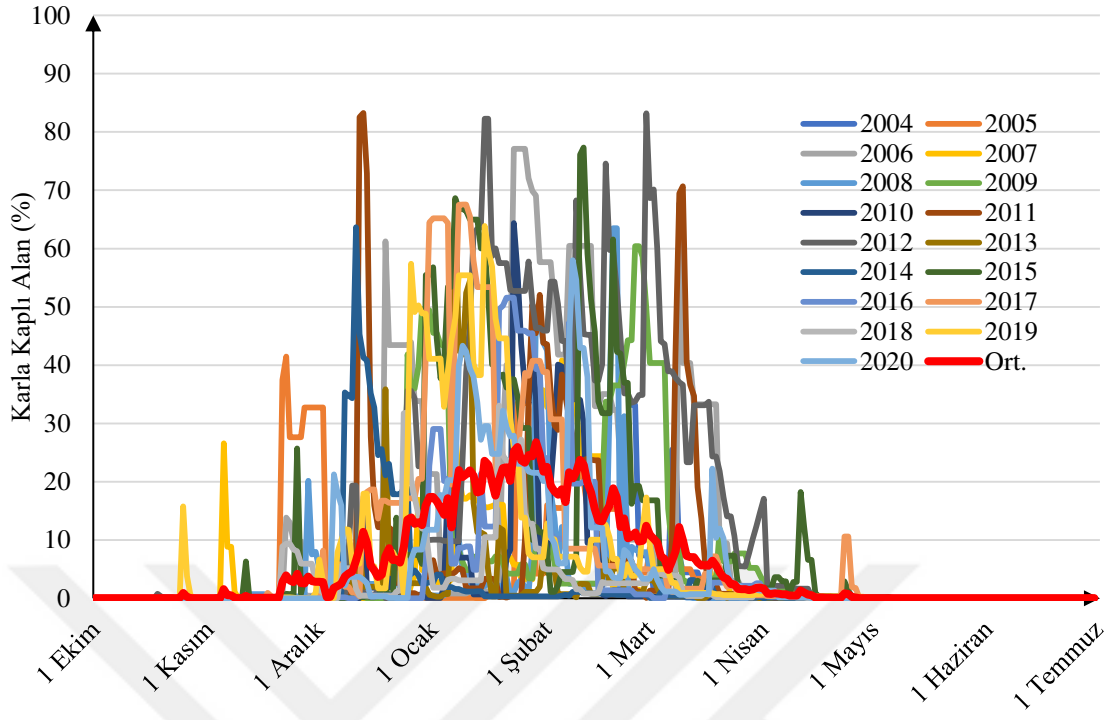


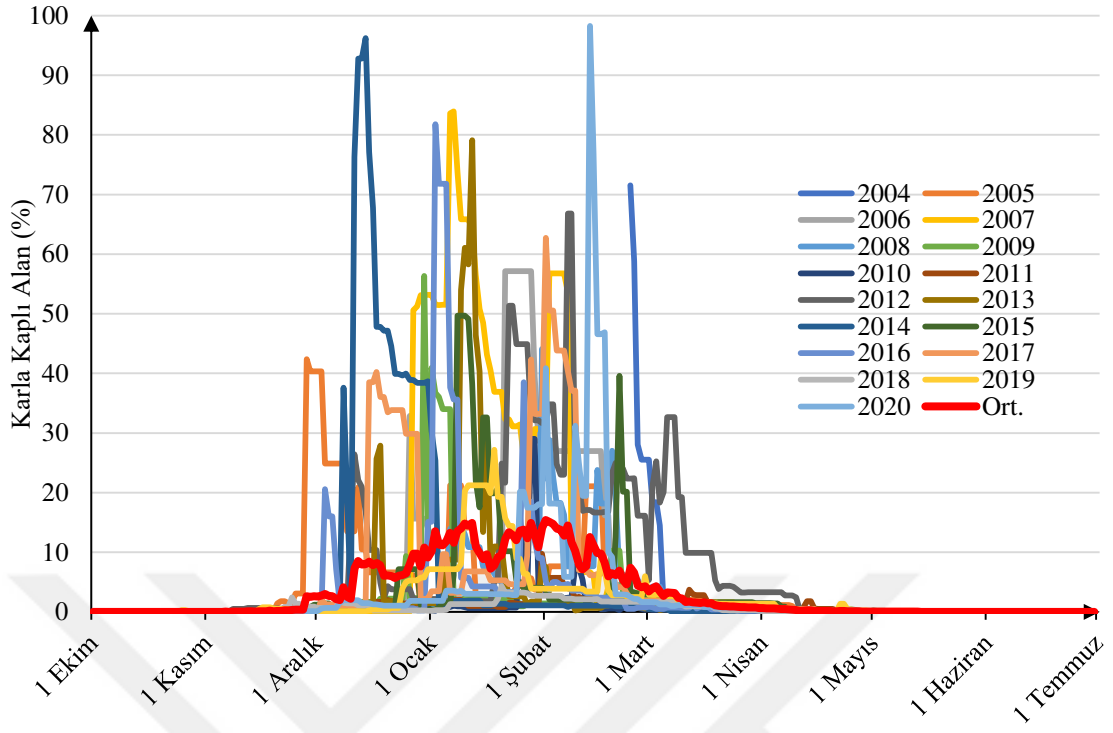
Şekil 2.35. Akdeniz'in 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi



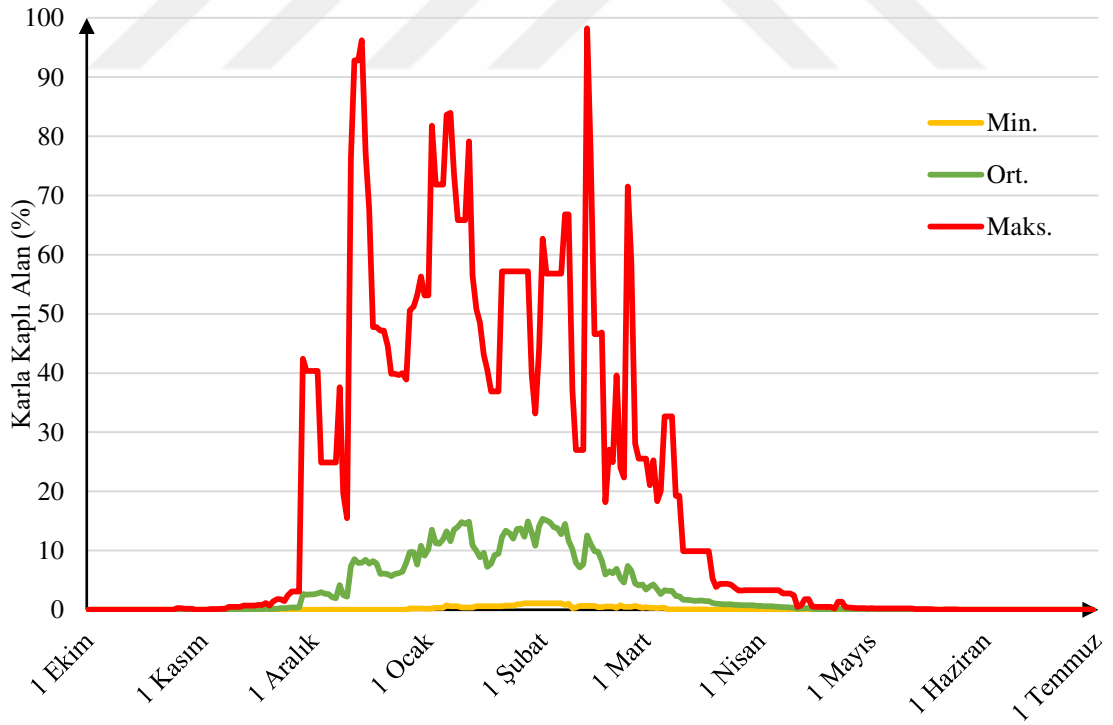
Şekil 2.36. Akdeniz, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı



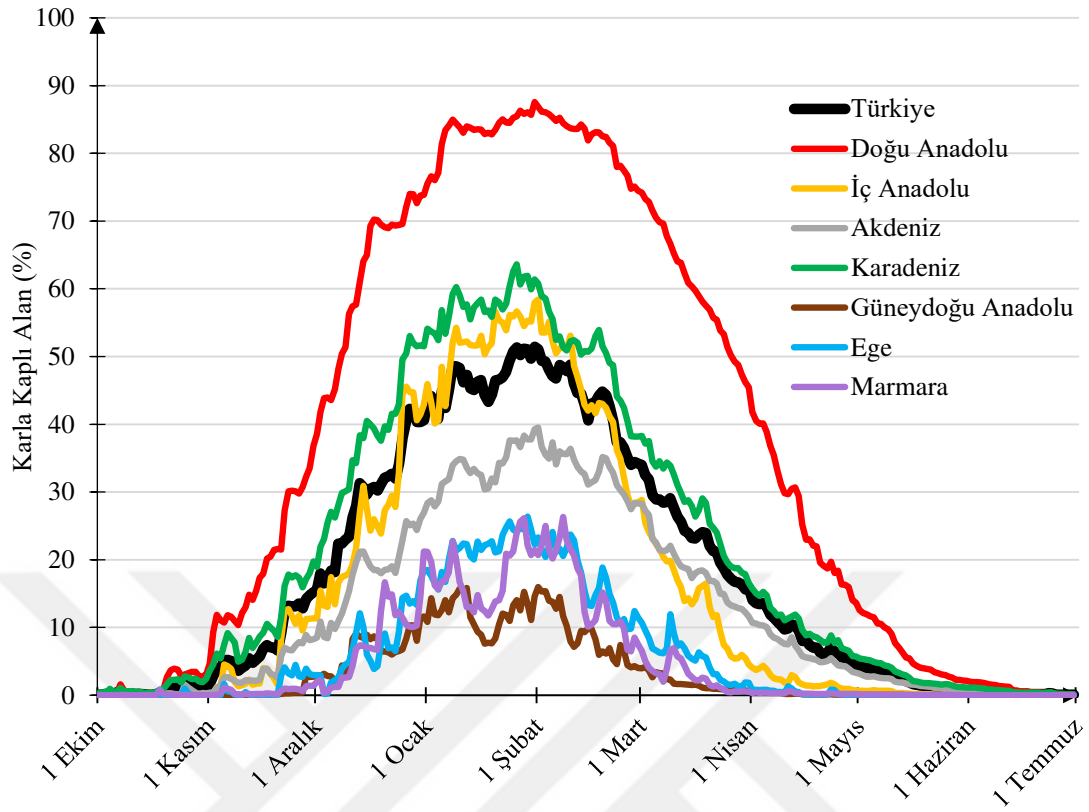




Şekil 2.41. Güneydoğu Anadolu'nun 2004-2020 su yıllarındaki KKA değişimi



Şekil 2.42. Güneydoğu Anadolu, 2004-2020 su yılları Min. Ort. ve Maks. KKA'sı



Şekil 2.43. Türkiye ve coğrafi bölgelerinin ortalama kar kaplı alanları

Şekil 2.43 ve Tablo 2.1 beraber incelendiği zaman karla kaplı alan oranı ve karın yüzeyde kalma süresinin direkt olarak yükseklikle ilişkilendirilebilir. Öyle ki; Doğu Anadolu'nun ortalama yüksekliğinin 1834 m olduğundan diğer bölgelerimize ve Türkiye ortalamasına göre bakıldığında karın daha uzun süre ve daha yüksek oranda bulunmaktadır. Bu durumun nedeni, sıcaklığın yüksek kotlarda düşük olmasıyla beraber yükseklik olmaktadır. Aynı şekilde, Marmara (277 m), Ege (739 m) ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin (750 m) ortalama yüksekliği düşük olduğundan kar daha kısa süre kalmaktadır.

Eğrilerden, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında karın biriktiği, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında sıcaklıkların da artmasına bağlı olarak erimelerin başlamasıyla KKA eğrilerinde çekilmelerin yaşandığı, Doğu Anadolu'da KKA'nın 4 ay süresince %50'nin üstünde olduğu ayrıca, bu değer %90'a yaklaştığı ve aynı şekilde karın Karadeniz'de 2 ay süreyle, İç Anadolu'da ise 1 ay süreyle %50 KKA oranının üstünde kaldığı görülmektedir.

Ortalama yükseklikleri birbirine çok yakın olan Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinin 17 yıllık ortalama KKA dağılımının Türkiye ile benzer olduğu çıkarılmaktadır.

Türkiye ve bölgelerinin minimum, maksimum ve ortalama karla kaplı alan oran eğrilerinin ayrı ayrı verildiği grafikler incelendiği zaman, Ege, Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin minimum ve maksimum çizgilerinde, ortalama yüksekliklerinin düşük olması nedeniyle KKA eğrisinin değişkenliğinin diğer bölgelere göre daha çok olduğu görülecektir.



3. HİDROLOJİK MODELLEME

Modeller, bilinmeyen bir şeyi bilinen ile ilişkilendirerek olayları anlamamıza katkıda bulunur. Hidrolojide genel olarak bilinen girdi verisi yağış, sıcaklık ve diğer meteorolojik parametreler olabilirken bilinmeyen çıktı veri ise akımdır. Dağlık bölgelerde kar erimesinden kaynaklı akımın doğru tahmini, sulama, hidroelektrik üretimi ve taşkın öteleme açısından su kaynaklarının etkili kullanımında önemlidir. Yeryüzü üzerinde kar baskın dağlık havzalarda çeşitli modeller akım simülasyonu ya da tahmini yapmak amacıyla kullanılmıştır. Hidrolojik modeller; fiziksel, analog veya matematiksel formda olabilir. Havza-akış süreçlerinin takibi açısından, tek bir yağışın dikkate alındığı olay bazlı ve uzun bir periyodun simüle edildiği sürekli modeller olabilmektedir. Mekânsal dağılıma göre, hidrolojik modeller; toplu, yarı dağıtılmış ve dağıtılmış olarak sınıflandırılır. Toplu modeller bütün hidrolojik sistemi homojen birim olarak temsil eder, tamamen dağıtılmış modeller ise hidrolojik sistemdeki belli bir grid konumundaki değerleri hesaplamak için kullanılır. Yarı dağıtılmış veya yarı toplu modeller, toplu ve dağıtılmış modeller arasında yer alır. Kavramsal ve deneysel modeller ise bilgi tabanı üzerine inşa edilmişlerdir. Modeldeki parametrelerin, girdilerin ve süreçlerin belirli olup olmamasına göre modeller deterministik ve stokastik olarak ayrılır. Bu nedenle, her bir modelin avantajları ve dezavantajları bulunduğundan hangi modelle çalışılacağını seçmek eldeki veriye, çalışma amacına, havzanın karakteristiklerine göre değişmektedir.

Bu çalışmada, yarı dağıtılmış, kavramsal ve deterministik derece gün tabanlı hidrolojik model olan, KKA'nın temel girdi verisi olarak dikkate alındığı, dağlık havzalardaki yağış-akış olaylarının önceki çalışmalarda da başarıyla tespit edildiği Snowmelt Runoff Model (SRM) kullanılmıştır. (Martinec vd., 2008, Tekeli vd., 2005, Gözel, 2011, Şensoy ve Uysal, 2012, Nourani vd., 2021).

3.1. Snowmelt Runoff Model (SRM)

Birkaç farklı model, belirli ihtiyaçlara ve hidrolojik duruma uygun olacak şekilde kar erimesinin akıma katkısını belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Bunların, girdi veri yoğunluğu fazla ve modeller karmaşık yapıdadır, ayrıca çok az model genellikle çeşitli hidrolojik durumla baş edebilmektedir. Popüler olan modeller: SAARR (1972), SRM (Martinec, 1975), RMS (Leavesley, 1983) ve UBC (Quick ve Pipes, 1997). Bunlar arasında, SRM kar kaplı alan bilgisini girdi olarak kullanmakta, ayrıca, simülasyon ve tahmin çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Ferguson, 1999; Hall ve Martinec, 1985;

Rango ve Martinec, 1979; Tekeli vd., 2005; Li ve Williams, 2008; Abudu vd., 2012; Rasouli vd., 2015; Tahir vd., 2019; Hayat vd., 2019; Nunchani vd., 2021; Nourani vd., 2021).

Martinec (1975) tarafından geliştirilen SRM, mevsimsel kar örtüsü ve akım üzerinde iklim değişikliği etkisinin değerlendirilmesinde de uygulanır. SRM, Avrupa'daki küçük havzalarda uygulanmak amacıyla geliştirilmiş ancak, kar örtüsünün tespit edilmesinde uzaktan algılamada uydulardaki ilerleme sayesinde daha büyük havzalarda uygulanır olmuştur. Yükseklik değişimi ve havza boyutu fark etmeksizin uygulanmaktadır. Alanın 0,76 km²'den 917.444 km²'ye kadar değiştiği havzalarda ve çok farklı ülkelerde uygulanmıştır (Martinec vd., 2008). Bugüne kadar model çeşitli kurumlarda, enstitülerde ve üniversitelerde de kullanılmıştır.

KKA verisi SRM'in temel girdisi olduğundan, uydu kar ürünlerinin tutarlılığı ve elde edilmesi önemlidir. Kar örtüsünün zamansal ve mekânsal değişimini izlememizi sağlayan uzaktan algılama teknolojisi yardımıyla KKA girdisi temin edilir (Nagler vd., 2008). Elektromanyetik bandın görünür bölgesinde karın yüksek yansıma sergilemesi karın diğer karsız alanlardan kolay ayrılmasını sağlar. Uzaktan algılamada, kar örtüsü haritasının oluşturulması için farklı algılayıcılar kullanılmakta ve en çok kullanılan sensörlerden bazıları Landsat 5 Thematic Mapper (TM), NOAA-AVHRR, European Remote Sensing-Synthetic Aperture Radar (ERS-SAR), IMS ve MODIS'tir. SRM çeşitli çalışmalarda farklı uydularla kullanılmıştır: Gómez-Landesa, ve Rango, 2002, Immerzeel vd., 2009, Butt ve Bilal 2011, He vd., 2014, Kult vd., 2014, Qiu vd., 2014, Hayat vd., 2019, Azizi ve Asaoka, 2020, Nourani vd., 2021. Türkiye'de yapılan bazı SRM çalışmaları ise: Tekeli vd., 2005, Gözel, 2011, Şensoy ve Uysal, 2012, Alvarado-Montero vd., 2022.

SRM kullanımında günlük kar örtüsü verisi, günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık verisi gerekmektedir. Bunların yanı sıra, yağış ve akış katsayıları (C_s ve C_r), gecikme zamanı (L), yağmur katkı alanı (RCA), kritik sıcaklık (T_{cr}), çekilme katsayısı (k), derece gün katsayısı (a_n) ve sıcaklık değişme oranı (γ) gibi parametreler modelin kalibrasyon sürecinde gözlenmiş ve ölçülen akım hidrograflarının benzetimi sırasında iyileştirilebilmektedir.

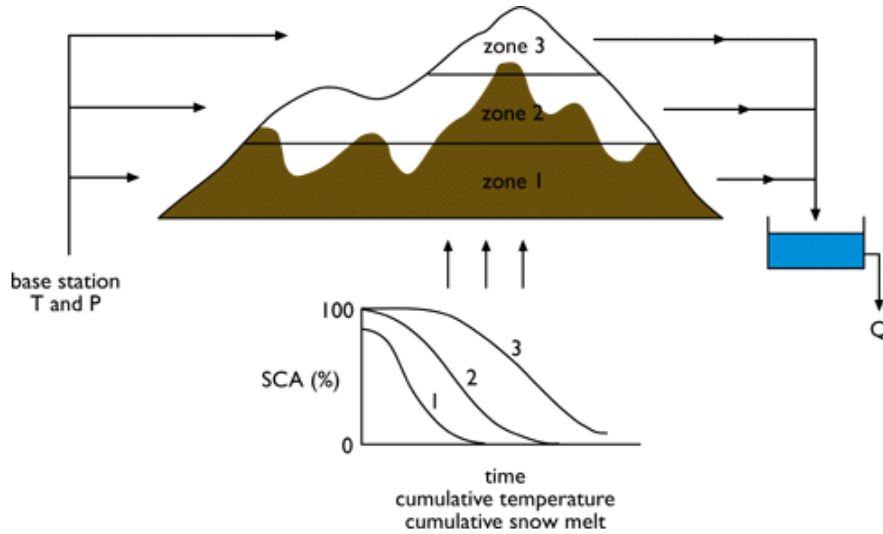
SRM modelinde akımı hesaplamak için Denklem 3.1 kullanılmaktadır.

$$Q_{n+1} = [c_{Sn} a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_{Rn} P_n] \frac{A \cdot 10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad (3.1)$$

Burada, “Q” ortalama günlük akımı (m³/s); “C_r” yağmur akış katsayısını; “C_s” kar akış katsayısını; “a” derece gün katsayısını (cm.°C⁻¹.gün⁻¹); “T” derece gün sayısını (°C.gün); “ΔT” yüksekliğe bağlı sıcaklık farkını (°C.gün); “P” akışa katılan yağışı (cm); “k” çekilme katsayısı; “A” havza alanı veya zonun alanını (km²); “S” toplam alandaki kar örtüsü oranını; “n” günü ve “n+1” hesap yapılan günü belirtmektedir.

Denklem 3.1’e göre, (n+1). gündeki günlük akım, kar erimesi, akıma katkıda bulunan yağışla bir önceki günün akımının toplamı ile bulunur. Önceki günün kar erimesinden kaynaklı akım miktarı derece gün sayısı, a_n (cm C⁻¹ gün⁻¹), zonal derece günleri (T+ΔT) ve kar kaplı alan oranının (S) çarpılmasıyla bulunur. Karın akıma katkı oranının belirlenmesi için yukardaki çarpımın sonucu kar erimesi akış katsayısı, C_s ve zonun toplam alanı, A (km²) ile çarpılmasıyla bulunur. Yağmurun akıma katkısının belirlenebilmesi için ölçülmüş günlük yağış (cm); yağmur akış katsayısı ve zonal alan ile çarpılır. Bugünün akımına önceki günün katkısı ise akımın çekilme katsayısı ile çarpımından bulunur. Model yarı-dağıtımlı olarak uygulandığında Denklem 3.2 havzanın her bir zonuna uygulanır. Havza zonlara bölünür ve akımlar toplanır (Şekil 3.1).

$$Q_{n+1} = \left\{ [c_{SA_n} a_{A_n} (T_n + \Delta T_{A_n}) S_{A_n} + c_{RA_n} P_{A_n}] \frac{A_A \cdot 10000}{86400} + [c_{SB_n} a_{B_n} (T_n + \Delta T_{B_n}) S_{B_n} + c_{RB_n} P_{B_n}] \frac{A_B \cdot 10000}{86400} + [c_{SC_n} a_{C_n} (T_n + \Delta T_{C_n}) S_{C_n} + c_{RC_n} P_{C_n}] \frac{A_C \cdot 10000}{86400} \right\} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \quad (3.2)$$



Şekil 3.1. SRM Model Yapısı (Martinec, 2008)

Eğer havzanın yükseklik aralığı 500 m’yi geçerse, havzanın her biri 500 m olacak yükseklik zonlarına bölünmesi tavsiye edilmektedir. Yükseklik aralığının 1500 m olduğu ve 3 yükseklik zonu A, B ve C için model denklemi, Denklem 3.2’deki gibi olmaktadır (Martinec, 2008).

SRM, havzaların yükseklik zonları ile alakalı yükseklik ve alan verisi gibi topoğrafik bilgileri kullanmaktadır. Havzanın, zonlara bölünmesinin ardından her bir zonun ortalama yüksekliğini ve alanını belirleyebilmek için yükseklik-alan (hipsometrik) eğrisinden faydalanılır. Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt havzalarının zonları ve hipsometrilerinin elde edilmesi Bölüm 3.2.2’de anlatılmıştır. Hipsometri eğrilerinde havza veya zonların ortalama yükseklikleri, grafiğin yatay ekseninde yer alan altta kalan alanın %50’sine karşılık gelen yükseklik değeridir. Böylece, tüm havzaya ya da bölgelere ait alansal ortalama yükseklik belirlenir. Bu yükseklik değerleri derece gün sayılarının hesaplanmasında $(T+\Delta T)$ kullanılmaktadır. Modelde havza karakteristiği değerleri dışında kullanılan değişkenler ve parametreler aşağıdaki tablodaki gibidir.

Tablo 3.1. SRM Modeli Parametreler ve Değişkenler

Parametreler	Değişkenler
Sıcaklık Değişim Oranı ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)	Yağış (cm)
Çekilme Katsayısı	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
Akış Katsayısı (Yağmur ve Kar)	Kar Örtüsü (%)
Gecikme Zamanı (sa)	
Kritik Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	
Derece-Gün Katsayısı ($\text{cm}^{\circ}\text{C}^{-1}.\text{gün}^{-1}$)	
Yağış Katkı Alanı	

3.1.1. Değişkenler

3.1.1.1. Sıcaklık ve derece günler, T

Günlük kar erimesinden kaynaklı akımı hesaplayabilmek için, derece günlerin sayısı sıcaklık ölçümlerinden elde edilmelidir. Model, sıcaklık verisini iki farklı şekilde alabilmektedir: günlük ortalama sıcaklık veya günlük minimum ve maksimum sıcaklık değerleri şeklinde. Sıcaklıklar, ana istasyon yüksekliğinden zonların hipsometrik ortalama yüksekliğine göre dağıtılır. SRM’e ortalama sıcaklık verisi girilmediği durumda sıcaklığı Denklem 3.3’e göre hesaplamaktadır.

$$T = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad (3.3)$$

SRM, sıcaklık değerlerini alt bölgelere sıcaklık değişim oranına göre Denklem 3.4'ü kullanarak dağıtır. Günlük ortalama sıcaklık değeri ($T + \Delta T$), negatif olduğu durumda model, otomatik olarak değeri sıfır olarak günceller, böylece sıcaklığın 0 °C 'nin altında olduğu zamanlarda kar erimesinin hesaplanması önlenmiş olur.

$$\Delta T = \gamma (h_{st} - \bar{h}) \frac{1}{100} \quad (3.4)$$

Burada, “ γ ” sıcaklık değişim oranı (°C/100 m); “ h_{st} ” meteorolojik istasyonun yüksekliği (m) ve “ $\bar{h}$ ” ortalama hipsometrik yükseklik (m)’tir.

Karasu, Murat, Bayburt ve Kayabaşı havzalarının sıcaklık verileri Bölüm 3.2.3’te analiz edilip anlatılmış ve SRM’de yapılan erime dönemi analizinin temel girdilerini oluşturmuştur.

3.1.1.2. Yağış, P

Dağlık havzalarda alansal yağış dağılımının ifade edilmesi istasyon sayısının kısıtlı olmasından dolayı zorlaşmaktadır. Havzanın boyutuna ve topoğrafyasına göre yağış değerleri değişkenlik göstermekte ve yağış olaylarının başarılı bir şekilde havza üzerinde temsil edilebilmesi bakımından ölçüm istasyonu sayısının alan ve yükseklik olarak iyi dağıtılmış olması gerekir.

Yağış değerleri modele iki farklı şekilde girilebilir. “Basin-wide” seçeneği ile birkaç farklı istasyon verisinin kombinesi olan yağışın tek bir istasyonda havza genelini temsil edilebildiği sentetik istasyon girdi verisi olmakta ve “By zone” ile farklı yağış girdileri her bir zona tanımlanabilmektedir. “By zone” seçeneği aktif olduğunda, eğer herhangi bir alt bölgeye yağış verisi girilmemişse SRM orada yağmurdan kaynaklı akım hesabını yapmayacaktır.

Modelde yağışın türünün belirlenebilmesi için Kritik Sıcaklık (T_{cr}) parametresi bulunmaktadır. Eğer, $T \geq T_{cr}$ ise havzaya düşen yağış yağmur, $T < T_{cr}$ ise yağış kar olarak modele tanıtılır. Yağış olayı kar olarak tanımlandığında, yağışın kar örtüsüne veya karsız alana düşüp düşmediğine bağlı olarak akımı geciktirici etkisi olmaktadır. Karsız alana düşen yağış eritilerek anında akıma katılabilmekte iken karlı alana düşen yağışın yeterli derece-gün sayısının elde edilebilmesiyle erime mümkün olabilmektedir. Bu ayrımı

sağlayan bir diğer parametre ise 3.1.2.5. bölümde anlatılacak olan yağış katkı alanı, (RCA)'dır.

Ekstrem yağış olaylarının yaşandığı zamanlarda hidrografta yağmur akımı için keskin pikler oluşurken bunun aksine kar erimesinden kaynaklı hidrografta akım eğrisinde daha düzenli günlük dalgalanmalar yaşanmaktadır. Sağanak olaylarının daha iyi temsil edebilmesi amacıyla SRM'de havza genelinde günlük yağış eşik değere bağlanmıştır. Bu değer modele başlangıçta girilip farklı havzalarda değişebilirken 6 cm değeri varsayılan olarak tanımlanmıştır. Bu değer havza karakteristiklerine göre farklı havzalarda değişebilmektedir. Yağış bu değerden yüksek olduğunda akım piklerinin daha sağlıklı belirtilebilmesi açısından çekilme katsayısı modelde azaltılmaktadır.

Bu çalışmada, havzaların yağış olayları Bölüm 3.2.3'te anlatılmış ve SRM'de erime dönemi için yapılan analizde kullanılan temel girdiler olmuştur. Yağış değerleri ise havza içerisinde veya etrafındaki yakın istasyondaki değerlerin ortalaması alınarak havzaya alansal dağıtılması ile bulunmuştur.

3.1.1.3. Kar Kaplı Alan, S

Alansal uzanan mevsimsel kar örtüsünün erime döneminde yavaş yavaş azalması, dağlık havzaların tipik özelliklerindendir. Kar örtüsünün çekilme eğrileri, periyodik hazırlanan kar kaplı alan haritalarından interpolasyonu sonucu bulunur ve günlük kar örtüsü oranı verisi SRM'in en önemli girdi verisini oluşturmaktadır. SRM'de kar erimesinden kaynaklı günlük akımın hesaplanmasında kullanılmaktadır.

KKA terimi kar örtüsünün havza üzerindeki zamansal ve mekânsal dağılımını ifade etmektedir. SRM'e havzanın tamamı için veya alt bölgelere ayrılan havza kısımlarına ayrı ayrı girilebilmektedir. Kar örtüsü, lokal gözlemlerle (küçük havzalar için), uçak görüntüleriyle veya en etkili olanı, uydular yardımıyla haritalandırılır. Algılayıcının sağladığı verinin mekânsal ve zamansal çözünürlüğünün iyi derecede olması havzanın daha iyi haritalanmasına katkı sunarken modellemenin daha başarılı olması sağlar.

Bölüm 2'de anlatılan ve Türkiye genelinde validasyonu yapılan 4 km çözünürlükteki günlük IMS verisi kullanılarak Bayburt, Karasu, Çoruh ve Kayabaşı havzalarının her bir zonundaki kar örtüsü oranı hesaplanmış ve SRM'in temel girdisini oluşturmuştur. Havzaların KKA analizleri Bölüm 3.2.4'te anlatılmış olup analizlerde kullanılmıştır.

3.1.2. Parametreler

3.1.2.1. Akış katsayısı, C

Akış katsayıları, mevcut su hacmi (kar + yağmur) ile havzadan çıkan hacim arasındaki farktan kaynaklı kayıplara tekabül eder. Uzun dönemde, ölçülen yağışın ölçülen akıma oranına da karşılık gelir. Bu değerlerin elde edilmesi dağlık bölgelerdeki havzalarda uygun olmayan yağışölçer verileri bakımından kolay değildir.

Erime döneminin başında, özellikle yüksek rakımlarda havzadaki kayıplar sadece kar yüzeyinin buharlaşması ile sınırlı olması nedeniyle kayıplar oldukça azdır. Ancak, havaların ısınmasıyla zeminin görünür olması ve bitkilerin büyümesi nedeniyle bitkilerin terlemesi ve buharlaşma arttığından kayıplar daha çok olmaktadır. Erime döneminin sonunda, bazı havzalarda kar ve buz erimeleri nehir akımında üstün gelmekte olduğundan kayıpların azalması ve akış katsayılarının artmasına neden olmaktadır. Akış katsayıları yağmur ve kar yağışı için farklı olmaktadır. C katsayısı yağış için C_r , kar için C_s olarak kısaltılır ve 15 günlük süreçlerle değiştirilir, gerekirse günlük değişimler de SRM’de yapılabilir. Özellikle bazı havzaların düşük yükselti zonlarında veya bazı yarı-kurak havzalarda akış katsayıları, en düşük değerlerine ulaşabilmektedir. Kalibrasyon yapılabilecek en önemli parametre akış katsayılarıdır.

3.1.2.2. Derece-gün faktörü, a

Derece gün katsayısı ($\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}$), derece gün sayılarını ($^\circ\text{C} \cdot \text{gün}$) günlük kar erimesi derinliğine M (cm) çevirir. Aşağıdaki denklem ile günlük erime miktarı hesaplanır.

$$M = a \cdot T \quad (3.5)$$

Burada, “ a ” derece-gün katsayısı ($\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}$) ve “ T ” derece-gün sayısı ($^\circ\text{C} \cdot \text{gün}$)’dır.

Derece gün oranları, derece gün değerlerini radyoaktif kar ölçer ile ölçülen günlük kar su eş değeri ile karşılaştırarak değerlendirilir. Günden güne derece-gün oranları yüksek değişiklikler gösterebilir. Derece-gün metodu özellikle enerji dengesinin bileşenlerini, güneş ışığı etkisini, rüzgâr hızını ve buharlaşma hızını hesaba katar.

Derece-gün katsayısının sabit bir değeri yoktur ve erime dönemi süresince farklılaşan kar özellikleri nedeniyle değişmektedir. Yeterli verinin olmadığı durumlarda, derece gün faktörü Denklem 3.6’daki ampirik formülle belirlenebilir.

$$a = 1.1 \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (3.6)$$

Burada, “a” derece-gün faktörü ($\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}$); “ ρ_s ” kar yoğunluğu ve “ ρ_w ” su yoğunluğudur.

Bu katsayı, havza özelliklerine göre zamana bağlı değişim gösterir. Kar yoğunluğu arttığında, kardan yansımaya ifade eden albedo düşer ve kar içerisindeki sıvı su içeriği artar ve derece gün katsayısında artış meydana gelir. Kar örtüsü yoğunluğunun yükselmesiyle erime sezonunun sonunda bu değer artış gösterecektir. Havza üzerinde albedosu yüksek yoğunluğu düşük kar örtüsü iklimsel ve havzanın fiziksel durumuna bağlı olarak bulunabilmekte olduğundan bu katsayı düşebilir.

Derece-gün katsayısı modele günlük olarak girilmekte olup öncelikle diğer parametre setlerinin kalibre edilmesi bu katsayının havza için belirli aralıklarla değişkenlik sergilemesi ve havzadaki kar yoğunluğuna göre belirlendiğinden daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

3.1.2.3. Sıcaklık değişim oranı, γ

Eğer istasyonlar farklı yüksekliklerde mevcutsa, sıcaklık değişim oranı geçmiş verilerden tanımlanabilir. Aksi durumda, diğer havzaların benzeşiminden ya da iklim durumu bakımından değerlendirilir. SRM simülasyonlarında, her 100 m de bir sıcaklığı 0.65°C azaltarak olarak uygulanır.

Sıcaklık değişim oranı yükseklik değişimine bağlı olarak sıcaklığın azalmasını ifade eder. Bu parametre, modele iki farklı şekilde girilebilir, birincisi havza geneli diğeri ise her bir zona farklı değerlerde tanımlanabilir.

3.1.2.4. Kritik sıcaklık, T_{cr}

Kritik sıcaklık, ölçülen veya tahmin edilen yağış, yağmur ya da kar olup olmadığının belirlenmesini sağlar. Kar örtüsünün oluşumunu simüle eden modeller, öncelikle akımı simüle etmek için sadece erime döneminde değil birikim döneminde de ağırlıklı olarak bu parametreye bağlıdır. SRM yağışın doğrudan akışa (yağmur) geçmesi konusunda karar verilmesi açısından kritik sıcaklığa ihtiyaç duyar. Yağış kar olursa uygun sıcaklık oluştuktan sonra erime gerçekleşir.

$$T > T_{cr} , \text{ yağış yağmur,}$$

$$T < T_{cr} , \text{ yağış kar olarak tanımlanır.}$$

Kritik sıcaklık değeri havzada bulunan meteoroloji istasyonların geçmiş dönemlerdeki kayıtlarına bakılarak elde edilebilir. Oluşan yağışlar ile sıcaklıklar mukayese edilerek bu değer belirlenebilir. Kar birikme döneminde bu değer 0'ın üzerinde iken kar erime döneminde ise 0'a yakın veya altında değer alabilir.

3.1.2.5. Yağış katkı alanı, RCA

Yağış yağmur olarak tanımlandığı zaman 2 farklı şekilde davranabilir; ilk durumda, kar erime döneminin başlarında genellikle derin ve kuru olarak kalan kar kütlesi üzerine düşen yağıştır. Bu durumda yağmurdan kaynaklı akım, havzanın kar örtüsü bulunmayan alanından gelen akımdır. Diğer durumda ise, kar örtüsü erimeye hazır durumdadır ve bunun başlangıç tarihine kullanıcı karar verir. Bu durumda, havzaya düşen yağış tümüyle akıma katkıda bulunur.

RCA: 0, Yağmur sadece karsız alanlarda akıma katkı sağlar,

RCA:1, Yağmur tüm havza üzerinden akıma katkı sağlar.

Yağmurun erime etkisi ihmal edilir ve hesaplamalarda kullanılmaz çünkü yağışın sıvı olarak gerçekleşmesinden kaynaklı ilave ısı çok küçük seviyededir.

3.1.2.6. Çekilme katsayısı, k

Bir güne ait akım değerinin bir sonraki günle olan ilişkisi çekilme katsayısı ile belirlenir. Bu parametreyi belirlerken önceki yıllarda yapılmış akım ölçümlerinin analizi iyi bir yol izlenmesine yardımcı olur. Doğrudan akımı etkileyen bu parametreye SRM oldukça hassastır. İlaven, SRM denkleminde kullanılan x ve y sabitleri k değerindeki çeşitlilik açısından dikkate alınan parametrelerdir. k katsayısının değeri aşağıdaki denklemde görüleceği üzere sabit bir değer olmayıp Q azaldığı zaman artar.

$$k_{n+1} = x Q_n^{-y} \quad (3.7)$$

Denklemin çözülebilmesi için x ve y sabitlerinin belirlenmesi gerekir.

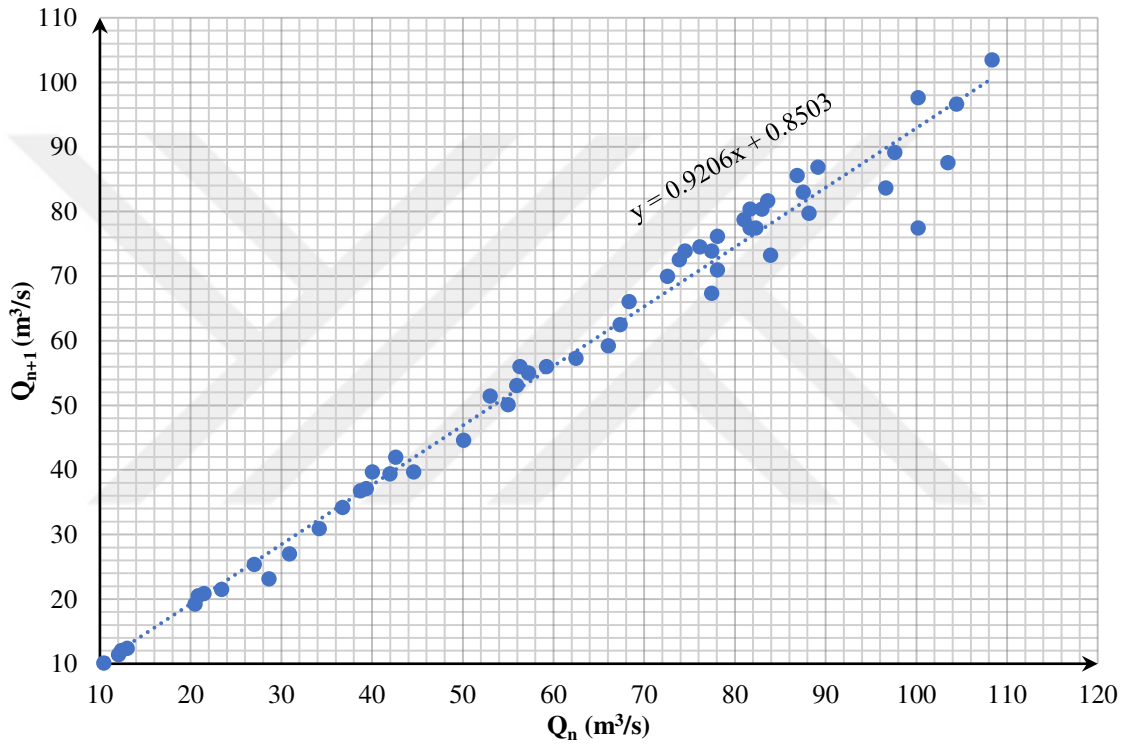
$$k_1 = x Q_1^{-y}$$

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

$$\log k_1 = \log x - y \log Q_1$$

$$\log k_2 = \log x - y \log Q_2 \quad (3.8)$$

Şekil 3.2’de k çekilme katsayısı parametresinin hesaplanmasında kullanılan x ve y katsayılarının zarf eğrisi yardımıyla bulunmasının bir örneği 2011 yılı Karasu havzası için verilmiştir. Q_n ve Q_{n+1} değerleri grafikte birbirlerine karşı grafikte çizilmiş ve tüm noktasal akımları kapsayan alttaki zarf eğrisinin k değerini içerdiği kabul edilir, ayrıca Q_{n+1} ’in yeni değeri belirlenir. Yeni Q_{n+1} ile Q_n oranından k elde edilir ve bu işlem diğer Q_n ’lere uygulanınca farklı çekilme katsayısı değerleri elde edilir, ardından da bu katsayıların ortalaması alınarak akım hidrografi daha iyi temsil edilir.



Şekil 3.2. 2011 yılı Karasu havzasının çekilme akımı grafiği örneği

3.1.2.7. Gecikme zamanı, L

Havzaya düşen yağışın ya da erimeden kaynaklı akışın çıkış noktasına gelmesi için geçen süredir. Doğrudan geçmiş yılların hidrografları kullanılarak bu parametre değeri belirlenebilir. Kar erimesinden kaynaklı akımındaki günlük karakteristik dalgalanmalar gecikme yaşanmasına neden olur. Bu parametre değeri, havzadaki sıcaklığın yükselmeye başladığı zaman ile hidrografın yükselmeye başladığı an arasındaki farktır. Geçmiş yıllara ait hidrograflar bulunmuyor ise bu parametre havza büyüklüğüne göre diğer havzalar ile kıyaslanarak benzeştirme yöntemi ile belirlenebilir.

Eğer bazı belirsizlikler bulunuyorsa, gecikme zamanı ölçülen ve hesaplanan günlük akımdaki senkronizasyonu sağlayabilmek için düzenlenebilir.

3.1.3. Model doğruluğunun değerlendirilmesi

Model çıktısının validasyonu, bütün bilimsel çalışmalar için önemli bir bileşendir ve SRM’de de kullanılmaktadır. Validasyon sürecinde modelde 2 yöntem bulunmaktadır. Bunlar; determinasyon katsayısı (R^2) ve hacim farkıdır (D_v). Modelde bulunan iki yöntem vasıtasıyla ölçülen ve hesaplanan akım hidrografları arasındaki fark kolayca belirlenebilmekte ve simülasyonun başarısını ortaya çıkarmaktadır. Determinasyon katsayısı aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^n (Q_g - Q_h)^2}{\sum_1^n (Q_g - \bar{Q})^2} \quad (3.9)$$

Burada, “ R^2 ” belirlilik katsayısı; “ Q_h ” hesaplanan akım değeri; “ Q ” ortalama akım değeri ve “ n ” gün sayısıdır.

Denklem 3.9, Nash-Sutcliffe katsayısına da karşılık gelmektedir. Akım hacmindeki sapma, D_v , Denklem 3.10’daki gibi hesaplanır.

$$D_v = \frac{V_g - V_h}{V_g} \times 100 \quad (3.10)$$

Burada, “ D_v ” ölçülen ve hesaplanan akımın toplam hacim farkı (%); “ V_g ” ölçülen yıllık veya sezonsal akım hacmi ve “ V_h ” hesaplanan yıllık veya sezonsal akım hacmidir.

3.1.4. Model kalibrasyonu

Model uygulamalarında bazı parametre değerleri arazi ölçümü ile belirlenebilirken havza karakteristiğini de belirleyen bazı parametreler ise kalibrasyon yöntemi ile ölçülen akım hidrografına yaklaşım yoluyla saptanır. Hidrolojik modellerin kalibrasyonu, modeldeki ölçümle belirlenemeyecek parametrelerin bulunduğu durumda model çıktıları ile gözlenen verinin karşılaştırılması sonucu sistemsel düzeltmelerin yapıldığı süreçtir.

Parametre değerlerinin düzenlenmesindeki temel amaç model parametrelerini belirleyip ve havza karakteristiklerini en iyi şekilde temsil edebilecek değere ulaştırmaktır. Parametrelerdeki belirsizlik en fazla başlangıç değerleri girildiğinde

oluşmakta ve ölçülen hidrografa yaklaşabilmek için yapılan denemeler ile belirsizlik azalır.

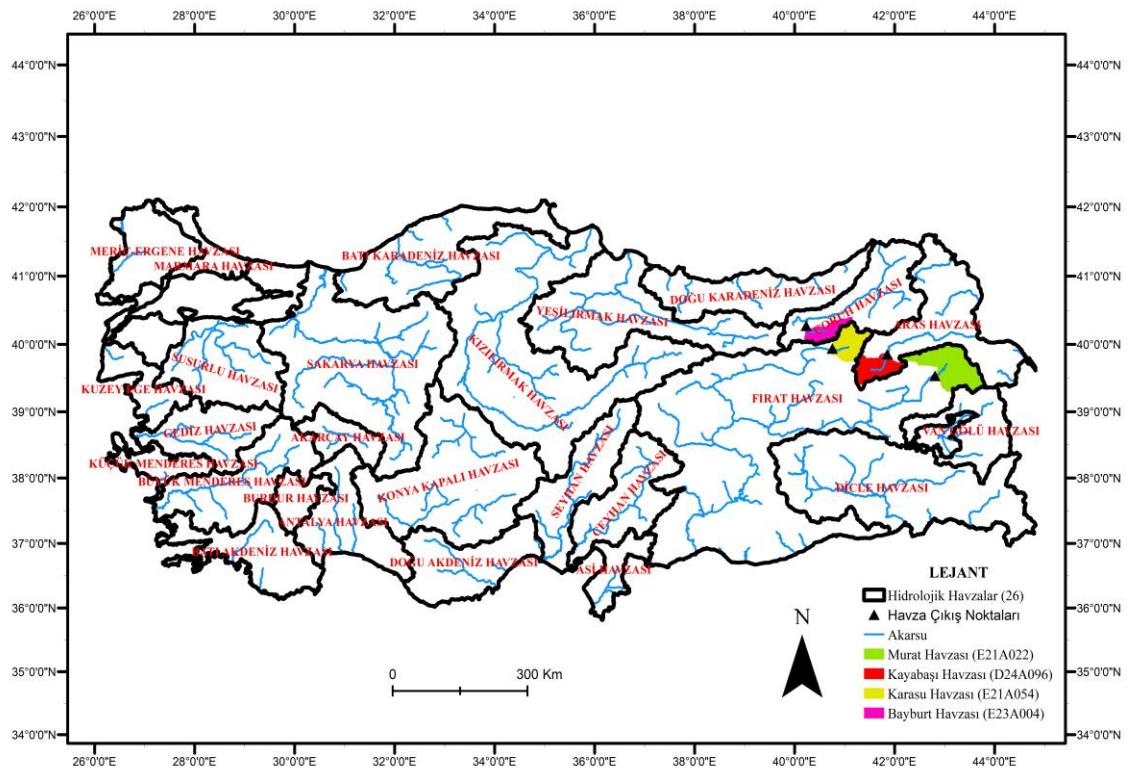
Bu çalışmada akış katsayıları (C_s ve C_r), derece gün katsayısı (α), kritik sıcaklık (T_{cr}) değerleri üzerinde kalibrasyon yapılmış olup çekilme katsayısının (k) saptanmasında hesap yapılmış, yağmur katkı alanının (RCA) belirlenmesinde havza gözlenerek erimenin başladığı günler belirlenerek hesap yapılmıştır.

3.2. Çalışma Alanı, Analizler, Parametreler ve Model Değişkenleri

Bu çalışmada birbirine benzer özelliklere sahip ve sınırları çakışan Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt Havzalarında işlem yapılmıştır.

3.2.1. Havzalar

Bu çalışmada Bayburt, Karasu, Kayabaşı ve Murat olmak üzere 4 farklı havzada çalışma yapılarak, havzaların Türkiye üzerindeki konumları, Türkiye'nin 26 temel ana su havzaları ile ilişkilendirilip Şekil 3.3'te görülmektedir. Seçilen havzaların coğrafi olarak yakın olmalarının ve havza sınırlarının kesişmesinin yanı sıra ortalama yükseklik, sıcaklık ve meteorolojik açıdan benzer özellikler göstermesi etkili olmuştur.



Şekil 3.3. Türkiye'nin 26 temel ana su havzası ve çalışma alanlarının konumu

Karasu ve Murat Havzası, yıllık 35.6 milyar metreküplük akım potansiyeline sahip, toplam uzunluğu 2700 km olup bunun 1236 km'si Türkiye sınırlarında bulunan Güney Batı Asya'nın en uzun nehri olan Fırat nehrinin Murat ve Karasu kollarının oluşturduğu havzaların memba kısmında bulunur (Aytemiz ve Kodaman, 2006). Fırat Havzası üzerinde sırasıyla Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik ve Karakamış gibi önemli rezervuarlar ve hidroelektrik santralleri bulunmakta olduğundan su kaynakları ve doğru planlamanın yapılması bakımından havza üzerinde yapılan çalışmadalar önemli olmaktadır.

Kayabaşı Havzası, Türkiye'nin 26 büyük hidrolojik havzasından olan Aras havzasının bir alt havzasıdır. Yıllık ortalama 0.21 milyar metreküplük akım potansiyeline sahip, toplam uzunluğu 528 km olan Aras Nehri havzanın ana akarsuyudur ve nehir, Bingöl Dağları'nın kuzey yamaçlarından doğduktan sonra Ermenistan, Azerbaycan ve İran'dan geçtiğinden dolayı sınır aşan akarsularımızdan biridir (Özkan, 2020). Aras nehri üzerinde Khoda Afarin, Aras, Arpaçay ve Meghri gibi barajlar bulunmakta olup gerek hidrolik gerekse de politik açıdan Aras Havzası önem arz etmektedir.

Bayburt Havzası, yıllık ortalama 6.3 milyar metreküplük akım potansiyeline sahip ve ana akarsuyunu 431 km'lik uzunluğu ile Çoruh nehrinin oluşturduğu Çoruh Havzasının memba kısmında bulunur (Sucu ve Dinç, 2008). Türkiye'nin en hızlı akan akarsuyu durumunda olan nehir, kaynağını Türkiye sınırları içerisinde almakta ve Gürcistan üzerinden Karadeniz'e deşarj olmakta olması sebebiyle sınır aşan sularımız kategorisinde yer almaktadır. Ayrıca, nehir üzerinde İspir, Deriner, Yusufeli, Borçka, Artvin, Muratlı gibi barajlar ve su yapıları bulunmakta olup su kaynaklarının yönetimi açısından burada yapılan ve yapılacak çalışmalar kritik hale gelmektedir (Doğan, 2018).

Ülkemizin dağlık bölgelerinde yer alan Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt havzaları, coğrafi konum olarak yakın olması, benzer iklime sahip olmaları, havzalarda Akım Gözlem İstasyonu ve Otomatik Gözlem İstasyonlarının varlığı, ortalama yüksekliklerinin birbirine yakın olması (Tablo 3.2) SRM'de çalışma alanı olarak belirlenmesinde rol oynamıştır.

3.2.2. Coğrafi bilgi sistemleri analizleri

Havzaların topoğrafik özellikleri, National Aeronautics and Space Administration (NASA) Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) tarafından sağlanan 30 m mekânsal çözünürlüğündeki Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), ([http-1](#)) Coğrafi

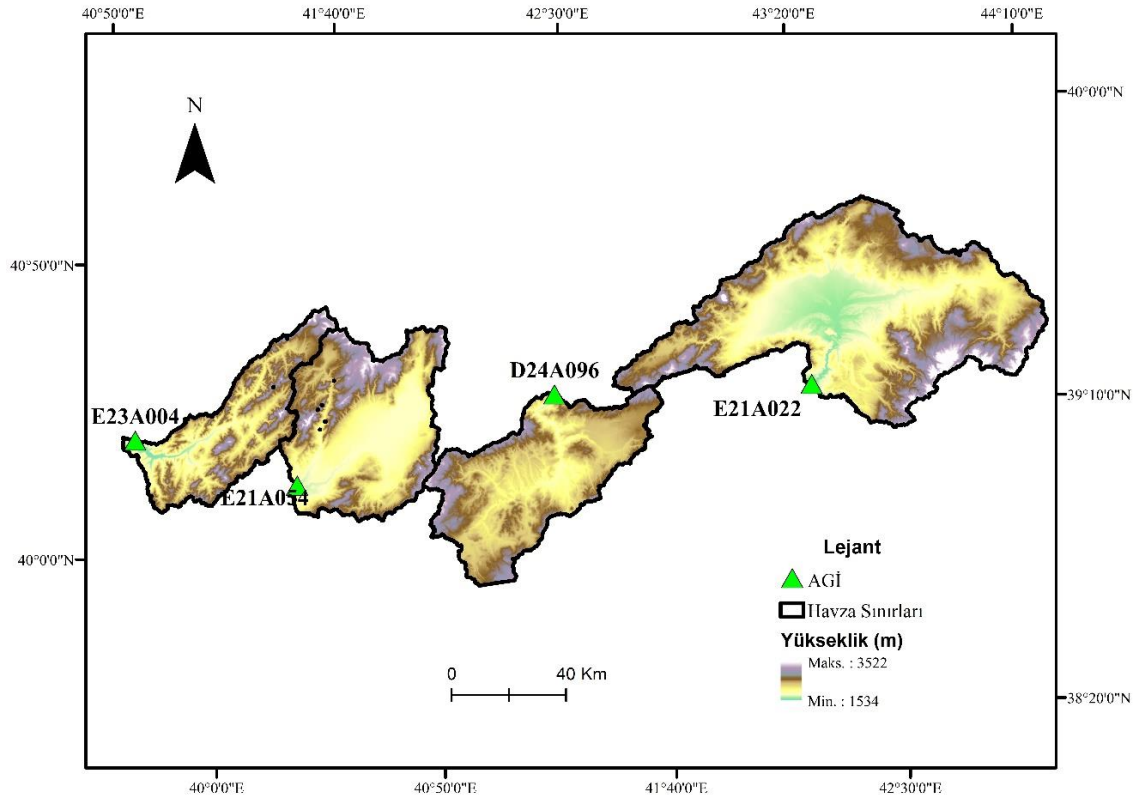
Bilgi Sistemi (CBS) platformunda kullanılarak ArcGIS Pro yazılımı vasıtasıyla elde edilmiştir.

ArcGIS Pro platformunda yapılan SYM analizinde havzaların yükseklik dağılımının görülebildiği topoğrafik harita oluşturulmuştur (Şekil 3.4). CBS üzerinden yapılan sınıflandırmalar sonucu yükseklik-alan değişiminin gösterildiği hipsometrik eğriler oluşturulmuş, eğrilerin analizinde havzaların 200 m’lik yükseklik değişimleri dikkate alınarak Tablo 3.3 çıkartılmış olup, hipsometrik eğrilerin birbirlerine göre durumu Şekil 3.5’te görülebilmektedir. Eğriler, SRM’de kullanılacak zonlar için, havzaların hangi yükseklik sınıflarında bölüneceğinin belirlenmesinde etkili olmuştur.

Havzaların karakteristik özelliklerinin bir arada görülmesi amacıyla Tablo 3.2 oluşturulmuş ve havzaların benzer özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Buna göre, havzaların ortalama yüksekliklerinin ve kümülatif alanın %50 sine karşılık gelen h_{medyan} değerinin yakın olduğu ortaya çıkmaktadır. Karasu, Murat ve Kayabaşı havzalarının ortalama eğimlerinin yakın olduğu ancak Bayburt’un eğiminin farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2. *Havzaların karakteristik özellikleri*

Özellikler	Karasu	Murat	Kayabaşı	Bayburt
Havza Alanı (km ²)	2872	5985	2788	1826
Min. Yükseklik (m)	1673	1557	1646	1534
Ort. Yükseklik (m)	2151	2143	2205	2191
Maks. Yükseklik (m)	3172	3522	3160	3238
h_{medyan} (m)	2104	2110	2170	2186
Ort. Eğim (%)	19.5	19.2	17.4	32.4

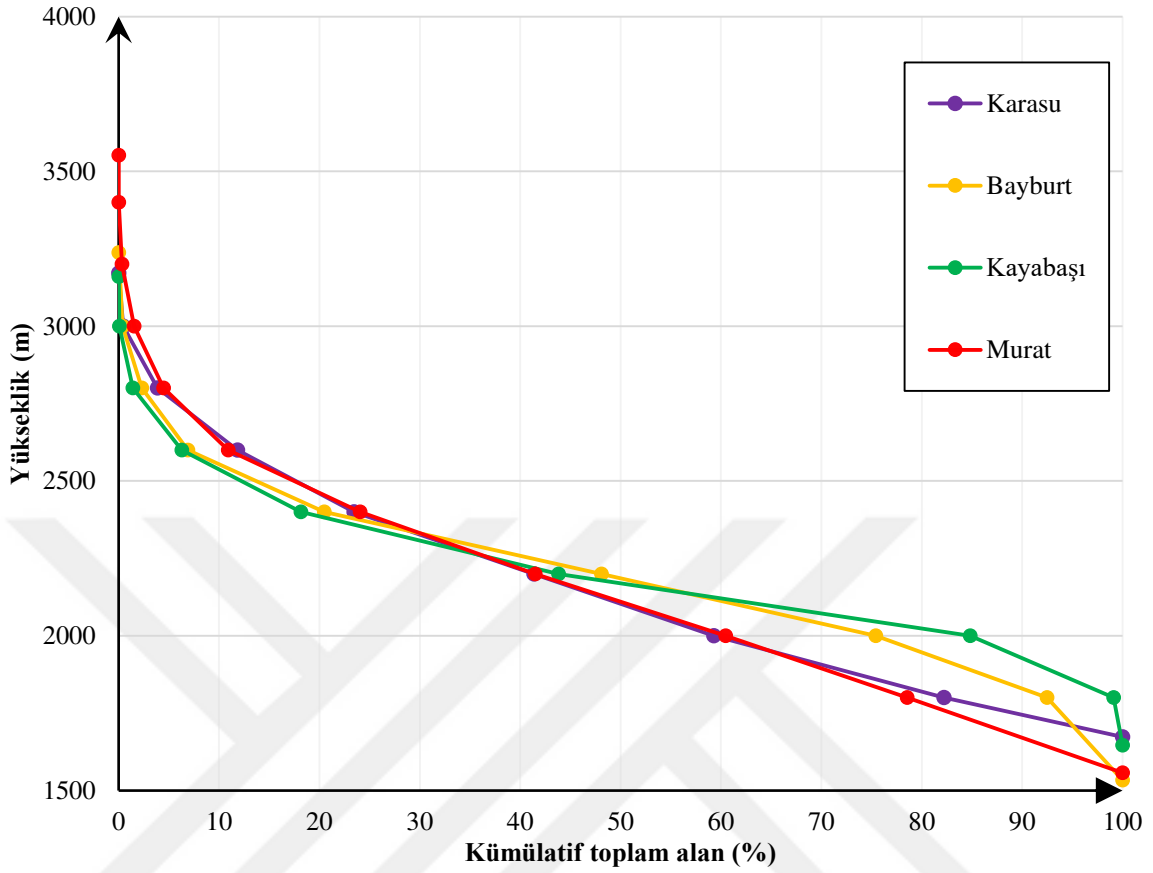


Şekil 3.4. Havzaların yükseklik haritası

Tablo 3.3. Havzaların Yükseklik-Alan ilişkisi

Yükseklik Sınıfları (m)	Havzaların Yükseklik Sınıfına Göre Alan Yüzdeleri (%)			
	Karasu	Murat	Kayabaşı	Bayburt
< 1800	17.8	21.5	0.9	7.5
1800 - 2000	22.9	18.1	14.3	17.1
2000 - 2200	17.9	19.0	41.0	27.3
2200 -2400	17.9	17.5	25.7	27.6
2400 - 2600	11.6	13.1	11.9	13.6
2600 - 2800	8.0	6.5	4.9	4.6
2800 - 3000	3.4	2.9	1.3	1.9
3000 - 3200	0.5	1.2	0.1	0.4
> 3200	0.0	0.3	0.0	0.0
TOPLAM	100	100	100	100

Tablo 3.3 incelendiğinde, havzaların yükseklikleri ağırlıklı olarak 1800-2600 m aralığında değiştiği görülmektedir. 2000 - 2200 m aralığında en fazla aralığa sahip havza %41 ile Kayabaşı dikkat çekmekte olup yüksekliğin diğer havzalara kıyasla eşit oranda dağılmadığı saptanmıştır.



Şekil 3.5. Havzaların hipsometri eğrileri

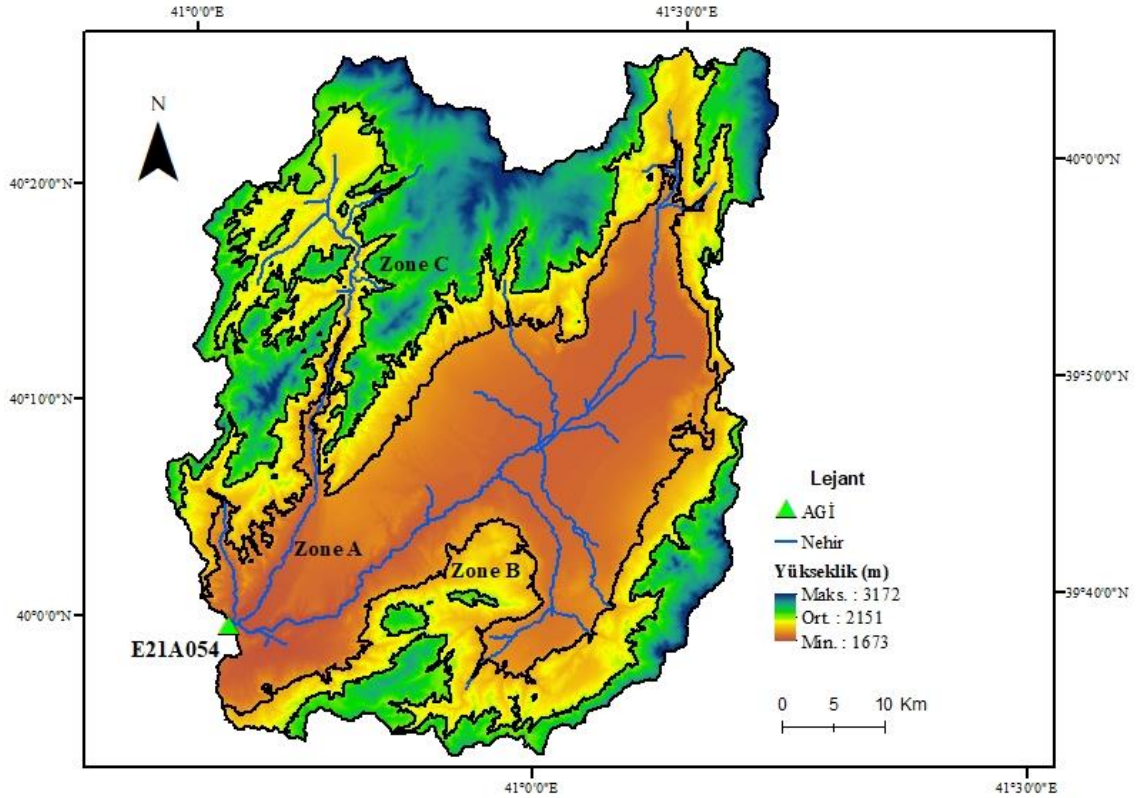
Şekil 3.5'teki hipsometri grafiğine bakıldığında, havzaların birbirine oldukça yakın bir dağılım sergilediği anlaşılmaktadır. SRM'de yapılacak analizler için havzaların zonlara bölünmesi işleminde hipsometri eğrilerinden yararlanılıp bütün havzalar aynı şekilde 3 farklı yükselti sınıfına bölünmüştür. Buna göre; A zonu 1950 m yüksekliğin altındaki alanı, B zonu 1950 – 2300 m aralığındaki alanı ve son olarak da C zonu 2300 m üzerindeki alanı kapsamaktadır.

Zon aralıklarının belirlenmesi işleminde öncelikle hipsometrik eğrilerinden faydalanılmış ardından farklı yükseklik aralarında havzalardaki alan değişimi de dikkate alınarak 4 havzada da ortak olabilecek zon aralığı seçilmiştir.

Havzaların zonlarının da görüldüğü yükseklik haritaları bir sonraki sayfada Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt sıralamasıyla açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.

2872 km² drenaj alanına sahip Karasu Havzası, 40° 42' - 41° 35' doğu boylamları ve 39° 43' - 40° 20' kuzey enlemleri arasında bulunur. Ortalama yükseltisi 2151 m olan havzanın, yüksekliği 1673 ile 3172 m arasında değişmekte olup ortalama eğimi %19.5'tir. Karasu Havzasının çıkış noktasında E21A054 kodlu DSİ işlettiği AGİ bulunmaktadır (Şekil 3.6).

Karasu havzasının zon dağılımı yükseklik haritası üzerinde nehir ve havza çıkış noktası görülecek şekilde aşağıdaki şekilde gösterilmekte ve zonlara ait karakteristik bilgiler Tablo 3.4'te verilmiştir. Bu havzada toplam alanın zonlara eşit bir şekilde dağıldığı görülmektedir.



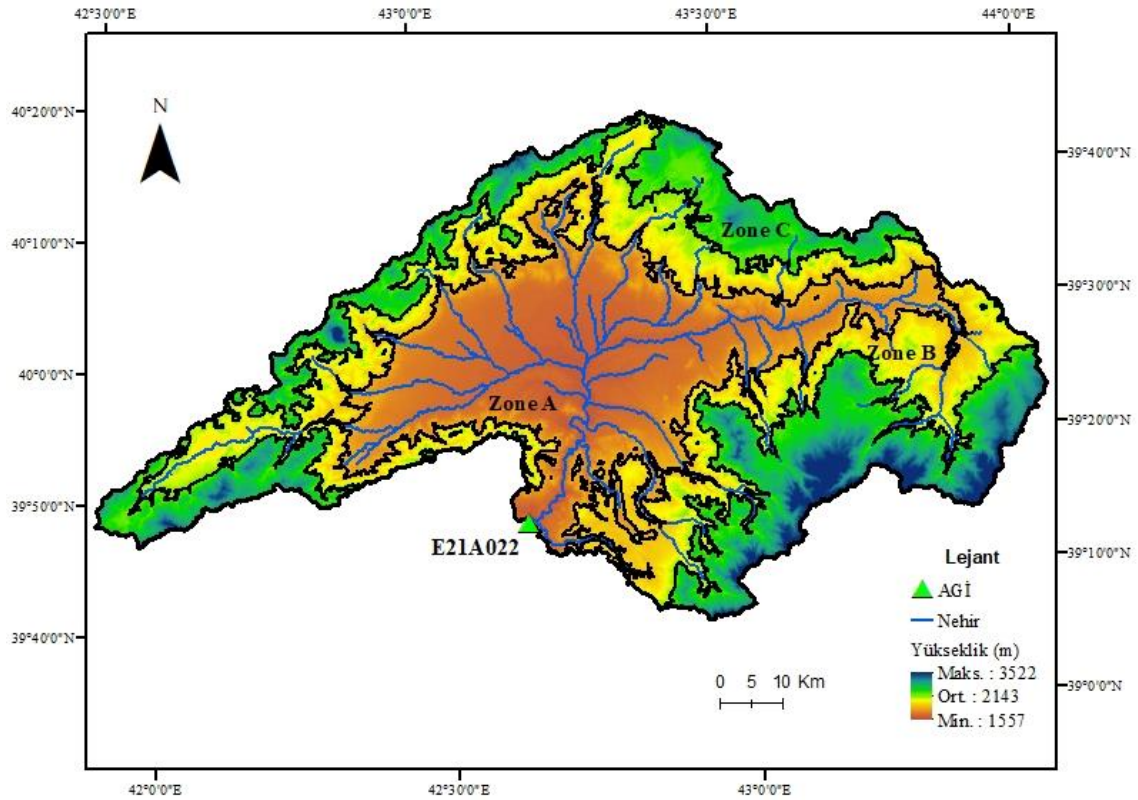
Şekil 3.6. Karasu Havzası Zon Dağılımı

Tablo 3.4. Karasu havzasının zonlarının karakteristik özellikleri

Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan (km ²)	Alan (%)	Hipsometrik Ort. Yükseklik (m)	Ortalama Eğim (%)
A	1673 - 1950	1049.9	36.5	1800	7.6
B	1950 - 2300	900.3	31.3	2140	23.7
C	2300 - 3172	922.0	32.1	2575	29.1

5985 km² drenaj alanına sahip Murat Havzası ise, 42° 06' - 43° 48' doğu boylamları ve 39° 17' - 40° 02' kuzey enlemleri arasında bulunur. Ortalama yükseltisi 2143 m olan havzanın, yüksekliği 1557 ile 3522 m arasında değişmekte olup ortalama eğimi %19.2 'dir. Murat Havzasının çıkış noktasında E21A022 kodlu DSİ işlettiği AGİ bulunmaktadır (Şekil 3.7).

Murat havzasının zon dağılımı yükseklik haritası üzerinde nehir ve havza çıkış noktası görülecek şekilde aşağıdaki şekilde gösterilmekte ve Murat havzasının zonlarına ait karakteristik bilgiler Tablo 3.5'te verilmiştir. Murat havzasında da zon alanlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



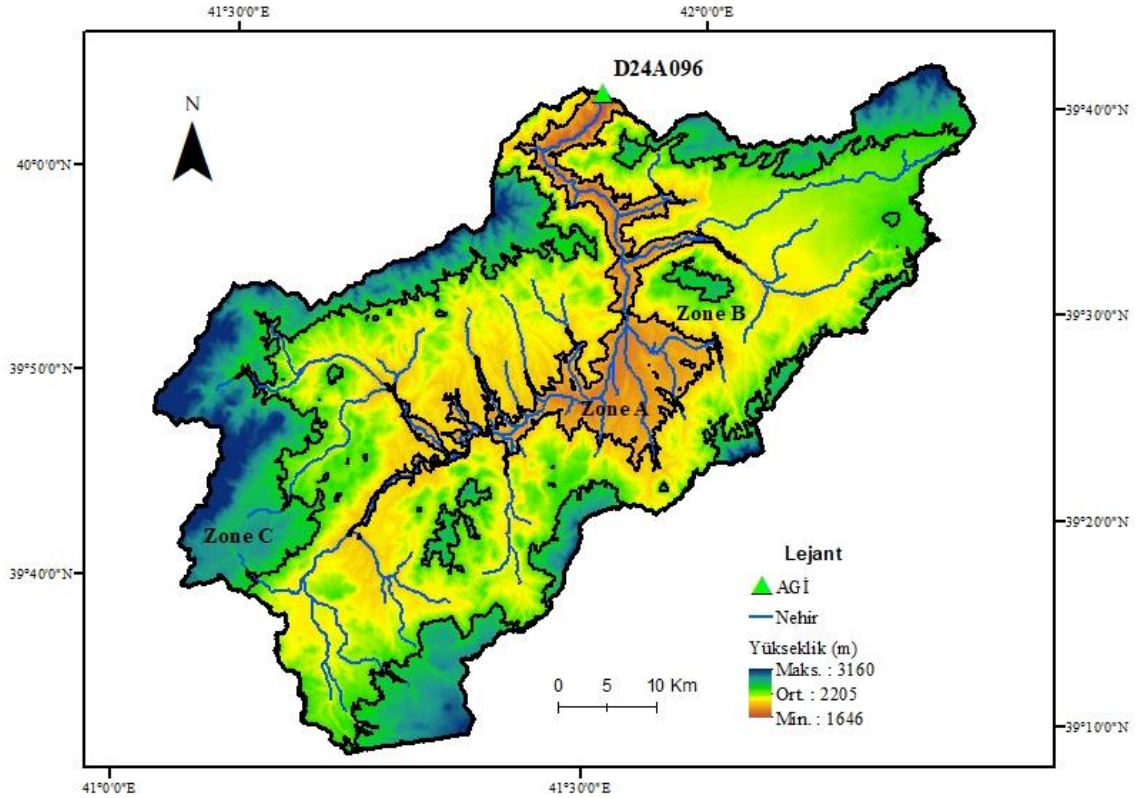
Şekil 3.7. Murat Havzası Zon Dağılımı

Tablo 3.5. Murat havzasının zonlarının karakteristik özellikleri

Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan (km ²)	Alan (%)	Hipsometrik Ort. Yükseklik (m)	Ortalama Eğim (%)
A	1557 - 1950	2042.6	34.1	1750	10.7
B	1950 - 2300	1980.6	33.1	2115	21.0
C	2300 - 3522	1960.6	32.8	2500	26.2

2788 km² drenaj alanına sahip Kayabaşı Havzası, 41° 18' - 42° 23' doğu boylamları ve 39° 32' - 39° 46' kuzey enlemleri arasında bulunur. Kayabaşı Havzasının çıkış noktasında D24A096 kodlu DSİ işlettiği AGİ bulunmaktadır (Şekil 3.8). Ortalama yükseltisi 2205 m olan havzanın, yüksekliği 1646 ile 3160 m arasında değişmekte olup ortalama eğimi %17.4 'tür.

Kayabaşı havzasının zon dağılımı yükseklik haritası üzerinde nehir ve havza çıkış noktası görülecek şekilde aşağıdaki şekilde gösterilmekte ve Kayabaşı havzasının zonlarına ait karakteristik bilgiler Tablo 3.6'da verilmiştir. Tablodan ve şekilden de görüldüğü üzere B zonu alanı toplam alanın %63'ünü oluşturmaktadır.



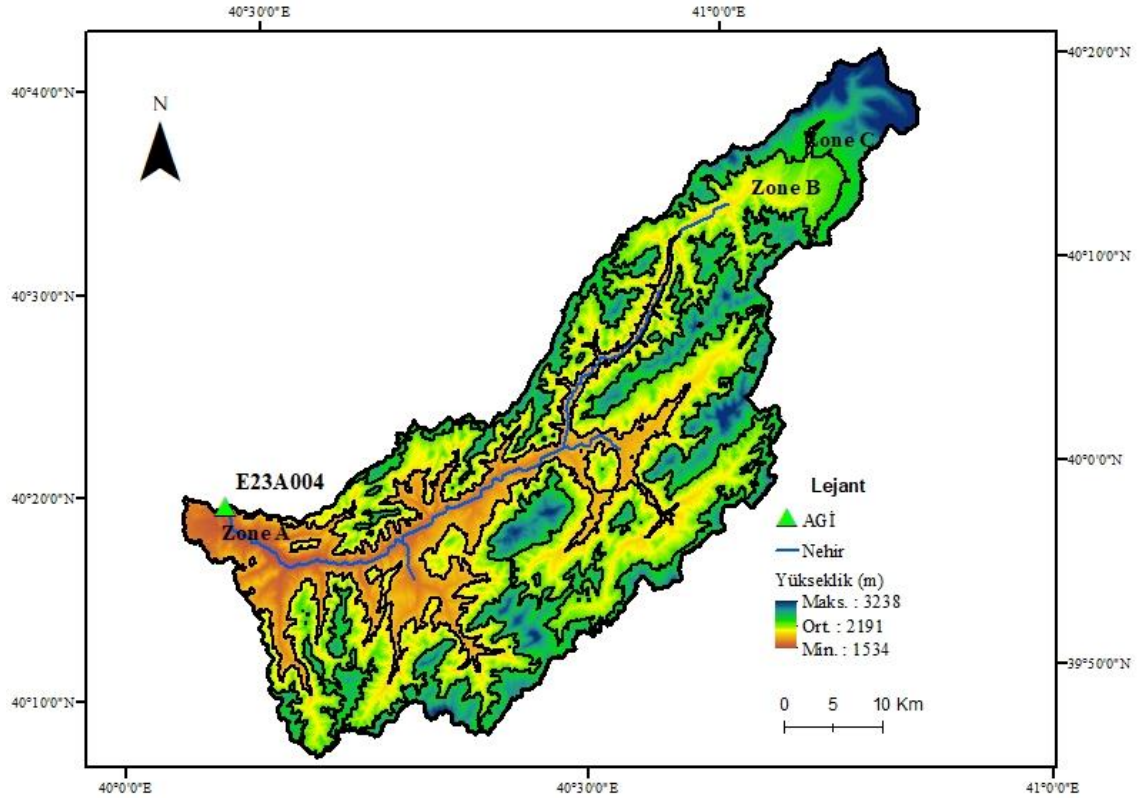
Şekil 3.8. Kayabaşı Havzası Zon Dağılımı

Tablo 3.6. Kayabaşı havzasının zonlarının karakteristik özellikleri

Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan (km ²)	Alan (%)	Hipsometrik Ort. Yükseklik (m)	Ortalama Eğim (%)
A	1646 - 1950	271.2	9.7	1890	17.9
B	1950 - 2300	1754.5	63.0	2115	15.6
C	2300 - 3160	761.1	27.3	2475	21.3

1826 km² drenaj alanına sahip Bayburt Havzası, 40° 12' - 41° 10' doğu boylamları ve 40° 02' - 40° 24' kuzey enlemleri arasında bulunur. Bayburt Havzasının çıkış noktasında E23A004 kodlu DSİ'nin işlettiği AGİ bulunmaktadır (Şekil 3.9). Ortalama yükseltisi 2191 m olan havzanın, yüksekliği 1534 ile 3238 m arasında değişmekte olup ortalama eğimi %32.4 'tür.

Bayburt havzasının zon dağılımı yükseklik haritası üzerinde nehir ve havza çıkış noktası görülecek şekilde aşağıdaki şekilde gösterilmekte ve Bayburt havzasının zonlarına ait karakteristik bilgiler Tablo 3.7'de verilmiştir. Buna göre, Bayburt havzasında toplam alanın %47'si B zonu içerisine girmektedir.

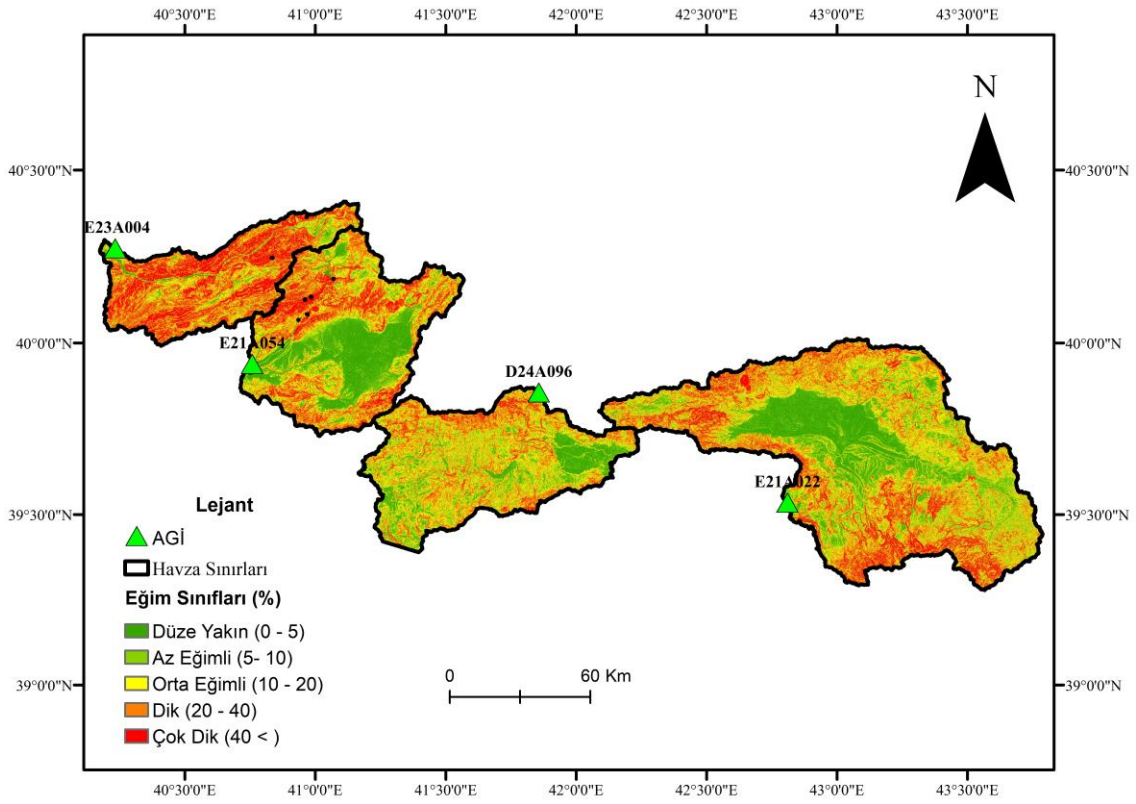


Şekil 3.9. Bayburt Havzası Zon Dağılımı

Tablo 3.7. Bayburt havzasının zonlarının karakteristik özellikleri

Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan (km ²)	Alan (%)	Hipsometrik Ort. Yükseklik (m)	Ortalama Eğim (%)
A	1534 - 1950	350.7	19.2	1830	26.2
B	1950 - 2300	866.9	47.5	2115	33.1
C	2300 - 3238	607.6	33.3	2450	36.2

Eğim, yüzeyin ne kadar dik veya düz olduğunu ortaya koyan topoğrafik açıdan havza karakteristiğinin anlaşılmasına yarar. CBS kullanılarak SYM haritasından yüzey analizi yapıp, 4 farklı havzanın eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.10). Havzaların eğim haritaları ve her bir eğim sınıfı aralığındaki alan yüzdeleri Tablo 3.8’de gösterilmiştir. Tablo ve şekil incelendiğinde Bayburt havzasının yaklaşık %73’ünün eğiminin %20’nin üzerinde olduğu, % 0 – 5 eğim aralığında ise %22 ile Karasu’nun en düz alana sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Murat ve Kayabaşı havzalarının eğim dağılımı benzer değerlerdedir.

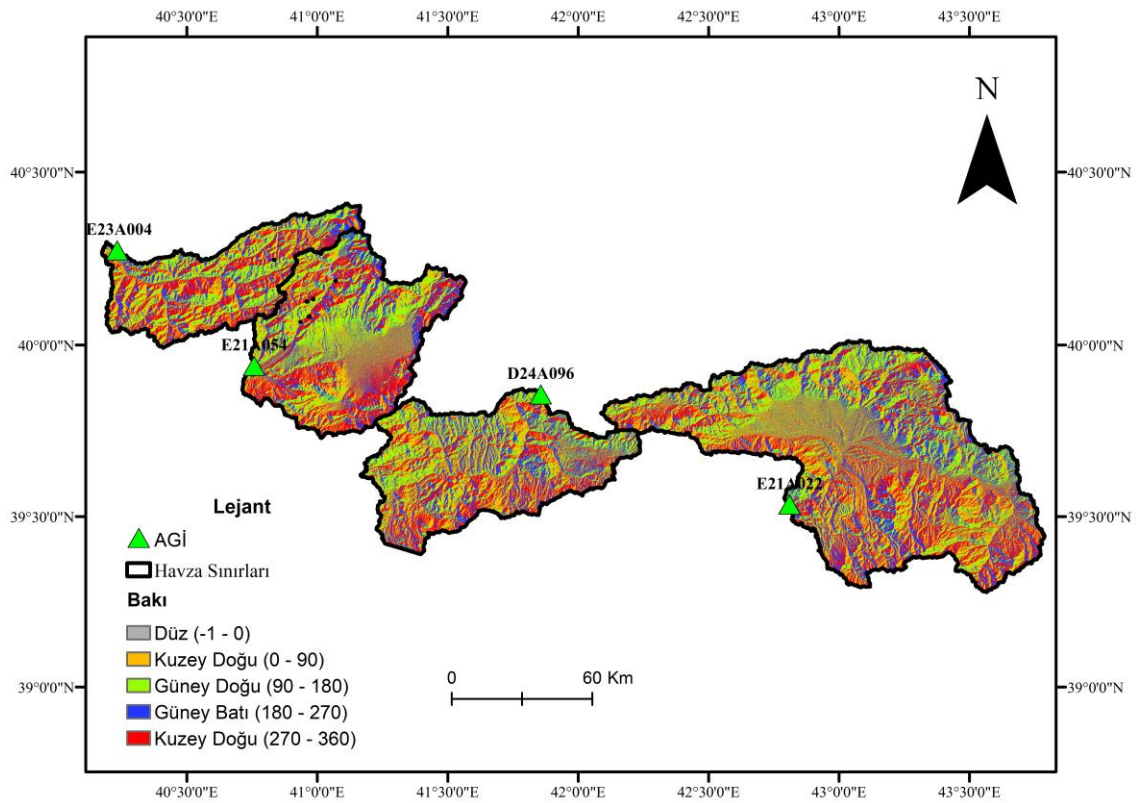


Şekil 3.10. Havzaların eğim haritası

Tablo 3.8. Havzaların Eğim-Alan İlişkisi

Eğim Sınıfları (%)	Havzaların Alanları (%)			
	Karasu	Murat	Kayabaşı	Bayburt
0 - 5	22.9	17.5	14.3	3.3
5 - 10	15.1	16.9	18.8	6.2
10 - 20	21.5	26.7	32.4	18.0
20 - 40	28.1	28.5	28.7	40.6
40 <	12.5	10.3	5.8	31.9

Bakı, bir alana gelen güneş ışınlarının hangi yönden alındığının ifadesidir ve hidroloji bilimindeki önemi ise güneş ışınına maruz kalan kısım üzerinde terleme ve buharlaşmayı etkilemesinden ötürü kar erimesini hızlandırır. Çalışılan 4 havzada bakı; düzlük, kuzeydoğu, güneydoğu, kuzeybatı ve güneybatı olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.11). Her bir bakı sınıfı için havza alanlarının yüzdeleri Tablo 3.9’da verilmiş olup buna göre, havzalardaki düzlük alanları %1.5 değerinin altında olduğu, kuzeydoğu, güneydoğu, güneybatı ve kuzeybatı alanlarının tüm havzalarda eşit biçimde dağıldığı görülmüştür.

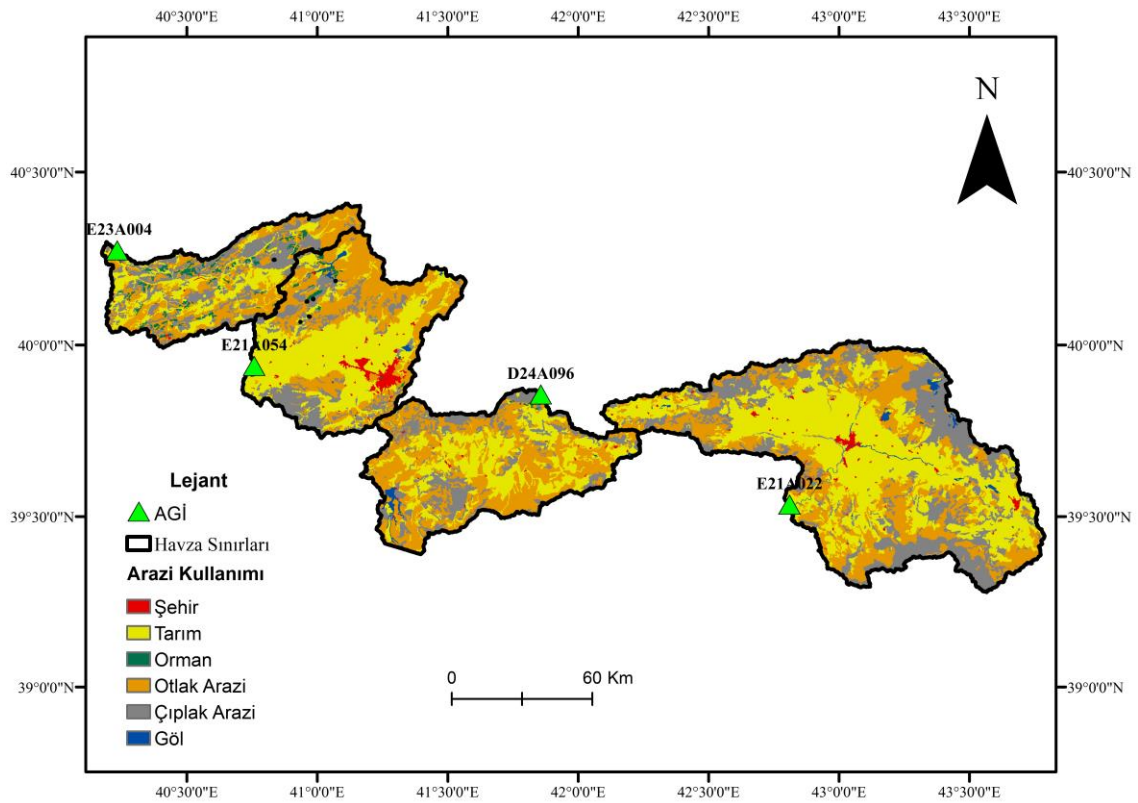


Şekil 3.11. Havzaların bakı haritası

Tablo 3.9. Havzaların Bakı-Alan İlişkisi

Bakı Sınıflandırması	Havzaların Alanları (%)			
	Karasu	Murat	Kayabaşı	Bayburt
Düzlük	1.4	1.0	0.9	0.4
Kuzeydoğu	20.4	24.0	24.3	20.6
Güneydoğu	27.9	26.2	26.7	27.9
Güneybatı	23.3	25.1	24.7	22.5
Kuzeybatı	26.9	23.8	23.4	28.6

Arazi kullanımı hidrolojide önemli bir veri kaynağı olup havzaya düşen yağışın ne kadarının akıma katkıda bulunacağı veya ne kadarının da sızacağı konusunda fikir sağlamaktadır. Çalışmada kullanılan havzaların arazi kullanım haritalarının oluşturulmasında CORINE (CLC 2018) altlığı kullanılmıştır. Tablo 3.10 ve Şekil 3.12’de de görüleceği üzere 4 havzanın da ağırlıklı olarak arazi kullanımı tarım, otlak ve çıplak arazi olduğu CBS’de analiz edilmiştir.



Şekil 3.12. Havzaların arazi kullanımı bilgisi

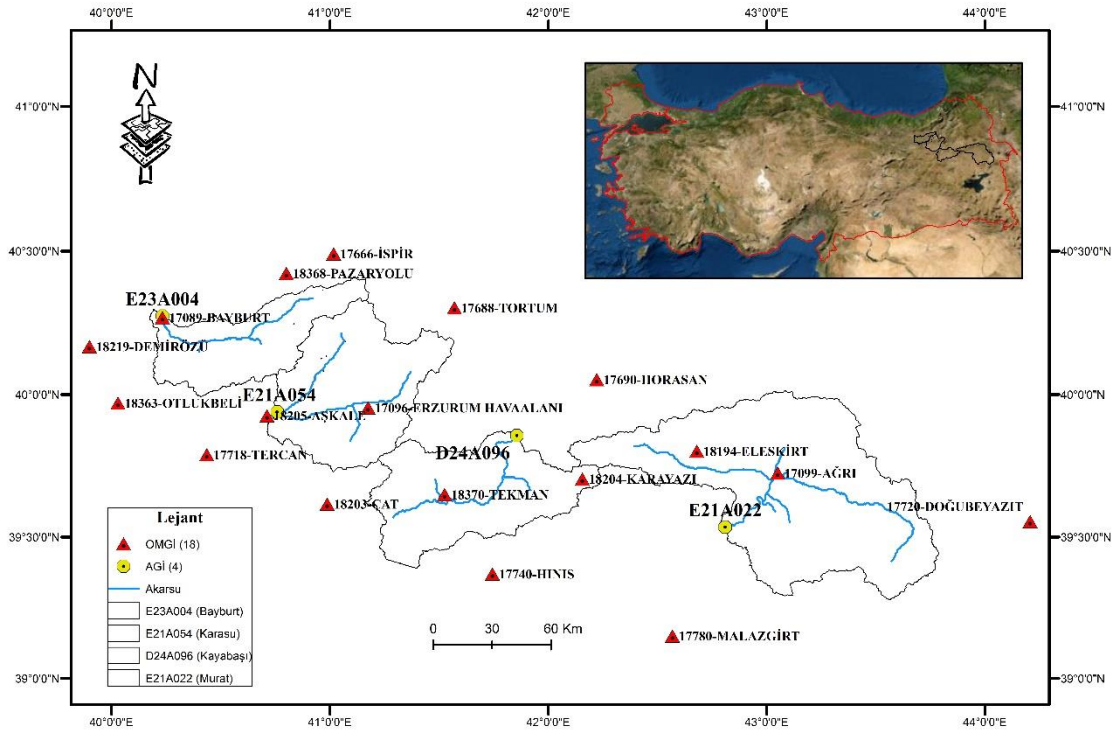
Tablo 3.10. Havzaların Arazi Kullanımı-Alan İlişkileri

Arazi Kullanımı	Havzaların Alanı (%)			
	Karasu	Murat	Kayabaşı	Bayburt
Şehir	3.0	1.0	0.4	0.5
Tarım	42.8	43.2	30.8	25.4
Orman	0.9	0.0	0.2	4.8
Otlak Arazisi	35.3	28.8	47.1	36.5
Çıplak Arazisi	17.4	26.2	20.5	32.7
Göl	0.7	0.8	1.0	0.0

3.2.3. Hidro-meteorolojik veri analizleri

Çalışma alanlarına dair hidro-meteorolojik verilerin bilinmesi su kaynaklarının yönetilmesi açısından hidroloji biliminde oldukça önemlidir. Havzaların bulunduğu coğrafi bölgelerin hidrolojik karakteristiklerini tanımak ve hidrolojik verilerin toplanması, alanda yapılacak hidrolojik modellemenin başarısı etkilemektedir (WMO, 1999). Verilerin toplanması, depolanması ve analiz edilmesinin ehemmiyetinin yanı sıra bölgede bulunan istasyonların varlığı da önem teşkil etmekte ve havzaların dağlık olması sebebiyle verilerin toplanması, istasyona ulaşılabilirliğin yüksek kotlarda zor durumda olması nedeniyle pahalı ve tehlikeli olmaktadır.

Hidrolojik modellemelerde temel meteorolojik girdiler; yağış, sıcaklık, bağıl nem, güneş ışıması ve rüzgâr hızı olmaktadır. Bunlar arasından, DSİ ve MGM gibi kurumların işlettiği AĞİ ve OMGİ'lerden elde edilen akım, yağış ve sıcaklık gibi hidrolojik veriler analiz edilerek model içerisinde kullanıma uygun hale getirilmiştir. Şekil 3.13'te hidro-meteorolojik verilerin sağlandığı istasyonlar çalışmanın yapıldığı havzalar üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Havzaların çevresinde bulunan istasyonların dağılımı

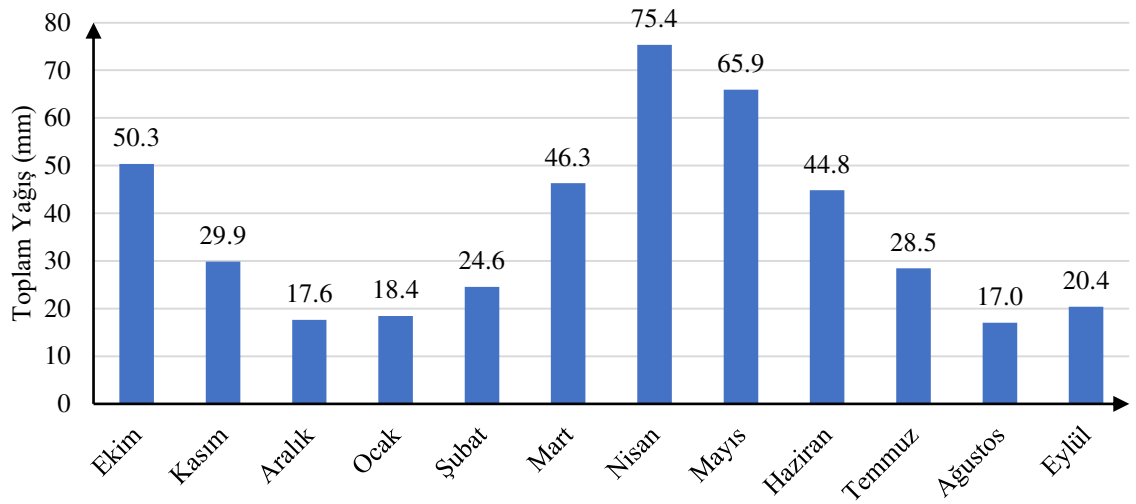
Tablo 3.11’de ise havza içerisindeki ve etrafındaki istasyonların bilgi yer almaktadır. Buna göre, 18 adet OMGİ’nin bulunduğu görülmektedir.

Tablo 3.11. İstasyon Bilgileri

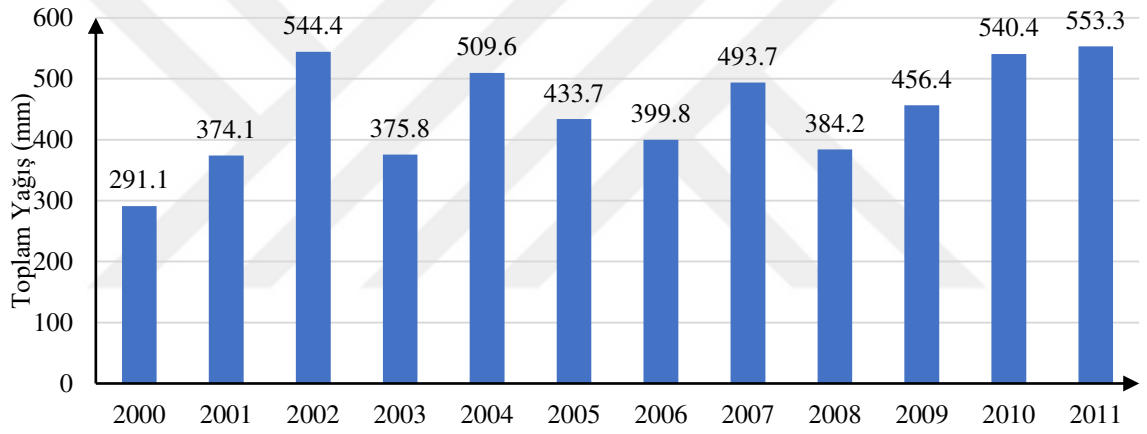
İstasyon Türü	İl	Havza	İstasyon Adı	İstasyon Numarası	Yükseklik (m)
AGİ	Erzurum	Fırat	Karasu	E21A054	1673
AGİ	Ağrı	Fırat	Murat	E21A022	1557
AGİ	Erzurum	Aras	Kayabaşı	D24A054	1646
AGİ	Bayburt	Çoruh	Bayburt	E23A004	1545
OMGİ	Bayburt	Çoruh	Bayburt	17089	1584
OMGİ	Bayburt	Çoruh	Demirözü	18219	1757
OMGİ	Erzincan	Fırat	Otlukbeli	18363	1740
OMGİ	Erzincan	Fırat	Tercan	17718	1427
OMGİ	Erzurum	Fırat	Aşkale	18205	1691
OMGİ	Erzurum	Çoruh	Pazaryolu	18368	1520
OMGİ	Erzurum	Çoruh	İspir	17666	1187
OMGİ	Erzurum	Çoruh	Tortum	17688	1586
OMGİ	Erzurum	Aras	Erzurum Havaalanı	17096	1758
OMGİ	Erzurum	Aras	Çat	18203	1907
OMGİ	Erzurum	Aras	Tekman	18370	1980
OMGİ	Erzurum	Aras	Karayazı	18204	2246
OMGİ	Erzurum	Aras	Horasan	17690	1540
OMGİ	Ağrı	Fırat	Eleşkirt	18194	1818
OMGİ	Ağrı	Fırat	Ağrı	17099	1646
OMGİ	Muş	Fırat	Malazgirt	17780	1501
OMGİ	Erzurum	Fırat	Hınıs	17740	1715
OMGİ	Ağrı	Aras	Doğu Beyazıt	17720	1640

Yağış ve sıcaklık verisini içeren meteoroloji gözlem istasyonları bir noktadaki ölçümleri kaydetmektedir. Devlet kurumlarından çalışmayı kapsayan yılların verisi temin edilip, eksiklikler giderilerek işlenmiştir. Havzayı alansal olarak temsil edebilmesi amacıyla ArcMap platformunda Thiessen Poligon aracı kullanılarak noktasal veri alana dağıtılmıştır.

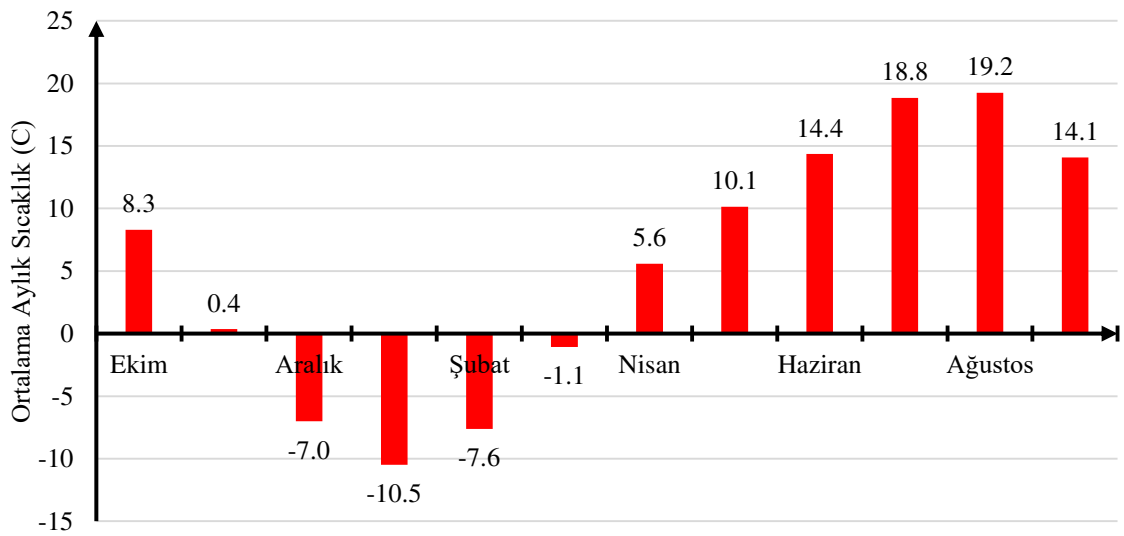
Havza içerisindeki ve etraflarındaki istasyonlardan alınan verilerin analizi sonucu elde edilen aylık ortalama toplam yağış, Şekil 3.14, Şekil 3.17, Şekil 3.20 ve Şekil 3.23’te; yıllık toplam yağış, Şekil 3.15, Şekil 3.18, Şekil 3.21 ve Şekil 3.24’te; aylık ortalama sıcaklıklar ise Şekil 3.16, Şekil 3.19, Şekil.3.22 ve Şekil 3.25’te Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt için sıralı biçimde verilmiştir.



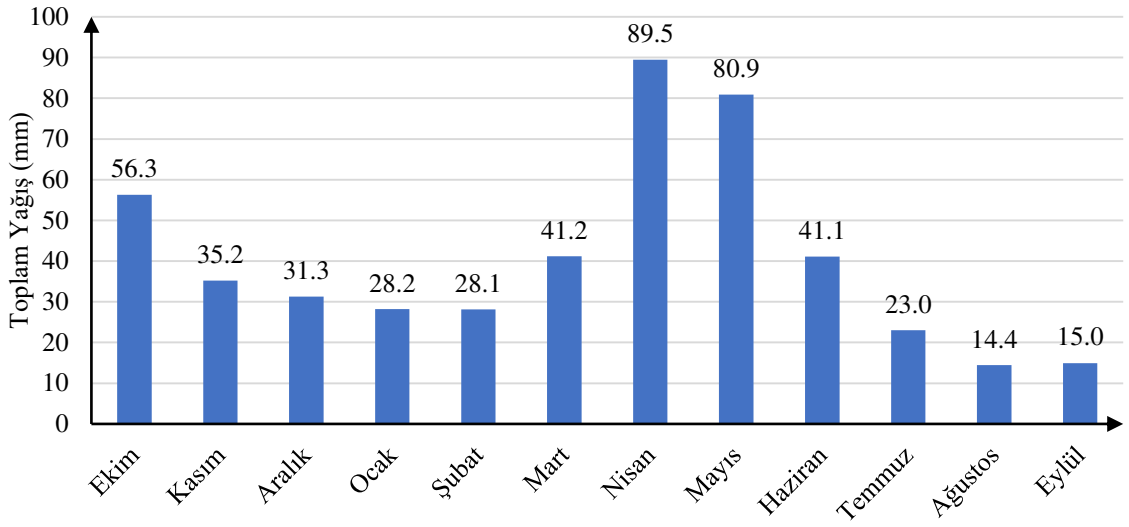
Şekil 3.14. Karasu Havzası MGI'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar



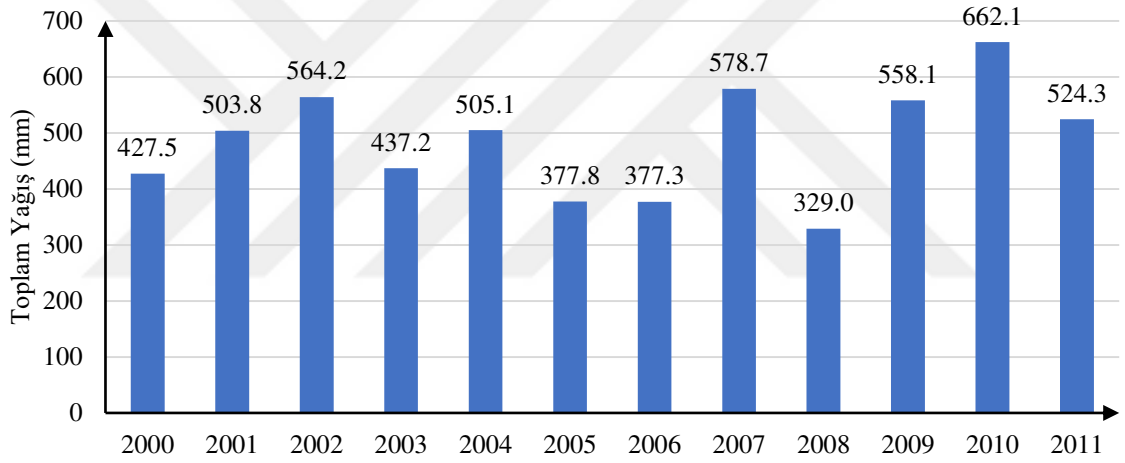
Şekil 3.15. Karasu yıllık toplam yağışlar



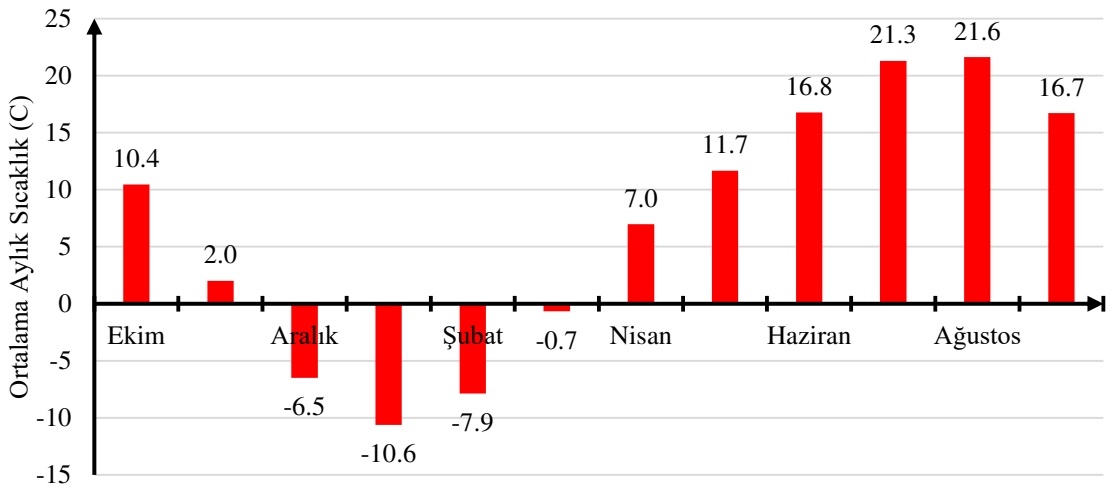
Şekil 3.16. Karasu aylık ortalama sıcaklıklar



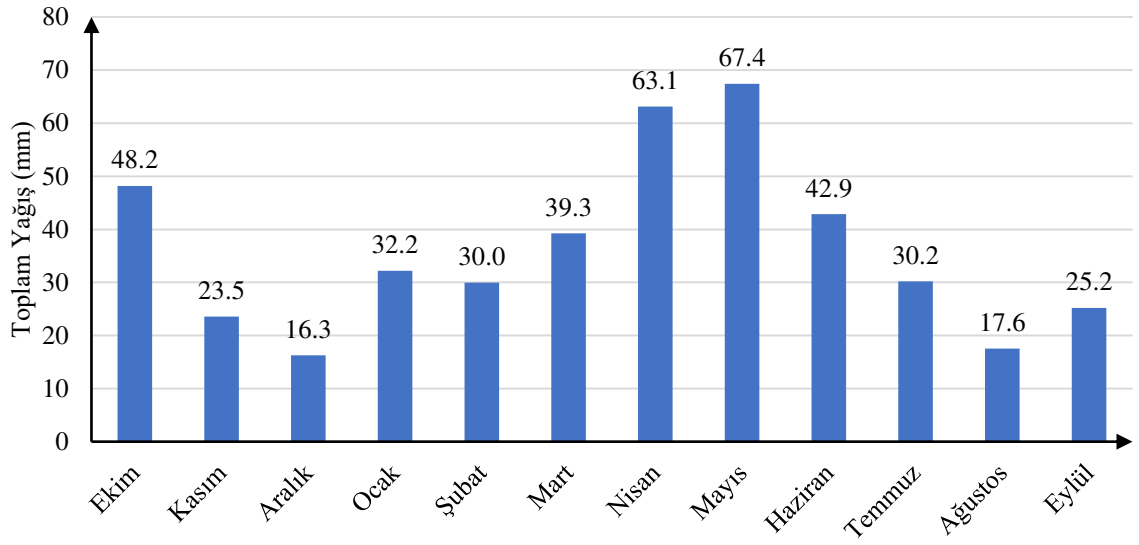
Şekil 3.17. Murat Havzası MGI'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar



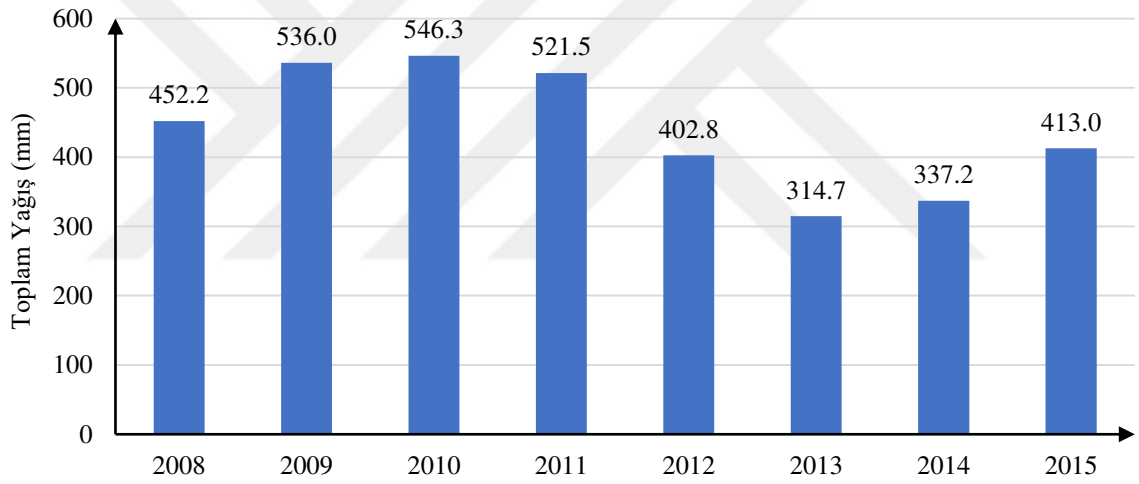
Şekil 3.18. Murat yıllık toplam yağışlar



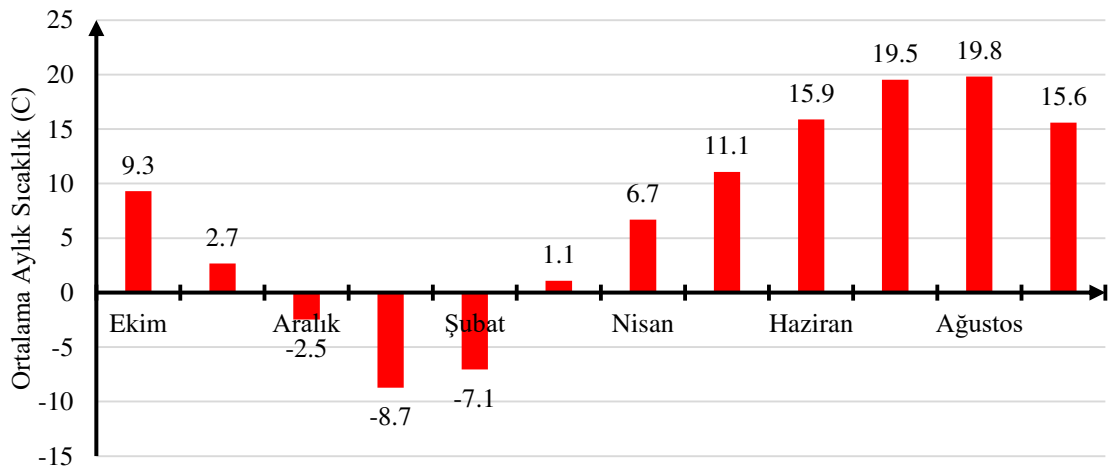
Şekil 3.19. Murat aylık ortalama sıcaklıklar



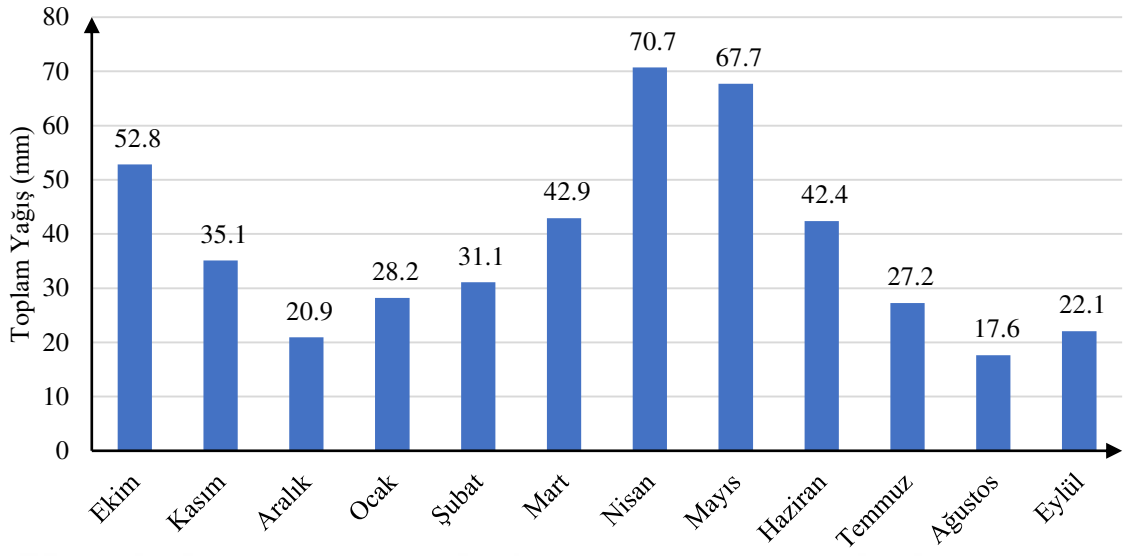
Şekil 3.20. Kayabaşı Havzası MGI'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar



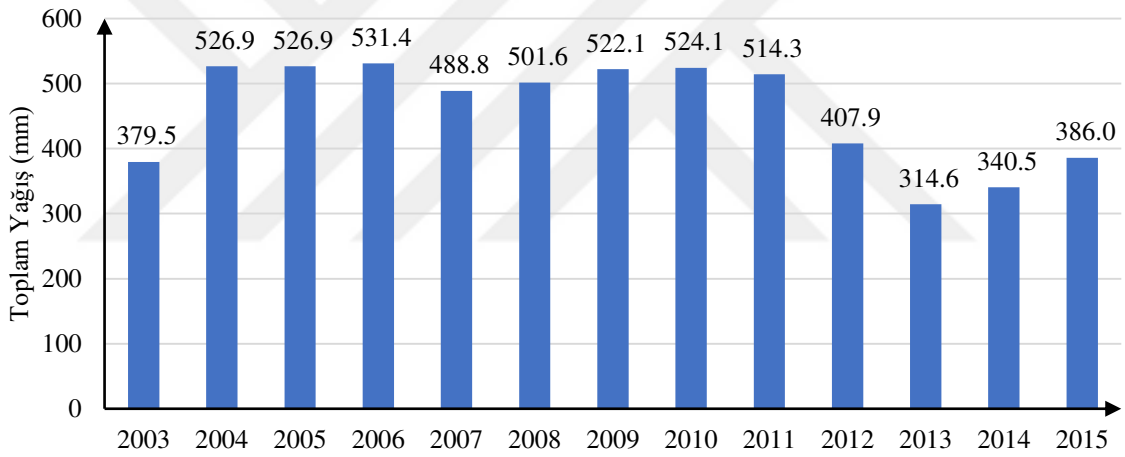
Şekil 3.21. Kayabaşı yıllık toplam yağışlar



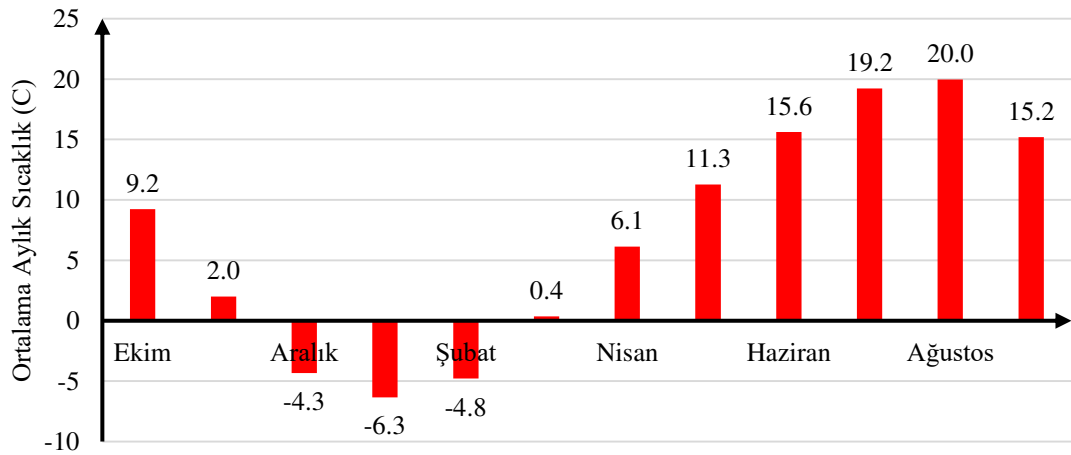
Şekil 3.22. Kayabaşı aylık ortalama sıcaklıklar



Şekil 3.23. Bayburt Havzası MGİ'de ölçülen Aylık Ortalama Toplam Yağışlar



Şekil 3.24. Bayburt yıllık toplam yağışlar



Şekil 3.25. Bayburt aylık ortalama sıcaklıklar

Şekil 3.14'ten Şekil 3.25'e kadar SRM analizinde kullanılan her havzadaki yağış ve sıcaklık grafikleri verilmiş, su yıllarının ve model çıktıların yorumlanmasında kolaylık sağlanması açısından yağış, sıcaklık ve akım verileri kuru, normal ve ıslak olarak 3 kategoride sınıflandırılarak Tablo 3.12 ve Tablo 3.13 hazırlanmıştır.

Su yıllarının karşılaştırılmasında kullanılan ölçütler aşağıdaki denkleme göre yapılmıştır.

$$\text{Eğer } x < (\bar{x} - \sigma) \text{ Kuru} \quad (3.11)$$

$$\text{Eğer } x > (\bar{x} + \sigma) : \text{Islak} \quad (3.12)$$

$$\text{Eğer } (\bar{x} - \sigma) \leq x \leq (\bar{x} + \sigma) : \text{Normal} \quad (3.13)$$

Burada, x ölçüt değişkenleri, $\bar{x}$ değişkenlerin ortalamaları ve σ standart sapmadır.

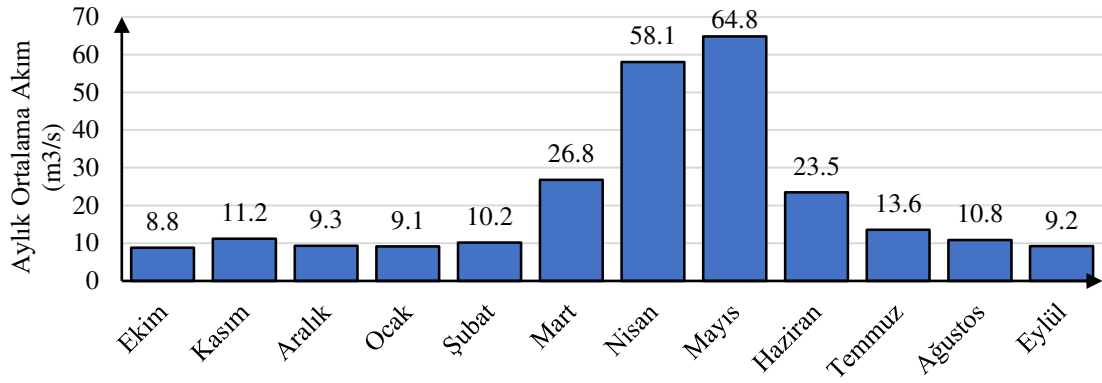
Havzaların deşarj noktalarında bulunan AGİ'lerden alınan akım verileri analizi sonucu elde edilen aylık ortalama akım, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da; yıllık ortalama akım, Şekil 3.30, Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt için sıralı biçimde verilmiştir. Ardından yukarıda açıklanan ölçütlere göre Tablo 3.14 hazırlanarak akım sonuçları değerlendirilmiştir.

Tablo 3.12. *Havzaların yağış değerlendirmesi*

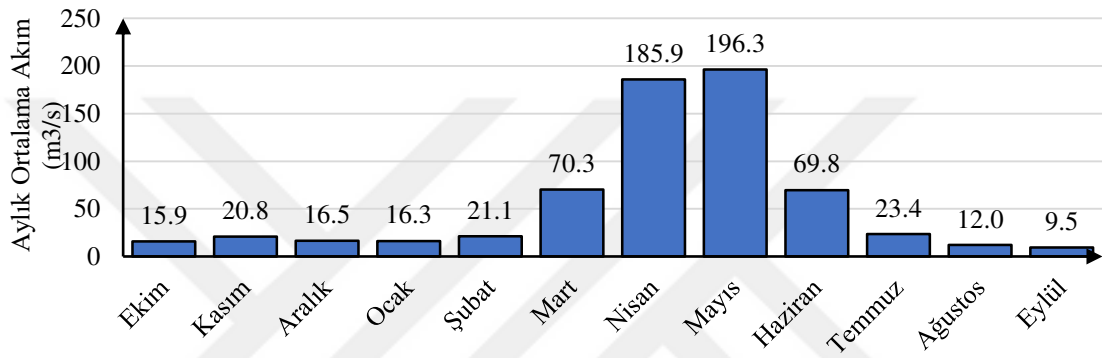
Yıllar	Toplam Yağış (mm)			
	Karasu	Kayabaşı	Murat	Bayburt
2000	291.1 KURAK	-	427.5 NORMAL	-
2001	374.1 KURAK/NORMAL	-	503.8 NORMAL	-
2002	544.4 ISLAK	-	564.2 ISLAK/NORMAL	-
2003	375.8 KURAK/NORMAL	-	437.2 NORMAL	379.5 KURAK/NORMAL
2004	509.6 ISLAK/NORMAL	-	505.1 NORMAL	526.9 ISLAK/NORMAL
2005	433.7 NORMAL	-	377.8 KURAK	526.9 ISLAK/NORMAL
2006	399.8 NORMAL	-	377.3 KURAK	531.4 ISLAK/NORMAL
2007	493.7 NORMAL	-	578.7 ISLAK/NORMAL	488.8 NORMAL
2008	384.2 NORMAL	452.2 NORMAL	329 KURAK	501.6 NORMAL
2009	456.4 NORMAL	536.0 ISLAK	558.1 NORMAL	522.1 ISLAK/NORMAL
2010	540.4 ISLAK	546.3 ISLAK	662.1 ISLAK	524.1 ISLAK/NORMAL
2011	553.2 ISLAK	521.5 ISLAK/NORMAL	524.3 NORMAL	514.3 NORMAL
2012	-	402.8 NORMAL	-	407.9 NORMAL
2013	-	314.7 KURAK	-	314.6 KURAK
2014	-	337.2 KURAK	-	340.5 KURAK
2015	-	413.0 NORMAL	-	386.0 KURAK/NORMAL
Ortalama	446.4	440.5	487.1	458.8
Standart Sapma	83.5	89.2	98.6	80.4
Ort.-St.S	362.9	351.3	388.5	378.4
Ort.+St.S	529.9	529.6	585.7	539.2

Tablo 3.13. *Havzaların sıcaklık değeriendirme*

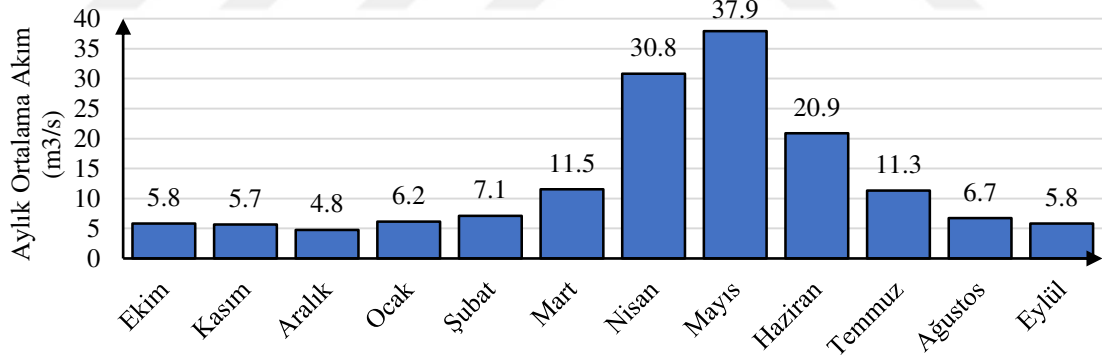
Yıllar	Sıcaklık Ortalaması (C°)			
	Karasu	Kayabaşı	Murat	Bayburt
2000	5.0 NORMAL	-	6.5 NORMAL	
2001	6.2 NORMAL	-	7.5 NORMAL	-
2002	4.2 SOĞUK	-	4.9 SOĞUK	-
2003	4.7 NORMAL	-	6.4 NORMAL	5.9 SOĞUK
2004	5.0 NORMAL	-	7.2 NORMAL	6.2 NORMAL
2005	4.1 SOĞUK	-	5.2 SOĞUK	5.7 SOĞUK
2006	6.6 SICAK	-	8.1 SICAK/NORMAL	7.2 NORMAL
2007	4.5 SOĞUK/NORMAL	-	6.6 NORMAL	5.8 SOĞUK
2008	4.8 NORMAL	6.0 NORMAL	6.9 NORMAL	6.5 NORMAL
2009	5.1 NORMAL	5.8 SOĞUK/NORMAL	6.4 NORMAL	6.5 NORMAL
2010	8.0 SICAK	9.2 SICAK	9.7 SICAK	9.3 SICAK
2011	6.4 SICAK/NORMAL	7.1 NORMAL	7.9 SICAK/NORMAL	7.5 NORMAL
2012	-	5.4 SOĞUK	-	6.2 SOĞUK/NORMAL
2013	-	7.3 NORMAL	-	7.8 SICAK/NORMAL
2014	-	7.0 NORMAL	-	7.8 SICAK/NORMAL
2015	-	7.8 SICAK/NORMAL	-	8.2 SICAK
Ortalama	5.4	6.9	6.9	7.0
Standart Sapma	1.2	1.3	1.3	1.1
Ort.-St.S	4.2	5.6	5.7	5.9
Ort.+St.S	6.6	8.2	8.2	8.1



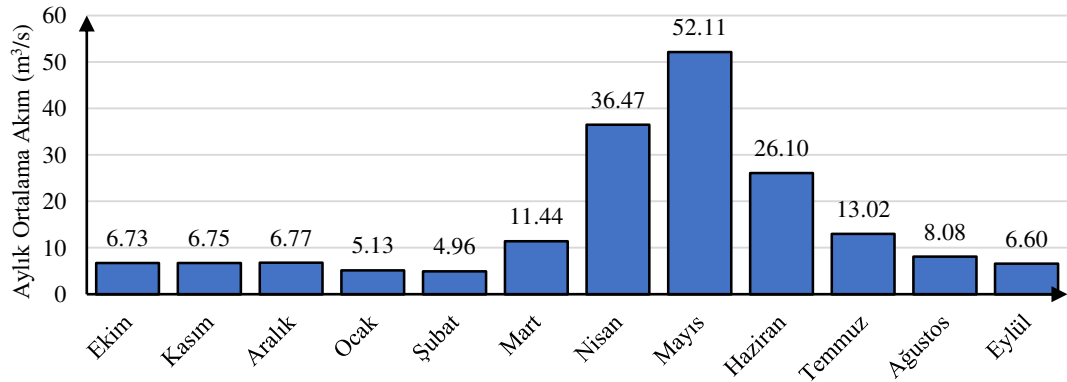
Şekil 3.26. Karasu aylık ortalama akım



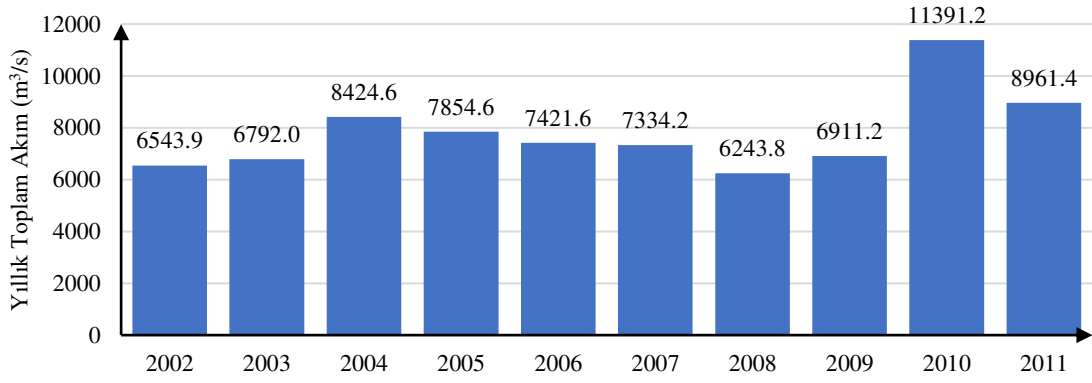
Şekil 3.27. Murat aylık ortalama akım



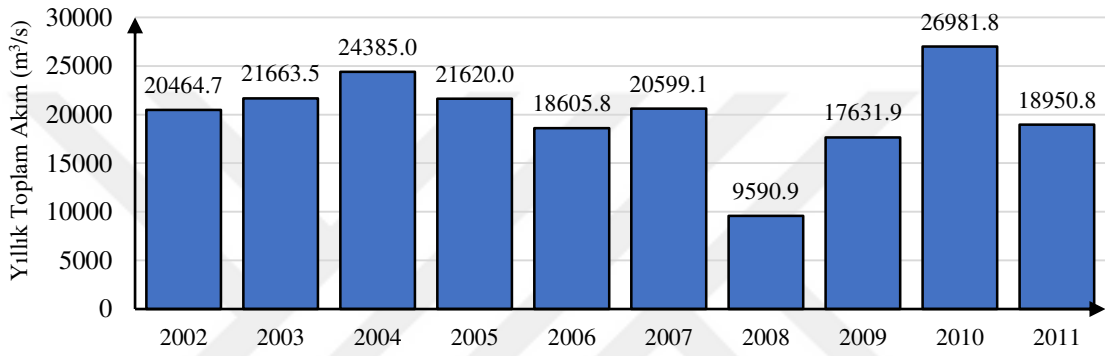
Şekil 3.28. Kayabaşı aylık ortalama akım



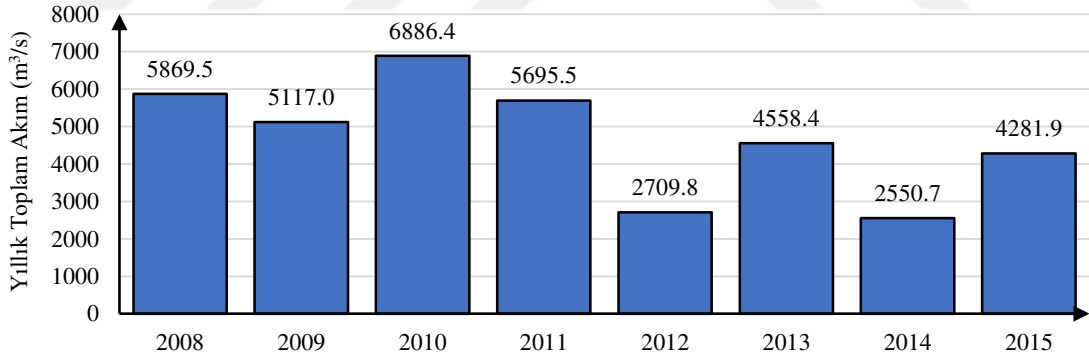
Şekil 3.29. Bayburt aylık ortalama akım



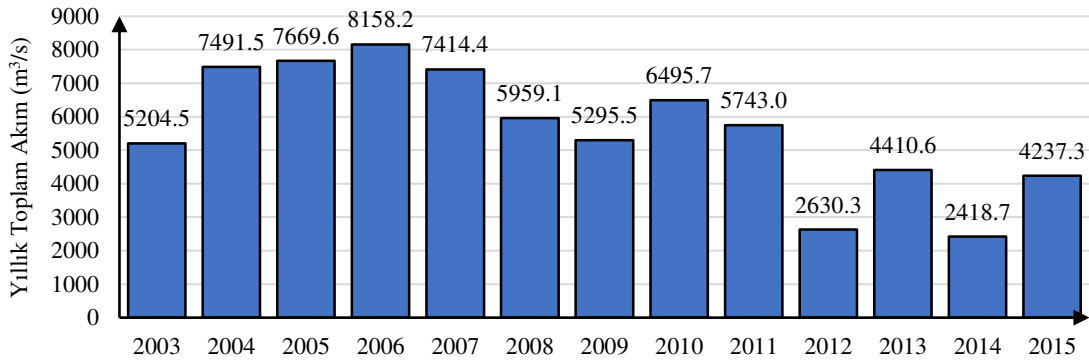
Şekil 3.30. Karasu yıllık toplam akım



Şekil 3.31. Murat yıllık toplam akım



Şekil 3.32. Kayabaşı yıllık toplam akım



Şekil 3.33. Bayburt yıllık toplam akım

Tablo 3.14. *Havzaların akım değerlendirmesi*

Yıllar	Toplam Akım (m ³ /s)			
	Karasu	Kayabaşı	Murat	Bayburt
2002	6543.9 ISLAK/NORMAL	-	20464.7 NORMAL	-
2003	6792.0 NORMAL	-	21663.5 NORMAL	5204.5 NORMAL
2004	8424.6 NORMAL	-	24385 NORMAL/ISLAK	7491.5 ISLAK
2005	7854.6 NORMAL	-	21620.0 NORMAL	7669.6 ISLAK
2006	7421.6 NORMAL	-	18605.8 NORMAL	8158.2 ISLAK
2007	7334.2 NORMAL	-	20599.1 NORMAL	7414.4 ISLAK
2008	6243.8 KURAK	5869.5 ISLAK/NORMAL	9590.9 KURAK	5959.1 ISLAK/NORMAL
2009	6911.2 NORMAL	5117.0 NORMAL	17631.9 NORMAL	5295.5 NORMAL
2010	11391.2 ISLAK	6886.4 ISLAK	26981.8 ISLAK	6495.7 ISLAK
2011	8961.4 ISLAK/NORMAL	5695.5 NORMAL	18950.8 NORMAL	5743.0 ISLAK/NORMAL
2012	-	2709.8 KURAK	-	2630.3 KURAK/NORMAL
2013	-	4558.4 NORMAL	-	4410.6 NORMAL
2014	-	2550.7 KURAK	-	2418.7 KURAK/NORMAL
2015	-	4281.9 NORMAL	-	4237.4 NORMAL
Ortalama	7787.9	4769.6	20171.4	4237.4
Standart Sapma	1520.4	1626.8	4868.0	1883.3
Ort.-St.S	6267.5	3142.8	15303.4	2354.1
Ort.+St.S	9308.2	6396.5	25039.4	6120.6

Havzalara düşen ortalama yıllık toplam yağışlar oldukça yakın değerler sergilemekte olup sırasıyla; Karasu 446.37 mm, Murat 438.78 mm, Kayabaşı 492.51 mm ve Bayburt 458.82 mm. Sıcaklık değerleri genel olarak 4 havzada da Aralık, Ocak ve Şubat aylarında sıfırın altında olduğundan dolayı yağışın kar şeklinde gerçekleştiği çıkarımına kolaylıkla varılabilir. Bahar aylarında ise sıcaklığın yavaşça artması ve yağışın yağmur olarak doğrudan akıma katılması, bütün havzalarda maksimum akım değerine

Nisan ve özellikle Mayıs ayında ulaşılmasını sağlamaktadır. Genel olarak havzaların en sıcak ve yağışın en düşük değerde görüldüğü ay ise Ağustos ayı olmaktadır.

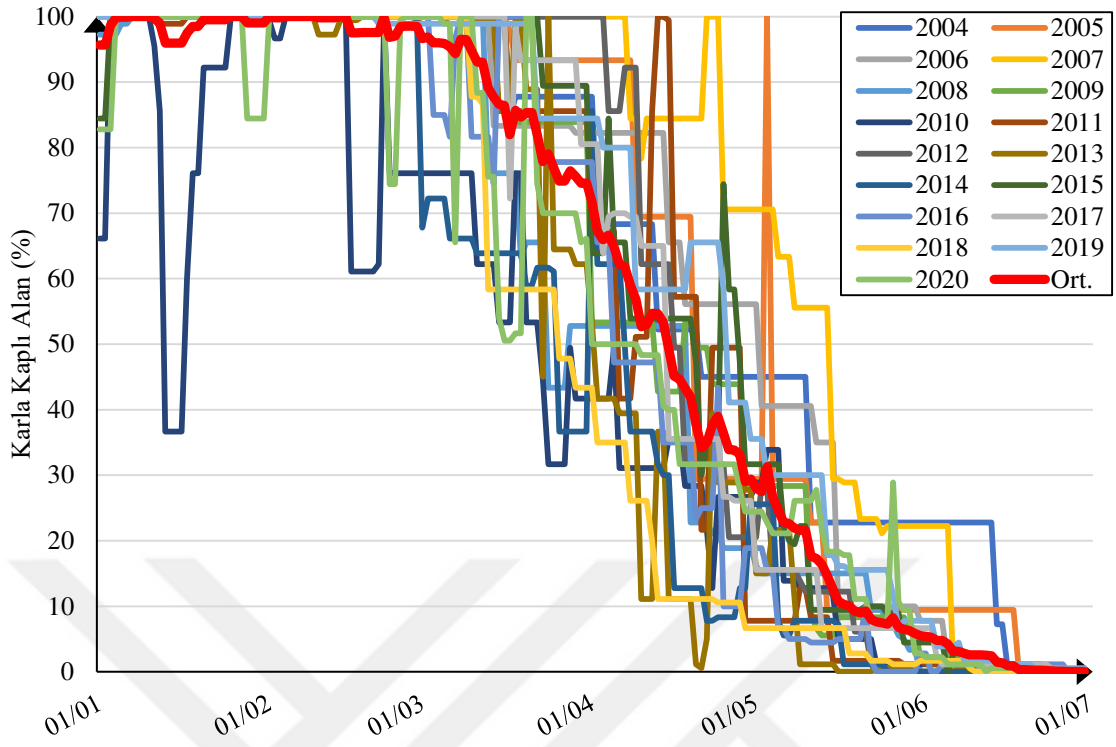
AGİ ve MGİ'den elde edilen veriler analiz edilmiş sonucunda hangi su yıllarının havzalarda Kurak, Sıcak veya Normal geçtiği Tablo 3.12, Tablo 3.13 ve Tablo 3.14'te özetlenmiştir. Bunu yapmanın temel sebebi ise yıldan yıla yağış, sıcaklık ve akımın değişimini gözlemleyerek taşkın ve kuraklığın hangi zamanlarda meydana geldiğini ortaya çıkarmaktır. Nitekim, ilkbahar aylarında sıcaklığın artmasıyla karın erimeye başlaması sonucu biranda artan akım değeri taşkınlara sebep olabilir ve sulama ve enerjide üretiminde kullanılacak suyun kaybına neden olur. Bu gibi durumların önüne geçmenin en iyi yolu planlamanın başarılı şekilde yapılmasını sağlayacak uzun vadeli gözlem ve doğru analizlerdir.

Yıllara göre toplam yağış, sıcaklık ve akımın baz alındığı yukarıdaki tablolarda değişkenlerin (x) ortalamaları ($\bar{x}$), standart sapmaları (σ) hesaplanarak; yağış ve akım için ortalama değer ile standart sapma farkının altında kalan değer: “Kurak”, sıcaklık için “Soğuk”, akım ve yağış için ortalama değer ile standart sapma toplamının üstünde kalan değer: Islak, sıcaklık için “Sıcak”, akım, sıcaklık ve yağış için değer ortalamasının standart sapma farkı ve toplamı arasında kalıyorsa “Normal” olarak isimlendirilmiştir. Normal değere yakın olanlar ise veri türüne göre “Soğuk/Normal”, “Kurak/Normal” şeklinde adlandırılmıştır.

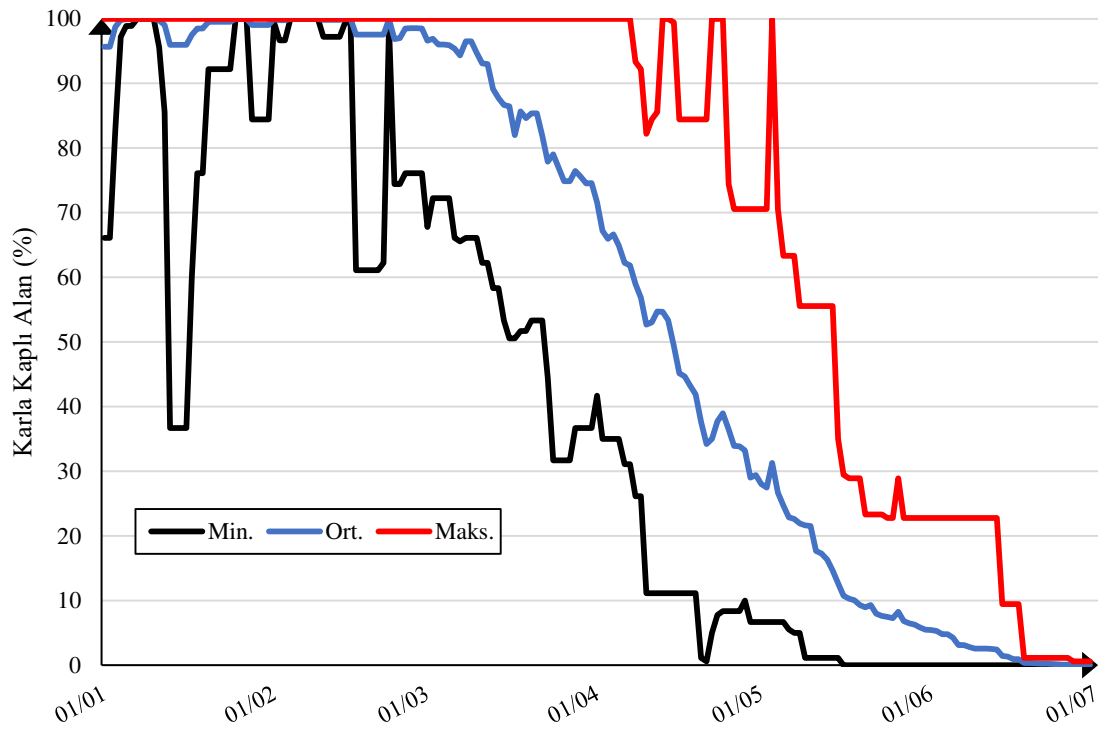
3.2.4. Karla kaplı alan analizi

SRM'in temel girdi parametresi olan KKA verisi, IMS uydu kar görüntülerinden elde edilerek nasıl çıkarıldığı 2. Bölümde anlatılmıştır. CBS'de, bu bölümde modelleme çalışmasında kullanılan havzaların KKA grafikleri elde edilmiştir. SRM'de kullanılacak şekilde havzalar 3 zona bölünerek her bir zonun KKA'ları modelde kullanılmıştır. Her havza ve her bir zonu için 2004 ile 2020 su yılları arasındaki KKA değişimleri ve maksimum, minimum ve ortalama değerleri hesaplanarak Şekil 3.24'ten Şekil 3.57'ye kadarki grafiklerde gösterilmiştir.

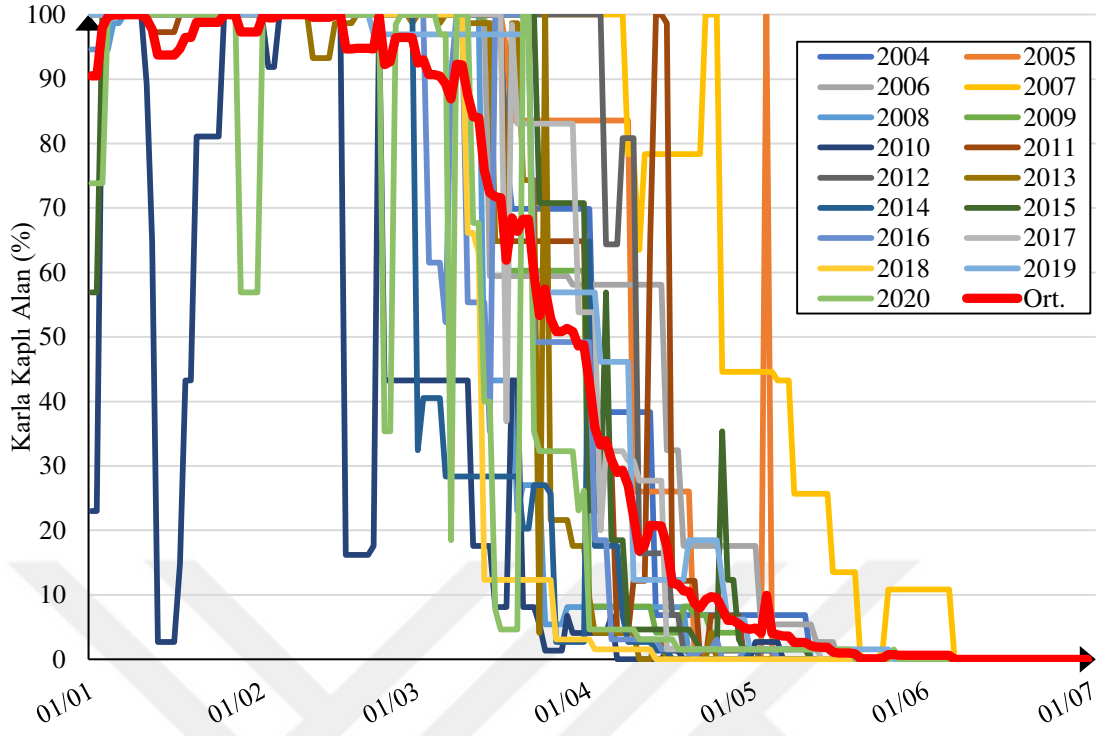
Havzalar için genel olarak; Ocak, Şubat ve Mart ayının ortasına kadar sıcaklığın sıfırın altına kalması ve yağışın kar şeklinde gerçekleşmesi sonucu bu aylarda kar birikiminin olduğu; Mart, Nisan ve Mayıs aylarında sıcaklık artışıyla beraber erimenin gerçekleştiği ve karların çekilmeye başladığı söylenebilir. Ayrıca, erimenin A zonunda başladığı, ardından sırasıyla B ve C zonlarının takip ettiği eğrilerden görülecektir.



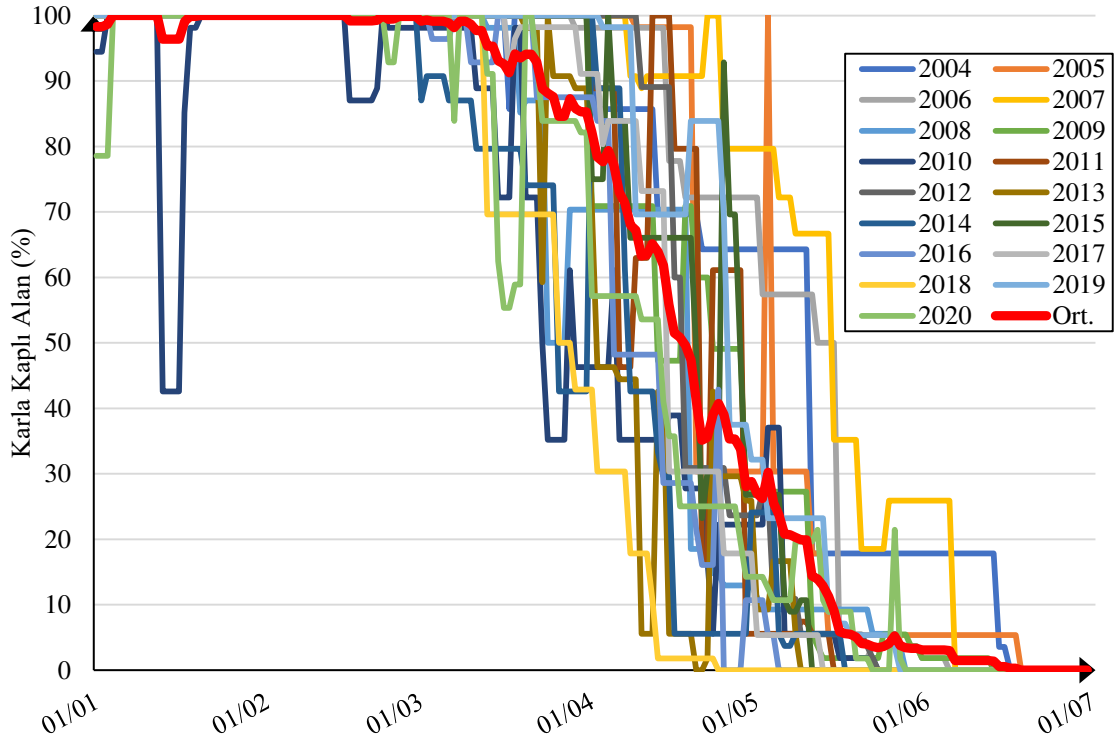
Şekil 3.34. Karasu Havzasının 2004- 2020 su yılı KKA'sı



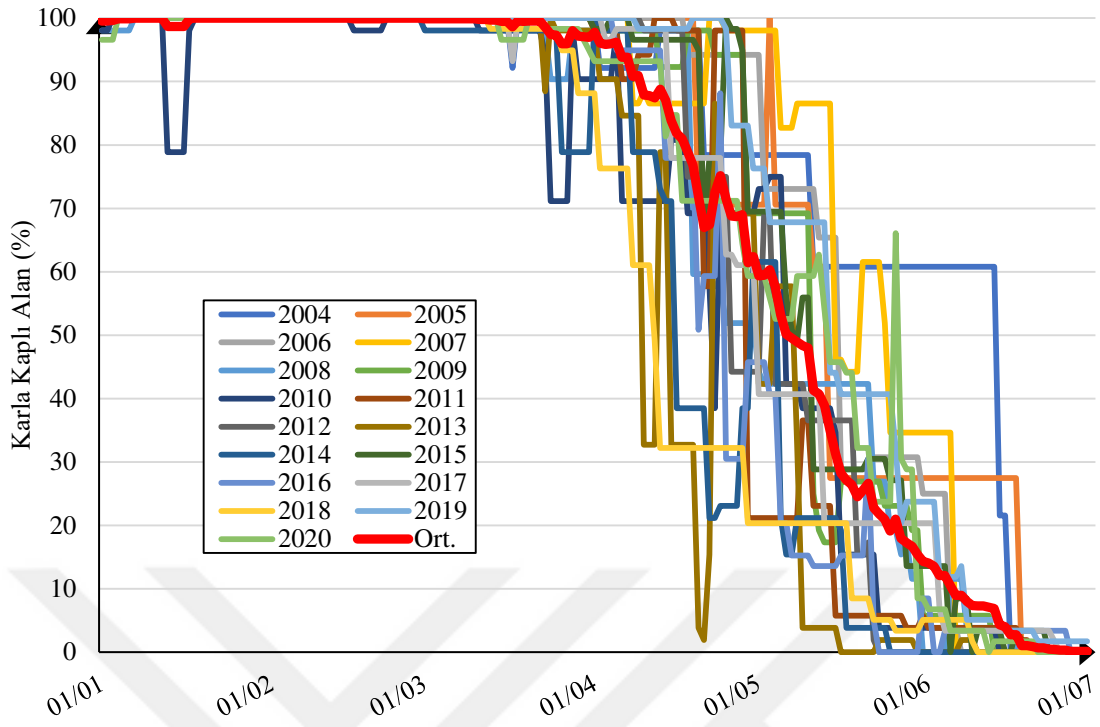
Şekil 3.35. Karasu Havzasının 2004-2020 su yıllarındaki Min. Ort. ve Maks. KKA'sı



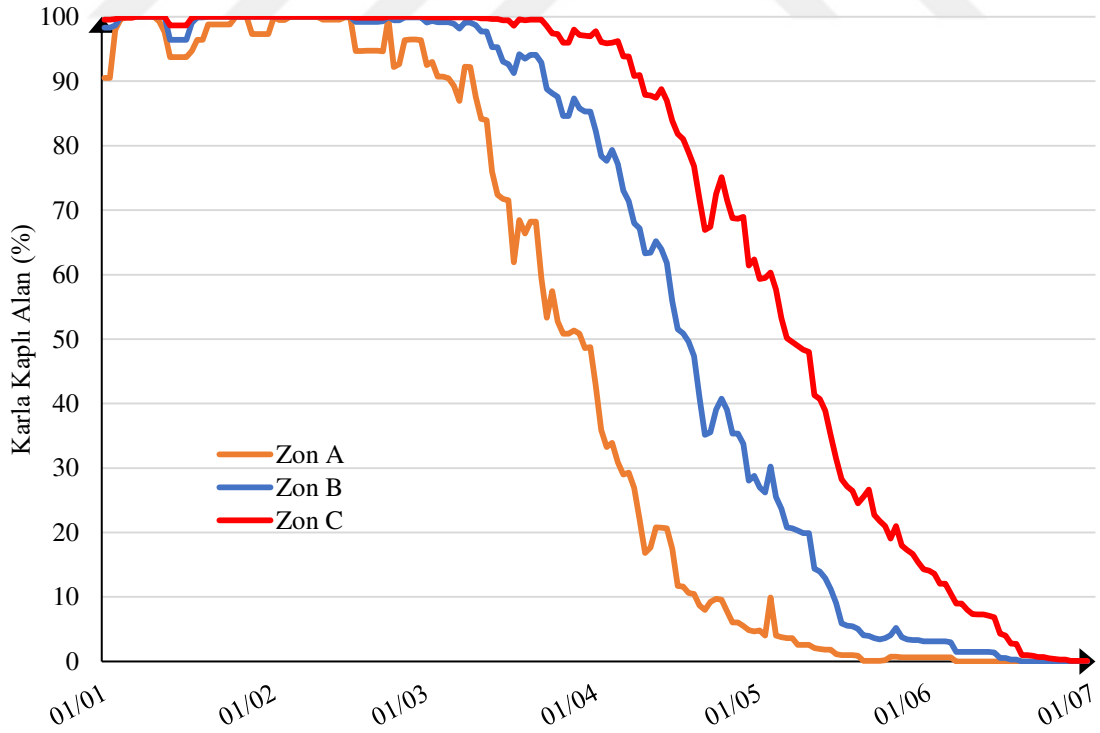
Şekil 3.36. Karasu Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



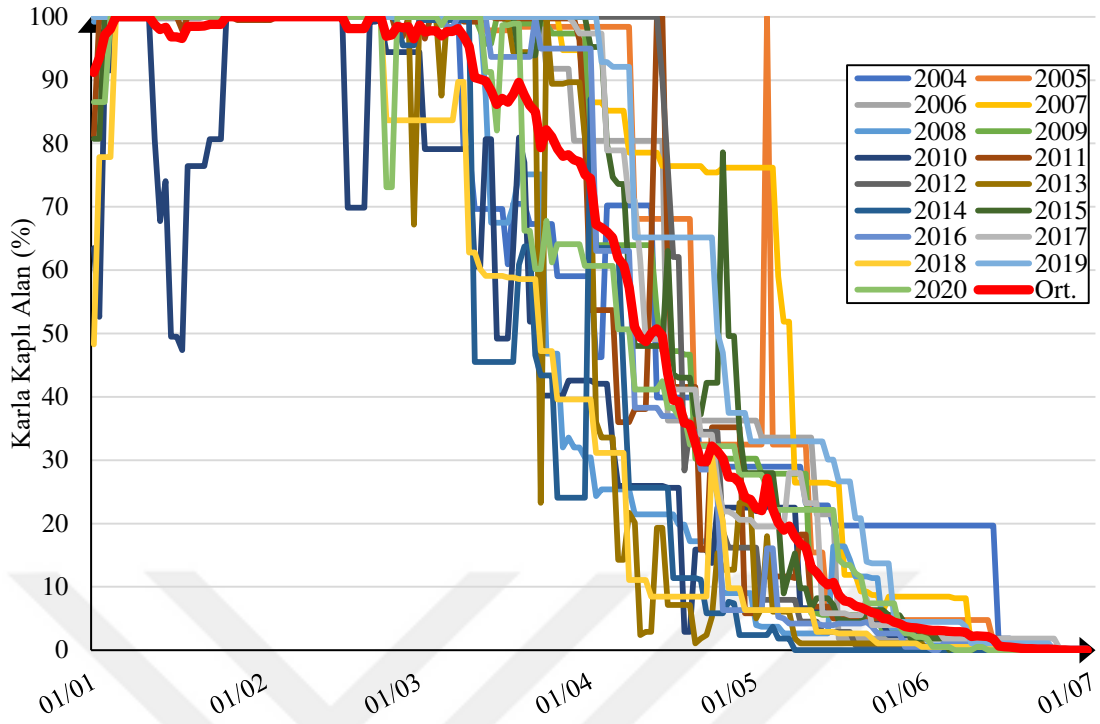
Şekil 3.37. Karasu Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



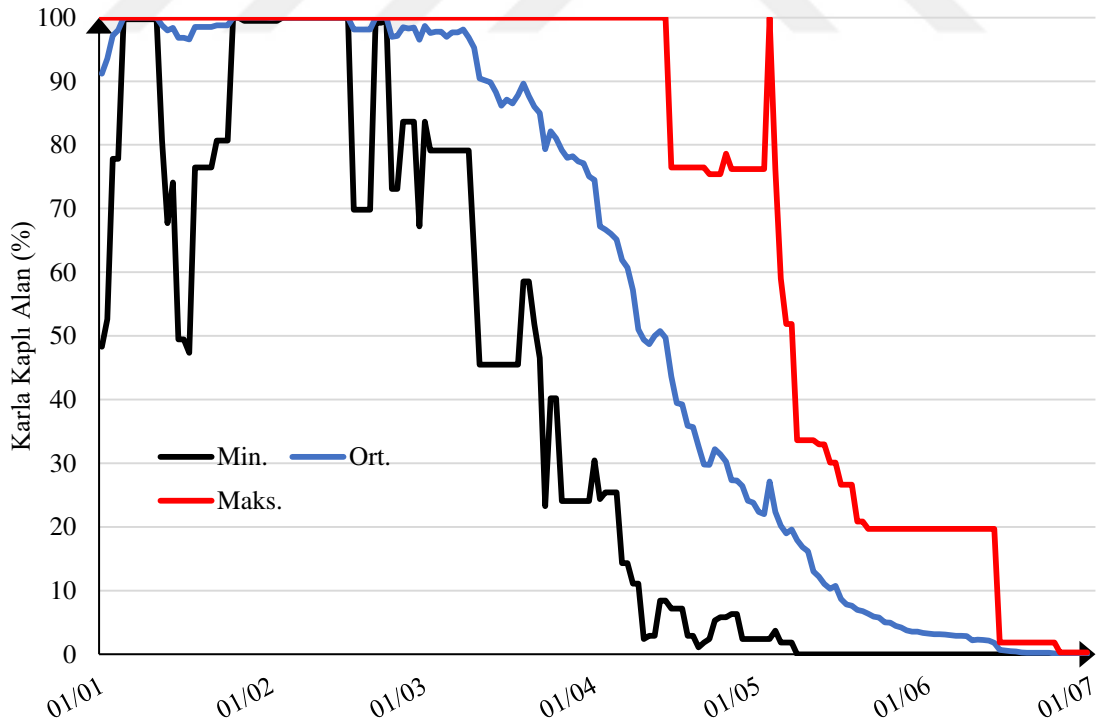
Şekil 3.38. Karasu Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



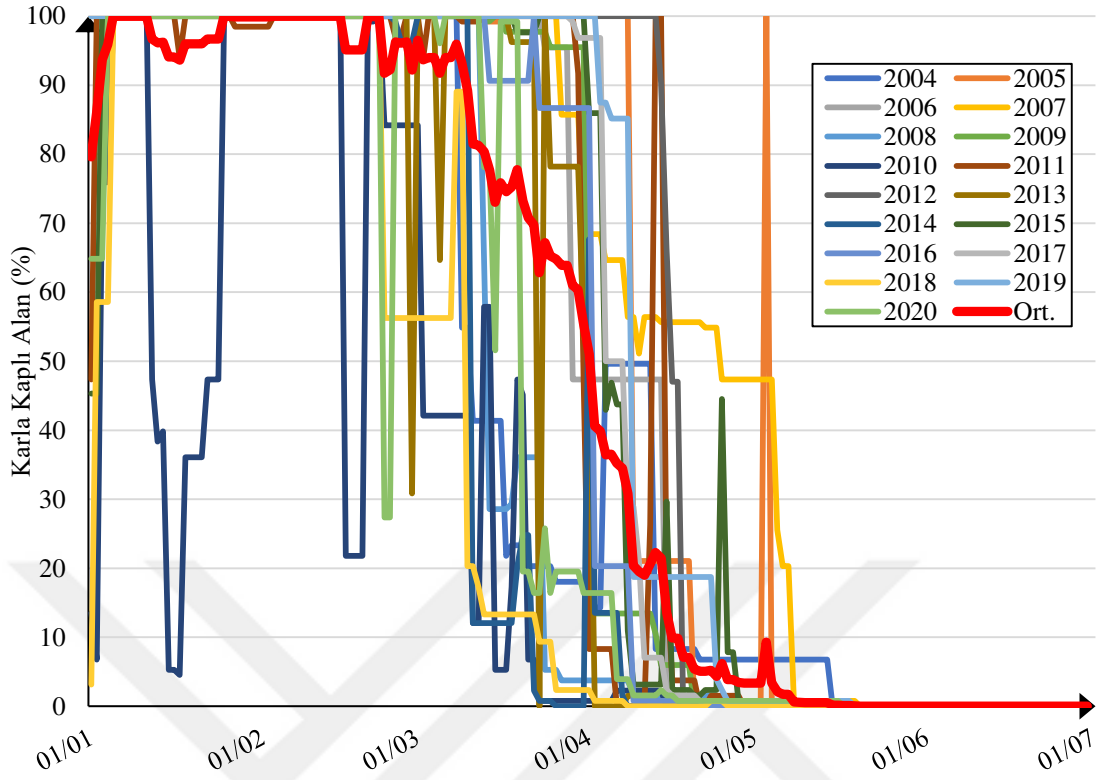
Şekil 3.39. Karasu Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı



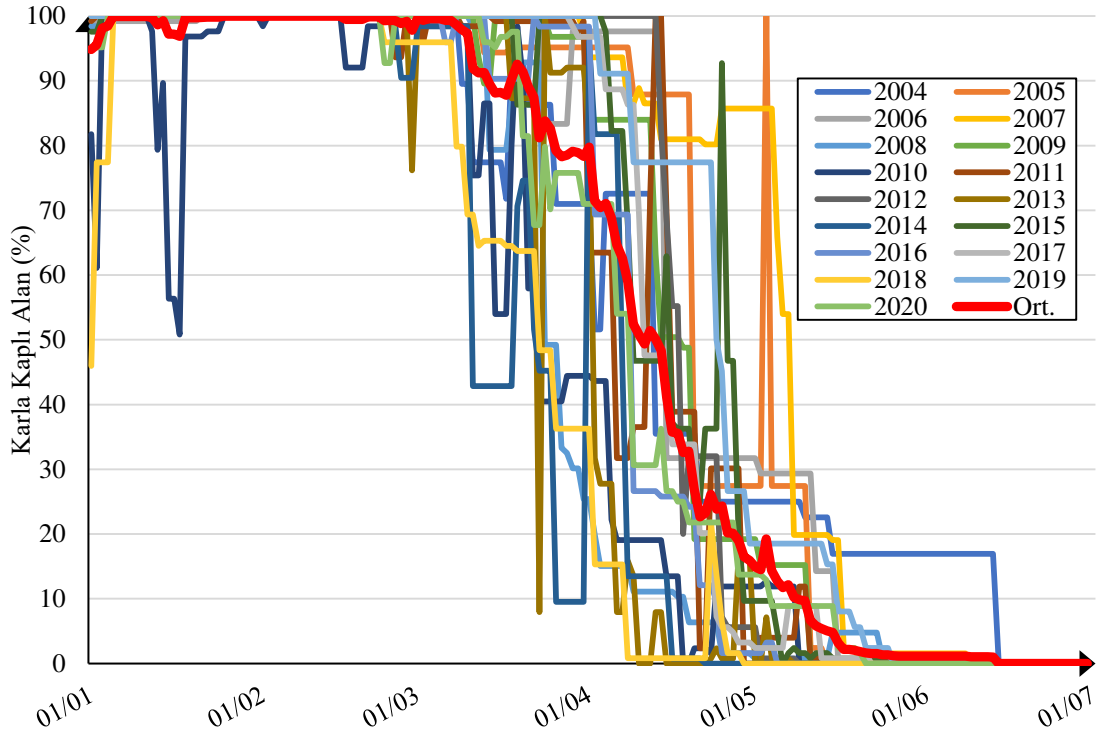
Şekil 3.40. Murat Havzasının 2004- 2020 su yılları KKA'sı



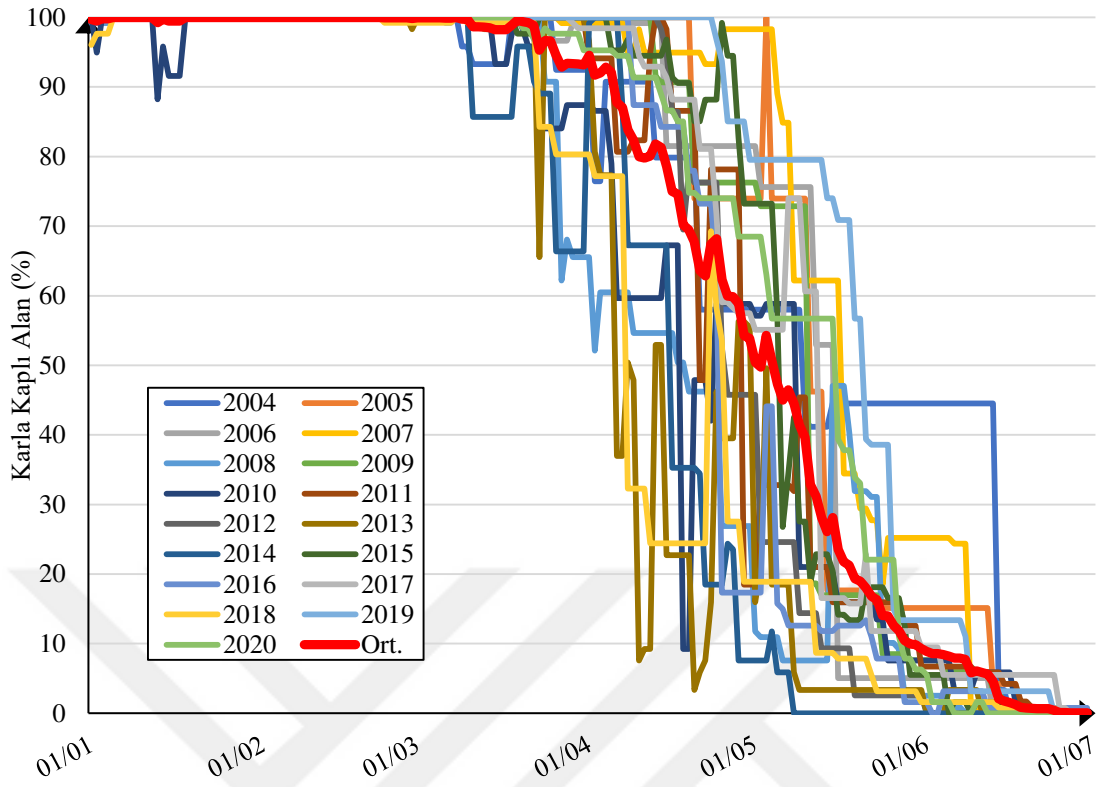
Şekil 3.41. Murat Havzasının 2004-2020 su yıllarındaki Min. Ort. ve Maks. KKA'sı



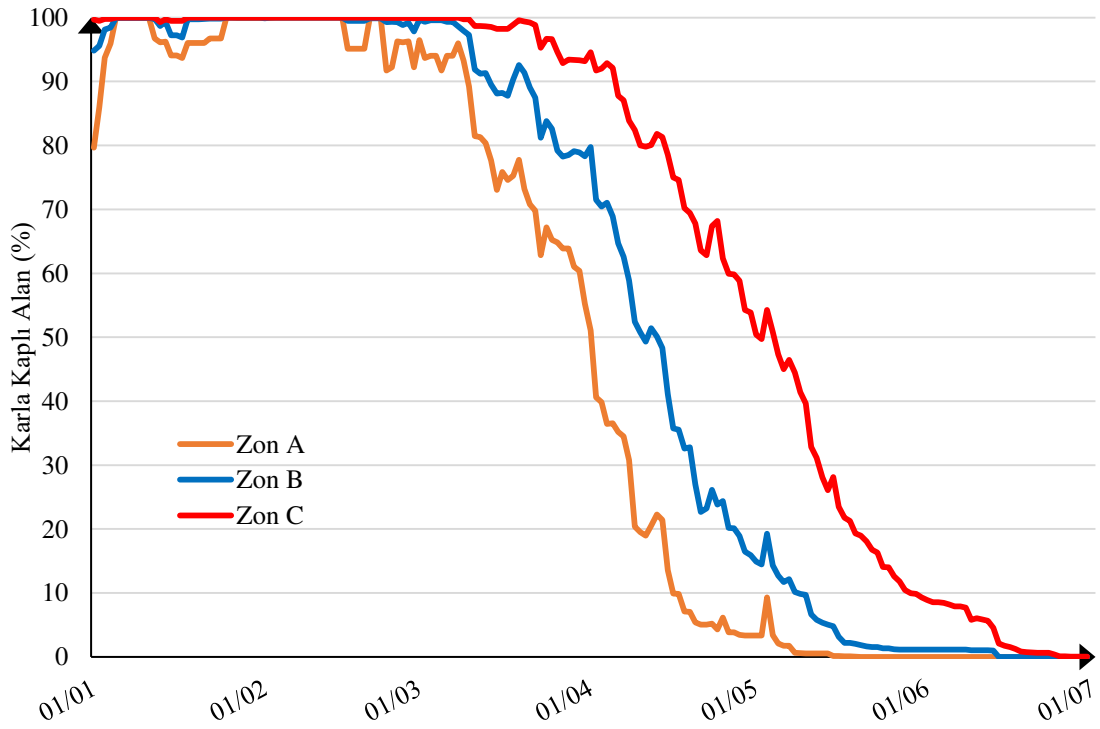
Şekil 3.42. Murat Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



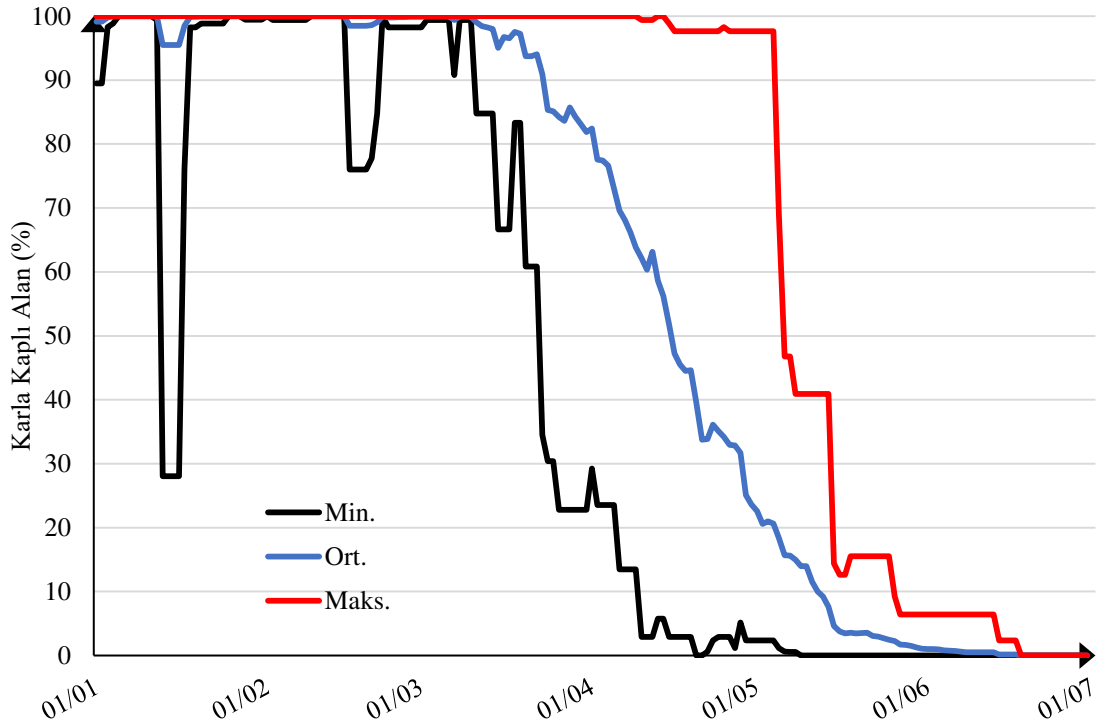
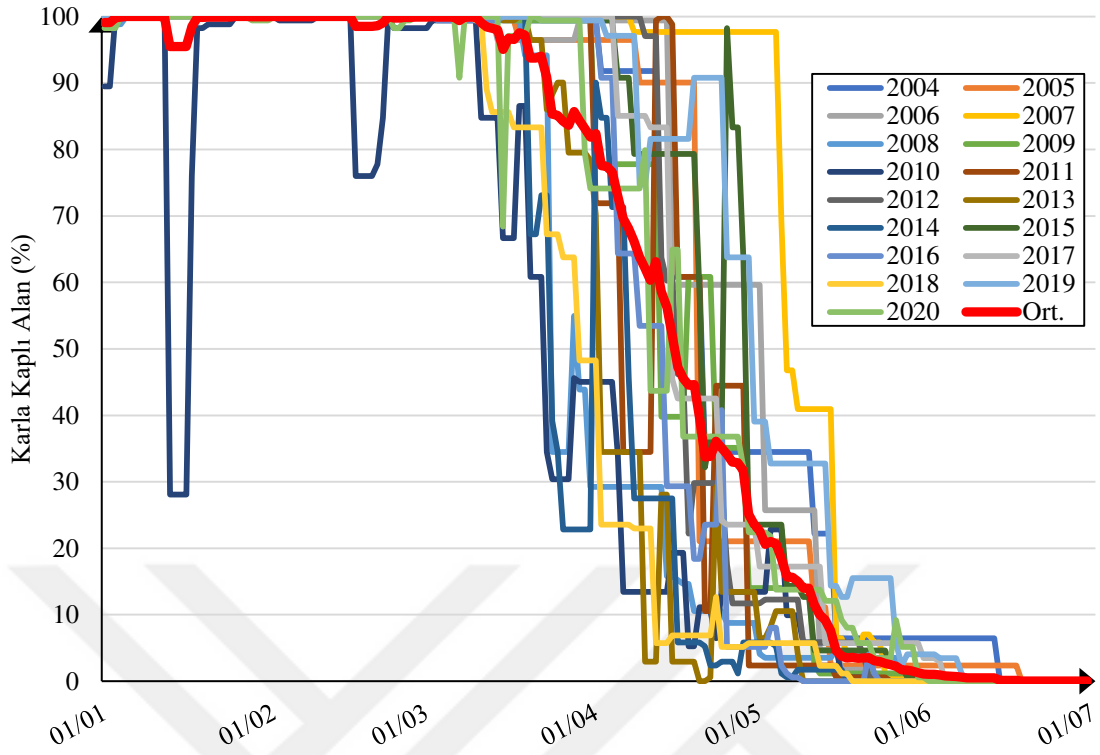
Şekil 3.43. Murat Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı

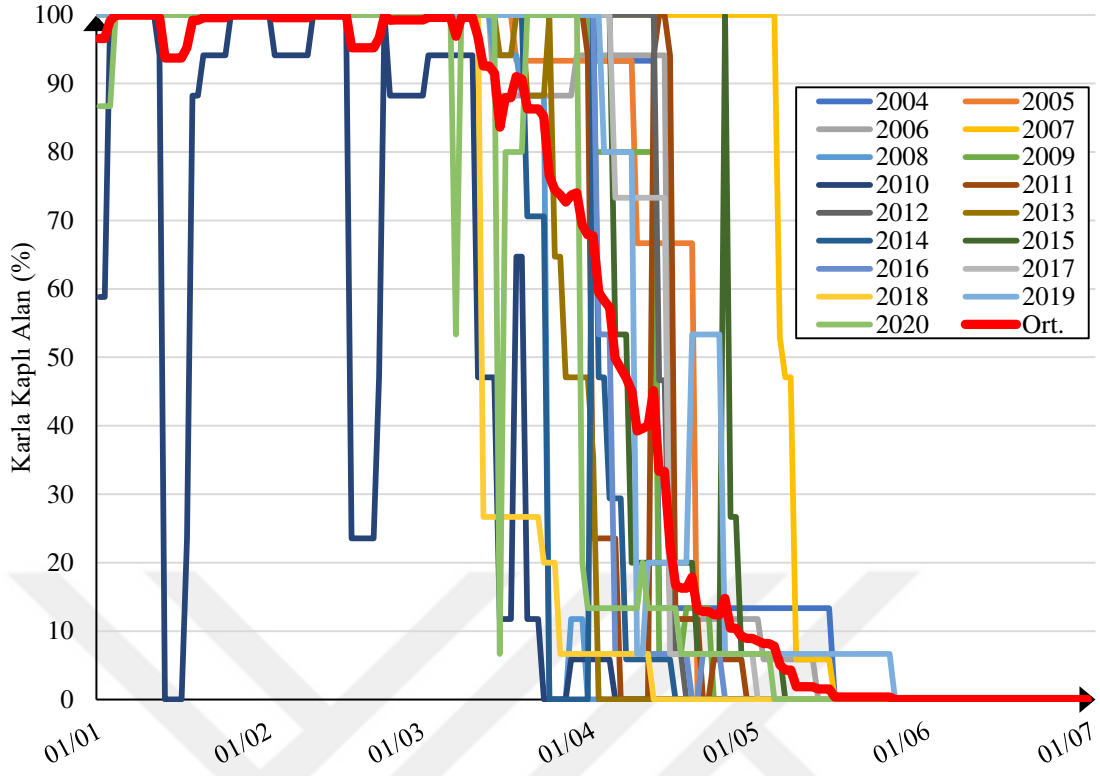


Şekil 3.44. Murat Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı

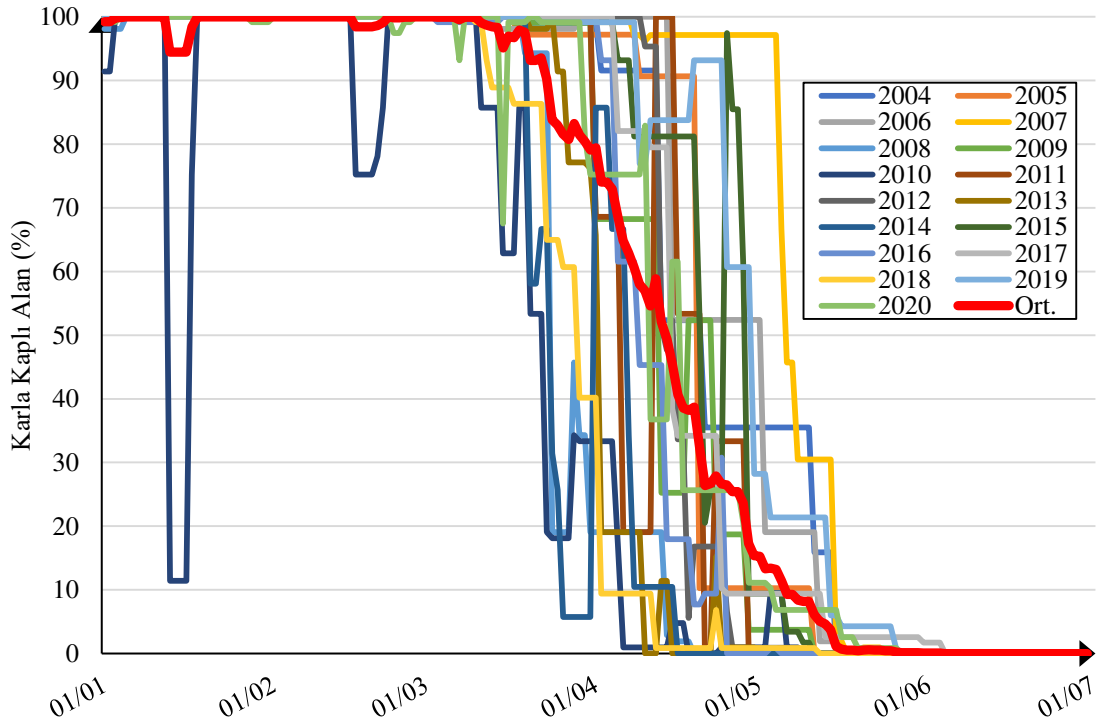


Şekil 3.45. Murat Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı

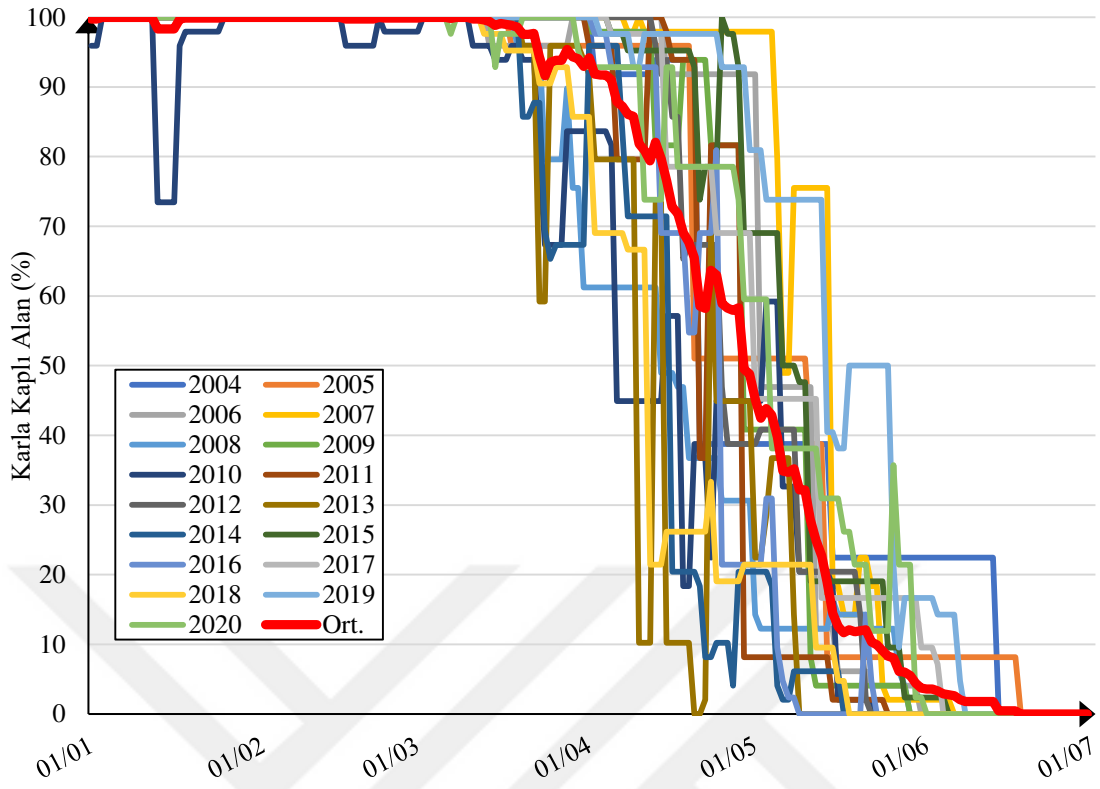




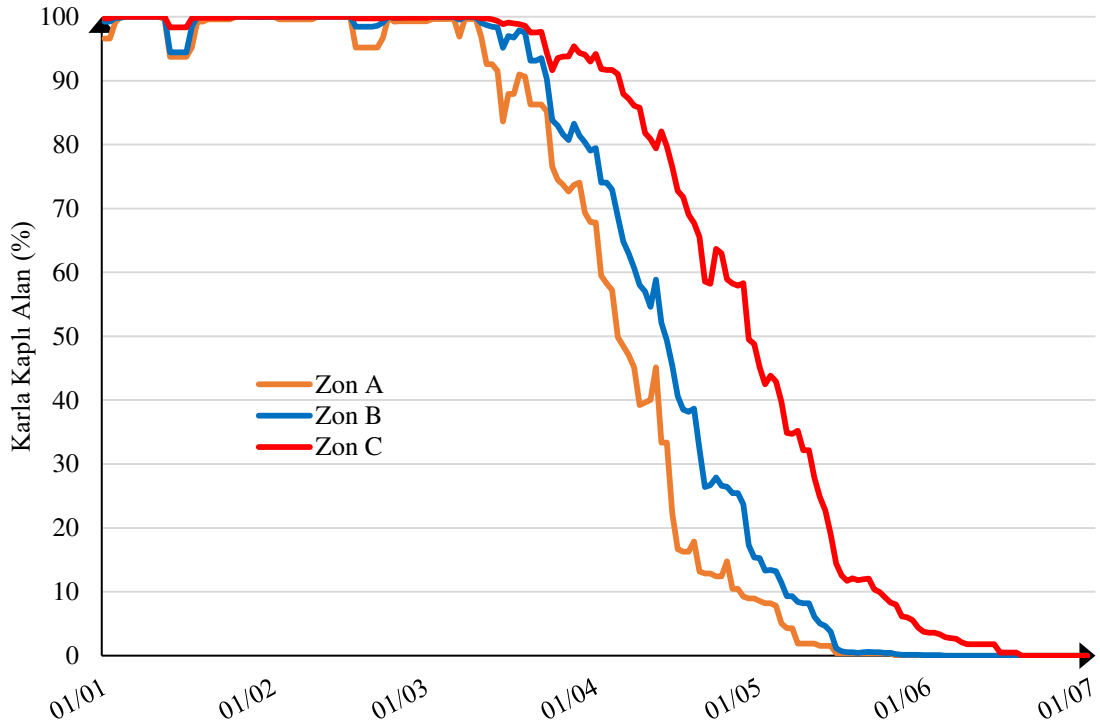
Şekil 3.48. Kayabaşı Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



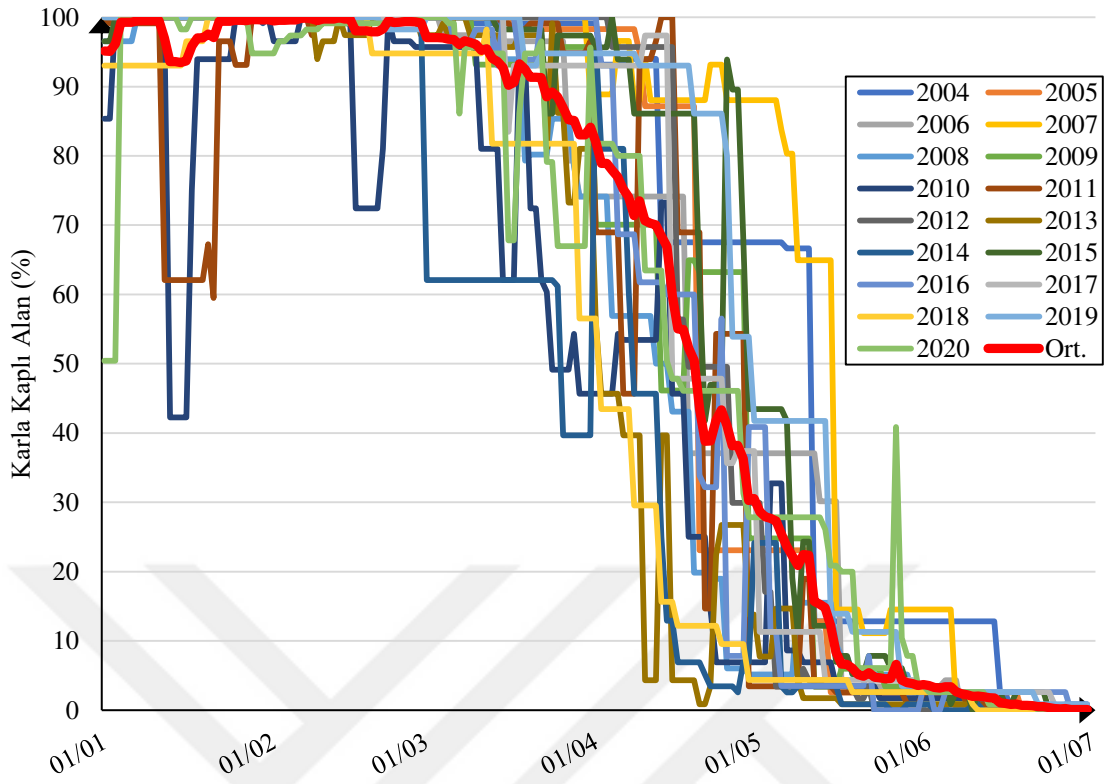
Şekil 3.49. Kayabaşı Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



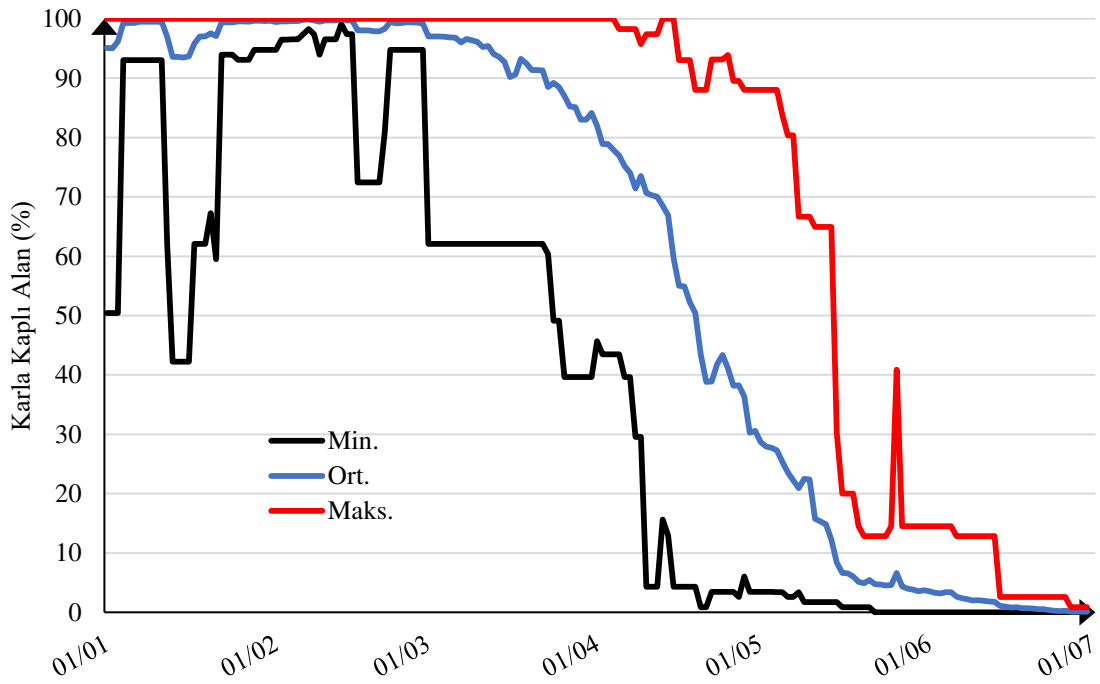
Şekil 3.50. Kayabaşı Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



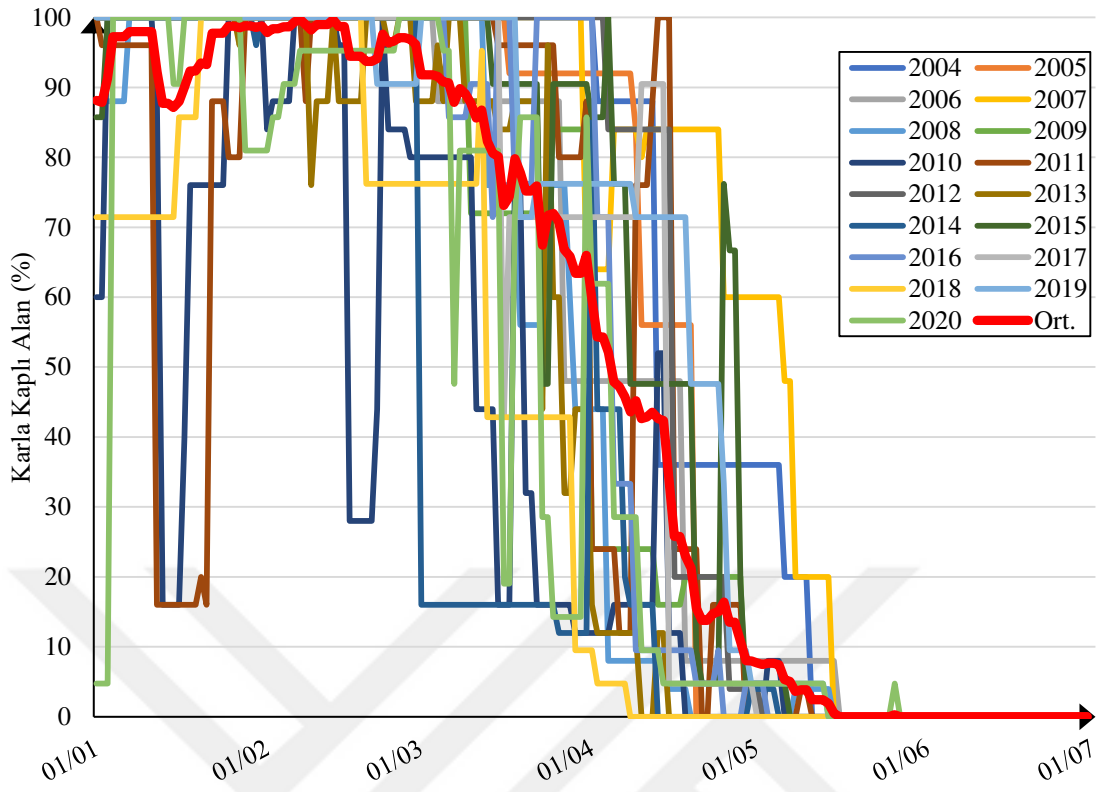
Şekil 3.51. Kayabaşı Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı



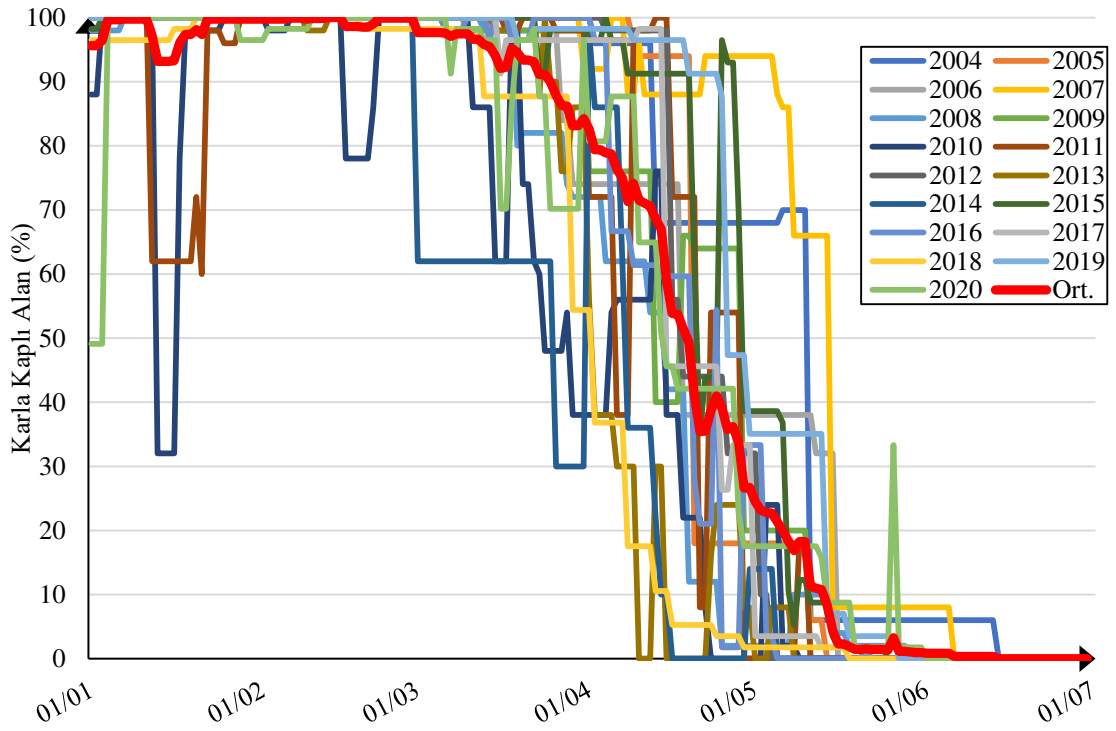
Şekil 3.52. Bayburt Havzasının 2004- 2020 su yılları KKA'sı



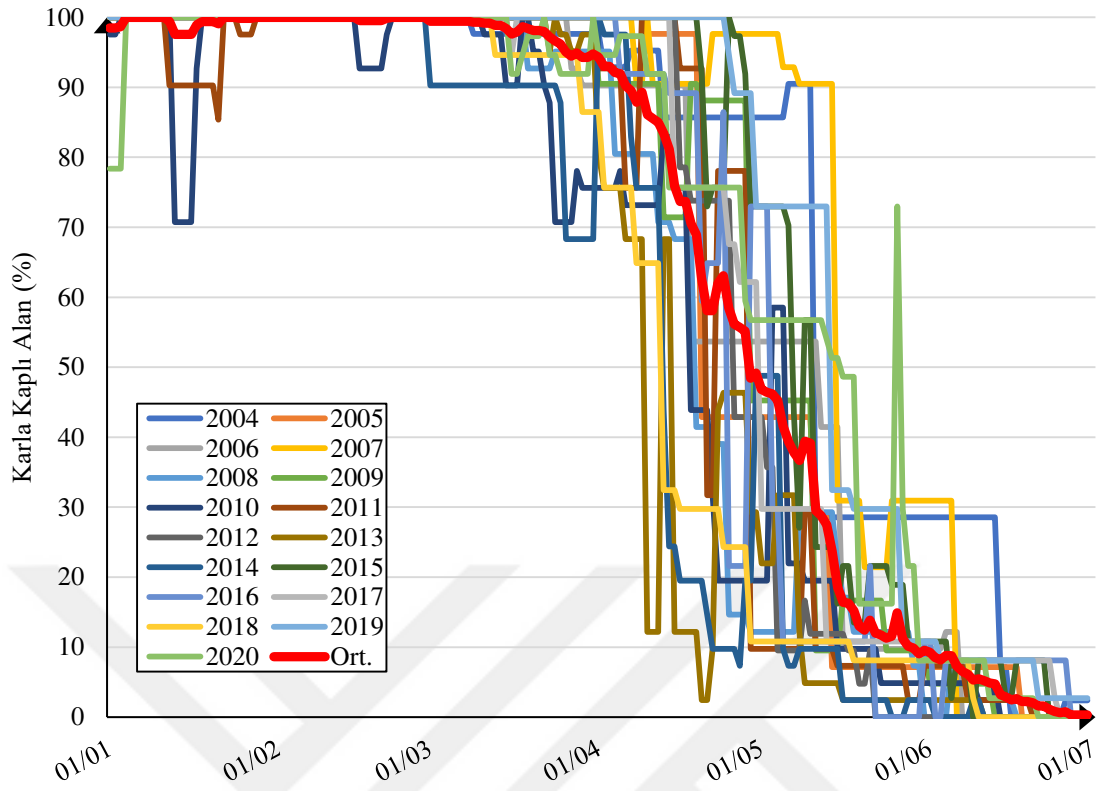
Şekil 3.53. Bayburt Havzası 2004-2020 su yıllarındaki Min. Ort. ve Maks. KKA'sı



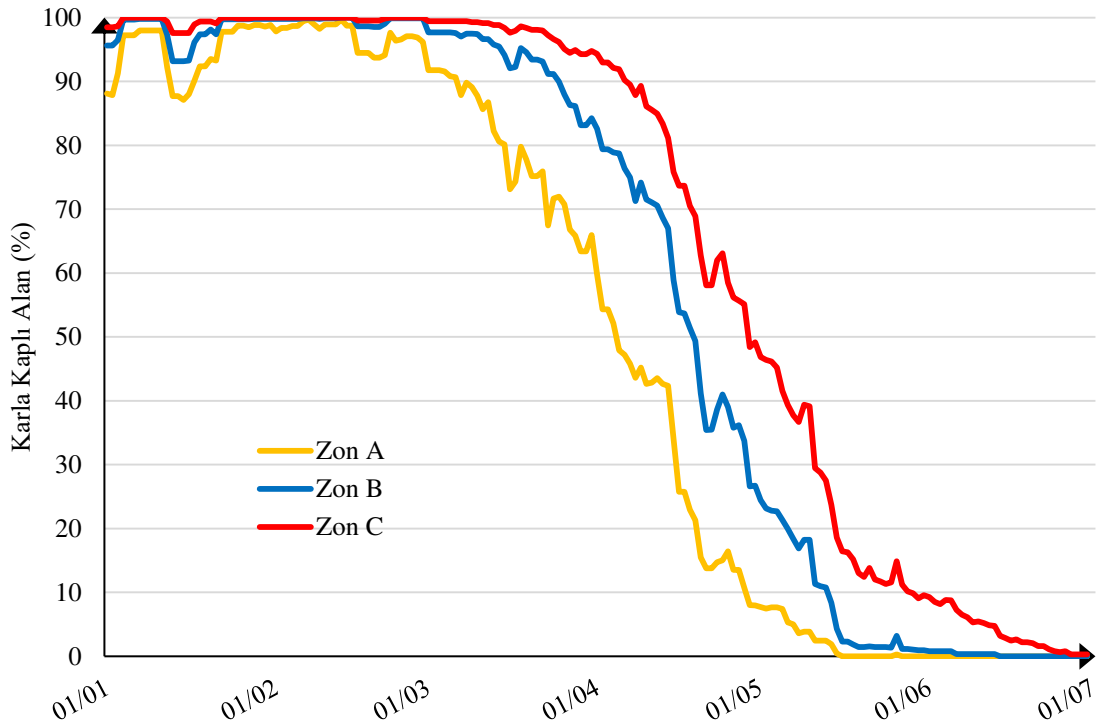
Şekil 3.54. Bayburt Havzası A Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



Şekil 3.55. Bayburt Havzası B Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



Şekil 3.56. Bayburt Havzası C Zonu 2004- 2020 su yılları KKA'sı



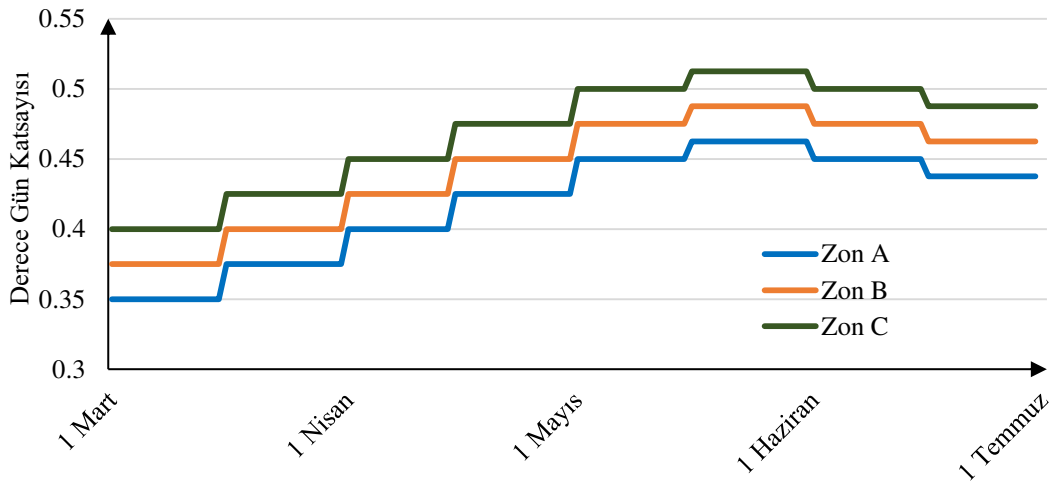
Şekil 3.57. Bayburt Havzası A, B ve C Zonları Ortalama KKA'sı

3.2.5. Model parametreleri kalibrasyonları

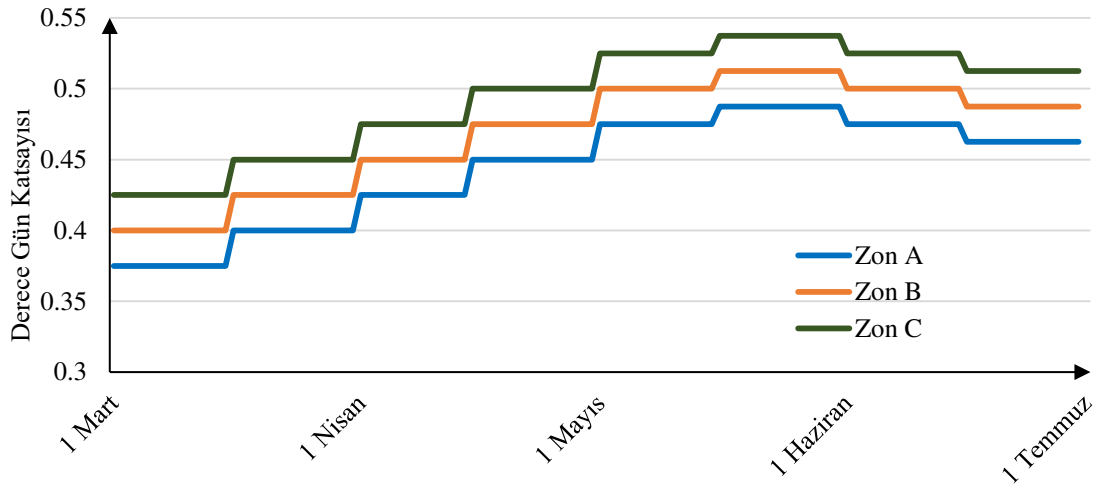
SRM simülasyonunda değişken değerlerin AGİ, MGİ ve uydulardan elde edilmesiyle birlikte modelde kullanılacak parametre değerleri, kalibre edilerek gözlenen ve ölçülen hidrograf arasındaki hacim farkının minimuma indirgenmesi ile bulunur. Havzalarda bu parametre değerleri belirlenirken daha önce SRM uygulanmış olan çalışmalardan referans alınarak başlangıç değerleri seçilerek kalibrasyona başlanmıştır. Model’de 8 tane parametre bulunmakta ve bunlar arasından sadece çekilme katsayısı (k) parametresinde hesaplama yapılmıştır. Hiç kalibrasyon yapılmayan ve tüm havzalarda her gün için değeri geçerli olacak parametreler; Gecikme Zamanı, $L = 6$ sa, ve Sıcaklık Değişim Oranı, $\gamma = 0.65$ °C/100 m olarak belirlenmiştir. Kalibre edilen parametreler ise Derece-Gün Katsayısı (a), Yağmur Akış Katsayısı (C_R), Kar Akış Katsayısı (C_S), Kritik Sıcaklık, T_{krit} ve Yağış Katkı Alanı (RCA) olmuştur.

3.2.5.1. Derece-gün katsayısı

SRM’de model kalibrasyonu ve verimliliği açısından günlük kar erimesini belirleyen parametre olan Derece-gün katsayısının değeri önem arz etmektedir. Karasu, Bayburt, Kayabaşı ve Murat havzalarında derece gün katsayısı geçmiş yıllarda yapılan SRM çalışmaları baz alınarak değer kalibrasyonu yapılmış ve her bir zonun değeri yükseklik arttıkça artış göstermiştir. Aşağıda A, B ve C zonları için bütün havzaların derece gün değerleri grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 3.58’de Karasu, Kayabaşı ve Bayburt havzalarının zonlara göre derece gün değerleri, Şekil 3.59’da Murat havzasının değerleri verilmiştir.



Şekil 3.58. Karasu, Kayabaşı ve Bayburt Havzaları derece-gün katsayısı



Şekil 3.59. Murat Havzası derece-gün katsayısı

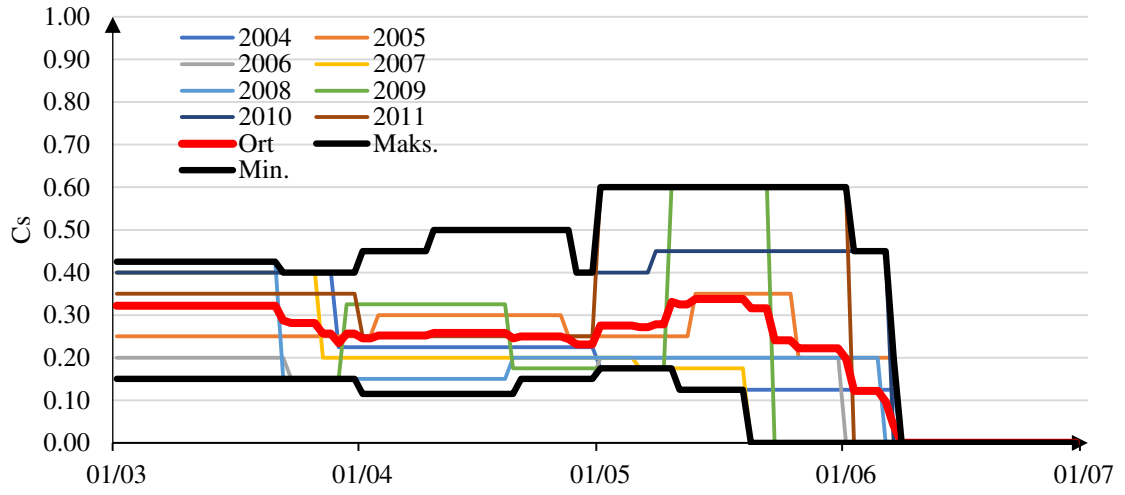
Kalibrasyon sürecinde Murat havzasında, öncelikle diğer havzalarla aynı derece gün değerleri kullanılmış ancak yapılan analizlerde katsayının artırılmış haliyle gözlenen ve ölçülen hacim farkının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Grafikler incelendiğinde, farklı yükseklik zonları için erimenin gerçekleştiği Nisan ve Mayıs aylarında artarken, erime döneminin sonunda, Haziran ayında bu katsayının değeri düşmekte olup havzada kar bulunmaması neticesinde modeldeki etkisi azalmaktadır.

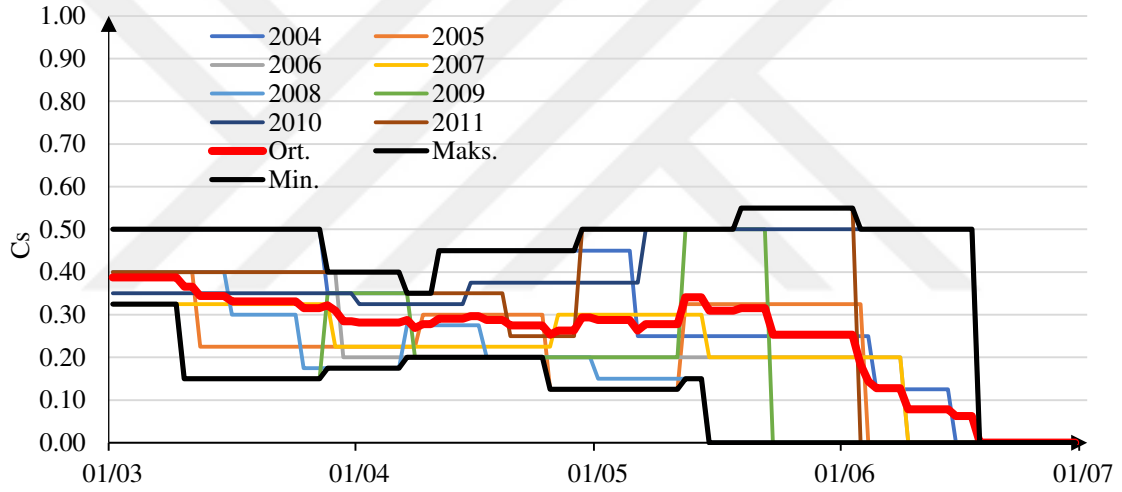
3.2.5.2. Akış katsayıları kalibrasyonu (C_S ve C_R)

Akış katsayıları gözlenen akım değerini doğrudan etkilemektedir. Kar ve yağmur sularının direkt akım olarak gözlenmesi bu değerin belirlenmesini çok önemli kılmış ve aşağıdaki grafiklerde modelde yıl yıl kullanılan değerler her bir havza için kıyaslanmış, maksimum, minimum ve ortalama değerleri belirlenerek havzaların karakteristikleri hakkında fikir sahibi olunmasını kolaylaştırmıştır.

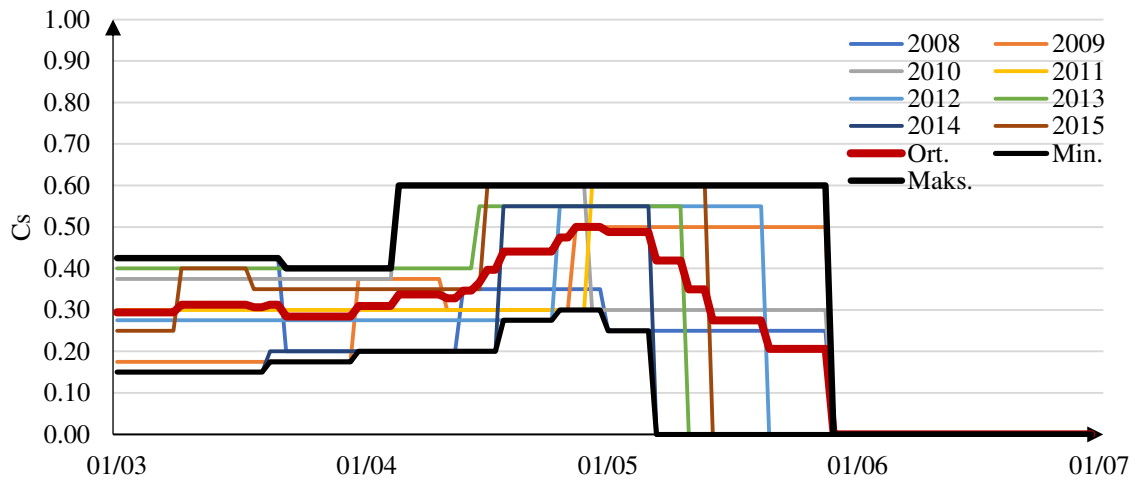
Şekil 2.60'tan Şekil 3.63'e kadar sırasıyla Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt havzalarının kalibre edilen yıllar için kullanılan kar akış katsayısı değerleri ve bu su yıllarının erime dönemlerindeki ortalama, minimum ve maksimum C_S değerleri gösterilmiştir.



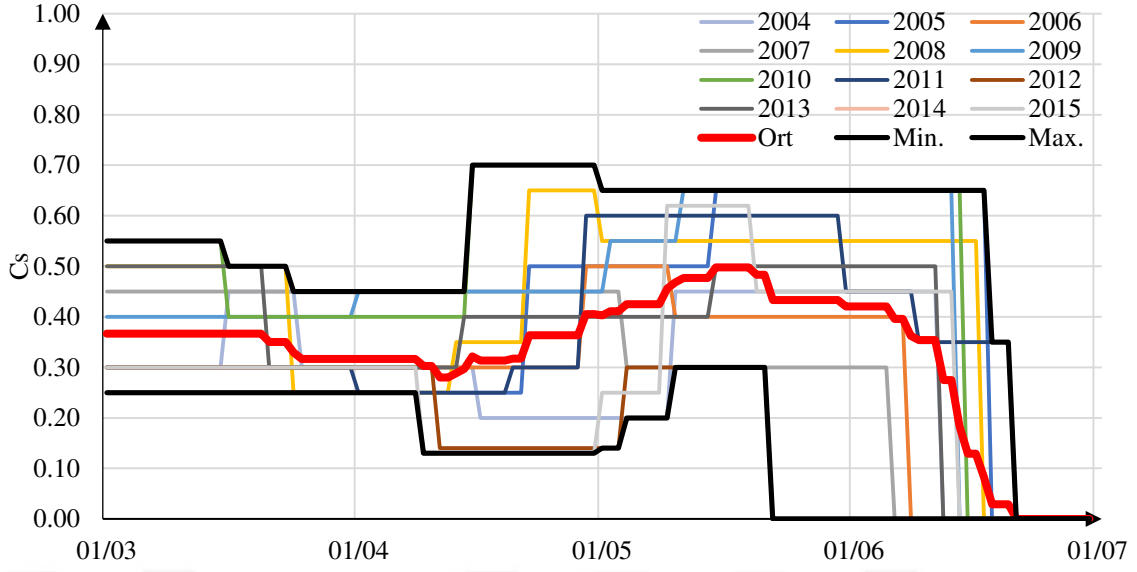
Şekil 3.60. Karasu Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s)



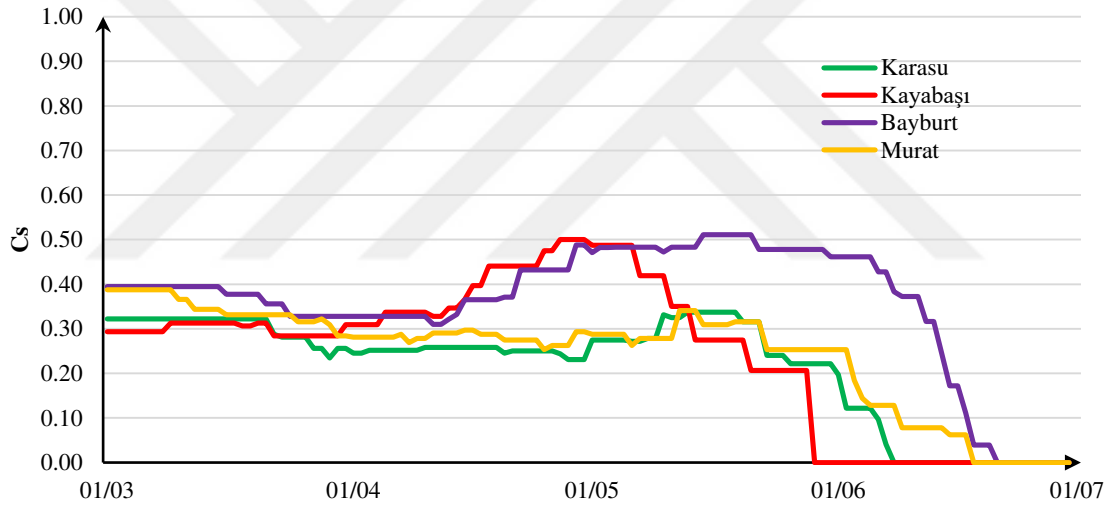
Şekil 3.61. Murat Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s)



Şekil 3.62. Kayabaşı Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s)



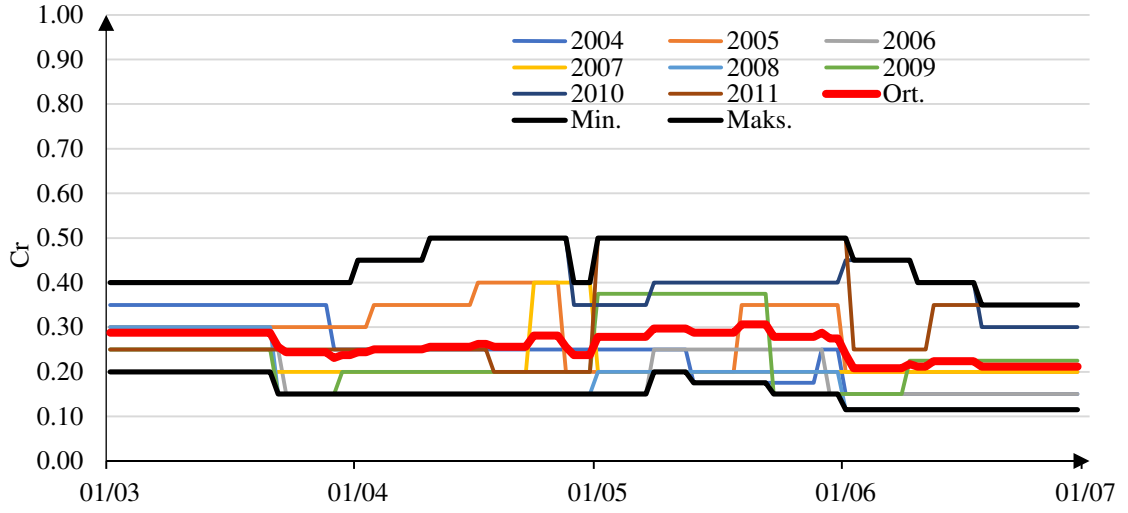
Şekil 3.63. Bayburt Havzası Kar Akış Katsayısı (C_s)



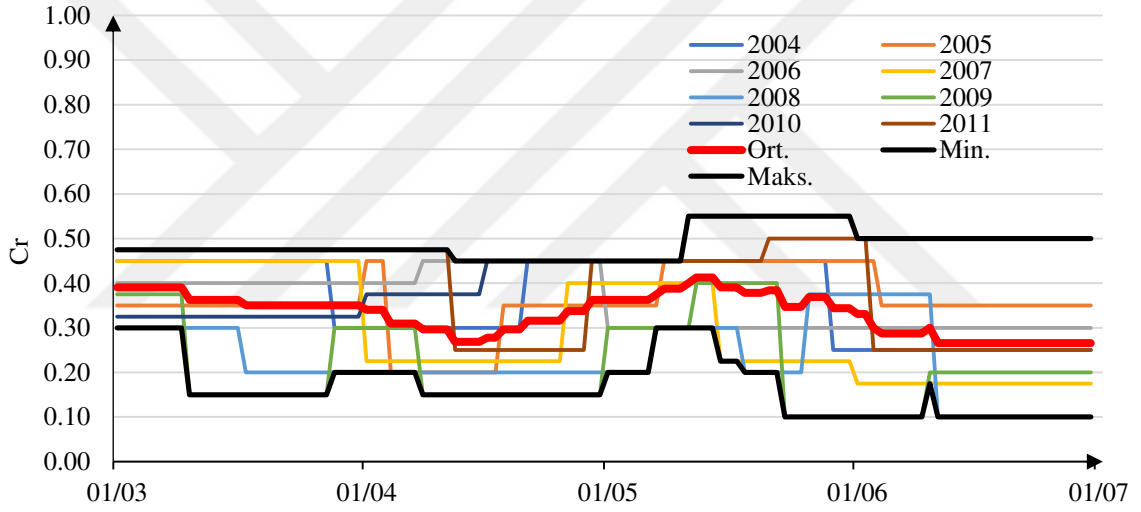
Şekil 3.64. Havzaların kar akış katsayıları ortalamaları

Şekil 2.64'te 4 havzanın ortalama kar akış katsayıları verilmiş olup bu eğriye bakıldığında, C_s değerinin genel olarak tüm havzalarda 0 ile 0.5 arasında değiştiği, Mart, Nisan ve özellikle Mayıs ayının ortasına kadarki erime döneminde 0.2 ile 0.5 arasında kalıp, Mayıs ayının ortasından itibaren havza üzerinde kar bulunmamasından dolayı karın akıma katkısının olmaması neticesinde bu değer 0 olmaktadır.

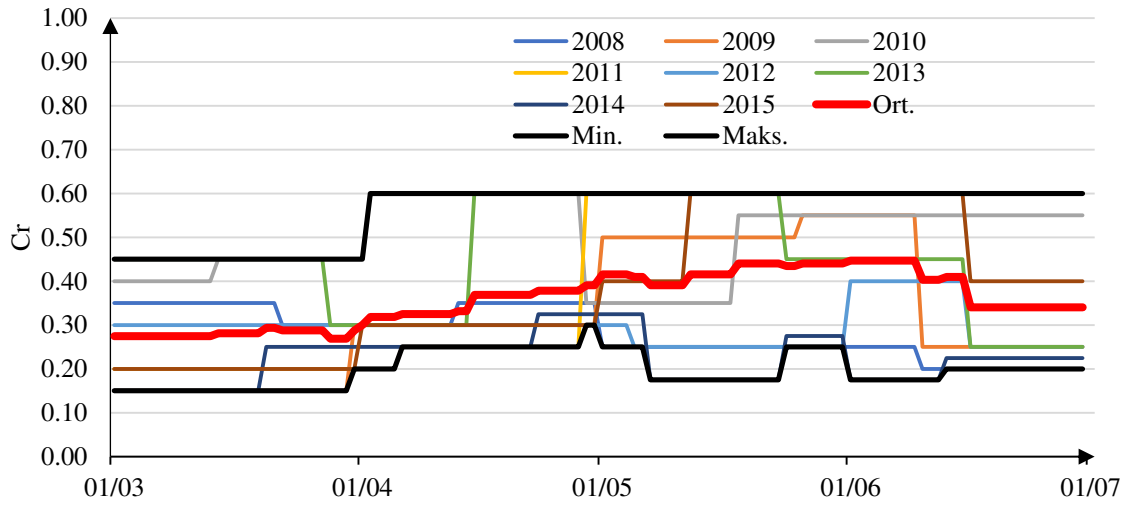
Şekil 2.65'ten Şekil 3.68'e kadar sırasıyla Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt havzalarının kalibre edilen yıllar için kullanılan yağmur akış katsayısı değerleri ve bu su yıllarının erime dönemlerindeki ortalama, minimum ve maksimum C_R değerleri gösterilmiştir.



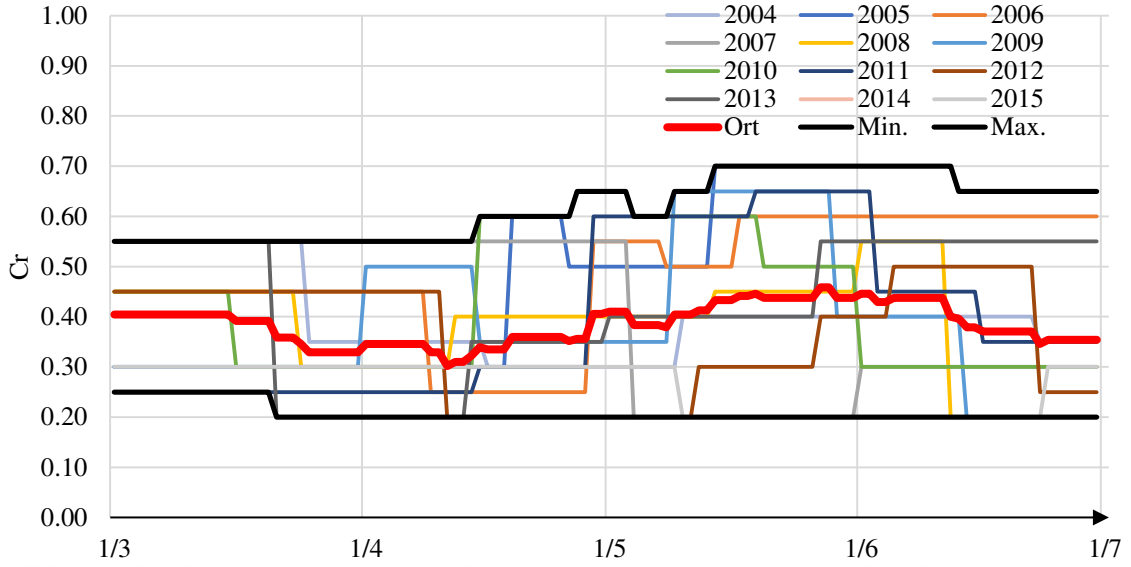
Şekil 3.65. Karasu Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)



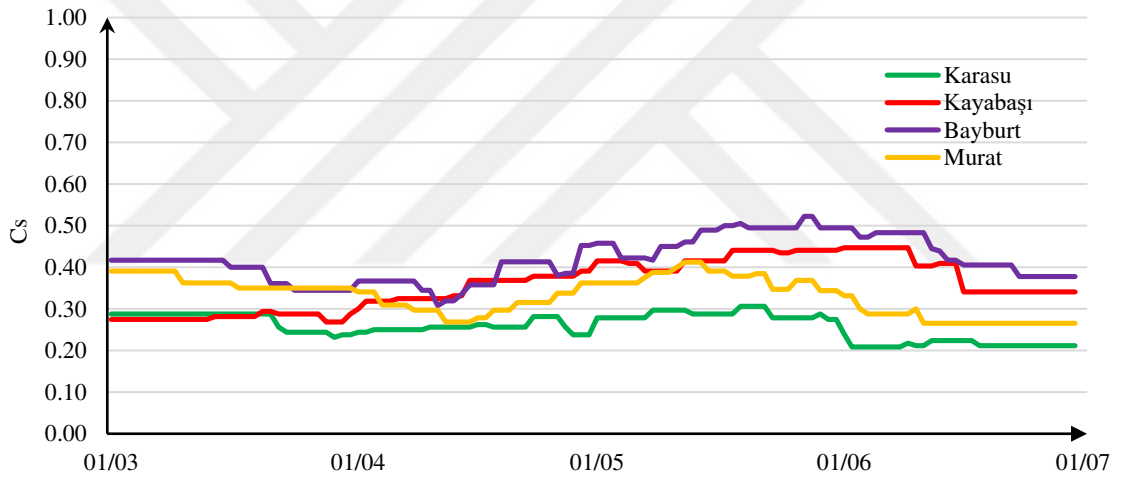
Şekil 3.66. Murat Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)



Şekil 3.67. Kayabaşı Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)



Şekil 3.68. Bayburt Havzası Yağmur Akış Katsayısı (C_r)



Şekil 3.69. Havzaların Yağmur Akış Katsayısı ortalamaları (C_r)

Yağmur akış katsayısının bütün havzaların yıllara göre ayrı ayrı ortalamaları hesaplanarak grafiği çıkarılmıştır ve genel olarak C_r değerinin Şekil 3.69'a bakıldığında 0.2 ile 0.5 arasında değişmektedir

3.2.5.3. Çekilme katsayısı kalibrasyonu

Gözlenen akım hidrograflarından her havza için x , y ve k değerleri hesaplanan denkleme göre hesaplanıp kalibre edilmiştir. Karasu ve Murat havzaları için: 2002 – 2011 su yılları, Kayabaşı havzası için: 2008 – 2015 ve Bayburt havzası için ise 2003 – 2015 su yılları baz alınarak çekilme katsayıları belirlenmiştir. Akım hacimleri 1 Mart ile 30 Haziran arası kullanılarak simülasyon için hazırlanmıştır. Şekil 3.2'de oluşan zarf

eğrisinin eğimleri aşağıdaki tablolarda her havza için bulunmuştur. Simülasyonda her yıl için, o yılın hesabı sonucunda çıkan x ve y değerleri kullanılmıştır.

Tablo 3.15'te Karasu havzasında çekilme katsayısı hesabında kullanılan akım değerleri verilmiş bu veriler kullanılarak elde edilen x, y ve k katsayılarıyla beraber zarf eğrisinin denklemi Tablo 3.16'da verilmiştir.

Tablo 3.15. Karasu Havzası yıllık akım değerleri

Su Yılları	Toplam Akım (m ³ /s)	Min. Akım (m ³ /s)	Ort. Akım (m ³ /s)	Maks. Akım (m ³ /s)
2002	4172.8	9.2	34.2	74.7
2003	4441.5	7.0	36.4	157.0
2004	6234.2	12.4	51.1	167.0
2005	5932.9	7.7	48.6	196.0
2006	5029.0	4.2	41.2	146.0
2007	4836.7	6.6	39.6	151.0
2008	3790.8	7.7	31.1	63.0
2009	4432.4	10.0	36.3	81.6
2010	7643.0	17.9	62.6	172.0
2011	6369.0	8.5	52.2	108.3
Ortalama	5288.2	4.2	43.3	196.0

Tablo 3.16. Karasu havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri

Yıllar	k	x	y	Denklem
2002	0.893939	1.0589022	0.0517944	$y = 0.9271x - 0.5644$
2003	0.87591032	1.0298666	0.0539048	$y = 0.861x + 1.1509$
2004	0.8799699	1.0644071	0.0512659	$y = 0.8096x + 3.6364$
2005	0.89402978	1.0665738	0.0546165	$y = 0.8712x + 0.9905$
2006	0.86217677	1.0207666	0.0552296	$y = 0.8821x + 0.3084$
2007	0.86653693	1.024241	0.0540849	$y = 0.8964x - 0.3375$
2008	0.89374202	1.0538338	0.0520868	$y = 0.8893x + 0.6066$
2009	0.88611324	1.0540141	0.0512673	$y = 0.8874x + 0.4089$
2010	0.88476457	1.0819758	0.05097	$y = 0.8152x + 5.152$
2011	0.92926205	1.120417	0.0527162	$y = 0.9206x + 0.8503$
Ortalama	0.8866445	1.0575	0.052794	

Karasu Havzasında 2002 – 2011 su yıllarındaki akım verileri göz önüne alınarak yapılan çekilme eğrisi hesabında; havzanın çıkış noktasından geçen minimum akım değeri 4.2 m³/s, ortalama akımı 43.3 m³/s ve maksimum akım değeri ise 196 m³/s olarak hesaplanmıştır. Çekilme katsayısı ise 0.886 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.17’de Murat havzasında çekilme katsayısı hesabında kullanılan akım değerleri verilmiş bu veriler kullanılarak elde edilen x, y ve k katsayılarıyla beraber zarf eğrisinin denklemi Tablo 3.18’de verilmiştir.

Tablo 3.17. Murat Havzası yıllık akım değerleri

Su Yılları	Toplam Akım (m ³ /s)	Min. Akım (m ³ /s)	Ort. Akım (m ³ /s)	Maks. Akım (m ³ /s)
2002	16654.3	17.1	136.5	343.9
2003	17812.7	14.1	146.0	580.9
2004	18877.0	25.1	154.7	826.9
2005	17513.9	26.1	143.6	440.9
2006	14977.2	13.5	122.8	495.9
2007	16834.7	12.8	138.0	541.9
2008	7136.1	7.0	58.5	174.0
2009	13847.2	11.7	113.5	296.9
2010	21095.8	44.0	172.9	688.9
2011	14618.0	15.4	119.8	463.9
Ortalama	15936.7	7.0	130.6	826.9

Tablo 3.18. Murat havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri

Yıllar	k	x	y	Denklem
2002	0.88981398	1.1256472	0.051787	$y = 0.8844x + 1.8817$
2003	0.88283287	1.1074897	0.053444	$y = 0.8334x + 8.6921$
2004	0.87679824	1.1201485	0.0507534	$y = 0.6407x + 37.088$
2005	0.86758328	1.0970433	0.0517879	$y = 0.8999x - 2.0247$
2006	0.89065185	1.1092063	0.0532858	$y = 0.8111x + 9.0481$
2007	0.88023667	1.1033812	0.0531282	$y = 0.8983x + 0.2882$
2008	0.88172863	1.0682849	0.0526871	$y = 0.836x + 3.0498$
2009	0.89125755	1.1164242	0.0520542	$y = 0.9095x - 0.122$
2010	0.87822134	1.126736	0.0508616	$y = 0.754x + 22.66$
2011	0.8833573	1.107197	0.0522097	$y = 0.7546x + 15.861$
Ortalama	0.8822482	1.108156	0.0522	

Murat Havzasında 2002 – 2011 su yıllarındaki akım verileri göz önüne alınarak yapılan çekilme eğrisi hesabında; havzanın çıkış noktasından geçen minimum akım değeri 7.0 m³/s, ortalama akımı 130.6 m³/s ve maksimum akım değeri ise 826.9 m³/s olarak hesaplanmıştır. Çekilme katsayısı ise 0.882 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.19’da Kayabaşı havzasında çekilme katsayısı hesabında kullanılan akım değerleri verilmiş bu veriler kullanılarak elde edilen x, y ve k katsayılarıyla beraber zarf eğrisinin denklemi Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.19. Kayabaşı Havzası yıllık akım değerleri

Yıllar	Toplam Akım (m ³ /s)	Min. Akım (m ³ /s)	Ort. Akım (m ³ /s)	Maks. Akım (m ³ /s)
2008	4173.7	6.3	34.2	137.0
2009	6238.9	4.6	51.1	131.0
2010	9751.6	24.1	79.9	329.0
2011	6599.8	5.9	54.1	164.0
2012	4363.8	3.1	35.8	133.0
2013	5543.9	7.3	45.4	133.0
2014	2388.4	5.4	19.6	40.0
2015	6826.7	5.8	56.0	277.0
Ortalama	5735.8	3.1	47.0	329.0

Tablo 3.20. Kayabaşı havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri

Yıllar	k	x	y	Denklem
2008	0.89686956	1.0558606	0.0535923	$y = 0.8061x + 3.1999$
2009	0.90196091	1.0805127	0.0549278	$y = 0.9174x + 0.0968$
2010	0.91324889	1.1301392	0.0508747	$y = 0.6696x + 17.96$
2011	0.89192944	1.0706528	0.0553054	$y = 0.8397x + 3.1939$
2012	0.92868834	1.0472952	0.0492865	$y = 0.9393x - 0.1085$
2013	0.8852682	1.0560611	0.0536519	$y = 0.868x + 1.3736$
2014	0.89964449	1.0382867	0.0517079	$y = 0.8537x + 0.9296$
2015	0.8945342	1.0715252	0.0555998	$y = 0.7786x + 7.0028$
Ortalama	0.901518	1.068792	0.053118	

Kayabaşı Havzasında 2008 – 2015 su yıllarındaki akım verileri göz önüne alınarak yapılan çekilme eğrisi hesabında; havzanın çıkış noktasından geçen minimum akım değeri 3.1 m³/s, ortalama akımı 47.0 m³/s ve maksimum akım değeri ise 329.0 m³/s olarak hesaplanmıştır. Çekilme katsayısı ise 0.901 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.21’de Bayburt havzasında çekilme katsayısı hesabında kullanılan akım değerleri verilmiş bu veriler kullanılarak elde edilen x, y ve k katsayılarıyla beraber zarf eğrisinin denklemi Tablo 3.22’de verilmiştir.

Tablo 3.21. Bayburt Havzası yıllık akım değerleri

Su Yılları	Toplam Akım (m ³ /s)	Min. Akım (m ³ /s)	Ort. Akım (m ³ /s)	Maks. Akım (m ³ /s)
2003	3517.4	4.0	28.8	73.7
2004	5310.9	7.4	43.5	80.3
2005	5291.3	5.9	43.4	237.5
2006	5941.1	5.9	48.7	140.3
2007	5273.8	6.1	43.2	146.4
2008	4050.6	7.4	33.2	66.5
2009	3239.8	5.1	26.6	61.7
2010	4601.3	8.9	37.7	73.7
2011	3974.5	4.2	32.6	69.3
2012	1905.1	0.2	15.6	37.0
2013	3029.4	3.8	24.8	56.2
2014	1186.4	4.0	9.7	16.1
2015	2691.2	3.4	22.1	53.9
Ortalama	3847.1	0.2	31.5	237.5

Tablo 3.22. Bayburt havzasının çekilme eğrisi değerleri ve denklemleri

Yıllar	k	x	y	Denklem
2003	0.93892311	1.0923317	0.0570965	$y = 0.954x - 0.236$
2004	0.92824194	1.1150454	0.0512607	$y = 0.9578x - 0.7112$
2005	0.92346998	1.0947026	0.0557675	$y = 0.7889x + 6.6364$
2006	0.94257582	1.0501955	0.0320933	$y = 0.9287x + 0.8474$
2007	0.93525122	1.0346292	0.0329863	$y = 0.9367x + 0.2471$
2008	0.93074826	1.102726	0.0515523	$y = 0.9199x + 0.607$
2009	0.93461072	1.0894119	0.0535893	$y = 0.9355x + 0.1225$
2010	0.93337814	1.1131451	0.0514683	$y = 0.8899x + 2.0228$
2011	0.92663018	1.0851111	0.0570608	$y = 0.9361x + 0.1137$
2012	0.973198	1.0664369	0.0522033	$y = 0.9839x - 0.1011$
2013	0.94373497	1.0674397	0.0426146	$y = 0.9125x + 0.8965$
2014	0.9398631	1.0514635	0.0507627	$y = 0.8994x + 0.423$
2015	0.93279756	1.0720862	0.0584778	$y = 0.9382x + 0.0241$
Ortalama	0.9371864	1.079594	0.049764	

Bayburt Havzasında 2003 – 2015 su yıllarındaki akım verileri göz önüne alınarak yapılan çekilme eğrisi hesabında; havzanın çıkış noktasından geçen minimum akım değeri 0.2 m³/s, ortalama akımı 31.5 m³/s ve maksimum akım değeri ise 237.5 m³/s olarak hesaplanmıştır. Çekilme katsayısı ise 0.937 olarak bulunmuştur.

Çekilme katsayılarının havza alanları oranında değişiklik gösterdiği çıkarımına varılabilir, 6000 km² ile en büyük alana sahip olan Murat havzasında k, 0.882 en düşük değerini alırken, en küçük havza alanıyla (1826 km²) Bayburt'un k değeri ise 0.937 ile en yüksek değere ulaşmaktadır.

3.2.5.4. Yağış katkı alanı kalibrasyonu (RCA)

Karla kaplı alanların olmadığı ve yağışın yağmur olarak gerçekleştiği zamanlarda yağışı doğrudan akıma etki ettiren bu parametre değeri gözlenen ve hesaplanan hidrografların benzerliğinin sağlanması konusunda oldukça etkili olmaktadır. Havzalar üzerinde kar olduğunda bu değer “0”, erime döneminin başlaması ve karla kaplı alanın azalmasıyla beraber bu değer “1” olarak alınıp simülasyonda kullanılmaktadır.

RCA değeri belirlenirken her havzanın her bir zonunun karla kaplı alan grafikleri dikkate alınarak erime dönemine kadar “0”, erime başladıktan sonra “1” olarak modele atanmıştır. SRM’de bu değerlerin değişim tarihleri zon bazında aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Tablo 3.23. Yağış Katkı Alanı değişimi

Su Yılları	Karasu			Murat			Kayabaşı			Bayburt		
	Zon A	Zon B	Zon C	Zon A	Zon B	Zon C	Zon A	Zon B	Zon C	Zon A	Zon B	Zon C
2004	01-Mar	14-Mar	14-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	-	-	-	01-Mar	01-Mar	01-Mar
2005	01-Mar	01-Nis	01-Nis	01-Mar	01-Mar	01-Mar	-	-	-	26-Mar	26-Mar	26-Mar
2006	16-Mar	16-Mar	16-Mar	16-Mar	16-Mar	16-Mar	-	-	-	01-Mar	01-Mar	01-Mar
2007	25-Mar	25-Mar	25-Mar	16-Mar	16-Mar	16-Mar	-	-	-	27-Mar	27-Mar	27-Mar
2008	01-Mar	01-Mar	15-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	11-Mar	11-Mar	11-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar
2009	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	11-Mar	11-Mar	11-Mar	01-Mar	01-Mar	30-Mar
2010	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	11-Mar	11-Mar	11-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar
2011	11-Mar	21-Mar	21-Mar	16-Mar	16-Mar	16-Mar	15-Mar	15-Mar	15-Mar	13-Mar	13-Mar	13-Mar
2012	-	-	-	-	-	-	21-Mar	21-Mar	21-Mar	13-Mar	13-Mar	13-Mar
2013	-	-	-	-	-	-	12-Mar	12-Mar	12-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar
2014	-	-	-	-	-	-	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar
2015	-	-	-	-	-	-	20-Mar	20-Mar	20-Mar	01-Nis	01-Nis	01-Nis

3.2.5.5. Kritik sıcaklık kalibrasyonu

Simülasyonda Kritik sıcaklık parametresinin değeri özellikle aşağıdaki tabloda da görüleceği üzere belirli yıllarda, Mart ayı içerisinde uygulanması akım hidrografları benzetiminde önemli rol oynamıştır. Tablo 3.24'te kritik sıcaklık değerinin değiştirildiği dönemler gösterilmiş, bu dönemler dışında kalan erime dönemlerinde ise parametre değeri "0" olarak belirlenmiştir. Bayburt havzasında ise kritik sıcaklık parametresi üzerinde değişiklik yapılmayıp "0" olarak hesaplarda kullanılmıştır.

Tablo 3.24. Kritik Sıcaklık parametresi değişimi

Su Yılları	Karasu			Murat			Kayabaşı			Bayburt		
	Başlan-gıç	Bitiş	T _{krit}	Başlan-gıç	Bitiş	T _{krit}	Başlan-gıç	Bitiş	T _{krit}	Başlan-gıç	Bitiş	T _{krit}
2004	01-Mar	31-Mar	-1.50	01-Mar	31-Mar	-1.00	-	-	-	01-Mar	31-Mar	-1.00
2005	-	-	-	01-Mar	15-Mar	-1.00	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	01-Mar	31-Mar	-1.50	-	-	-	-	-	-
2007	15-Mar	31-Mar	-1.50	01-Mar	31-Mar	-1.50	-	-	-	-	-	-
2008	01-Mar	15-Mar	-2.00	01-Mar	20-Mar	-1.00	01-Mar	31-Mar	-1.00	-	-	-
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	01-Mar	31-Mar	-1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	-	-	-	-	-	-	01-Mar	17-Mar	-1.00	-	-	-
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

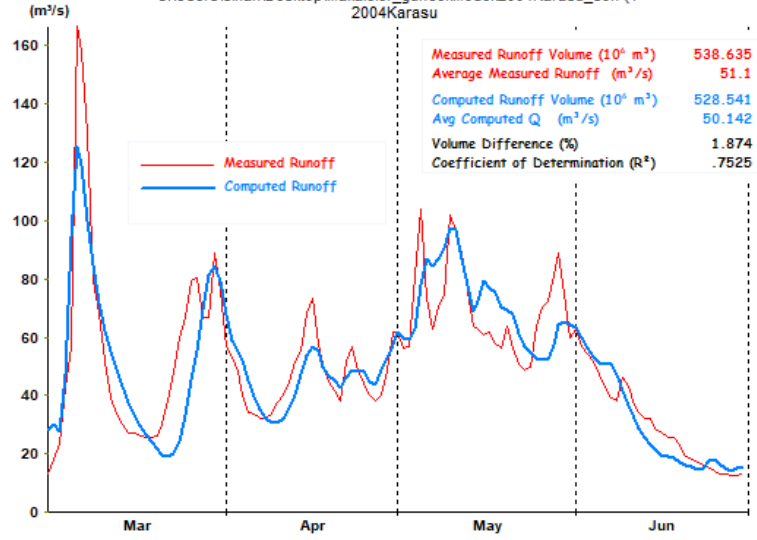
3.2.5.6. Gecikme Zamanı (L)

Simülasyonda gecikme zamanı parametresi kalibrasyonda kullanılmamıştır. Parametre değiştirilerek yapılan analizlerde akım hidrografi üzerinde herhangi bir değişme gözlenmemiştir. Parametre sabit olarak bütün havzalarda 6 saat olarak girilmiştir.

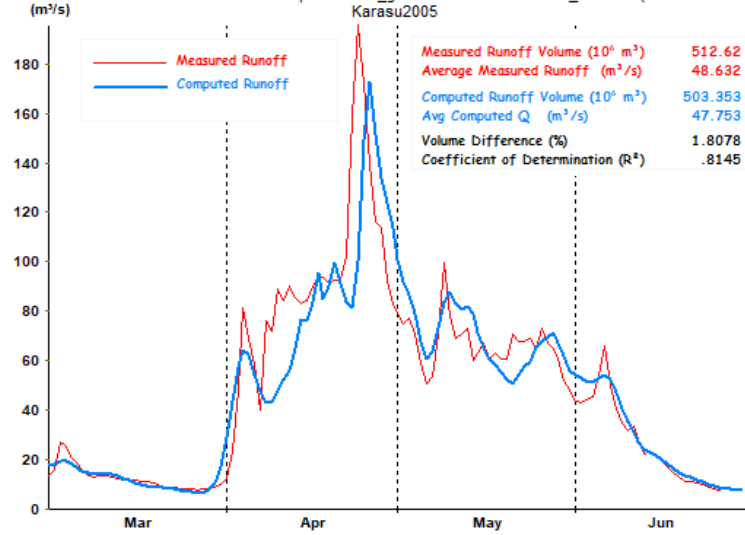
3.3. Analizler ve Akım Hidrografları

SRM'de, Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt havzaları üzerinde modelin değişken ve parametre değerlerinin kalibre edilmesiyle elde edilmiş hesaplanan akım hidrografi ve AGİ'de ölçülen akım hidrograflarının grafikleri aşağıda Şekil 3.70-80 arasında her yıl ve her havza özelinde sonuçları verilmiştir.

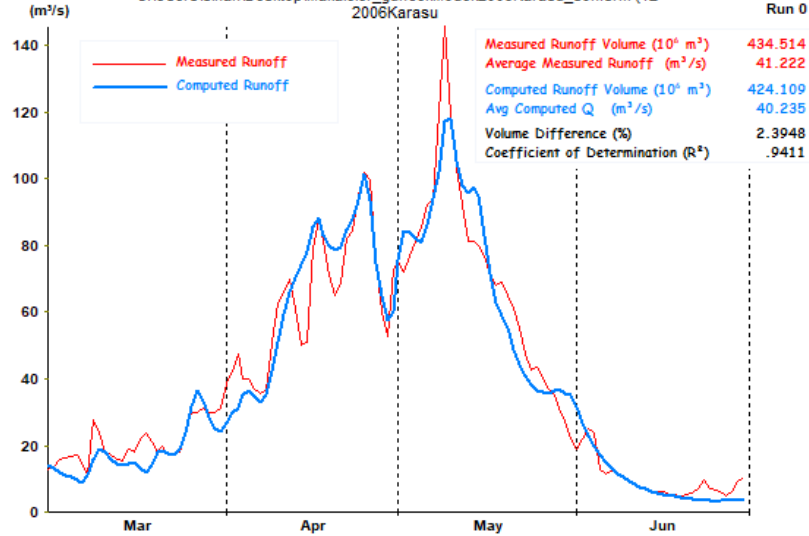
03/01/2004 to 06/30/2004 **Runoff (Measured vs Computed)** 20/10/2021
C:\Users\sinan\Desktop\Makaleler_güncelModel\2004Karasu_son (1 Year round Simulation Run 0
2004Karasu



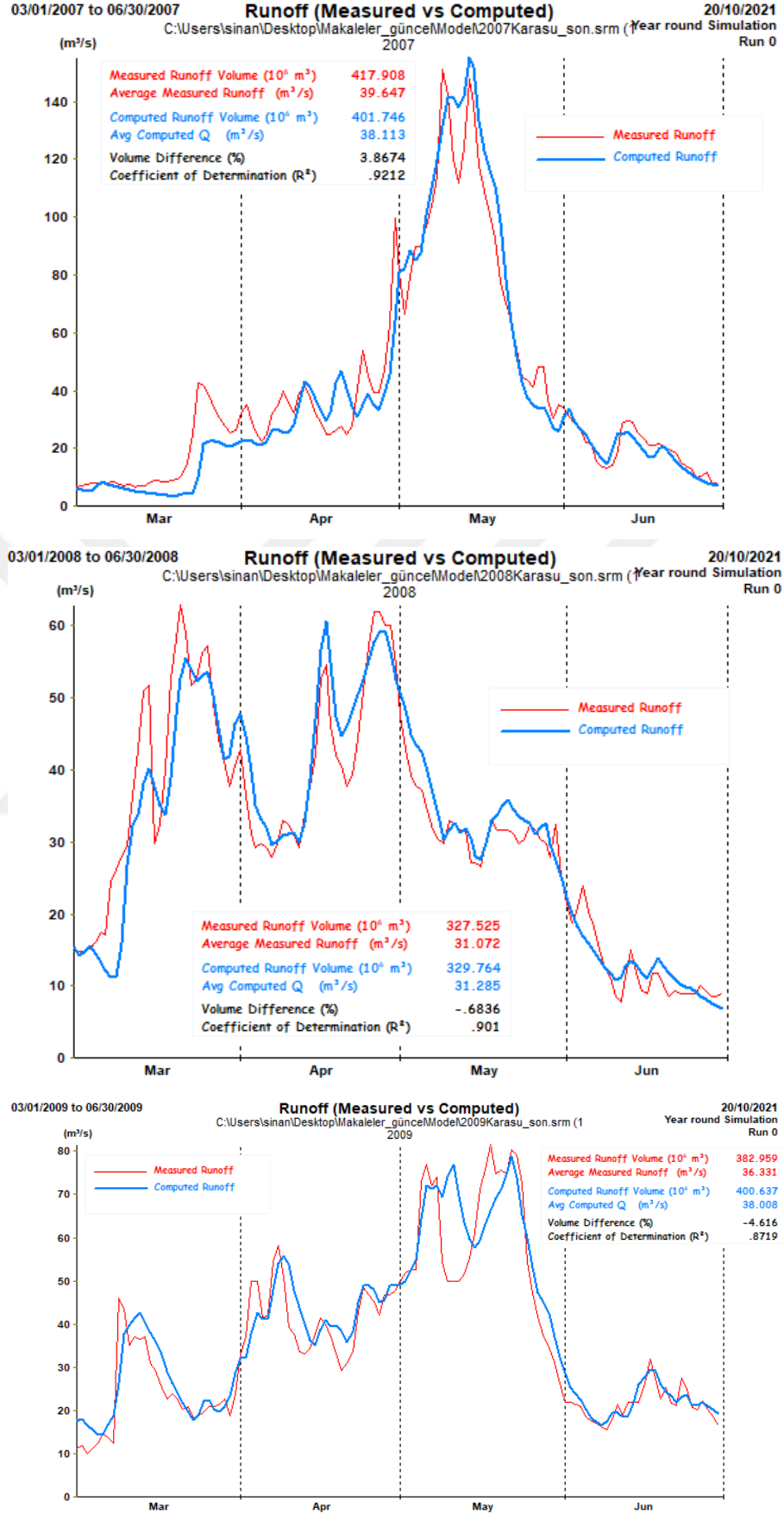
03/01/2005 to 06/30/2005 **Runoff (Measured vs Computed)** 20/10/2021
C:\Users\sinan\Desktop\Makaleler_güncelModel\2005Karasu_son.srm (1 Year round Simulation Run 0
Karasu2005



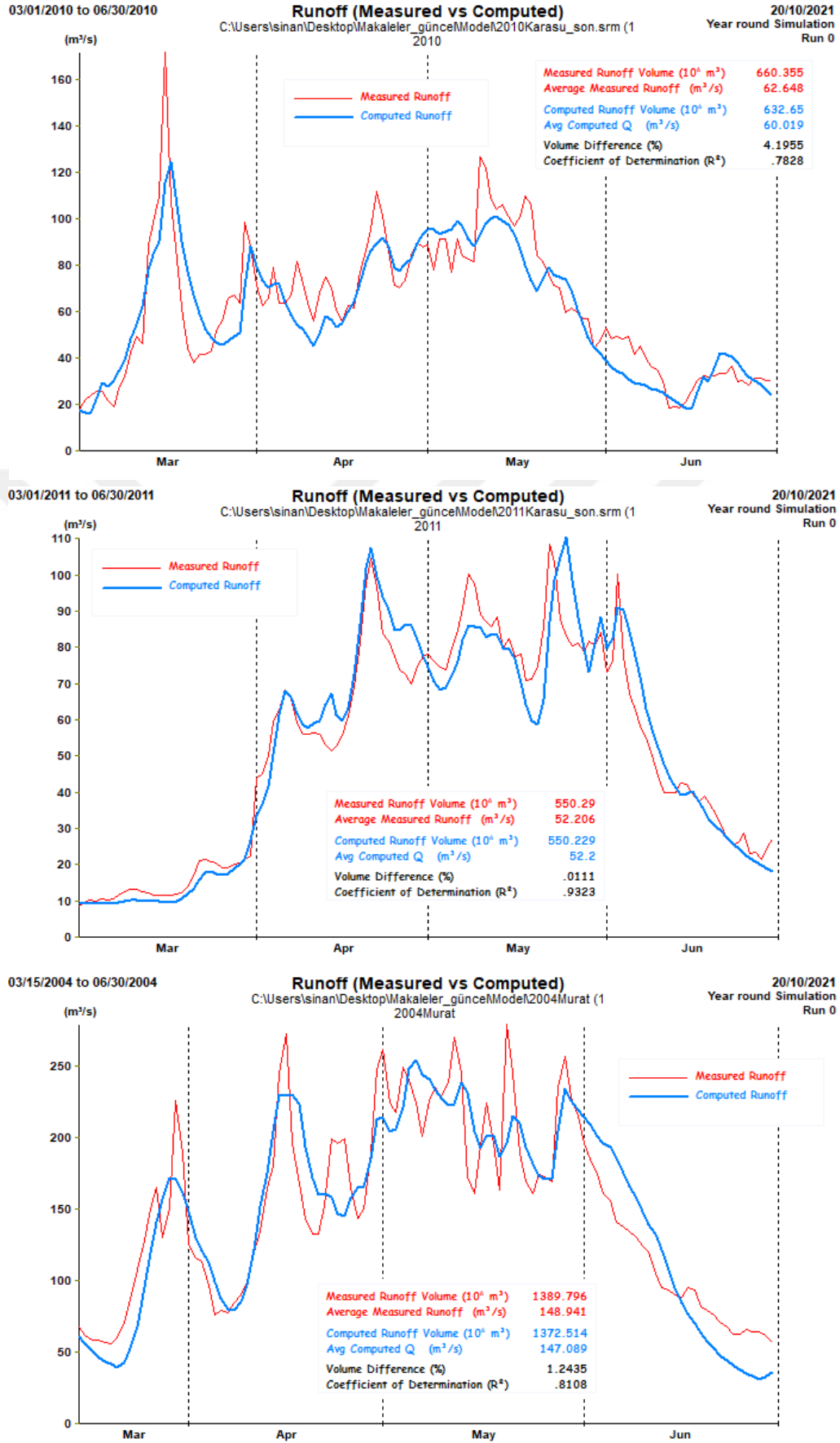
03/01/2006 to 06/30/2006 **Runoff (Measured vs Computed)** 20/10/2021
C:\Users\sinan\Desktop\Makaleler_güncelModel\2006Karasu_son.srm (1 Year round Simulation Run 0
2006Karasu



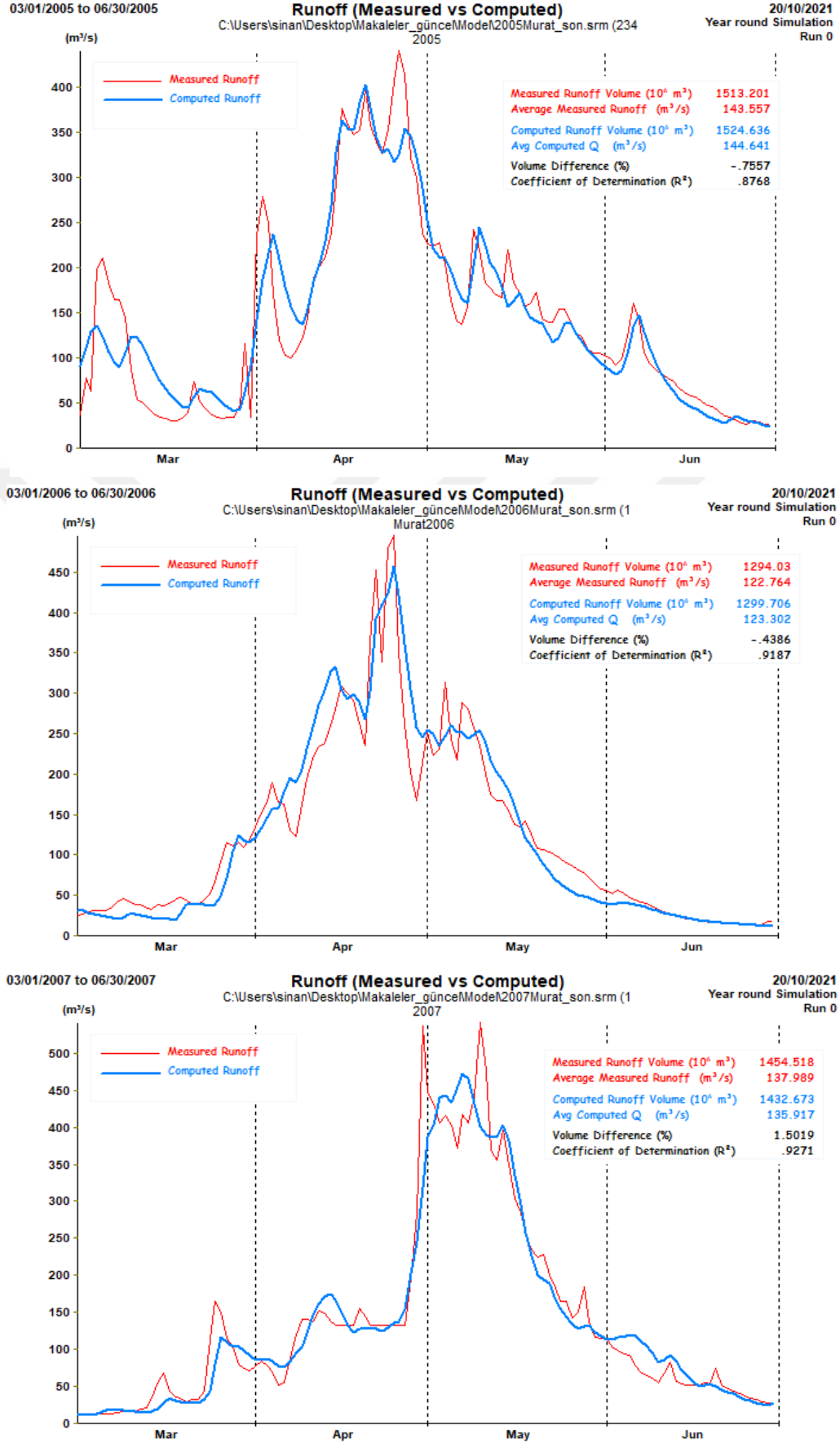
Şekil 3.70. Karasu 2004, 2005 ve 2006 yılı simülasyon sonuçları



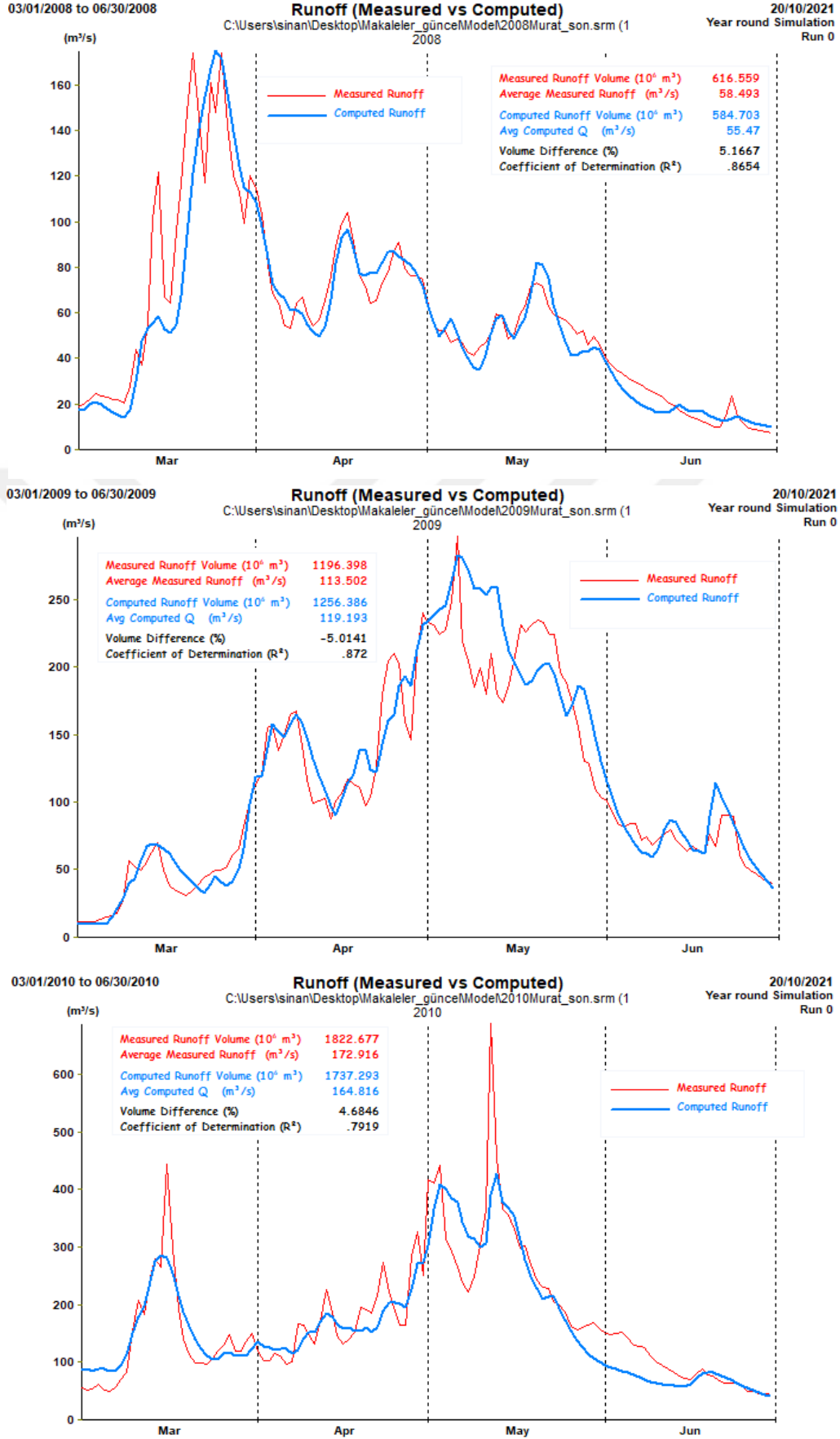
Şekil 3.71. Karasu 2007, 2008 ve 2009 yılı simülasyon sonuçları



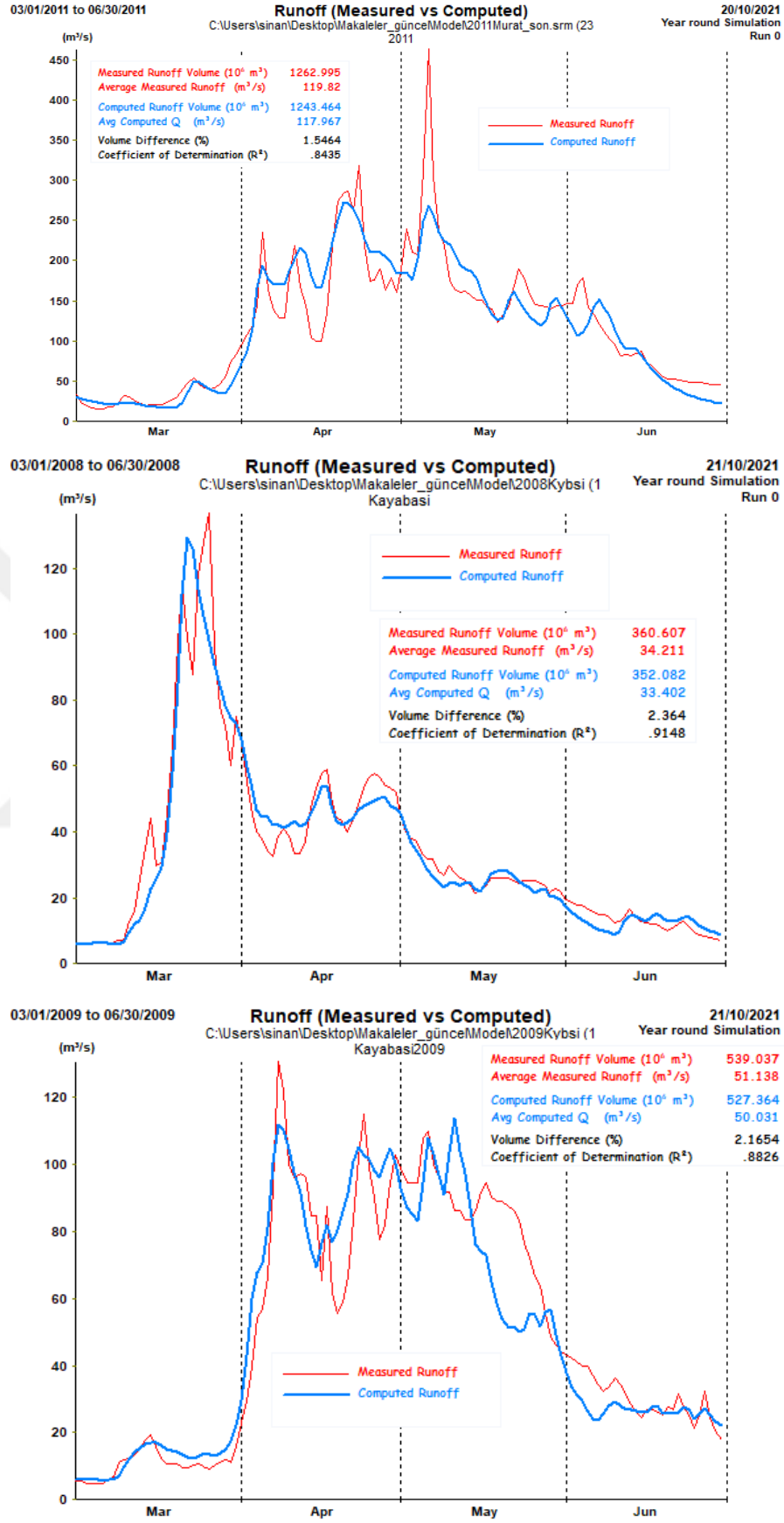
Şekil 3.72. Karasu 2010 ve 2011, Murat 2004 yılı simülasyon sonuçları



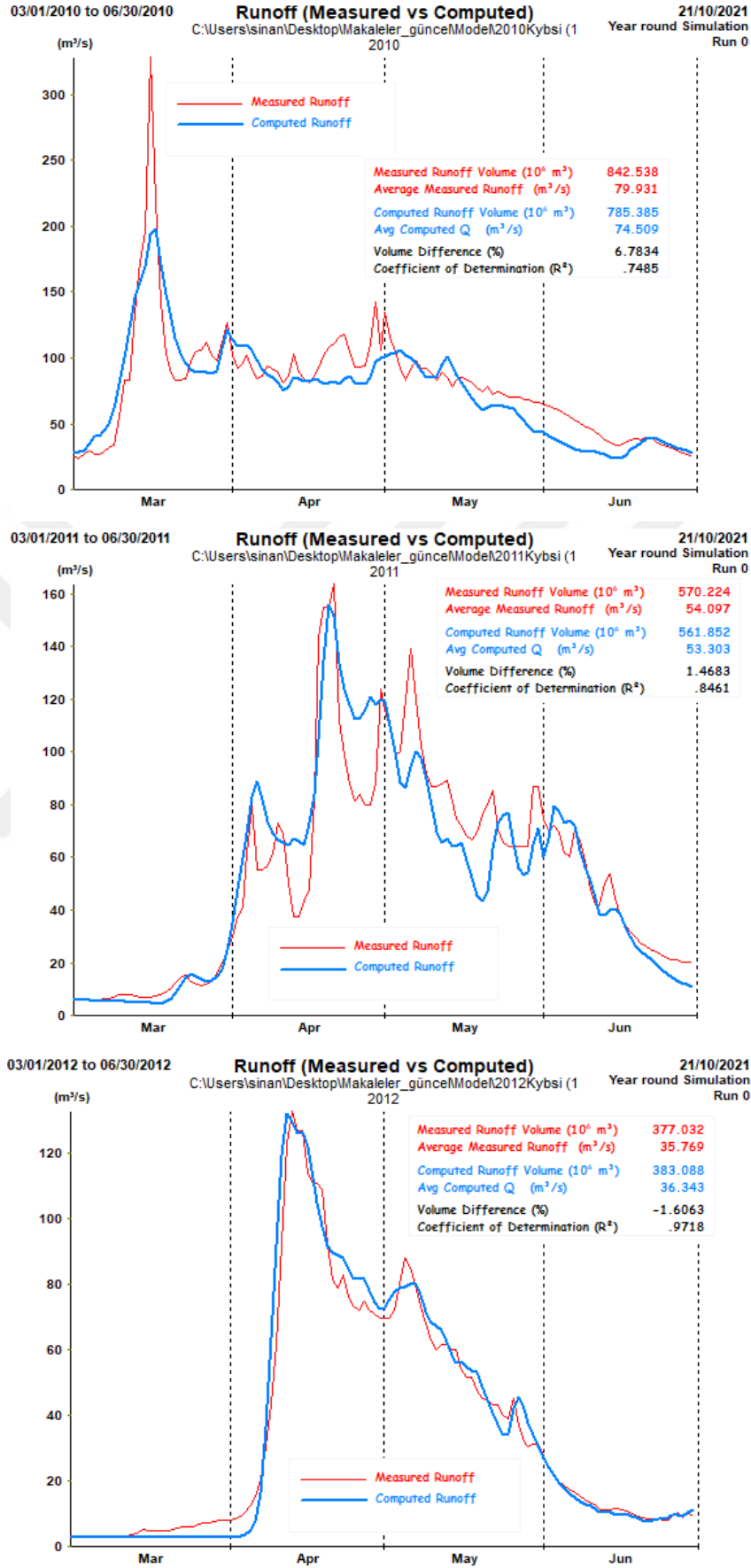
Şekil 3.73. Murat 2005, 2006 ve 2007 yılı simülasyon sonuçları



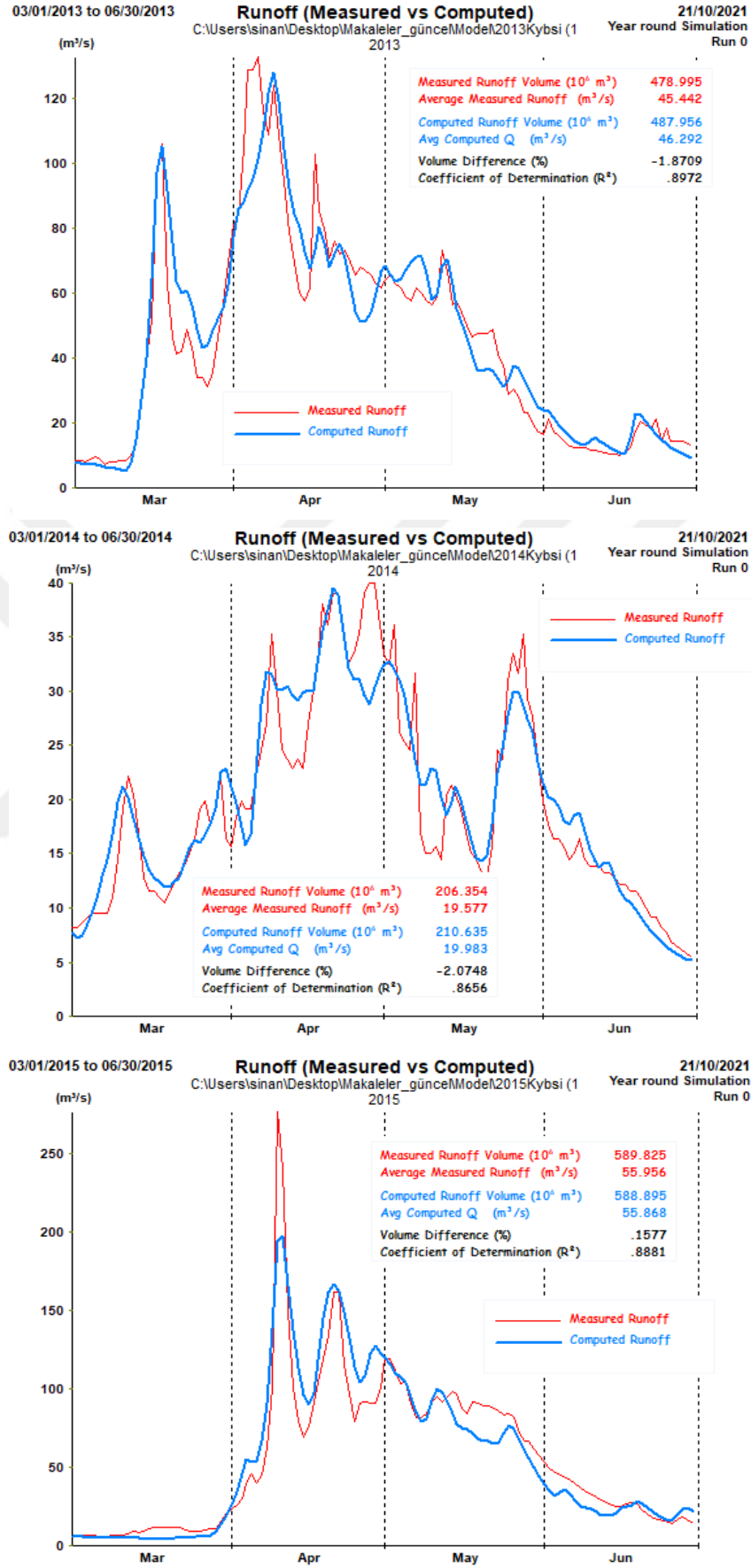
Şekil 3.74. Murat 2008, 2009 ve 2010 yılı simülasyon sonuçları



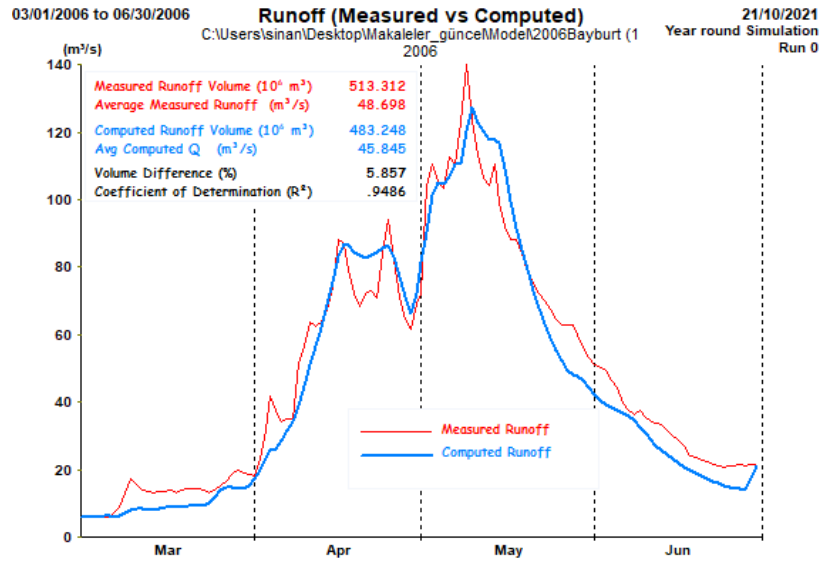
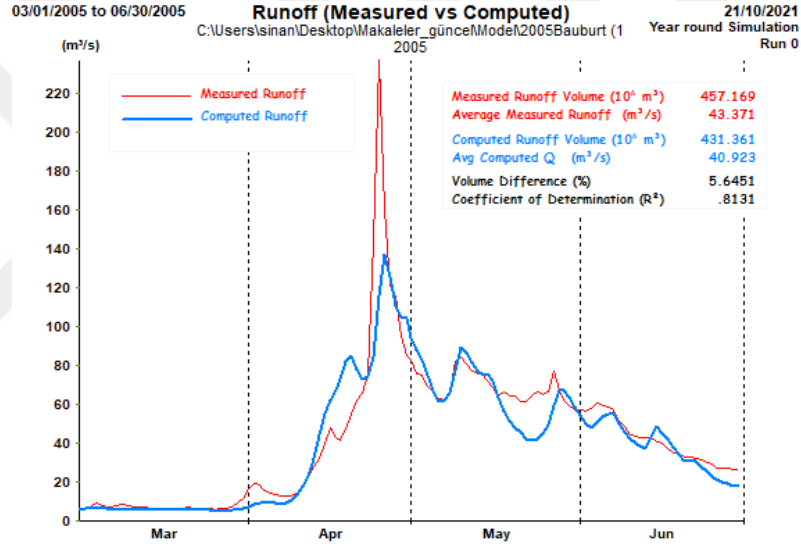
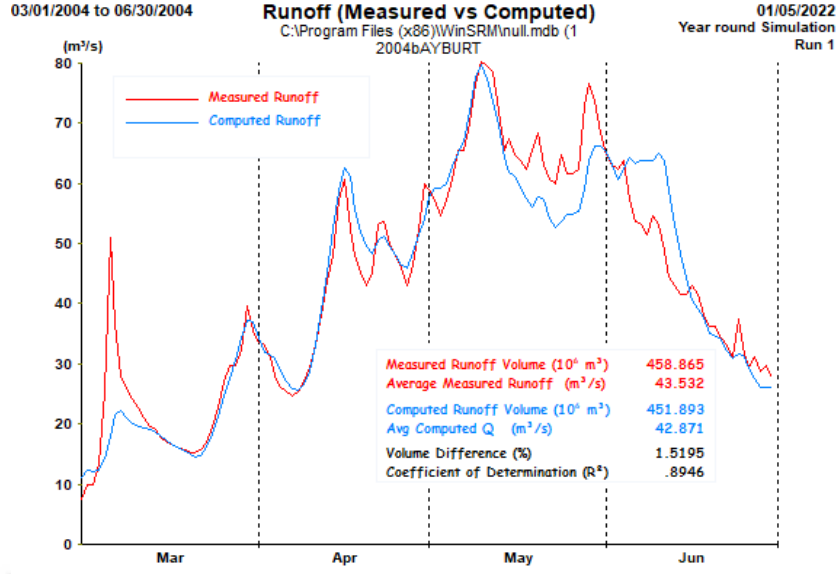
Şekil 3.75. Murat 2011, Kayabası 2008 ve 2009 yılı simülasyon sonuçları



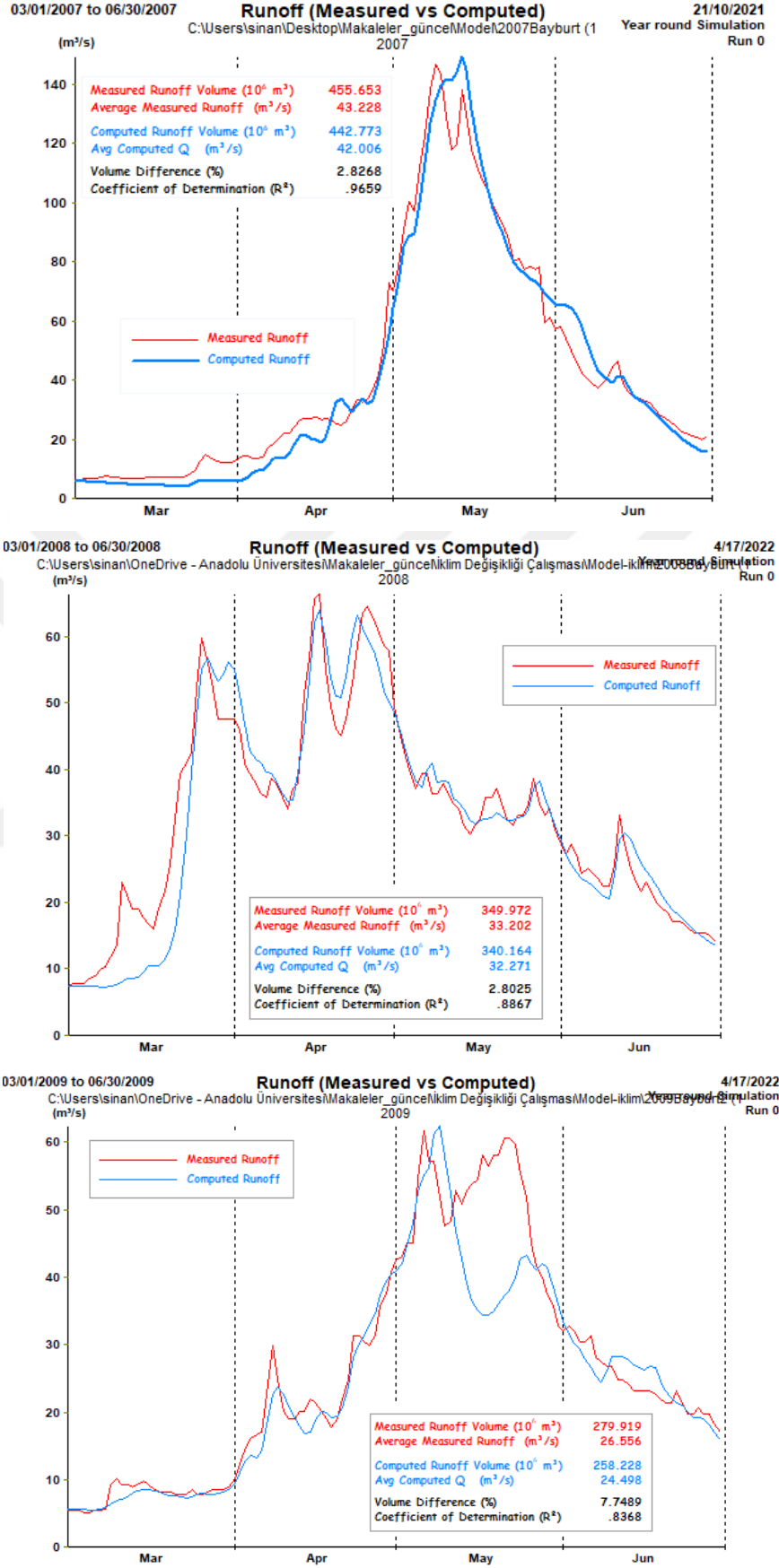
Şekil 3.76. Kayabaşı 2010, 2011 ve 2012 yılı simülasyon sonuçları



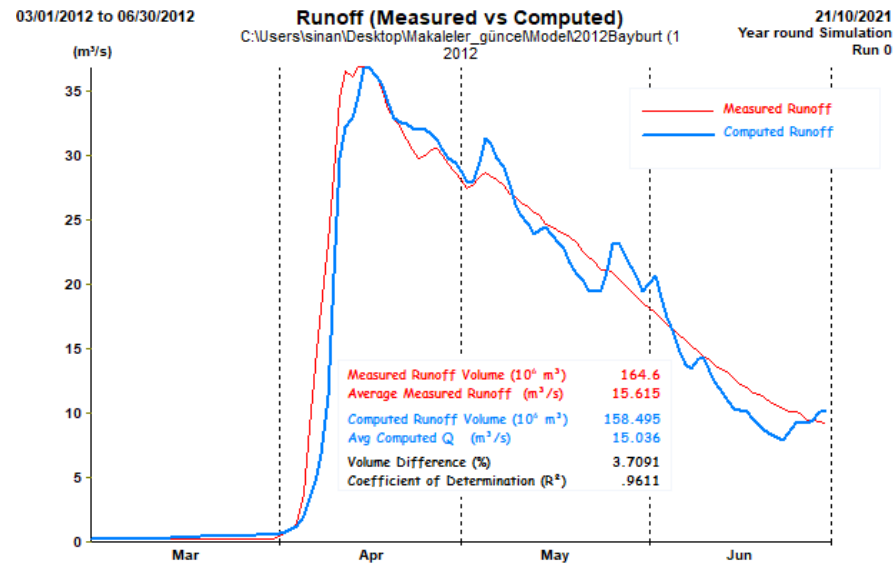
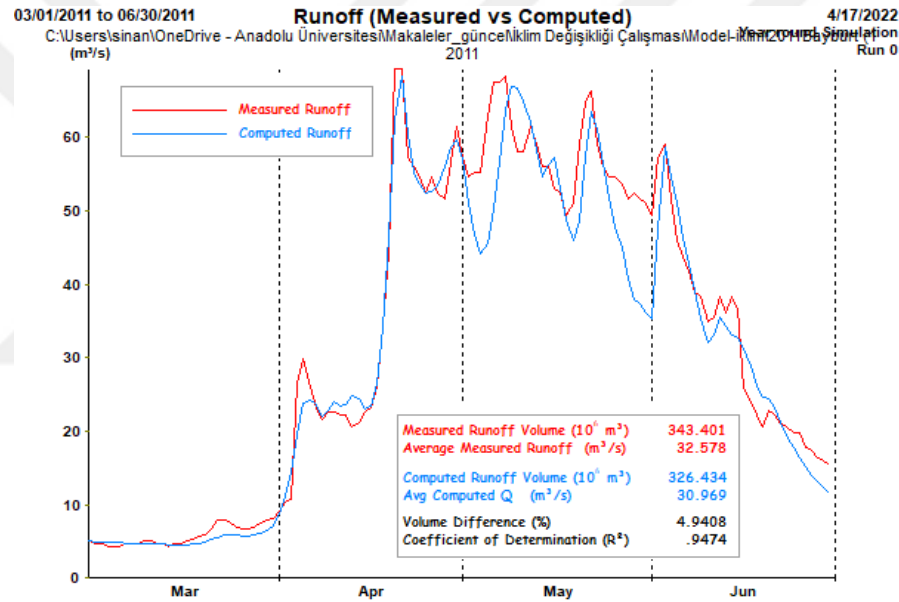
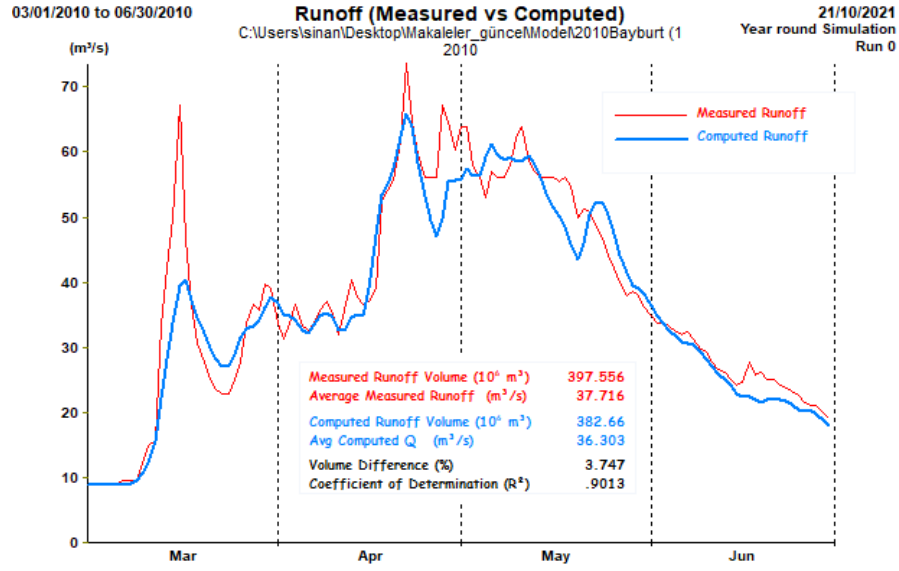
Şekil 3.77. Kayabaşı 2013, 2014 ve 2015 yılı simülasyon sonuçları



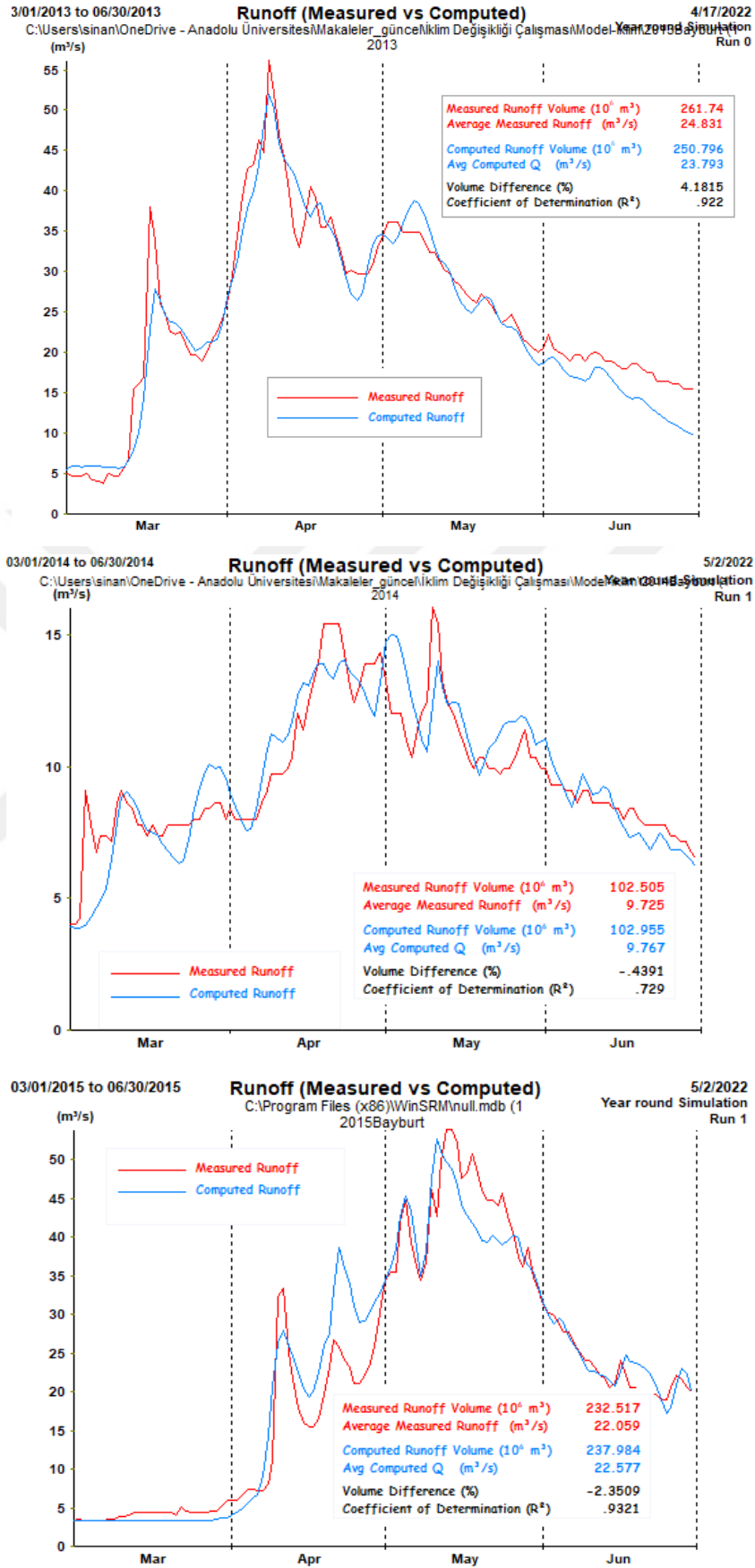
Şekil 3.78. Bayburt 2004, 2005 ve 2006 yılı simülasyon sonuçları



Şekil 3.79. Bayburt 2007, 2008 ve 2009 yılı simülasyon sonuçları



Şekil 3.80. Bayburt 2010, 2011 ve 2012 yılı simülasyon sonuçları



Şekil 3.81. Bayburt 2013, 2014 ve 2015 yılı simülasyon sonuçları

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde, gözlenen akım ile SRM’de yapılan analizlerle bulunan hesaplanan akımın birbirlerine çok yakın olduğu ve kalibrasyon başarı yüzdesinin yüksek olduğu görülmektedir. (2006 yılı Karasu’da R^2 0.94, 2007 yılı Karasu’da R^2 0.92, 2011 yılı Karasu’da R^2 0.93, 2007 yılı Murat’ta R^2 0.93, 2006 yılı Murat’ta R^2 0.92, 2008 yılı Kayabaşı’da R^2 0.91, 2012 yılı Kayabaşı’da R^2 0.97, 2006 yılı Bayburt’ta R^2 0.95, 2007 yılı Bayburt’ta R^2 0.97, 2011 yılı Bayburt’ta R^2 0.95, 2012 yılı Bayburt’ta R^2 0.96, 2013 yılı Bayburt’ta R^2 0.92, 2015 yılı Bayburt’ta R^2 0.93) Ancak, bazı yıllarda havzalardaki başarı yüzdesinin düşmesine neden olan aylar yer almaktadır.

2007 Karasu, 2008 Karasu, 2005 Murat, 2007 Murat, 2012 Kayabaşı, 2004 Bayburt, 2008 Bayburt ve 2014 Bayburt incelendiğinde, özellikle Mart ayında ölçülen ve hesaplanan akım grafikleri arasında fark olduğu; havza içerisinde yeterli sayıda bulunmayan veya farklı zonlara mekânsal olarak dağılımının iyi olmadığı OMGİ’lerden alınan sıcaklık değişkeninin havzayı bu ay içerisinde iyi temsil etmemesinden kaynaklı Mart içerisindeki başarı yüzdesi azalmaktadır.

2010 yılında 4 havzada da kalibrasyonlardaki başarı oranının diğer yıllara göre düşük kaldığı, bunun sebebinin 2010 yılında yağış ve erime olaylarının sürekli olması sonucu hidrografın girinti ve çıkıntılarının fazla olmasına neden olmakta, SRM’in grafiklerdeki bu düzensizlikleri takip edememe sebebinin ise istasyonun havzayı tam olarak temsil edememesidir. Havzanın bir zonunda yağış gerçekleşirken başka bir zonunda ise erime gerçekleşmekte, bu durum ise 2010 su yılı erime ve yağışın birlikte gerçekleştiği kompleks yıllarda SRM’in başarısını açıkça düşürmektedir. 2004 yılında da aynı şekilde 2010 su yılı gibi kompleks bir yıl olduğu Murat ve Karasu’da yapılan analizlerde görülmekte olup yine SRM’deki başarı yüzdesinin düşmesine neden olmaktadır.

Hidrograflara bakıldığı zaman, kar erimelerinin zamansal olarak aylara yayıldığı bu nedenle sıcaklık artışı sonucu erimelerin başlayıp hidrografta yavaş çekilmelerin yaşandığı, ancak ekstrem yağış olayları meydana geldiği süreçte ise hidrografa bakıldığında hızla yükseliş yaşanıp hızla düşüş gerçekleşerek sivri halde pik akım çizgileri meydana gelmektedir. Aşırı yağış olaylarının yaşandığı bazı günlerde, bazı yıllardaki hidrograflarda pik akım oluşturduğu ve bunu aynı şekilde SRM’in yakalayamadığı 2004 Karasu, 2006 Karasu, 2010 Karasu, 2004 Murat, 2007 Murat, 2010 Murat, 2011 Murat, 2010 Kayabaşı, 2015 Kayabaşı, 2005 Bayburt ve 2010 Bayburt’ta görülmektedir. OMGİ’lerde ölçülüp SRM modeline girilen yağış

verisinin, havzanın farklı noktalarında gerçekleşen ekstrem yağış olayını içermediği anlaşılmaktadır.

Ekstrem yağış olayı sonucu oluşan pik akımlar ve 2004 ve 2010 yılı gibi sürekli şekilde erime-yağış olaylarının devam ettiği yıllarda, gün gün parametreler özellikle C_s ve C_r değiştirilerek SRM'e girilebilir ve sonuçlar daha başarılı olabilir. Ancak, bu şekilde bir metot izlenmesi havza karakteristiklerinin yorumlanması açısından uygun olmayacaktır. Bu sebeple, analizler yapılırken her parametre için belli limitler içerisinde kalınmıştır. Bu limitler Bölüm 3.2.5'te anlatılmıştır.

SRM'in özellikle düzenli yağış olduğu, ekstrem yağış olayının meydana gelmediği zamanlarda veya yıllarda, erimenin yavaşça gerçekleştiği havzalarda daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu hidrograflar şunlardır; 2006 Karasu, 2007 Karasu, 2008 Karasu, 2009 Karasu, 2011 Karasu, 2005 Murat (Nisan ayı sonundan itibaren gözlenen yavaşça çekilme), 2006 Karasu, 2007 Murat, 2008 Murat (Mart ayı sonrası gerçekleşen kar erimesi), 2008 Kayabaşı, 2012 Kayabaşı, 2013 Kayabaşı, 2006 Bayburt, 2007 Bayburt, 2008 Bayburt, 2010 Bayburt (Mart sonu sonrası gerçekleşen erime), 2012 Bayburt ve 2013 Bayburt.

2009 yılı Karasu havzası hidrografına ve 2009 yılı Bayburt hidrografına bakıldığında, Mayıs ayının ikinci yarısında hesaplanan akım eğrisi gözlenen akım eğrisinin altında kalmaktadır. Bunun nedeni ise SRM'de yapılan derece-gün analizinde havzadaki karın daha erken çekilmesidir. Akış katsayılarında yapılacak hiçbir değişiklik eğrileri birbirine yaklaştırmamaktadır. Çünkü bu zaman diliminde kayda değer ciddi bir yağış olmamaktadır.

Erime dönemi, ay olarak ele alınırsa, grafiklerin de ortaya koyduğu üzere genel olarak Mayıs sonu ve Haziran aylarında havzalarda aşırı yağış olayı oluşmadığında hesaplanan akım ile ölçülen akım eğrileri beraber hareket etmiş, en çok kırılmaların ve farklılıkların olduğu zamanlar ise Nisan ve Mayıs ayının ilk yarısı olmuştur. Sıcaklıkların bu aylarda artması sonucu üst zonlardaki erimeler gittikçe artmakta ve havzada gerçekleşen yağışla hidrograftaki dalgalanmaların fazlaşması neticesinde eğriler arasında hacim farkı oluşmaktadır. Nitekim, bu da başarı oranının azalmasına neden olmaktadır.

Şekil 3.70'ten Şekil 3.81'e kadarki grafiklerin sonuçları Tablo 3.25 ve Tablo 3.26'da özetlenmiştir.

Tablo 3.25. Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Su Yılları	Karasu		Murat		Kayabaşı		Bayburt	
	R ²	D _v (%)	R ²	D _v (%)	R ²	D _v (%)	R ²	D _v (%)
2004	0.75	1.87	0.81	1.24	-	-	0.89	1.51
2005	0.81	1.81	0.88	-0.76	-	-	0.81	5.65
2006	0.94	2.39	0.92	-0.44	-	-	0.95	5.86
2007	0.92	3.87	0.93	1.50	-	-	0.97	2.83
2008	0.90	-0.68	0.87	5.17	0.91	2.36	0.88	2.80
2009	0.87	-4.62	0.87	-5.01	0.88	2.17	0.83	7.75
2010	0.78	4.20	0.79	4.68	0.75	6.78	0.90	3.75
2011	0.93	0.01	0.84	1.55	0.85	1.47	0.95	4.92
2012	-	-	-	-	0.97	-1.61	0.96	-1.61
2013	-	-	-	-	0.90	-1.87	0.92	4.22
2014	-	-	-	-	0.87	-2.07	0.73	-0.43
2015	-	-	-	-	0.89	0.16	0.93	-2.35
Ort.	0.86	1.11	0.86	0.99	0.88	0.92	0.89	2.91

Tablo 3.26. Havzaların hesaplanan ve ölçülen akım hacimlerindeki farklar

Su Yılları	Karasu			Murat		
	Ölçülen Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Hesaplanan Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Fark (%)	Ölçülen Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Hesaplanan Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Fark (%)
2004	538.64	528.54	1.87	1389.80	1372.51	1.24
2005	512.62	503.35	1.81	1513.20	1524.64	-0.76
2006	434.51	424.11	2.39	1294.03	1299.71	-0.44
2007	417.91	401.75	3.87	1454.52	1432.67	1.50
2008	327.53	329.76	-0.68	616.559	584.70	5.17
2009	382.96	400.64	-4.62	1196.40	1256.38	-5.01
2010	660.355	632.65	4.20	1822.68	1737.29	4.68
2011	550.29	550.29	0.00	1263.00	1243.46	1.55
Ort.	478.10	471.39	1.11	1318.77	1306.42	0.99

Su Yılları	Kayabaşı			Bayburt		
	Ölçülen Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Hesaplanan Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Fark (%)	Ölçülen Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Hesaplanan Akım Hacmi (10 ⁶ m ³)	Fark (%)
2004	-	-	-	458.86	451.89	1.51
2005	-	-	-	457.17	431.36	5.65
2006	-	-	-	513.31	483.25	5.86
2007	-	-	-	455.65	442.77	2.83
2008	360.61	352.08	2.36	349.97	340.16	2.80
2009	539.04	527.36	2.17	279.92	258.23	7.75
2010	842.54	785.39	6.78	397.56	382.66	3.75
2011	570.22	561.85	1.47	343.4	326.43	4.94
2012	377.03	383.09	-1.61	377.03	383.09	-1.61
2013	479.00	487.96	-1.87	261.74	250.706	4.22
2014	206.35	210.64	-2.07	102.51	102.96	-0.43
2015	589.83	588.90	0.16	232.53	237.98	-2.35
Ort.	495.58	487.16	0.92	352.47	340.96	2.91

Tablo 3.25'te havzaların her yıl için yapılan kalibrasyon sonucunda başarı oranlarının kıyaslanmasını sağlayan ve SRM'de kullanılan iki temel ölçütün (Hacim Farkı ve Determinasyon Katsayısı) sonuçları verilmektedir. Buna göre, Karasu Havzasında ortalama 0.86, Murat Havzasında 0.86, Kayabaşı Havzasında 0.88 ve Bayburt Havzasında ise 0.89 benzeşim başarısının yakalandığı Determinasyon Katsayısına (R^2) bakıldığında anlaşılmaktadır. Ayrıca, Hacim Farkı (D_v) yüzdelerine bakıldığında; Karasu Havzasında %1.11, Murat Havzasında %0.99, Kayabaşı Havzasında %0.92 ve Bayburt Havzasında ise %2.91 hacim farkı olmaktadır.

Ölçülen akım hacmi ve hesaplanan akım hacmi arasındaki fark Tablo 3.26'da sunulmaktadır. Bu tablodan görüldüğü üzere tüm havzalar için mutlak farkın %3 değerinin altında kaldığı saptanmış, yapılan analizlerin gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt gibi memba havzalarında, SRM'de günlük modelleme yapılsa da nihai hedefin barajlara gelecek su hacmini tahmin etmek olduğundan erime dönemi ayları; Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran için analiz edilen 4 aylık dilimde akım hidrografındaki ortalama mutlak farkın %3'ün altında olması sonuçları başarılı kılmaktadır. Hacim farkı açısından bakıldığında sonuçlardaki hata payının az olduğu görülmektedir.

4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ

4.1 Dünya’da ve Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

İklimin ortalama durumunda uzun süre boyunca meydana gelen değişiklikler iklim değişikliği olarak tanımlanmaktadır. Arazi kullanımında değişikliklerin yapılması, fosil yakıtların kullanımı, ormansızlaştırma ve sanayinin günlük hayata etkisi gibi etmenlerin insan eliyle artması sonucu artan sera gazı etkisi neticesinde yerküredeki ortalama yüzey sıcaklığında artışların gerçekleşmesi küresel iklim değişikliğinin temel nedenleri olmaktadır. Özellikle dağlık bölgelerde, yağış ve sıcaklıklardaki değişimler hidrolojik sistemleri etkilemektedir (IPCC, 2013).

İklim değişikliği ile ilgili en güncel raporları çok sayıda bilim insanının katılımıyla değerlendirilerek düzenli aralıklarla IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) yayınlamaktadır. Raporda, iklim değişikliği etkilerinin insanlara ve doğaya etkisinin belirlenmesi ve olumsuz etkilerine karşı hazırlıklı olunması gerektiği belirtilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, gelecekteki yıllardaki iklim etkilerini anlaşılabilmesi için geçmiş iklim verilerinin kullanılarak matematiksel modeller kullanılmakta, dolayısıyla çalışmaların uluslararası alanda da ortak olmasını sağlamak ve sağlıklı sonuçların elde edilebilmesi nedeniyle Küresel İklim Modelleri IPCC tarafından belirlenmiş senaryolar temel alınarak uygulanmaktadır. (IPCC, 2022; Peker, 2020; Peker ve Sorman, 2021; IPCC, 2013; Demircan vd., 2017)

Gelecekteki bazı olayların resmedilmiş hikâyeleri olan senaryolar, geleceğin tahminleri olmayıp, olası alternatif durumlar olarak tanımlanmaktadır (IPCC, 2000). IPCC şu ana kadar 6 değerlendirme raporu hazırlamış olup bunlar; FAR, SAR, TAR, AR4, AR5 ve AR6’dır. IPCC’nin 5. Değerlendirme raporunda (AR5) RCP senaryoları tanımlanmış CO₂ konsantrasyonuna bağlı olan SRES senaryoları yerine, ışımsal zorlama seviyeleri ve rotaları bakımından 4 farklı RCP senaryosu (Representative Concentration Pathways) bulunmaktadır. Sera gazı yayılımının RCP2.6’da yüzyılın ilk çeyreğinde azalacağı, RCP4.5’te yüzyılın ortasında azalacağı, RCP6.0’da yüzyılın son çeyreğinde kademeli olarak azalacağı ve RCP8.5’te ise 2100 yılına kadar sürekli artacağı varsayılmaktadır (IPCC, 2007).

Demircan vd. (2017), “Türkiye’nin Yeni Senaryolar ile İklim Değişikliği” başlığı kapsamında yapılan ülkemizin değişik bölgelerinde iklim değişikliğinin etkilerini ortaya çıkarmak adına çalışma yapılmıştır. HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFLF-ESM2M gibi 3 farklı Küresel Döngü Modeli (GCMs) verisi aracılığıyla RCP4.5 ve RCP8.5

senaryoları temelinde kullanılmıştır. Çalışmada 1971-2000 yılları arası referans periyodu olarak belirlenip, projeksiyon periyotları olarak ise 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 analiz edilmiştir. Ayrıca, MPI-ESM-MR ve GFLF-ESM2M modellerinde 20 km çözünürlüğe, dinamik olarak RegCM4 Bölgesel iklim modeli kullanılarak küçültme yapılmış, sonuç olarak Türkiye’de ortalama yıllık sıcaklığın 2016-2040 periyodu için $1 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2041-2070 periyodunda $1.5 - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 2071-2099 periyodunda ise $1.5 - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişeceği tahmin edilmektedir.

Peker ve Şorman, (2021) çalışmasında, Murat ve Karasu havzalarının sıcaklık ve yağış değerleri MPI-ESM-MR küresel döngü modeli kullanılarak RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları çerçevesinde değerlendirilmiş, iki havzada da sıcaklığın $1.8 - 4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında arttığı, ancak yağışa gelindiğinde analiz edilen periyotlarda ve havzalarda dalgalanmalar yaşandığı görülmüş, senaryo tipine bağlı olmadan Murat havzasında yağışta negatif yönde küçük bir değişim gözlenirken Karasu havzasında ise ufak bir artış görülmüştür. Yağışın değişken olduğu sonucu ortaya çıkarılmıştır.

Türkiye’de yapılmış başka iklim değişikliği çalışmalarında ise karın erken erimesi ve akımın zamansal olarak kaydığı gözlenmiştir (Bozkurt vd., 2013; Bozkurt vd., 2015). 2000 m üzerindeki bölgelerde akımın 1-2 hafta öne öteleneyeceği, 1000-2000 m yüksekteki bölgelerde 2 ile 4 hafta arasında kayacağı ve bu yüzyılın sonunda 1000 m altında yüzeyde hiç kalıcı karın bulunmayacağı tahmin edilmekte olduğu belirtilmiştir. (Bozkurt ve Sen, 2013; Yücel vd., 2014; Önel vd., 2013).

Yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere yağışın artan veya azalan trendinin olmaması ve iklim değişikliğiyle yarattığı değişimin %5’in altında kalması nedeniyle bu çalışmada kullanılmamıştır. İklim değişikliği çalışması için $1 - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişen farklı sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Sıcaklığın neden $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar arttırıldığı ise yine önceki yıllarda RCP senaryoları kullanılarak yapılmış analizlerde 2100 yılına kadarki periyotlarda görülen en yüksek sıcaklık değerinin bu olmasına dayanmaktadır. Ayrıca bu çalışmada, veri seti olarak KKA’ların bulunması dolayısıyla SRM modelinden faydalanılmış, herhangi bir küresel iklim modeli kullanılmaması gerekçesiyle de farklı periyotlar için analiz yapılmamıştır.

Erime dönemindeki günlük kar örtüsü eğrisi nümerik model olan SRM’in önemli bir değişken girdisidir. Kar su eşdeğeri olarak kullanılabildiği gibi kar rezervini de belirler. Kar örtüsündeki azalma sadece ilk kar rezervine bağlı olmayıp yıl içindeki iklime de bağlı olmaktadır. Rango ve Martinec, (1994)’teki çalışmada yıllar arasındaki

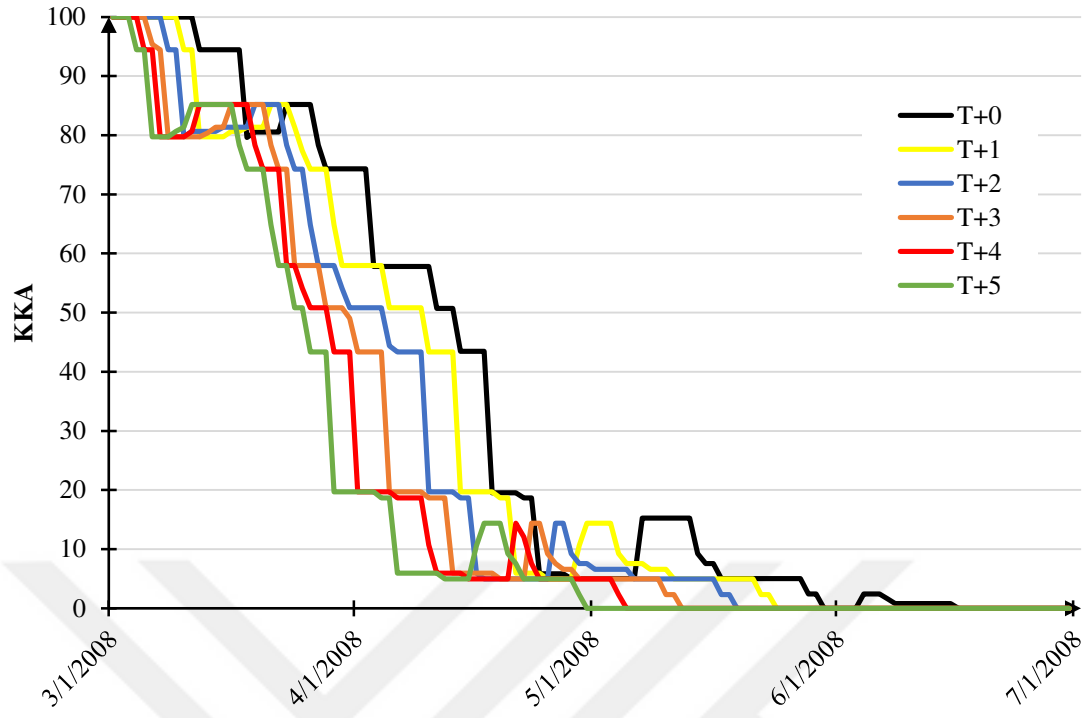
değişimleri normalize etmek için örnek modifiye çekilme eğrileri oluşturulmuştur. Makalede, SRM modelinde kullanılan analizi, basitleştirilmiş olarak 10 gün özelinde ele alınıp hesap tablosu oluşturularak sıcaklık artışı etkisiyle KKA değişiminin nasıl olacağı anlatılmıştır (Rango ve Martinec, 1994).

Kar örtüsü dağılımının azalması sadece başlangıçtaki kar rezervine bağlı olmayıp aynı zamanda söz konusu yılın da iklim koşullarına bağlı olmaktadır. Rango ve Martinec, 1994'te, yıllar arasında kar örtüsünde meydana gelen farklılıkları normalleştirmek üzere modifiye kar çekilme eğrilerini kullanmak önerilmektedir. Bu modifiye kar çekilme eğrileri, KKA'ı zamandan ziyade günlük hesaplanan kümülatif kar derinliği ile ilişkilendirmektedir. Modifiye kar çekilme eğrisinin çiziminde, sıcaklık artışından kaynaklı havzada gerçekleşen bazı kar yağışı olayları kritik sıcaklık baz alınarak yağmura dönüştüğü hesaba katılarak işlem yapılır. Öncelikle, erime dönemindeki toplam erime derinliği çıkarılır ve yeni iklimde sıcaklığın artışına rağmen gerçekleşen yağış halen kar şeklindeyse geri eklenir. Böylelikle yeni iklimdeki kar çekilme eğrisi elde edilmiş olur. Yeni iklimdeki kümülatif kar derinliğinin, eski iklimdeki kümülatif kar derinliğini aşp aşmadığı kontrol edilerek günlerin değişmesi sağlanır. Elde edilen günlük KKA eğrisi SRM'e girdi olarak kullanılıp sadece sıcaklığın değiştiği iklim senaryosunda diğer bütün değişken ve parametreler aynı olmak üzere yeni iklimdeki akım tahminini yapmak için analiz yapılır.

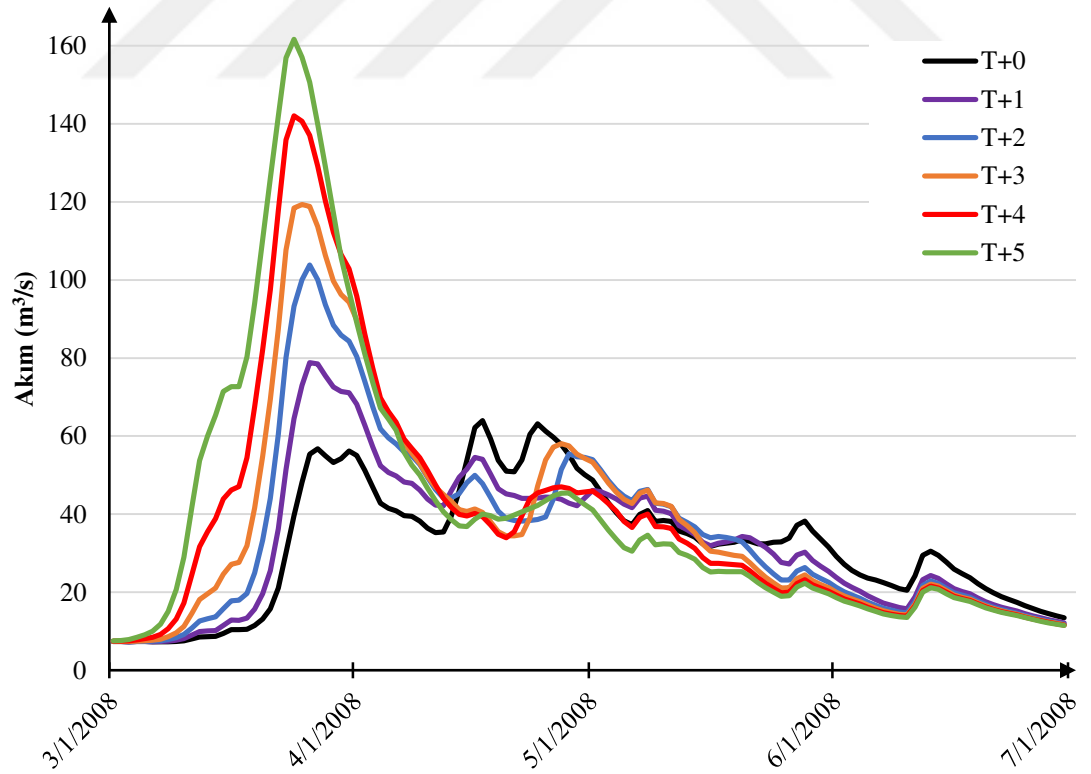
4.2. Havzalardaki İklim Değişikliği Etkileri

Bu bölümde, Karasu, Murat, Bayburt ve Kayabaşı havzalarında, Tablo 3.14'ten de görüleceği üzere 2008, 2009, 2010 ve 2011 yıllarında akım verilerinin bulunduğu dikkate alınarak, sıcaklığın 1, 2, 3, 4 ve 5 °C artışının sağlandığı durumda iklim değişikliği etkilerinin nasıl olacağı konusu incelenmiş KKA ve akım grafiğindeki değişimler değerlendirilmiştir.

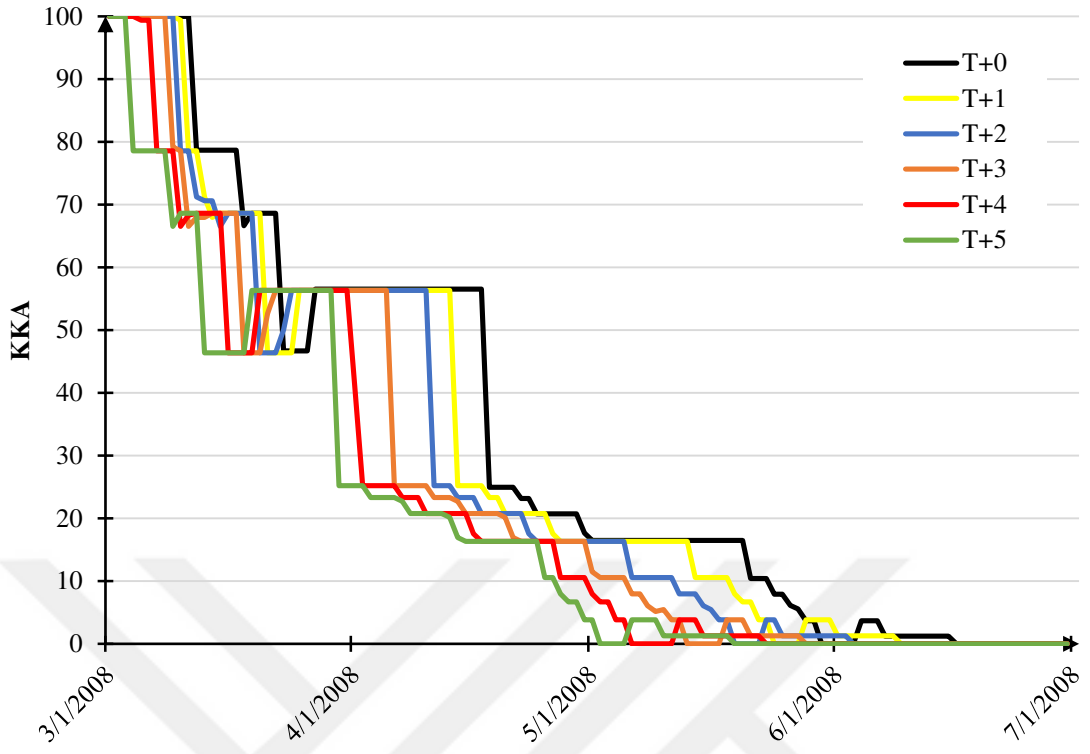
Aşağıdaki grafiklerde, havzalardaki sıcaklık artışıyla beraber KKA ve akım eğrilerindeki değişimler SRM kullanılarak yapılan analizler sonucunda hesaplanmış olup aşağıda gösterilmektedir.



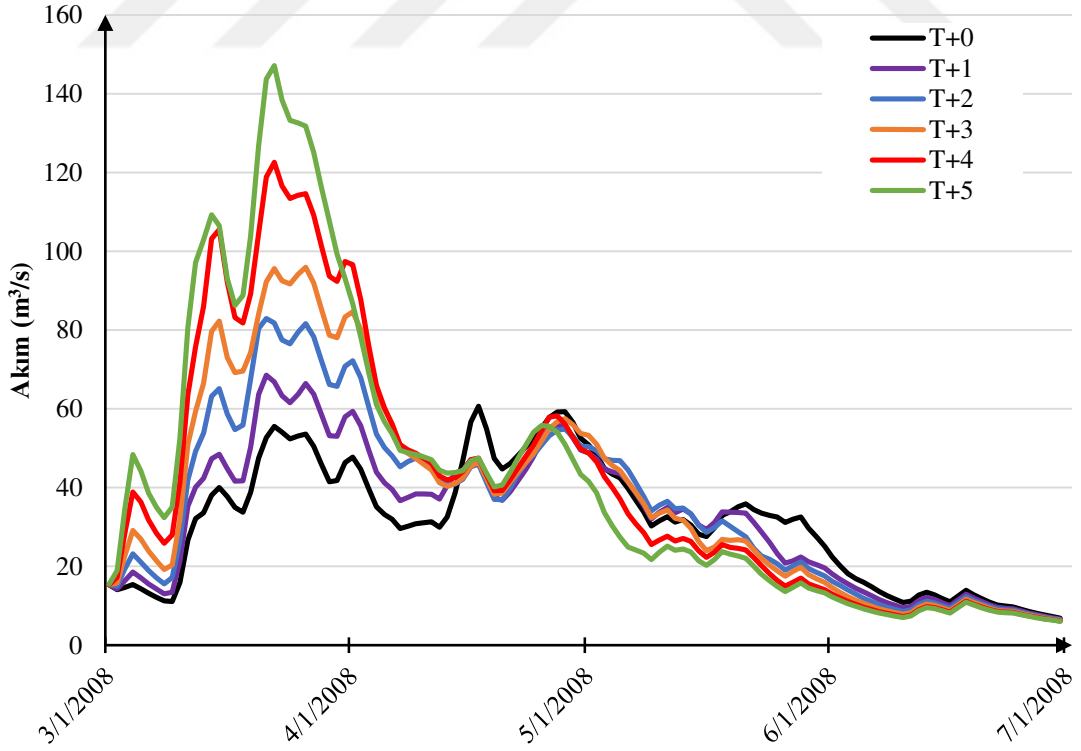
Şekil 4.1. Bayburt 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi



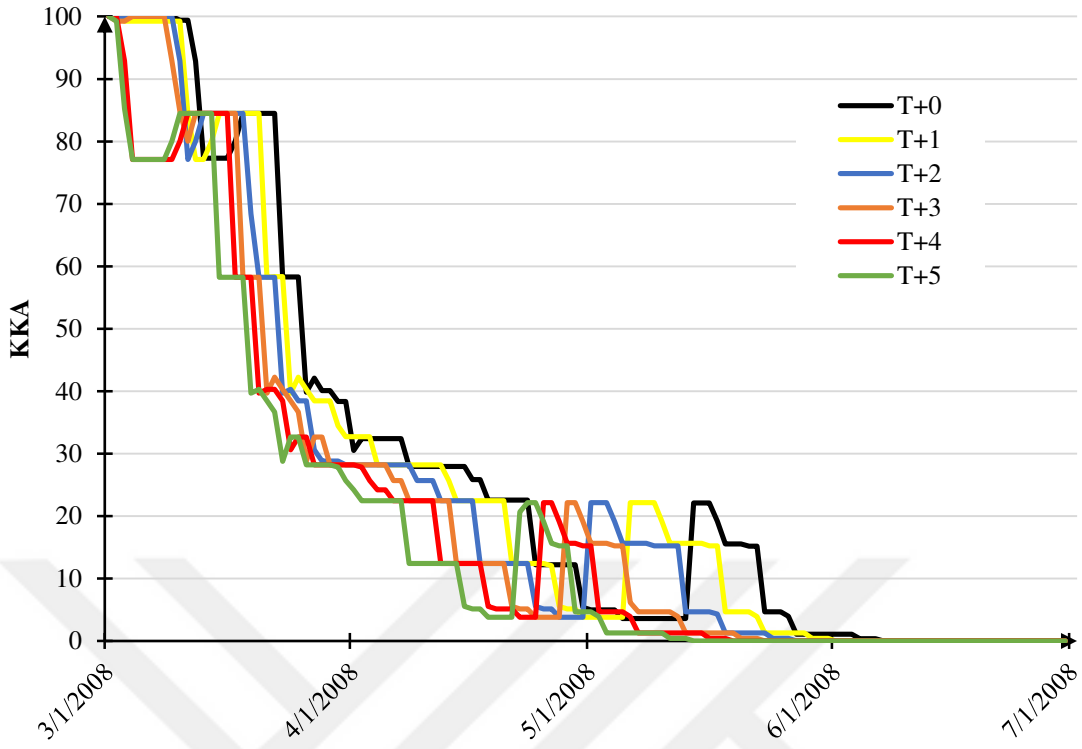
Şekil 4.2. Bayburt 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi



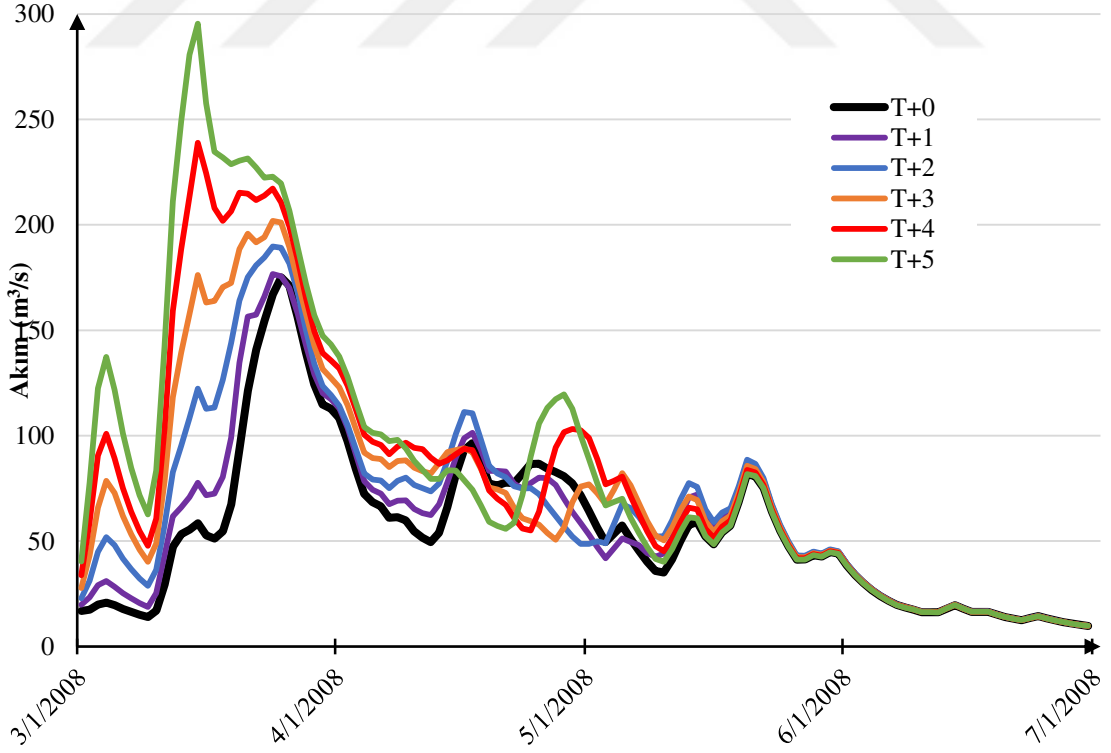
Şekil 4.3. Karasu 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi



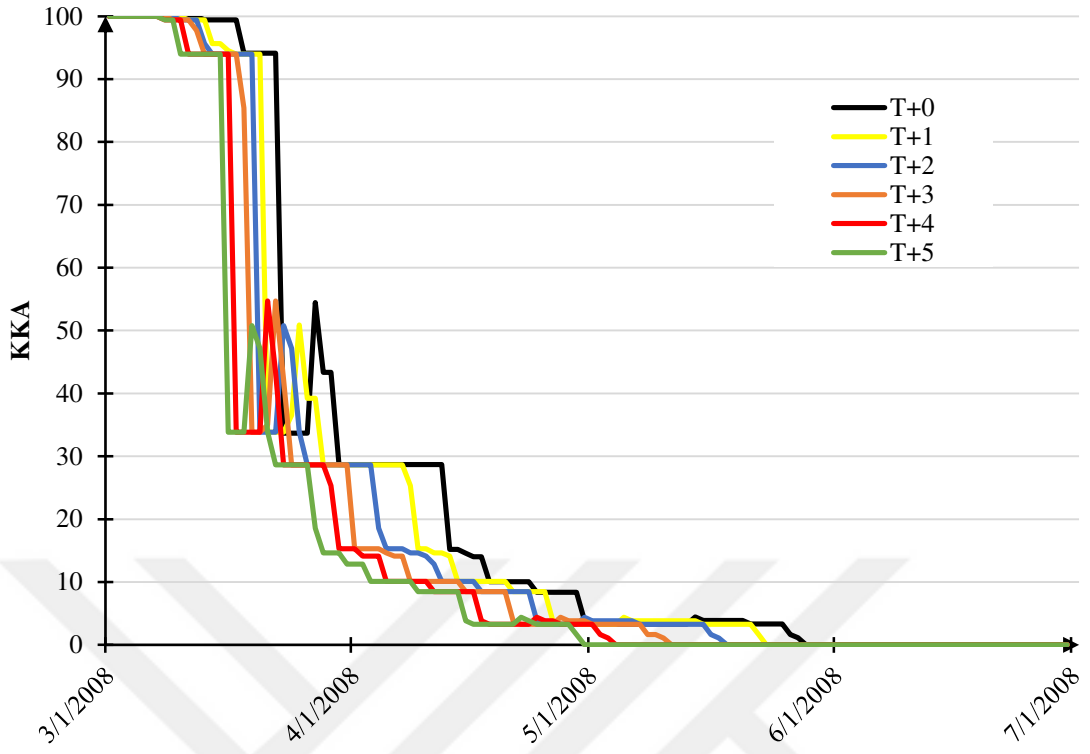
Şekil 4.4. Karasu 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi



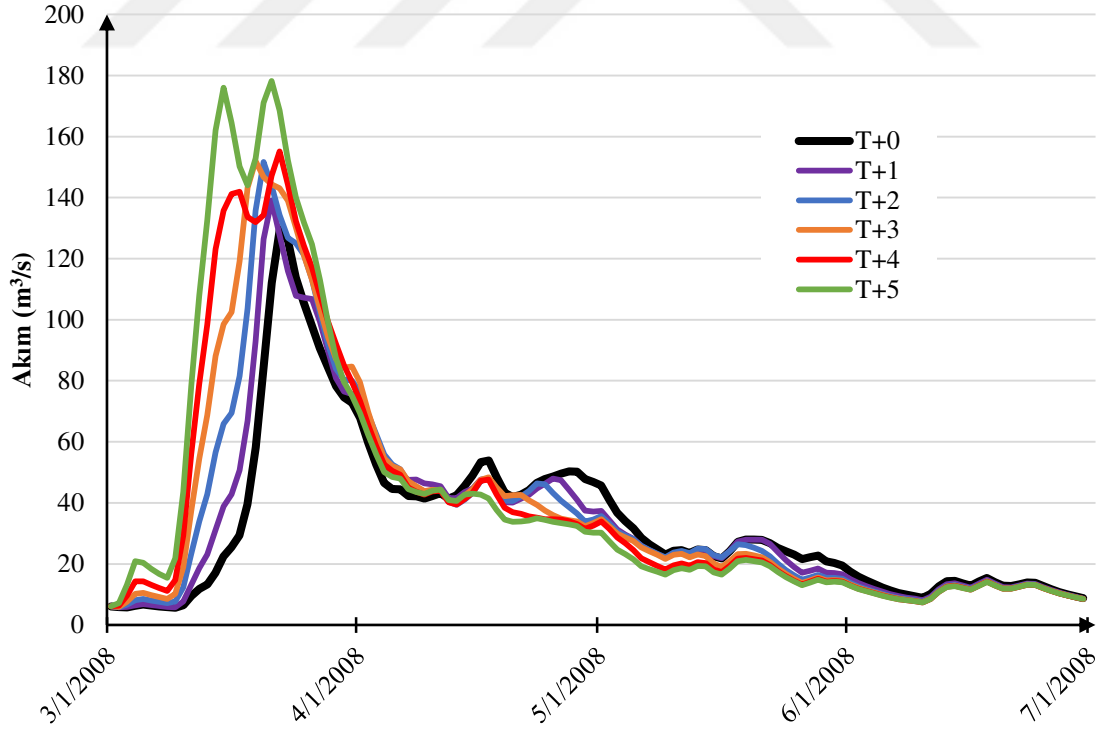
Şekil 4.5. Murat 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi



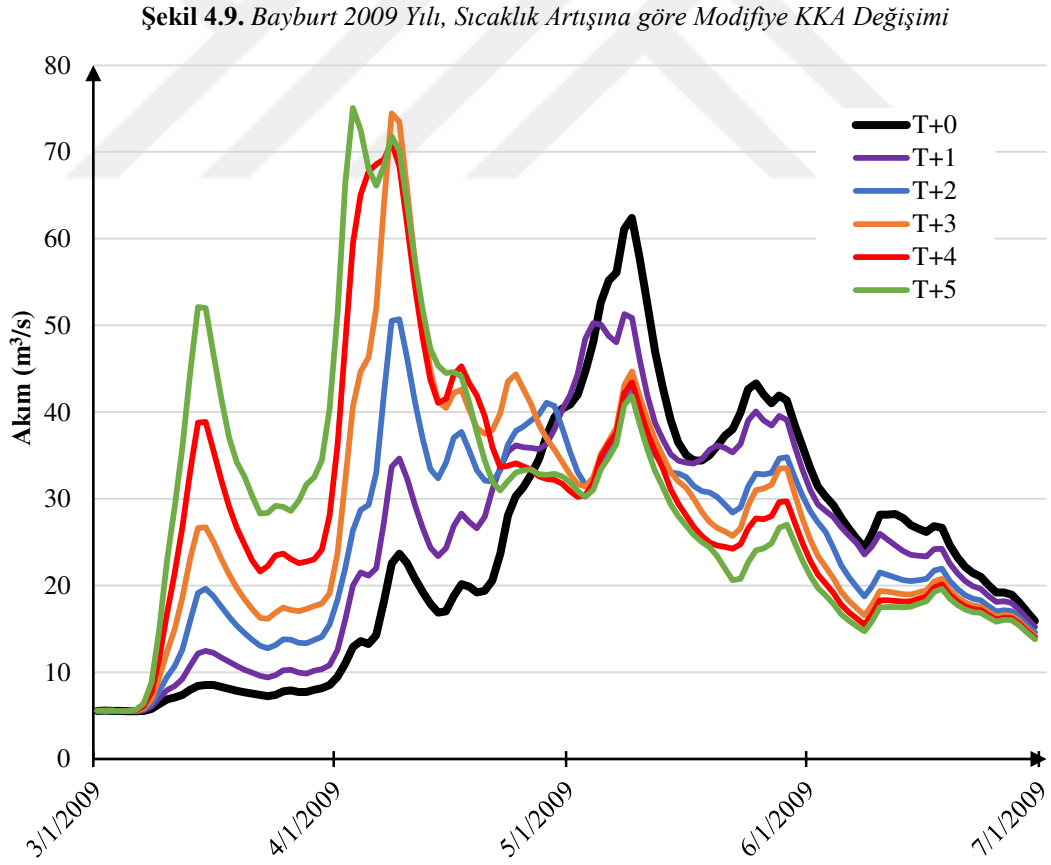
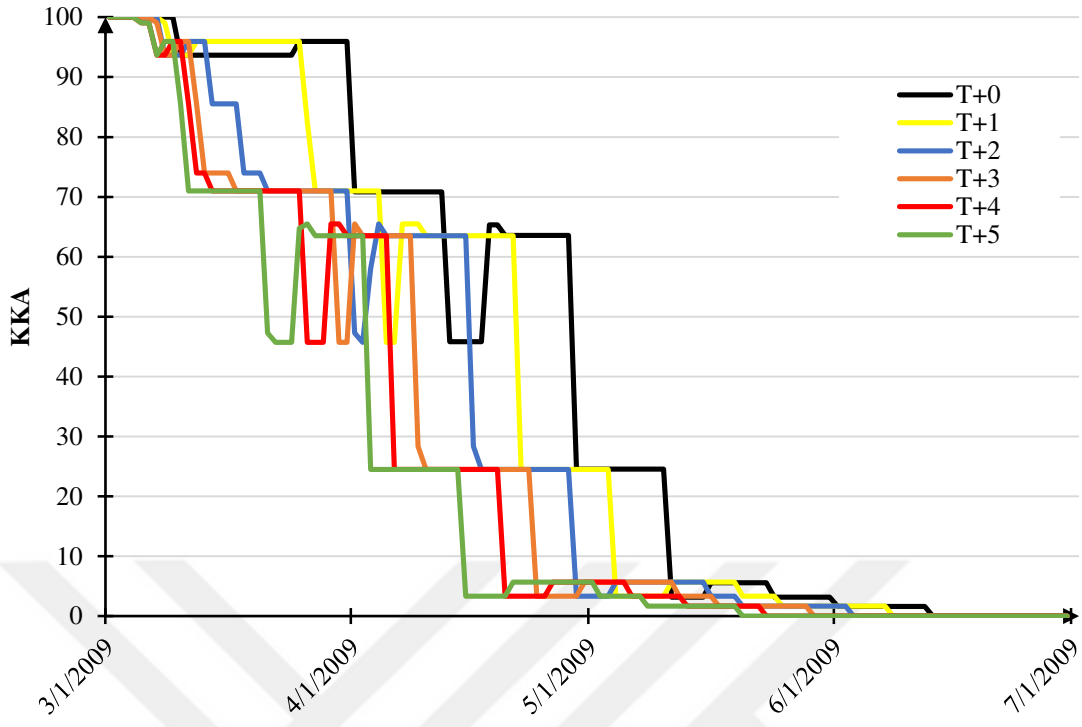
Şekil 4.6. Murat 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi

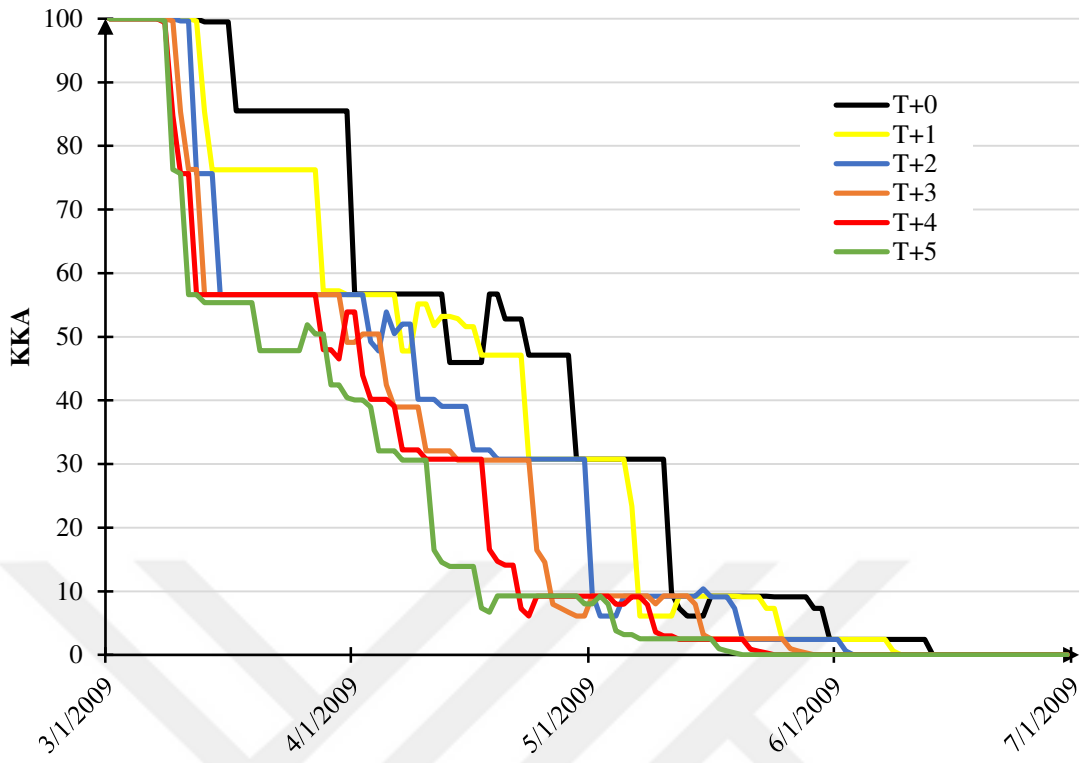


Şekil 4.7. Kayabaşı 2008 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi

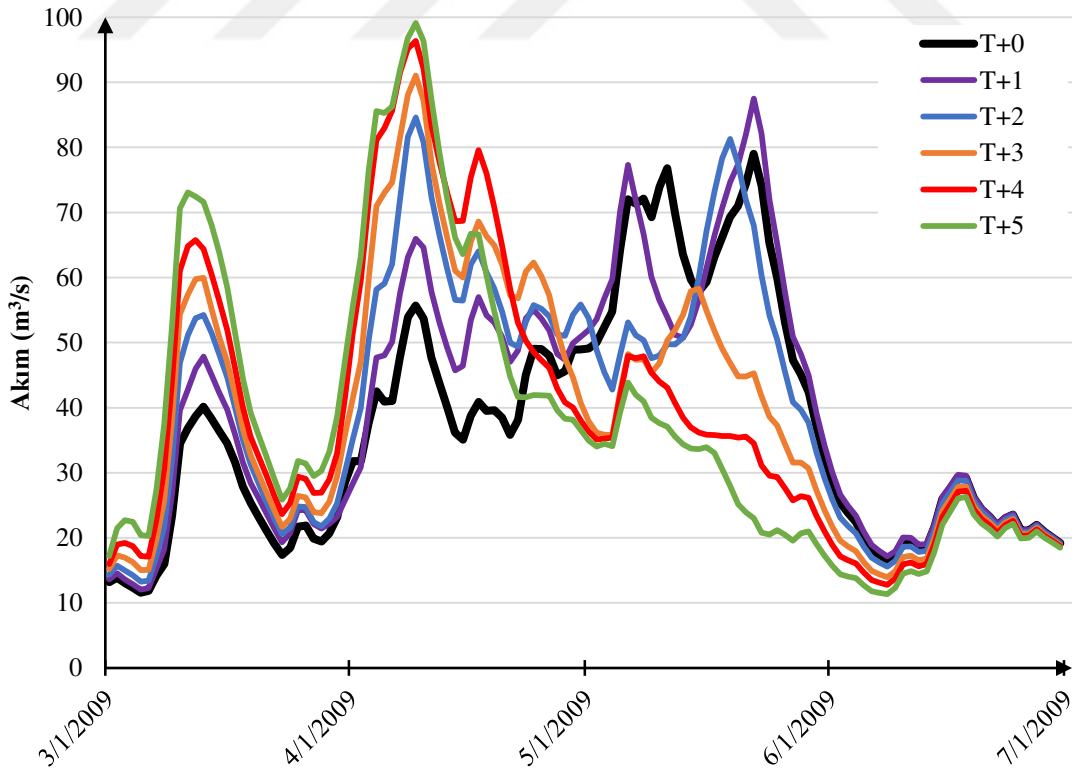


Şekil 4.8. Kayabaşı 2008 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi

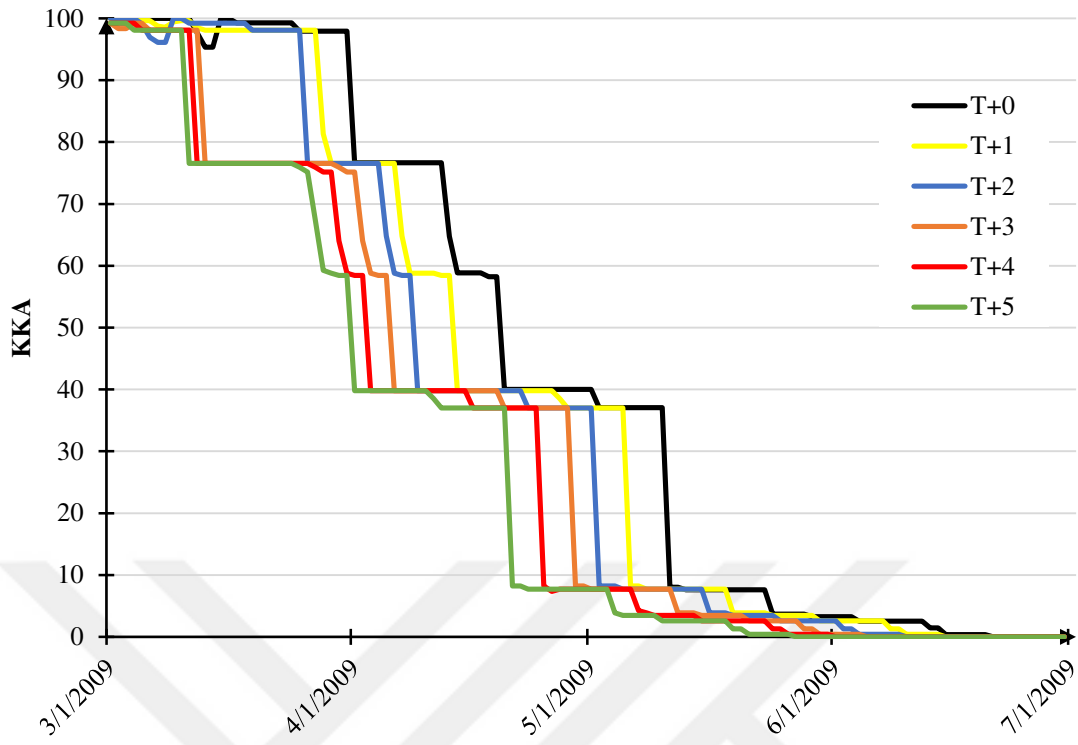




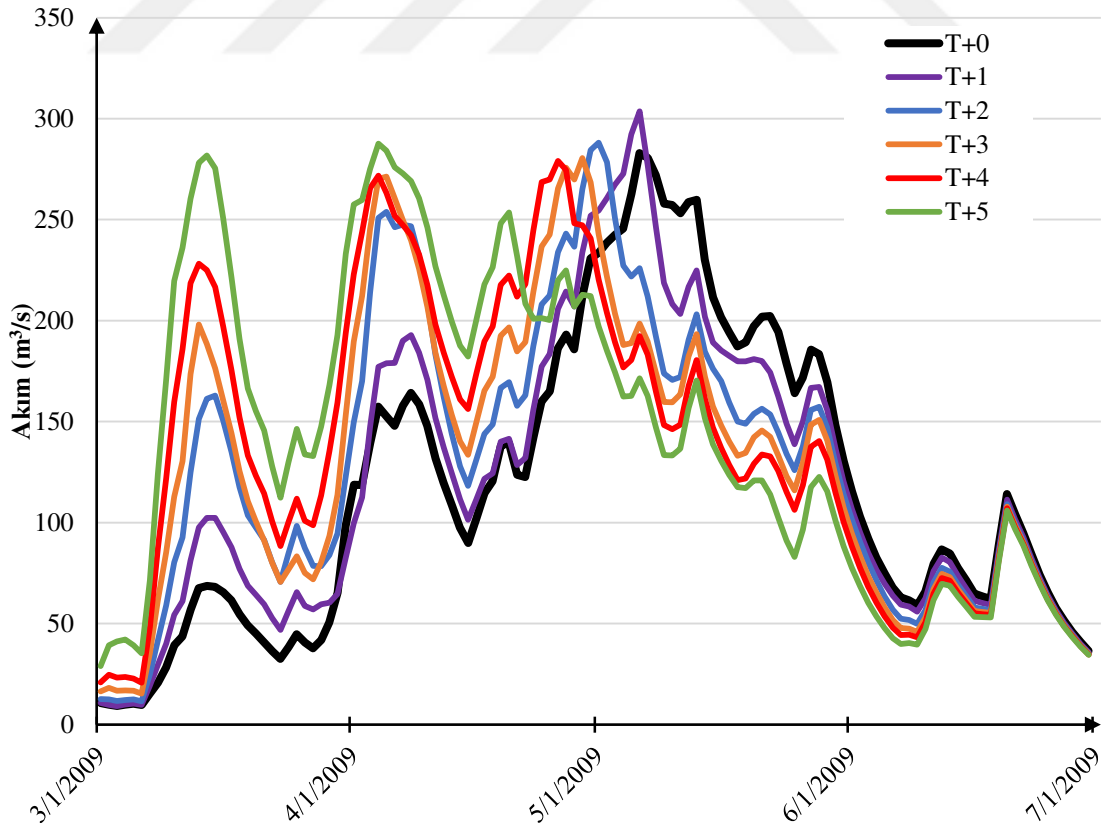
Şekil 4.11. Karasu 2009 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi



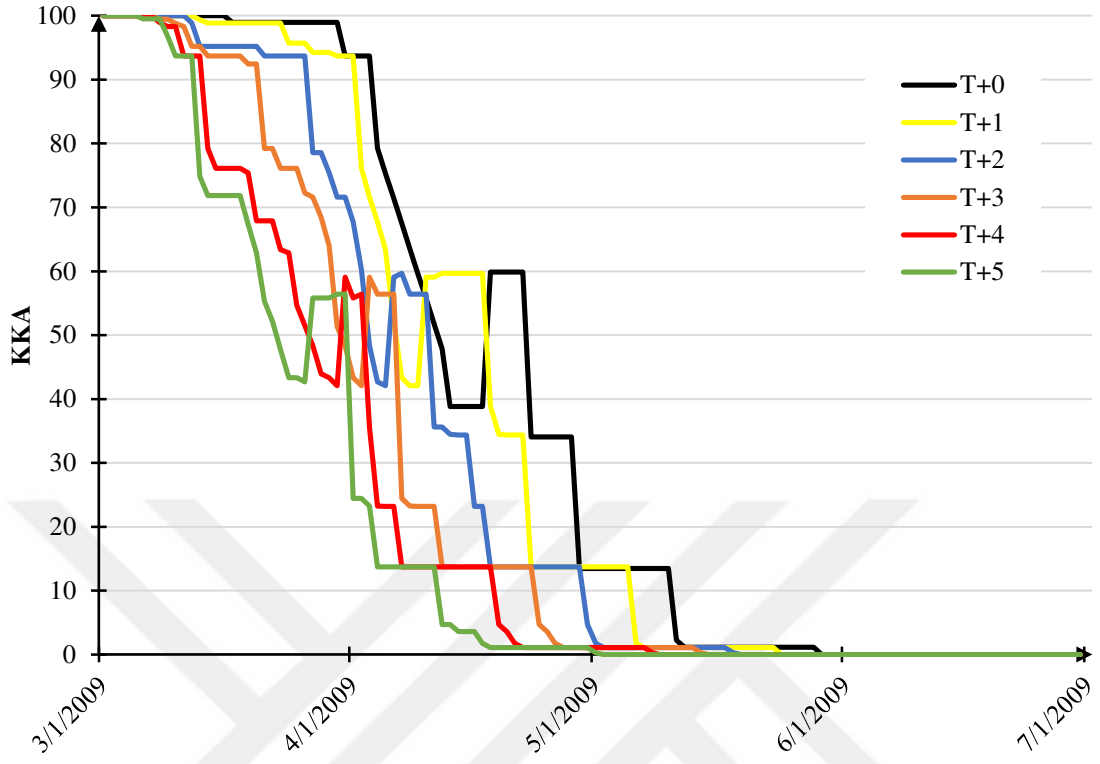
Şekil 4.12. Karasu 2009 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi



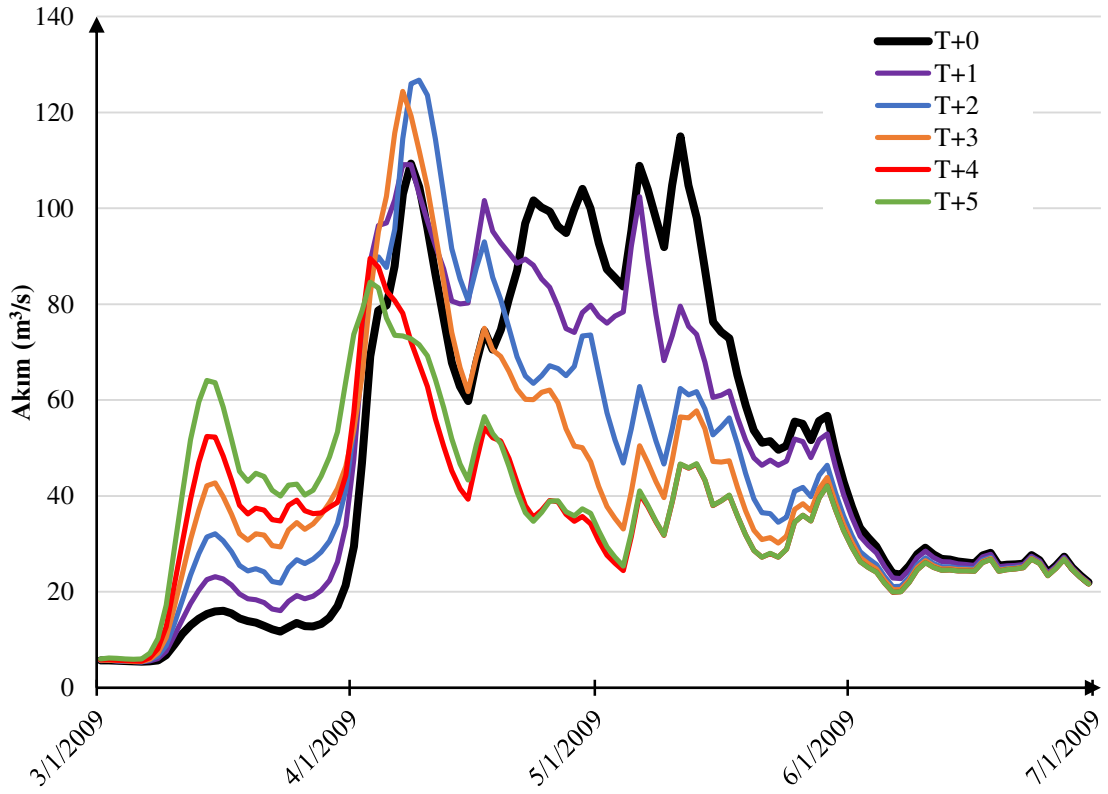
Şekil 4.13. Murat 2009 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi



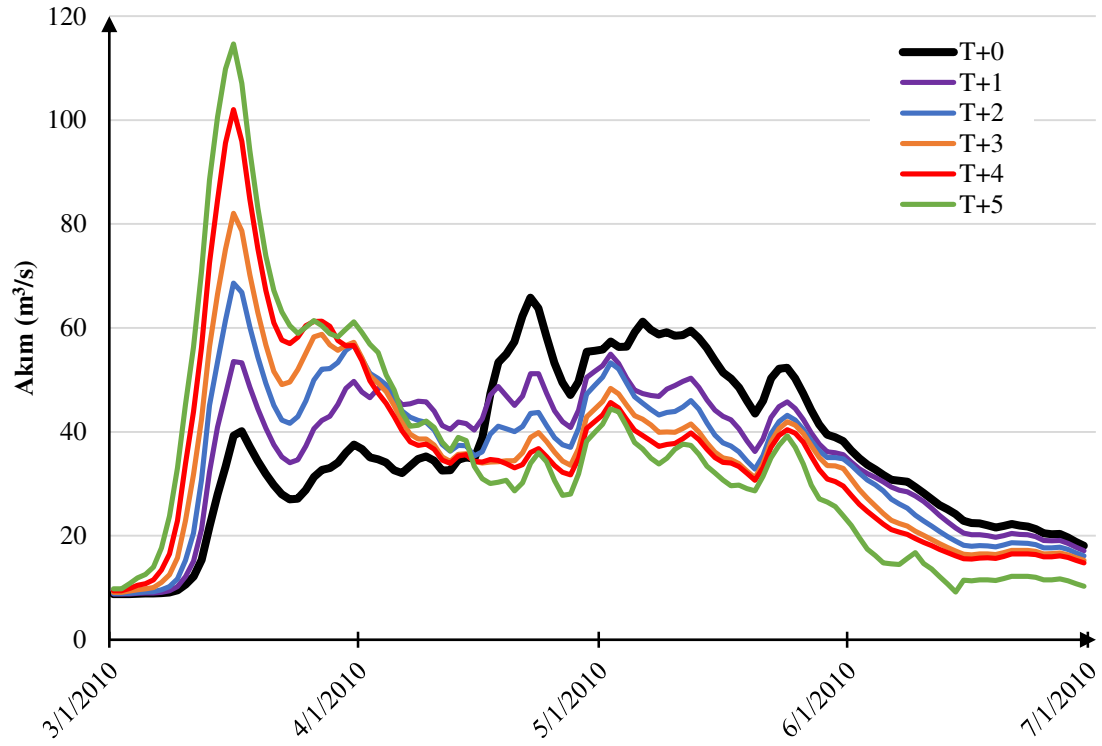
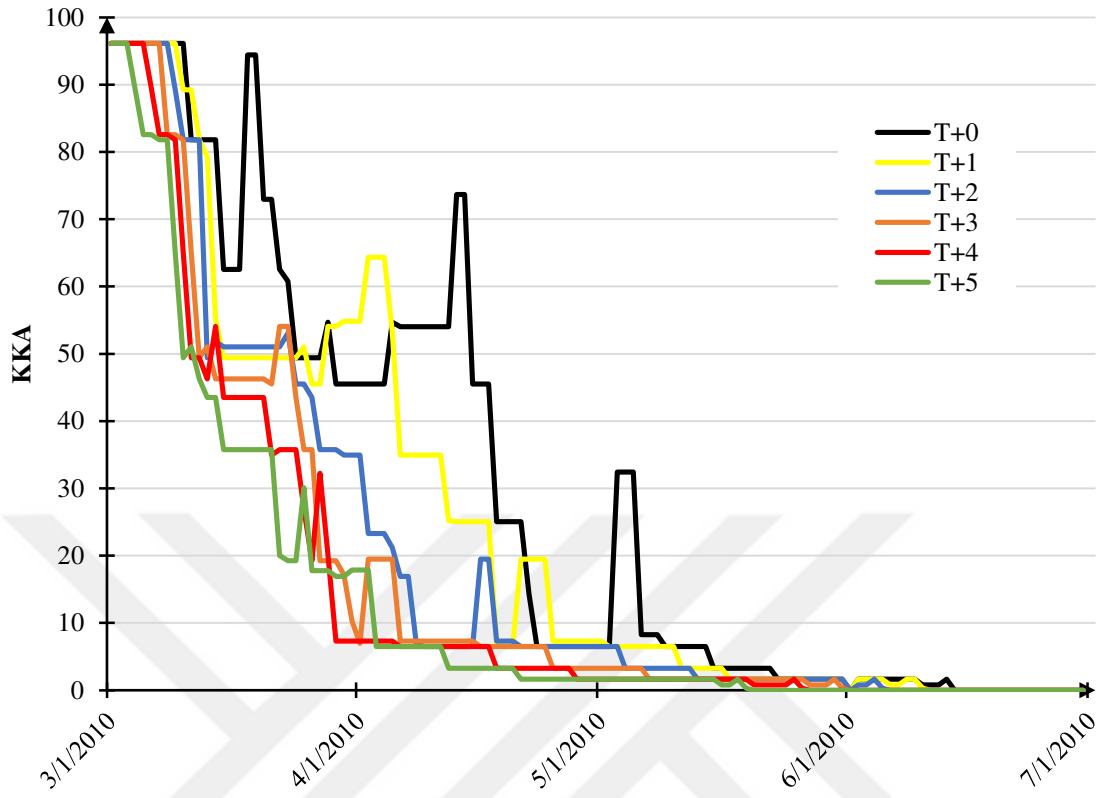
Şekil 4.14. Murat 2009 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi

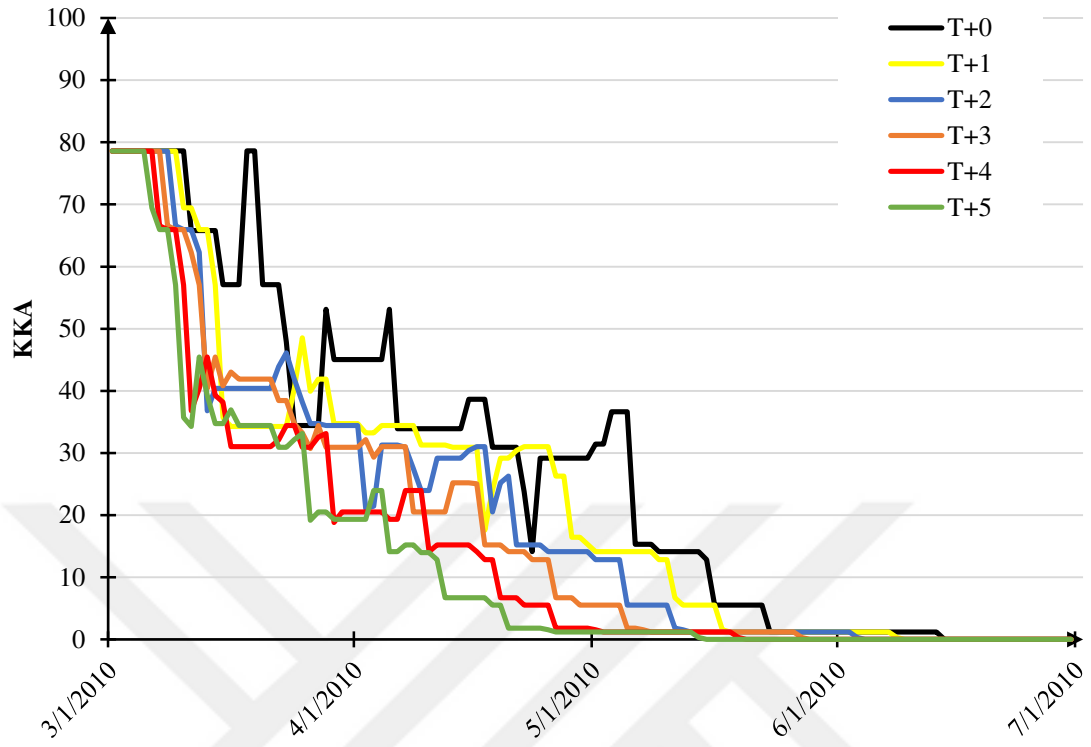


Şekil 4.15. Kayabaşı 2009 Yılı, Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi

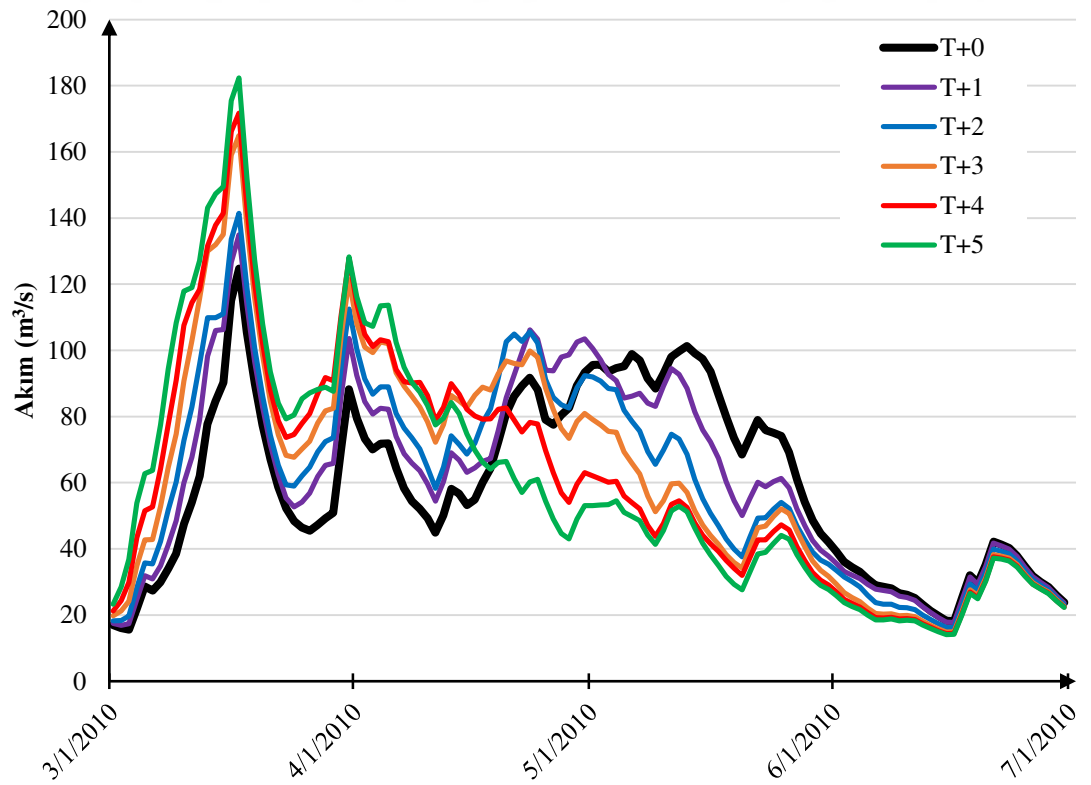


Şekil 4.16. Kayabaşı 2009 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi

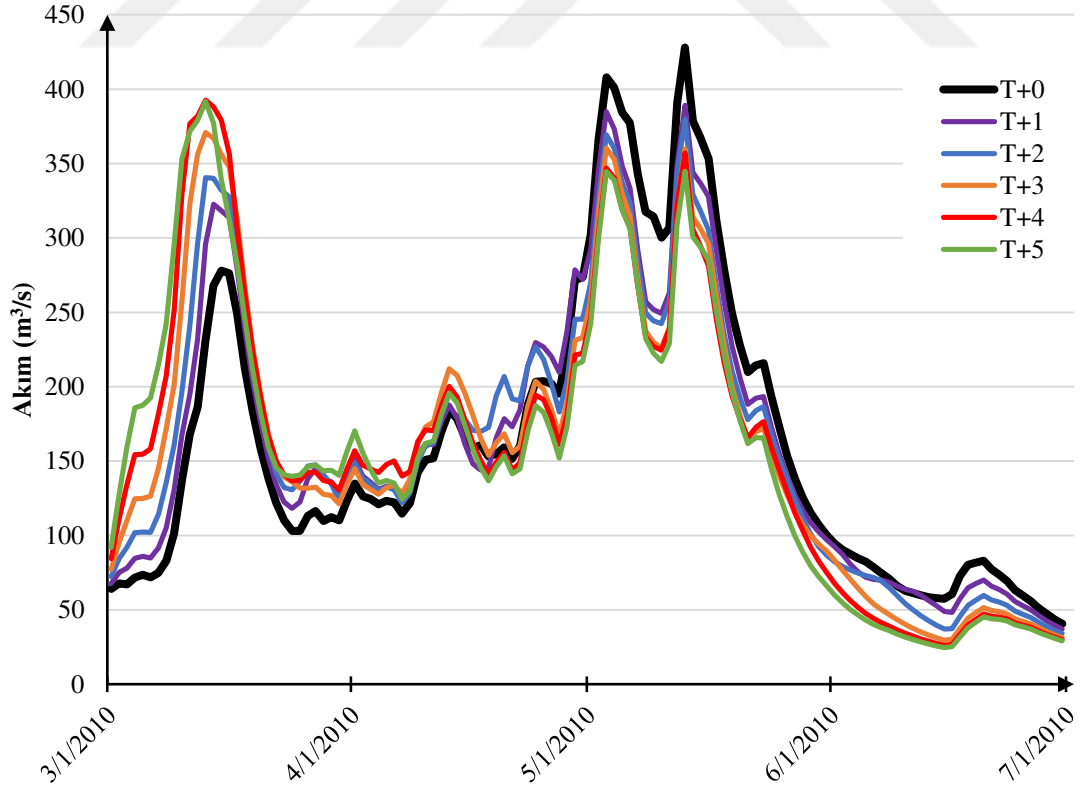
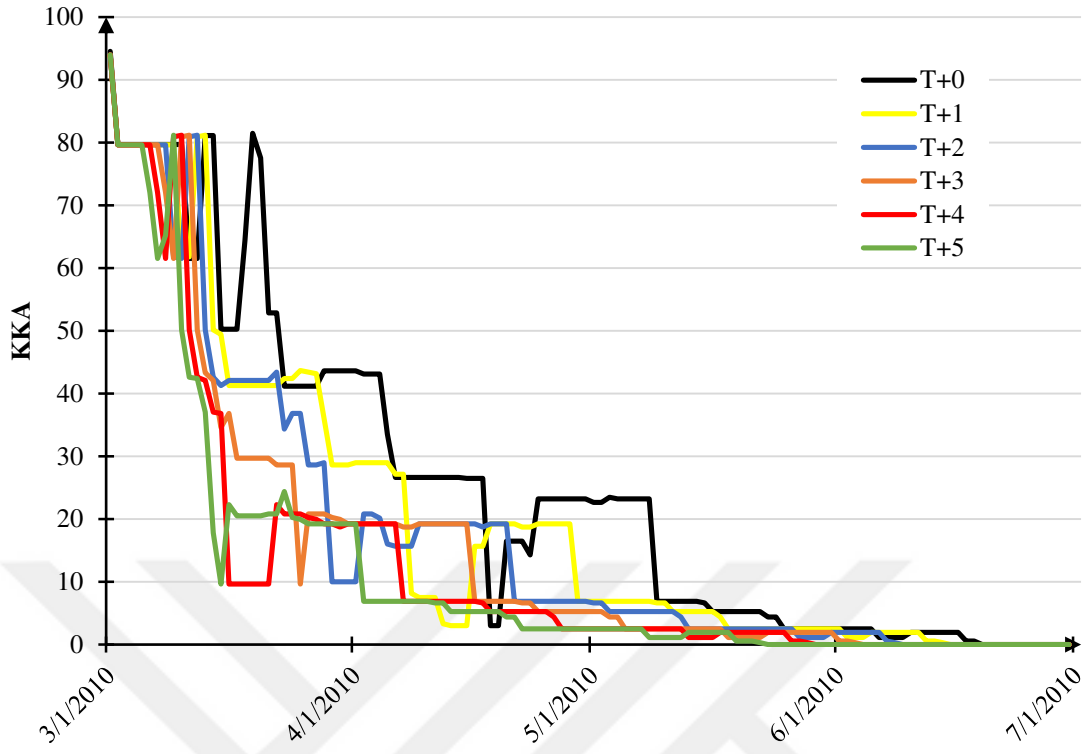


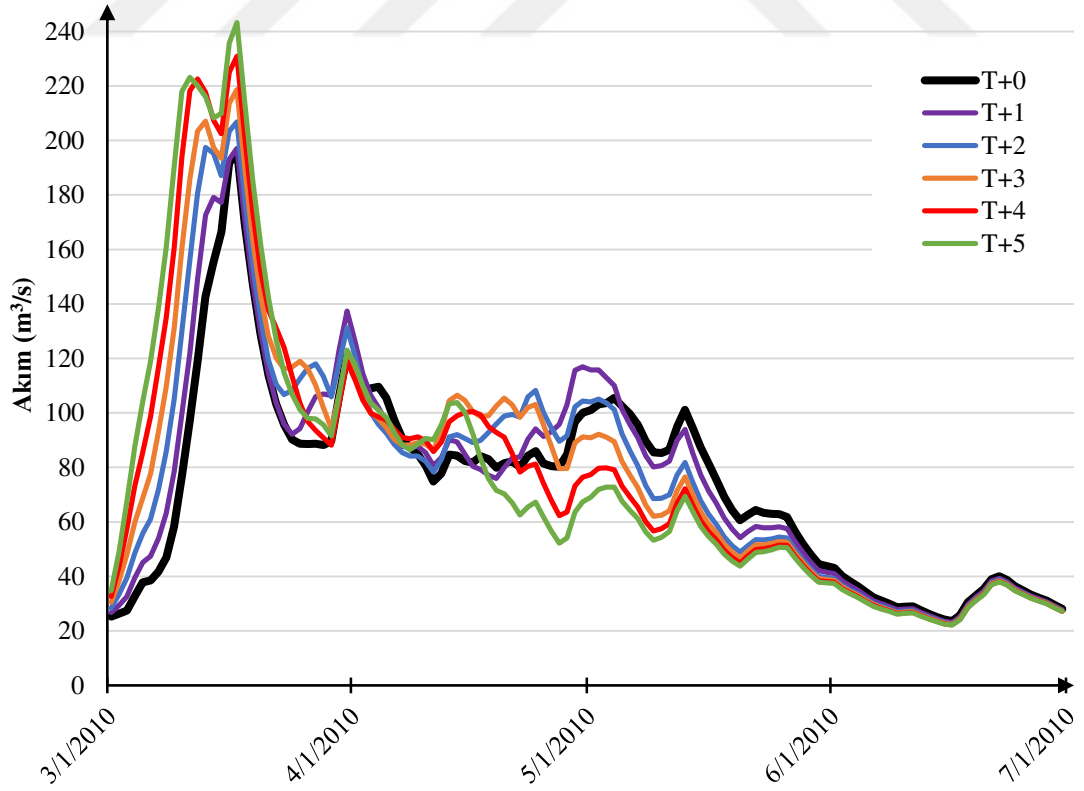
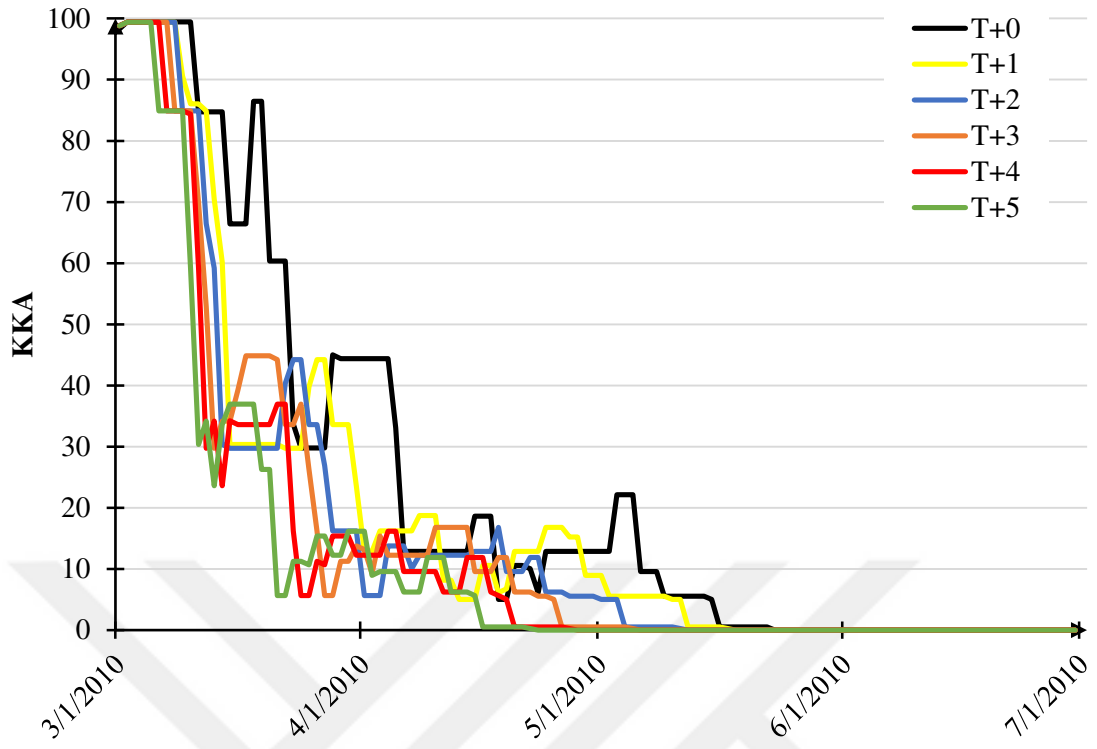


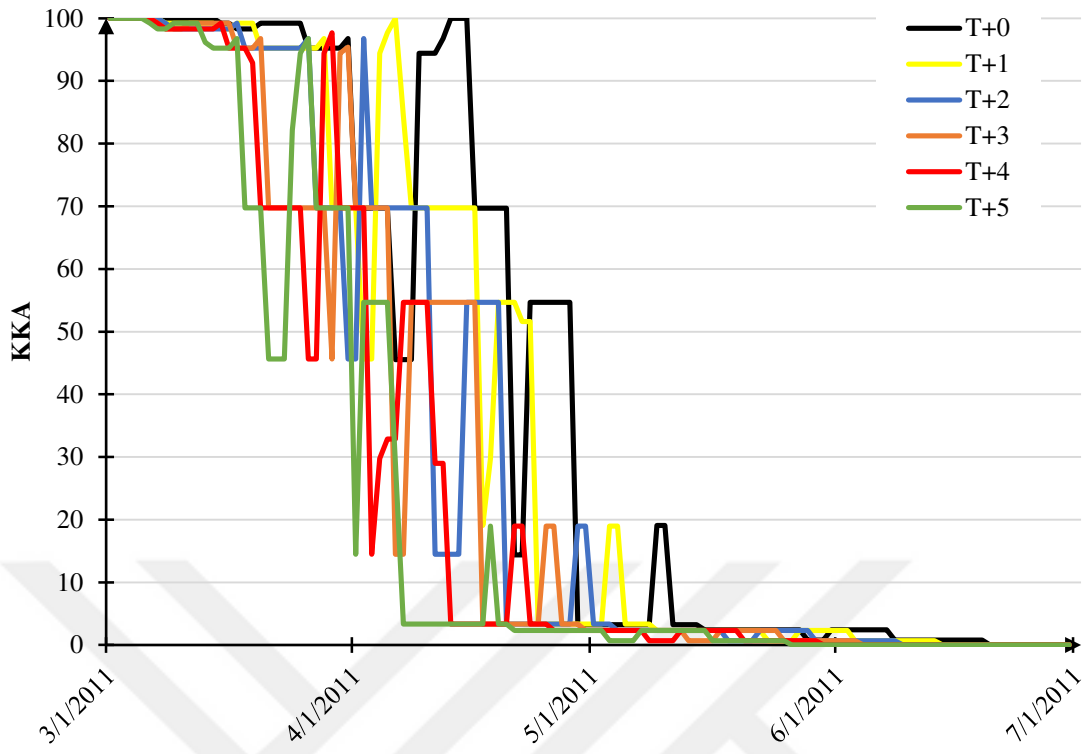
Şekil 4.19. Karasu 2010 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi



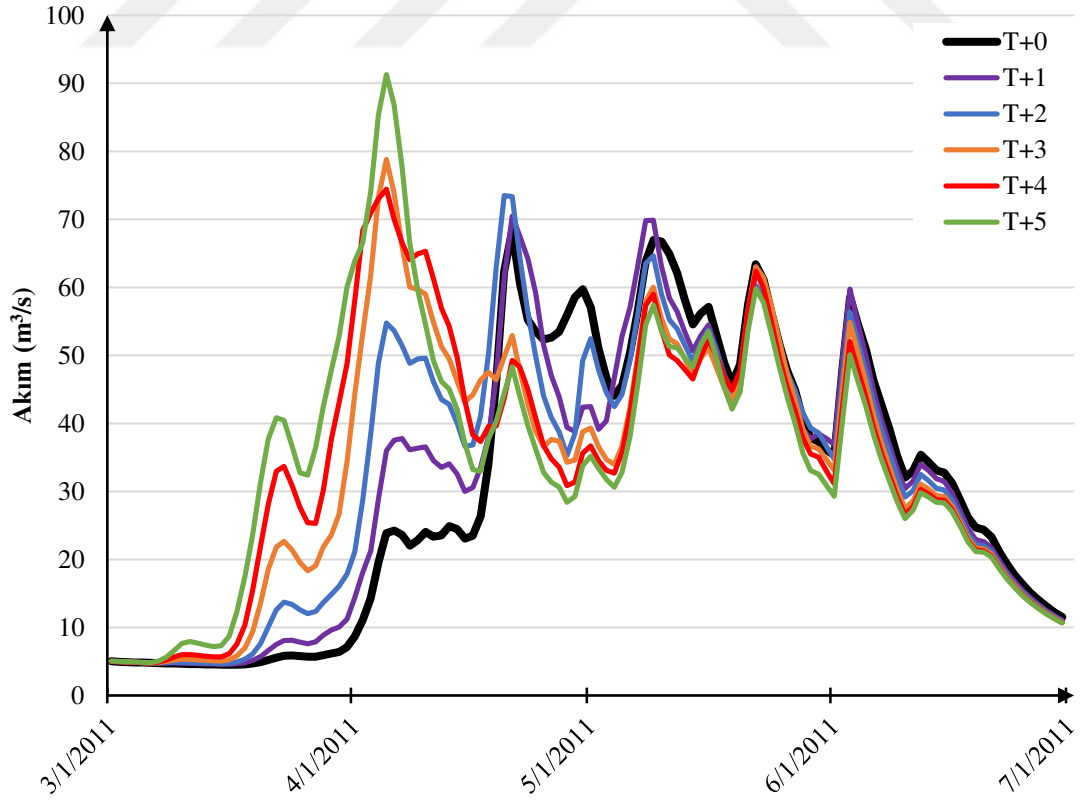
Şekil 4.20. Karasu 2010 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi



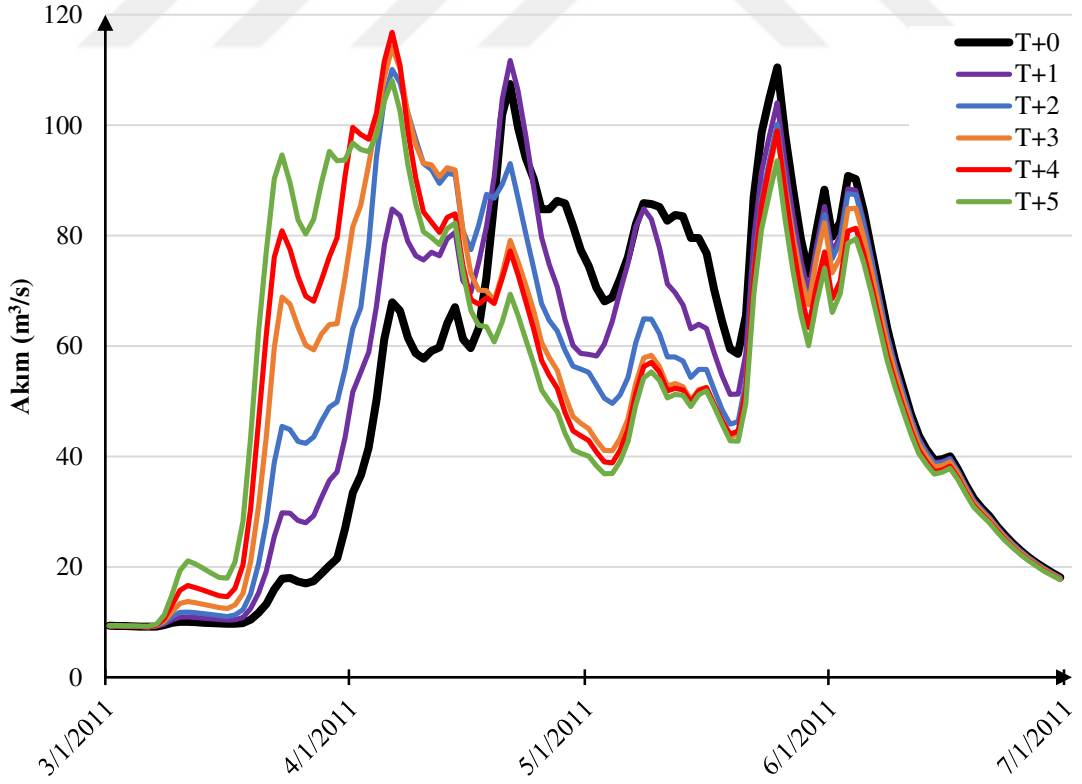
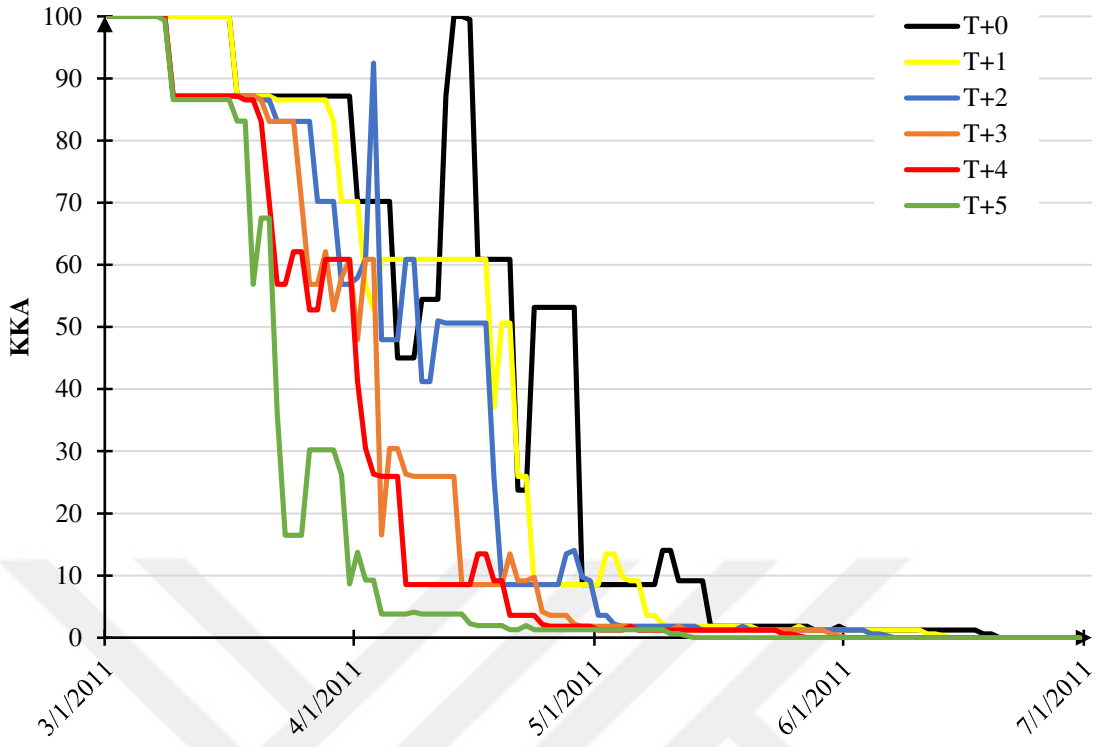


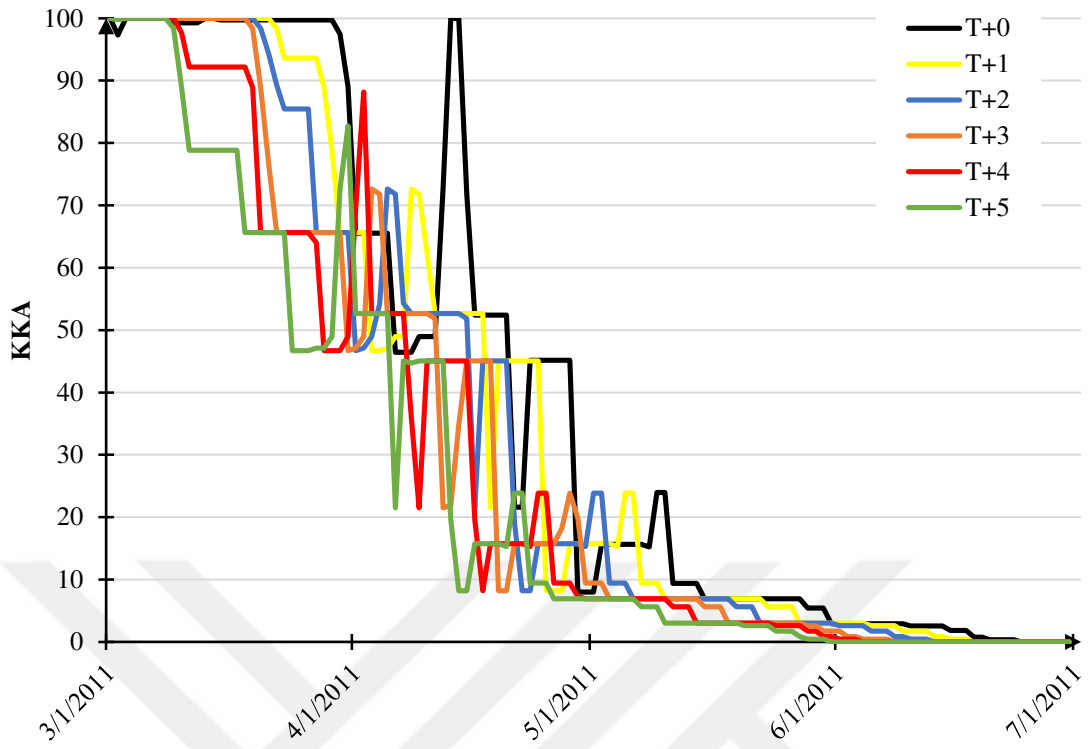


Şekil 4.25. Bayburt 2011 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi

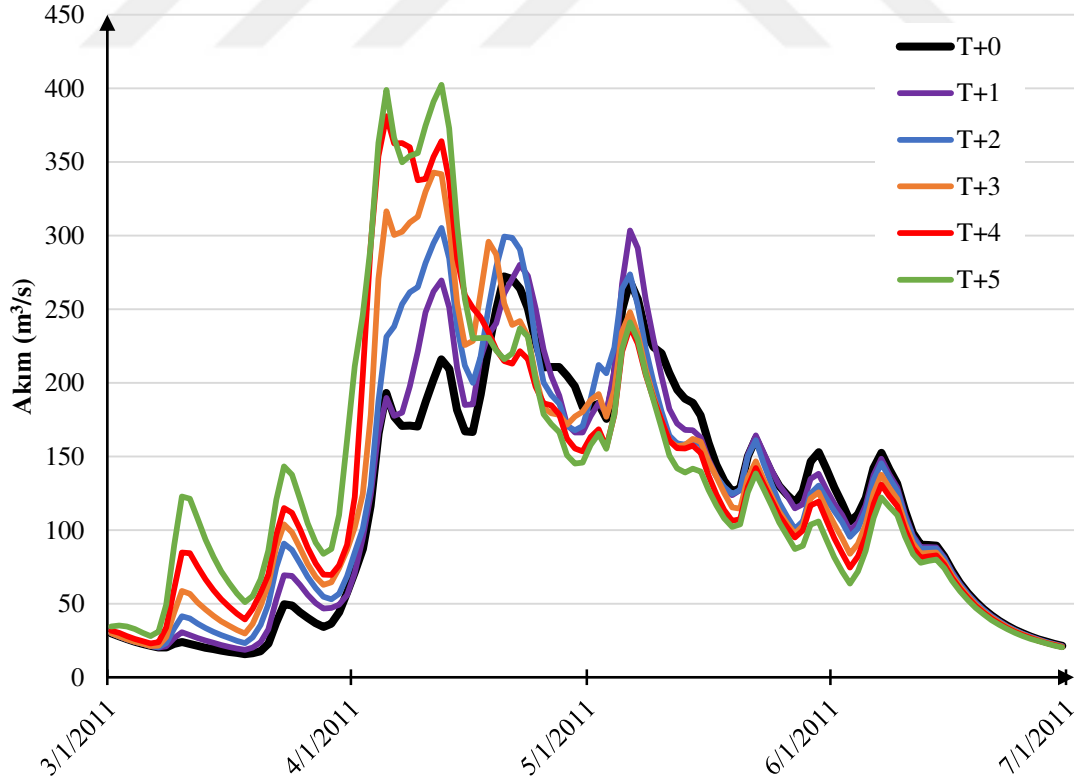


Şekil 4.26. Bayburt 2011 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi

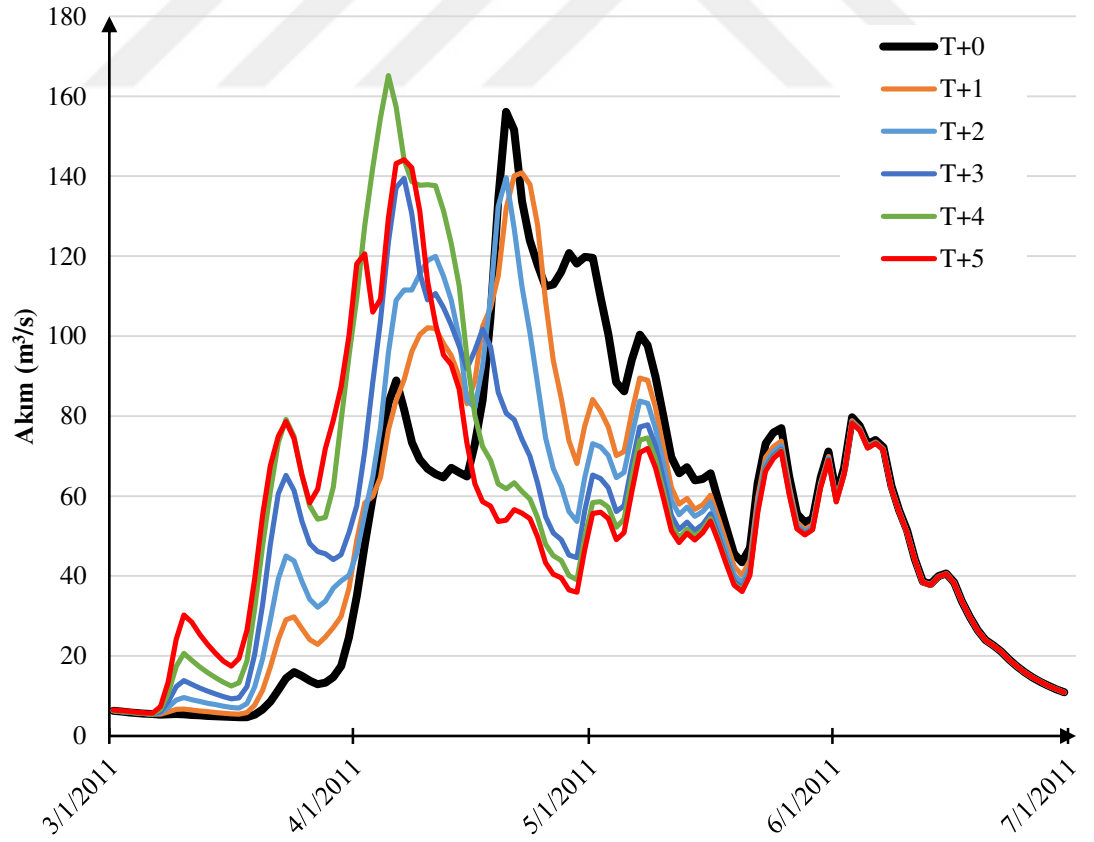
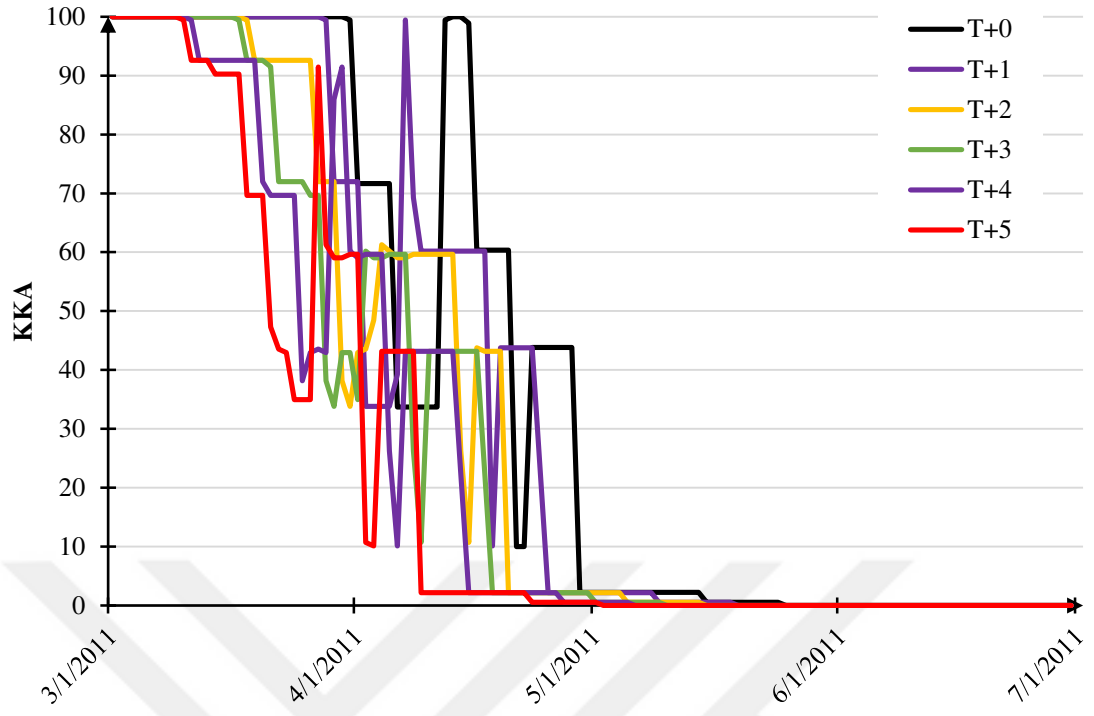




Şekil 4.29. Murat 2011 Yılı Sıcaklık Artışına göre Modifiye KKA Değişimi



Şekil 4.30. Murat 2011 Yılı, Sıcaklık Artışıyla Akım Değişimi



Yukarıdaki grafikler baz alınarak yapılan analizlerde özet teşkil etmesi suretiyle aşağıdaki kıyas eğrileri oluşturulmuştur. Hazırlanan grafiklerde kullanılan analizler şu şekildedir;

- KKA değerinin %50'nin altına düştüğü gün,
- KKA değerinin %5'in altına düştüğü gün,
- Erime dönemindeki toplam akımın %50'ye ulaştığı gün,
- Pik akımın oluştuğu gün,

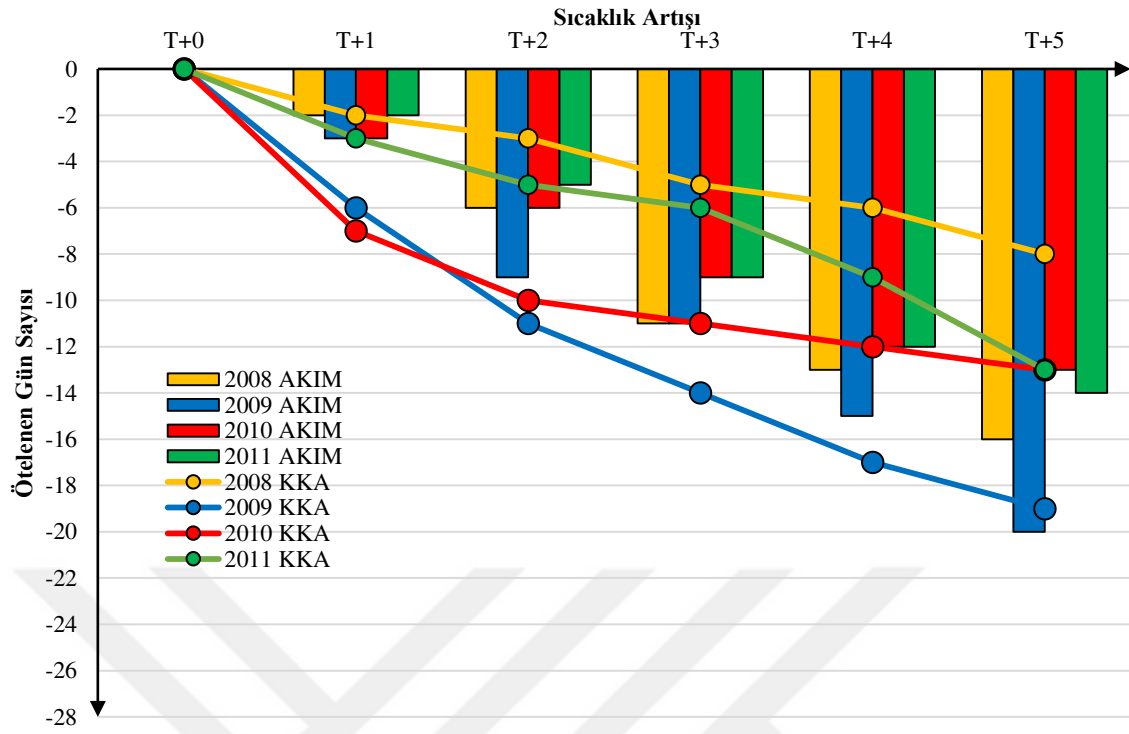
Ölçütleri kullanılarak akımda ve sıcaklıktaki ötelenmeler bulunmuş, havzalara ve yıllara göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Tablo 4.1'de havzaların yıllara göre gerçekleşen pik akım değişimleri özetlenmiş ve Şekil 4.33'ten Şekil 4.44'e kadarki grafikler bu ölçütlere göre yapılan diğer kıyasları içermektedir.

Tablo 4.1. *Havzaların Yıllara Göre Pik Akım Değişimleri*

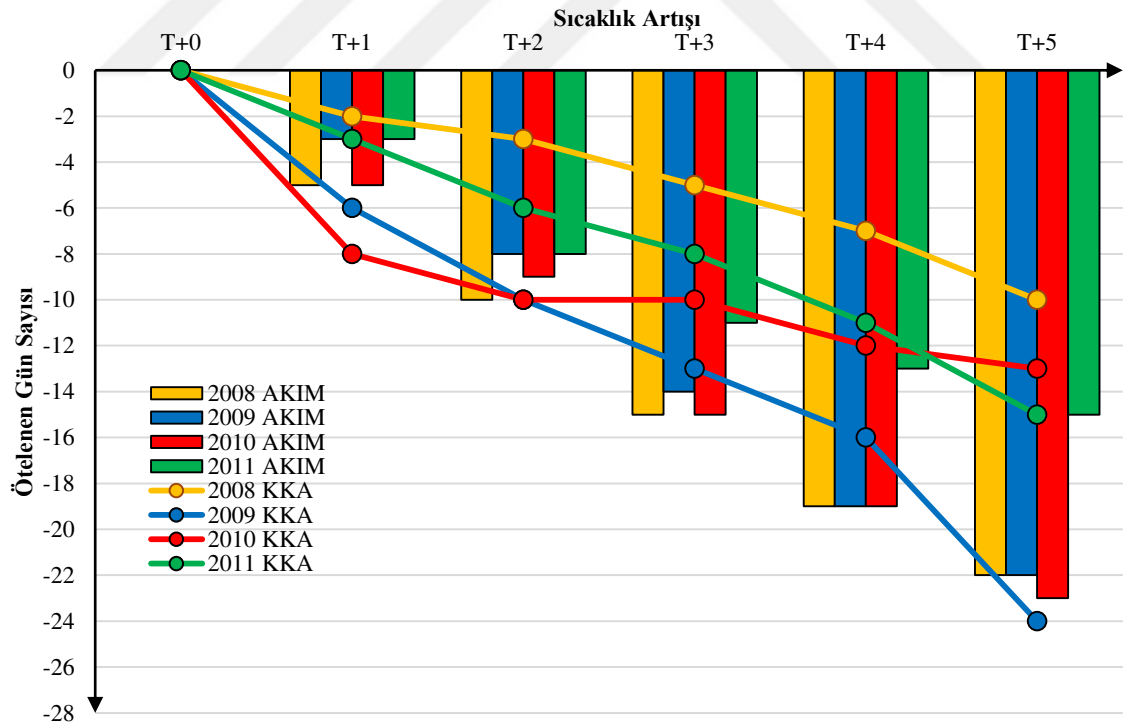
Sıcaklık Artışı	Murat Havzası				Karasu Havzası			
	2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
T+0	0	0	0	0	0	0	0	0
T+1	-1	0	0	-8	-27	0	0	-34
T+2	-1	-5	0	-8	-27	-43	0	-49
T+3	-1	-7	-61	-9	-22	-43	0	-49
T+4	-10	-10	-61	-15	-26	-43	0	-49
T+5	-10	-32	-61	-15	-26	-43	0	-49

Sıcaklık Artışı	Bayburt Havzası				Kayabaşı Havzası			
	2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
T+0	0	0	0	0	0	0	0	0
T+1	-22	-1	-37	0	-1	-34	0	0
T+2	-22	-30	-37	-1	-2	-32	0	0
T+3	-23	-31	-37	-16	-3	-34	0	-13
T+4	-24	-31	-37	-16	-5	-38	0	-13
T+5	-24	-36	-37	-16	-7	-38	0	-13

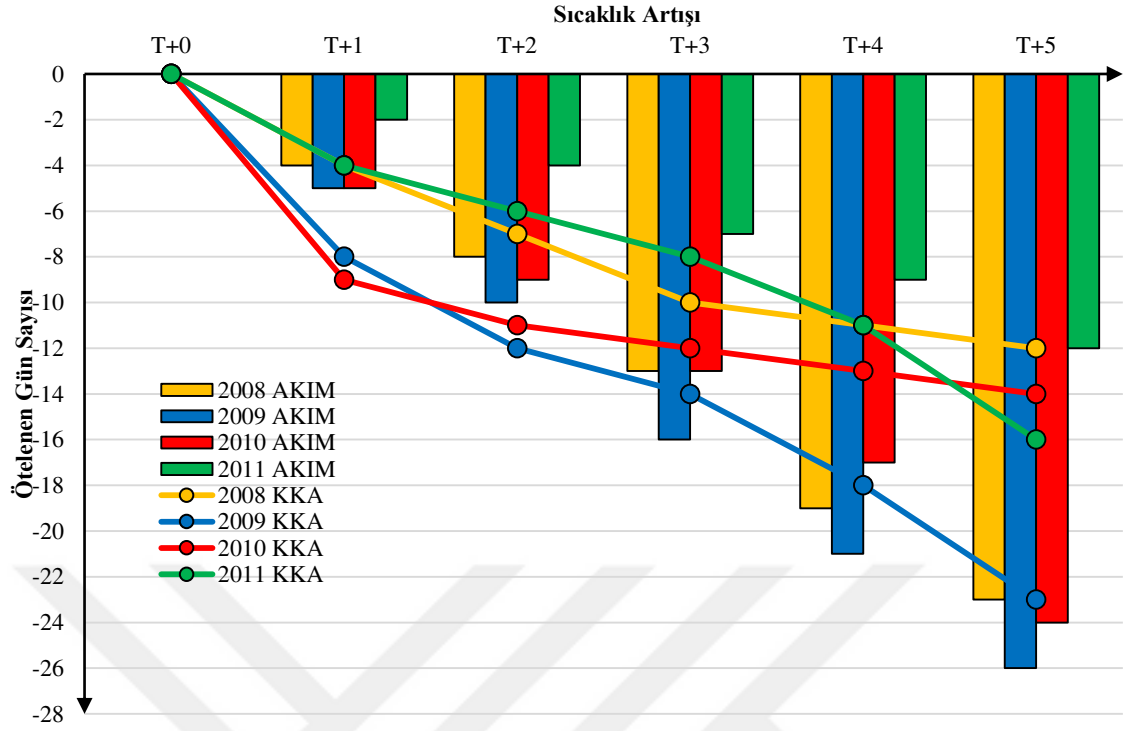
Tablo 4.1 pik akım değişimini vermektedir. 2010 yılı Karasu ve Kayabaşı havzalarında pik akım gününde 5 °C sıcaklık artışı olmasına rağmen herhangi bir değişim gözlenmemiş olmasının sebebi erimenin Mart ayında gerçekleşmesidir. Aynı zamanda 2008 yılı Murat ve Kayabaşı havzalarındaki nispeten daha az ötelenme olması da Mart ayındaki erken erimeye bağlanabilir.



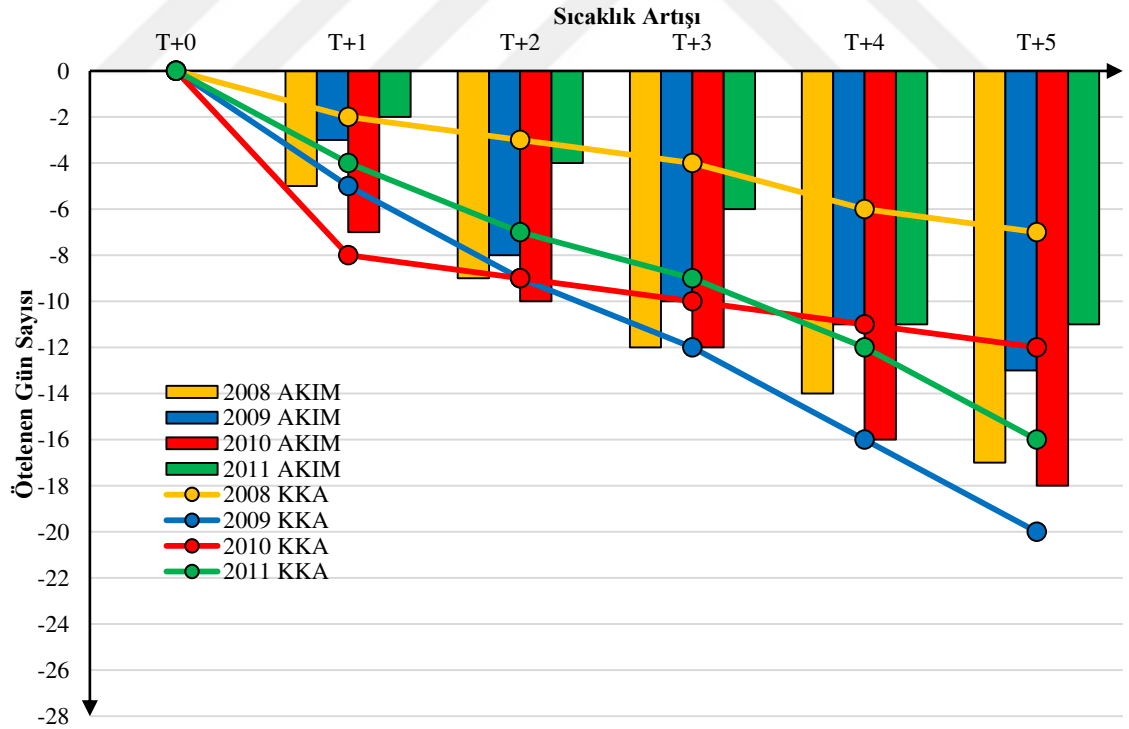
Şekil 4.33. Murat Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



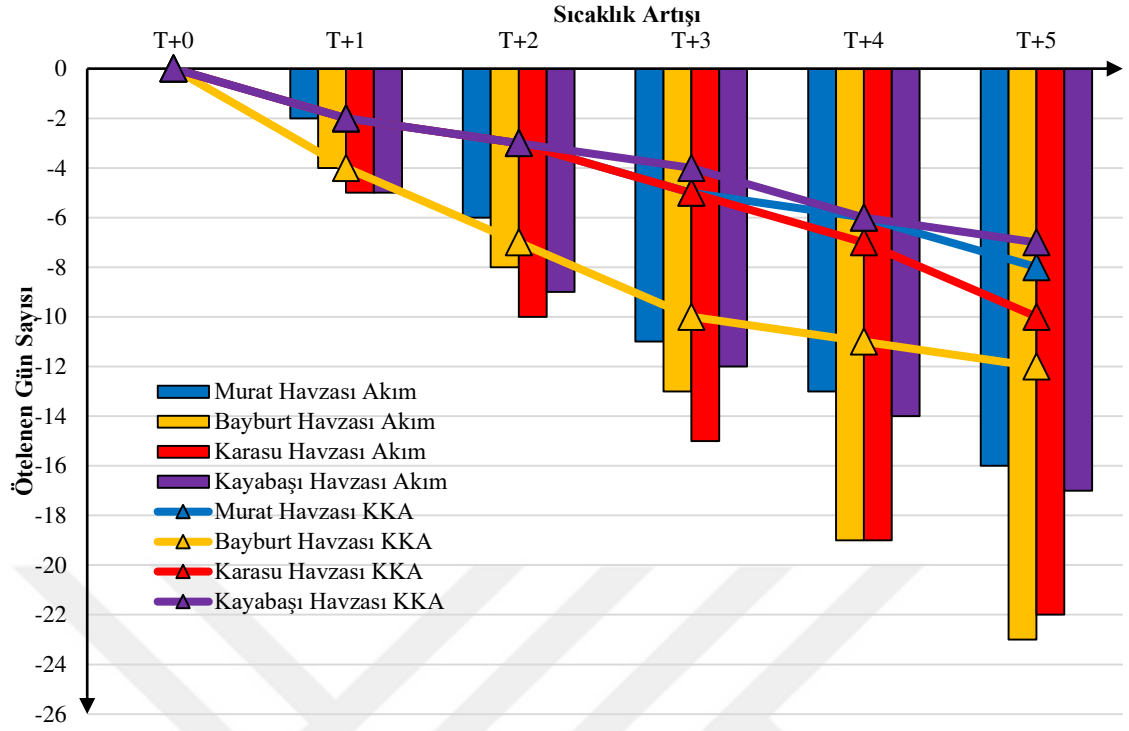
Şekil 4.34. Karasu Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



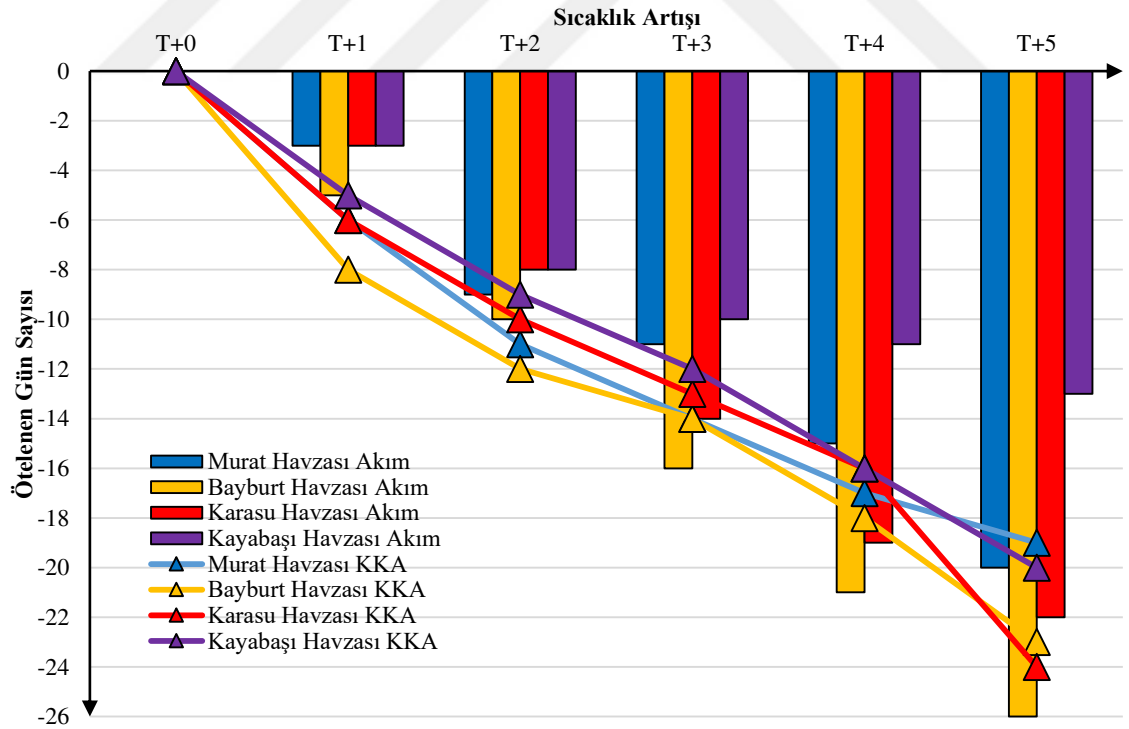
Şekil 4.35. Bayburt Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



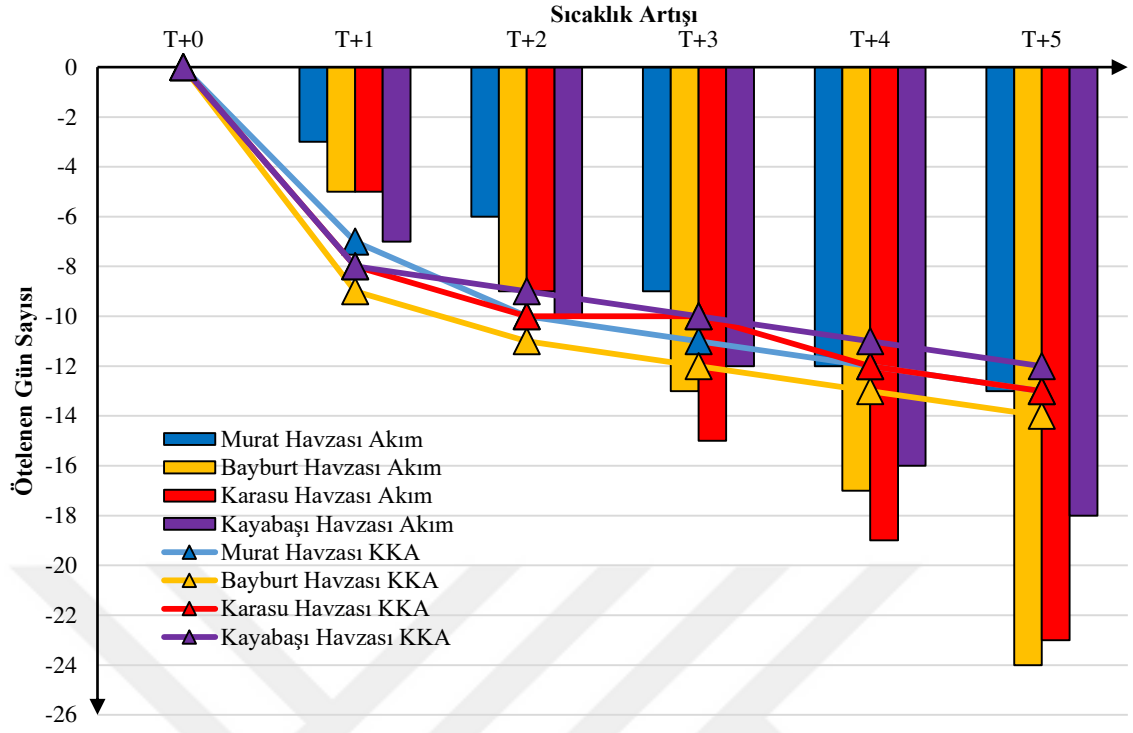
Şekil 4.36. Kayabaşı Havzası Yıllara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



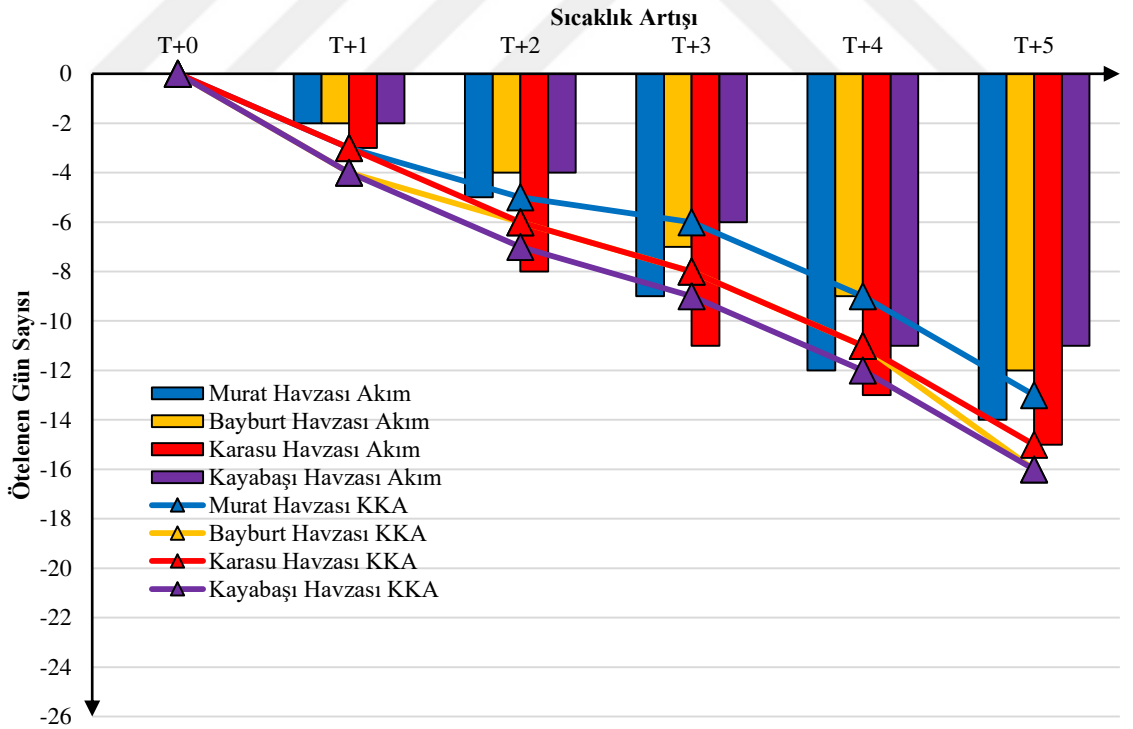
Şekil 4.37. 2008 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



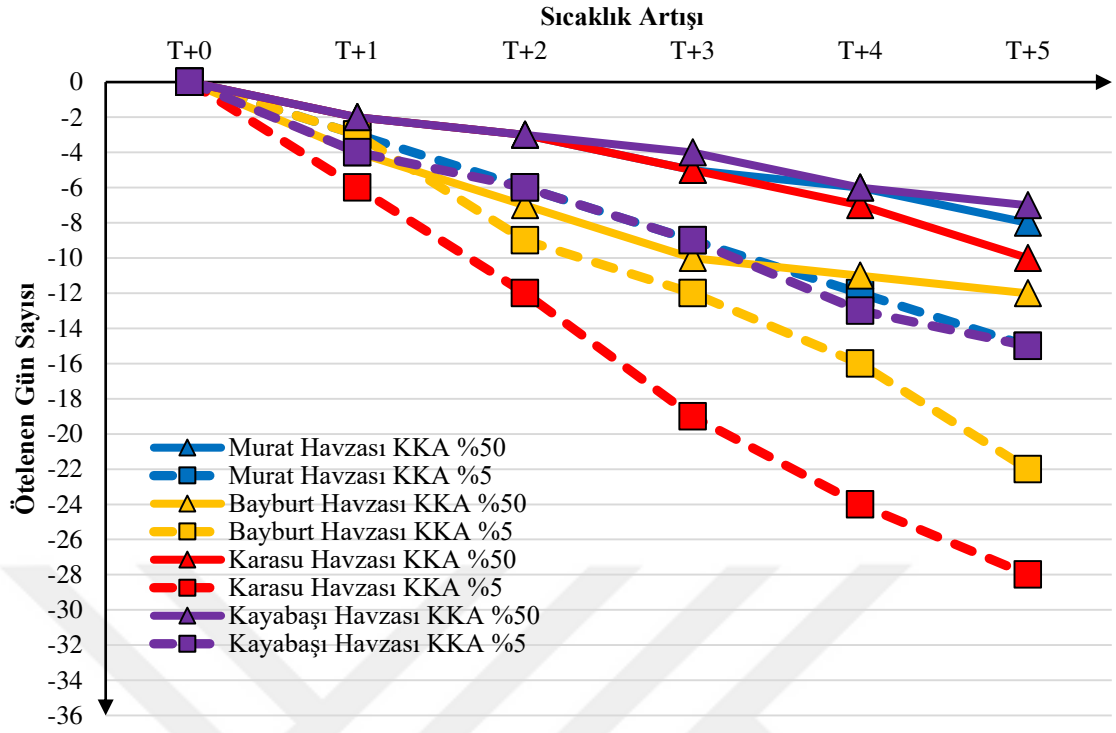
Şekil 4.38. 2009 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



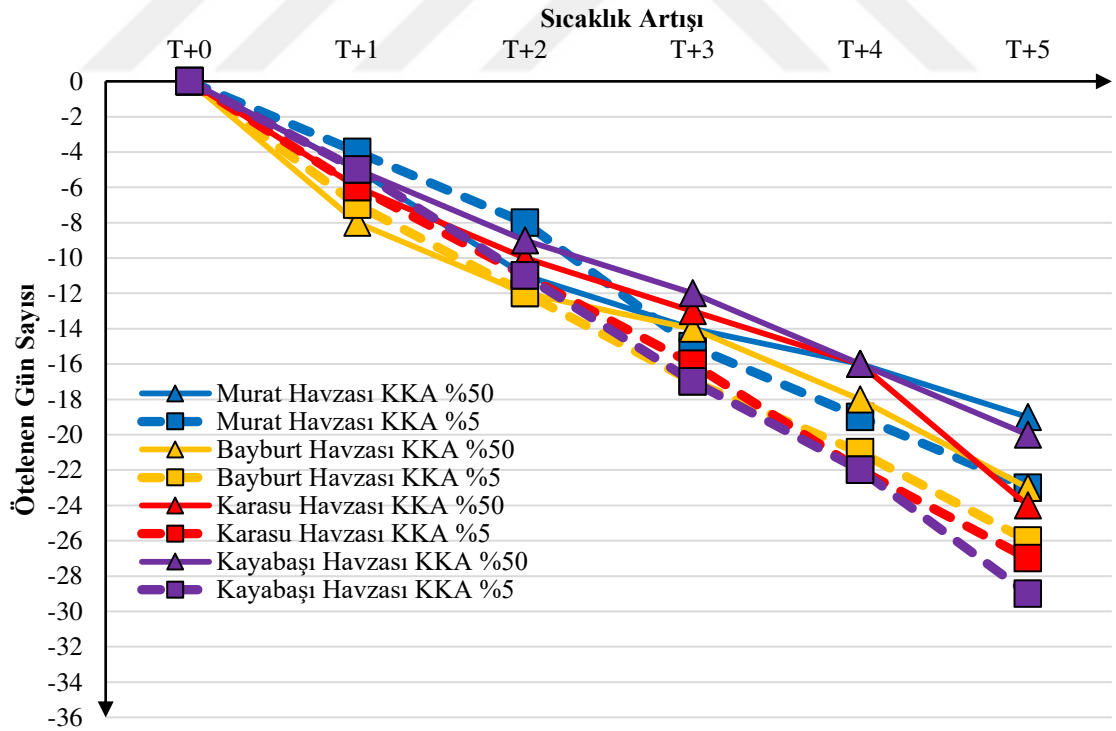
Şekil 4.39. 2010 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



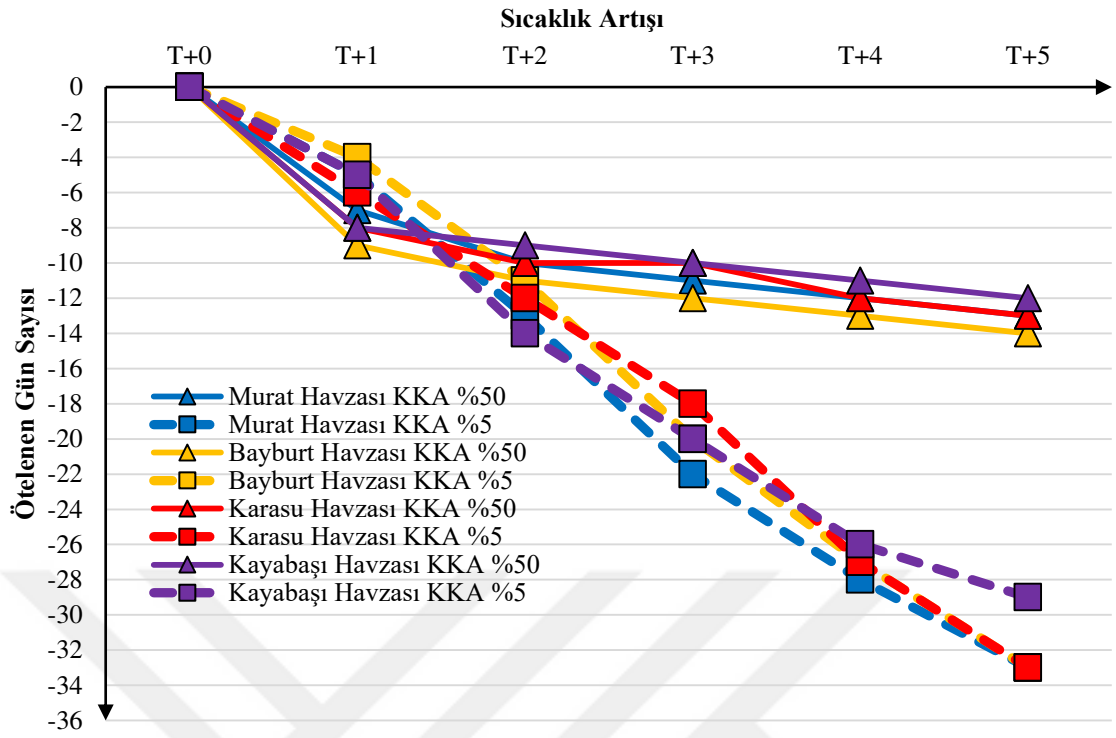
Şekil 4.40. 2011 Yılı Havzalara Göre %50 Akım ve %50 KKA Günü Kıyası



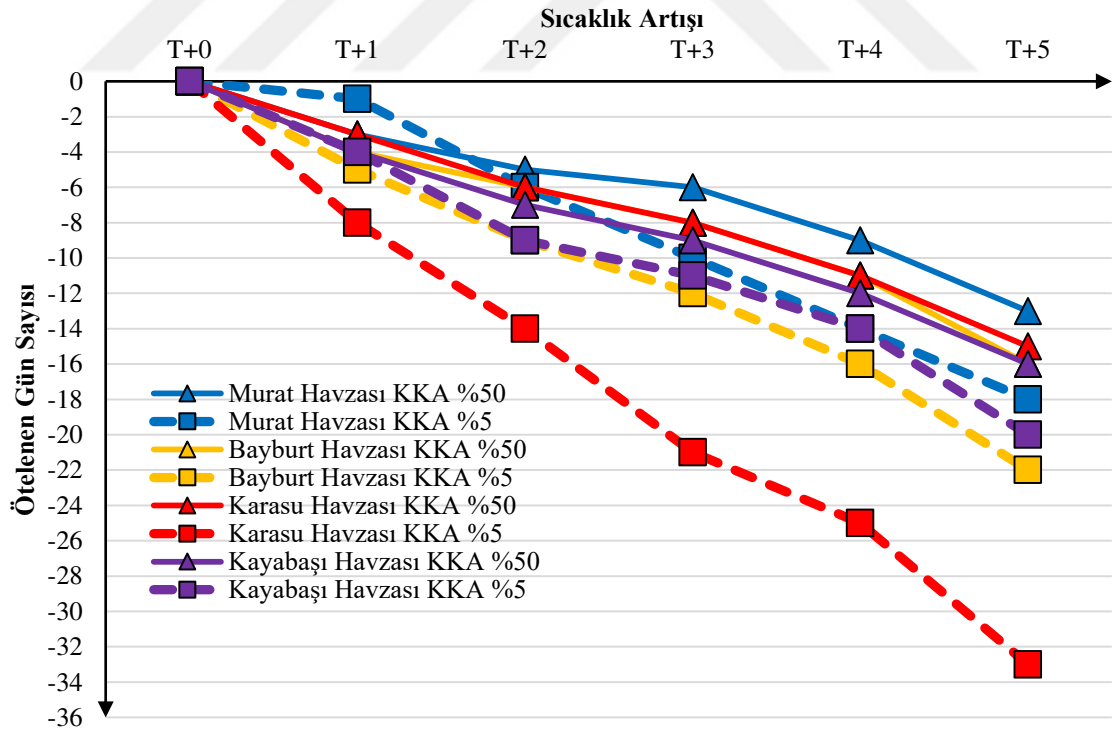
Şekil 4.41. 2008 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası



Şekil 4.42. 2009 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası



Şekil 4.43. 2010 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası



Şekil 4.44. 2011 Yılı Havzaların %50 KKA ve %5 KKA Günü Kıyası

Şekil 4.33'ten Şekil 4.36'ya kadarki dilimde, her bir havzanın, 2008, 2009, 2010 ve 2011 su yıllarının erime döneminde iklim değişikliği etkisiyle oluşabilecek sıcaklık artışı senaryoları sonucu havzanın %50 akım hacmi seviyesine ve KKA'nın %50'ye çekildiği güne göre ötelenme sayıları kıyaslanmıştır. Bu grafiklere bakıldığı zaman, sıcaklık artışıyla beraber akım ve KKA değerleri öne çekildiği görülmekte olup sıcaklık arttıkça KKA'daki ve %50 akım hacmine ulaşılan gün sayısı daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Murat havzasında 2009 yılında akım ve KKA ötelenmesi diğer yıllara göre daha yüksek çıkmış, en az ötelenme de 2008 yılında gerçekleşmiştir. Bunun nedeni olarak Tablo 3.14'e bakıldığında 2008 yılının kurak bir yıl olmasına bağlanabilir. Karasu havzasına geldiğimizde, akımdaki değişimde 2008, 2009 ve 2010 yıllarının benzer şekilde değiştiği, ancak 2011 yılının diğerlerine nazaran daha az ötelendiği görülmekte olup yine KKA değişimi 2008 yılının kurak geçmesi nedeniyle diğer yıllara göre daha az olmuştur. Diğer havzalara göre kıyaslandığında akımın ve KKA'nın en çok ötelendiği havza 2009 yılıyla Bayburt havzası olmaktadır. 2008, 2009 ve 2010 yılları yine Bayburt havzasında benzer akım değişimi eğilimi göstermiştir. Kayabaşı havzasına bakıldığı zaman, ilk 3 yılın akım değişiminde benzer hareket ettiği, 2008 yılı KKA değişiminin diğerlerine göre az gerçekleştiği ortaya çıkmaktadır.

2011 yılı grafiklerden de görüleceği üzere bütün havzalarda akımın en az ötelendiği yıl olmuştur. KKA'daki öteleme ise bütün havzalarda en yüksek değerlerine 2009 yılında ulaşmıştır.

Şekil 4.37'den Şekil 4.40'a kadarki eğrilerde yıllara göre havzalardaki %50 akım hacmi seviyesi ve KKA'nın %50'ye çekildiği güne göre ötelenme sayıları kıyaslanmıştır. Buna göre, 2008, 2009 ve 2010 yıllarında Bayburt ve Karasu havzalarının akım ve KKA değişiminde benzer reaksiyon gösterdiği görülmektedir. Yıl bazında KKA değişimi incelendiğinde, 2008 yılı hariç, bütün havzalar hemen hemen aynı şekilde sıcaklık artışına tepki vermiştir.

Şekil 4.41 ile Şekil 4.44 arasındaki eğrilerde, her bir yılda havzalarda meydana gelen sıcaklık değişimi ile KKA değerinin %50 ye ve %5 değerine ulaştığı gün sayıları kıyaslanmıştır. Buradan yapılacak çıkarım şu şekilde olmaktadır; erime döneminin sonlarına doğru gelindikçe KKA değerindeki ötelenme artmakta ve %5'in altına daha kısa sürede varmaktadır.

Tablo 4.2. 2008-2011 arası sıcaklık artışında %50 KKA'nın ötelenme aralığı

Sıcaklık Artışı	Murat	Karasu	Bayburt	Kayabaşı
T+1	-2/-7	-2/-8	-4/-9	-2/-8
T+2	-3/-11	-3/-10	-6/-12	-3/-9
T+3	-5/-14	-5/-13	-8/-14	-4/-12
T+4	-6/-16	-7/-16	-11/-18	-6/-16
T+5	-8/-19	-10/-24	-12/-23	-7/-20

Tablo 4.3. 2008-2011 arası sıcaklık artışında %5 KKA ötelenme aralığı

Sıcaklık Artışı	Murat	Karasu	Bayburt	Kayabaşı
T+1	-1/-5	-6/-8	-3/-7	-4/-5
T+2	-6/-13	-11/-14	-9/-12	-6/-14
T+3	-9/-22	-16/-21	-12/-20	-9/-20
T+4	-12/-28	-22/-27	-16/-27	-13/-26
T+5	-15/-33	-27/-33	-22/-33	-15/-29

Tablo 4.4. 2008-2011 arası sıcaklık artışında %50 Akım ötelenme aralığı

Sıcaklık Artışı	Murat	Karasu	Bayburt	Kayabaşı
T+1	-2/-3	-3/-5	-2/-5	-2/-7
T+2	-5/-9	-8/-10	-4/-10	-4/-10
T+3	-9/-11	-11/-15	-7/-16	-6/-12
T+4	-12/-15	-13/-19	-9/-21	-11/-16
T+5	-13/-20	-15/-23	-12/-26	-11/-18

Tablo 4.5. 2008-2011 arası sıcaklık artışında Pik Akım ötelenme aralığı

Sıcaklık Artışı	Murat	Karasu	Bayburt	Kayabaşı
T+1	0/-8	0/-34	0/-37	0/-34
T+2	0/-8	0/-49	-1/-37	0/-32
T+3	-1/-61	0/-49	-16/-37	0/-34
T+4	-10/-61	0/-49	-16/-37	0/-38
T+5	-10/-61	0/-49	-16/-37	0/-38

Türkiye'nin dağlık havzalarında yapılmış iklim değişikliği çalışmalarında, 2000 m üzerindeki bölgelerde akımın 1-2 hafta öne öteleneceği tahmin edilmekte olduğu belirtilmiş (Bozkurt ve Sen, 2013; Yücel vd., 2014; Önel vd., 2013), nitekim yapılan bu çalışmada kullanılan havzalar; Fırat, Çoruh ve Aras gibi ana akarsu havzalarının memba kısımları olup ortalama yükseklikleri 2000 m üzerinde bulunmaktadır. Tablo 4.4'te baktığımızda önceki çalışmaları destekler şekilde akımın 1 ile 3 hafta arasında ötelenebileceği görülmüştür.

Tablo 4.2-4'teki sonuçlar değerlendirilecek olursa, 4 °C sıcaklık artışında; %50 KKA değerinin 6 – 18 Gün, % 5 KKA değerinin 12 – 28 Gün, %50 akımın 9–21 Gün ve pik akımın 61 Güne kadar öne çekildiği görülmüştür.

Peker ve Şorman, 2021 çalışmasında 4.34 °C sıcaklık artışı sonucu Murat'ta karlı gün sayısında 1 yılda 23 – 43 Gün aralığında, Karasu'da ise 22 – 37 Gün kayma olabileceği tahmin edilmektedir. Bu çalışmada, havzalardaki erime dönemi referans alınarak yapılan analizlerin sonuçları Peker ve Şorman, 2021 çalışmasını destekler nitelikte olup SRM, iklim değişikliği çalışmalarında, diğer çalışmalardaki gibi kar ve akımda güvenilir sonuçlar vermektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su kaynaklarının etkin kullanımının sağlanması konusunun önemi hidroloji bilimine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Hidrolojik döngünün en önemli ögesi olan karın, dağılımının ve değişkenliğinin zamansal ve konumsal olarak gözlenmesi su kaynaklarının yönetiminin yanı sıra iklim değişikliği etkilerinin anlaşılması bakımından da önemli veri oluşturmaktadır.

Türkiye’de kar potansiyelinin yüksek olduğu dağlık bölgelerde, ilkbahar ve yaz aylarında gerçekleşen erime, yıllık toplam akım hacminin yaklaşık %60-70’ini oluşturmaktadır. Bu sebeple ülkemiz su kaynaklarının verimli kullanımı açısından, içme, sulama, enerji üretiminin yapıldığı önemli barajlarımıza kaynak sağlayan dağlık havzalarımızda kar örtüsünün zamansal ve mekânsal olarak takip edilmesi kritik öneme sahiptir.

Bu tez çalışması kapsamında, farklı çözünürlükteki verilerin kıyaslanması, uydu görüntülerinin doğrulanması, hidrolojik modelde uygulanması ve iklim değişikliği olmak üzere 4 temel çalışma yapılmıştır. IMS’in sağladığı 1, 4 ve 24 km çözünürlüğündeki 3 farklı veri tipi incelenmiş ve çalışma yapılacak alanı kapsayacak biçimde birbirlerine göre avantaj sağladığı alanlar bulunmuş olup karşılaştırma yapılmıştır. Bu doğrultuda, Türkiye üzerinde 3 nokta belirlenmiş ve 250,000 km² ‘ye kadar 11 farklı çerçeve oluşturulup CBS’de kar kaplı alan analizi yapılmıştır. Yapılan çıkarıma göre, 24 km’lik IMS uydu kar görüntüsünün, 1 ve 4 km’ye göre ayrı hareket ettiği görülmüş, çalışmayı kapsayan alan arttıkça 24 km’lik verinin 1 ve 4 km’ye yaklaştığı görülmüştür. 2,500 km² üzerindeki alanlarda 1 ve 4 km çözünürlüğündeki IMS verilerinin birlikte hareket ettiği ve aradaki benzeşim farkının %4’ün altında kaldığı, ayrıca alan arttıkça farkın sifıra yaklaştığı ortaya çıkarılmıştır.

Mekânsal olarak 1 gün için yapılan yukarıdaki çalışmanın yanısıra karın zamansal değişiminin mevcuttaki 3 çözünürlük için yapılması durumunda ise 1 ve 4 km’nin beraber hareket ettiği 1,000 km²’lik kapsayıcı alana kadar farkın %15’in altında olduğu, 2,500 km² üzerindeki alanlar için ise farkın %4’ün altında kaldığı ve IMS verilerinin birlikte hareket ettiği, dolayısıyla 4 km çözünürlüğündeki kar görüntüleri tutarlı sonuçlar vermesi nedeniyle bu verinin, yapılacak hidrolojik modelleme ve iklim değişikliği gibi çalışmalarda kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Uydu kar görüntülerinin doğrulanması çalışmasında Türkiye genelinde 292 adet kar yığını ölçen OMGİ’ler istasyonu kullanılmış ve yer istasyon verileri ile 3 farklı

mekânsal çözünürlükteki IMS uydu kar görüntülerinin doğrulaması için ihtimal tablosundan yararlanılarak POD, FAR, HR ve SD gibi istatistik oranları sonuçlarına göre yorum yapılmıştır. Buna göre; Türkiye genelinde 1 km çözünürlüğün POD sonucu 0.81, FAR değeri 0.20 ve HR değeri 0.86 olarak, 4 km çözünürlüğün POD sonucu 0.80, FAR değeri 0.23 ve HR değeri 0.86 olarak ve 24 km çözünürlüğün POD sonucu 0.68, FAR değeri 0.25 ve HR değeri 0.86 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, ülkemizde yıl içindeki karlı gün sayısının 86 olduğu bulunmuştur. Yapılan çıkarıma göre, 24 km’lik veri setinin 1 ve 4 km’ye göre başarı oranının düşük olduğu, ancak 1 ve 4 km’nin başarı oranlarının birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Aylık bazda yapılan POD, FAR çalışmasında ise en yüksek POD değerinin Aralık, Ocak ve Şubat aylarında, en düşük POD değerinin ise Ekim, Mayıs ve Haziran aylarında olduğu ve POD değerinin yüksek olduğu aylarda FAR değerinin en düşük seviyelerde olduğu, FAR değerinin yüksek olduğu aylarda ise POD değerinin düşük olduğu görülmüştür. Coğrafi bölgeler üzerinde de bu analiz gerçekleştirilmiş olup aynı sonuca varılmış, ortalama yüksekliğin en fazla olduğu Doğu Anadolu bölgesinin POD değeri 0.87 ile diğer bölgelere göre daha başarılı olmaktadır.

4 km çözünürlüğündeki IMS görüntüleri kullanılarak Türkiye ve Bölgelerinin 2004 – 2020 su yıllarını kapsayacak biçimde 1 Ekim – 1 Temmuz zaman aralığında her yıl için KKA eğrileri çıkarılmış olup analiz edilen alanlar için ortalama KKA eğrileri bulunmuştur. Bu grafiklerden yapılan çıkarımlara göre, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında karın biriktiği, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında erimelerin başlamasıyla KKA eğrilerinde çekilmelerin yaşandığı, Doğu Anadolu’da KKA’nın 4 ay süresince %50’nin üstünde olduğu ayrıca, bu değer %90’a yaklaştığı ve karın 4 ay süreyle yerde kaldığı, aynı şekilde karın Karadeniz’de 2 ay süreyle, İç Anadolu’da ise 1 ay süreyle %50 KKA oranının üstünde kaldığı, ortalama yükseklikleri birbirine çok yakın olan Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinin KKA dağılımının Türkiye ile benzer olduğu çıkarılmaktadır. Genel anlamda, KKA değeri ve karın yüzeyde kalma süresi yükseklikle ilişkili olmakta, ortalama yüksekliğin düşük olduğu ve denize yakın olan Ege ve Marmara bölgelerinde yıl içerisinde KKA eğrileri çok fazla dalgalanma göstermektedir.

Hidrolojik modelleme çalışmalarında, ülkemizin yüksek dağlık doğu kesiminde yer alan, 2151 m ortalama yükseklikteki Fırat havzasının membasında bulunan Karasu (E21A054), 2143 m ortalama yükseklikteki Fırat havzasının membasında bulunan Murat (E21A022), 2205 m ortalama yükseklikteki Aras havzasının membasında bulunan

Kayabaşı (D24A096) ve 2191 m ortalama yükseklikteki Aras havzasının membasında bulunan Bayburt (E23A004) havzaları çalışma alanı olarak belirlenerek SRM’de yağış, sıcaklık, 4 km verinin analiziyle bulunan KKA değişkenleri girilerek kalibrasyon yapılmıştır. Hidrolojik model çalışmasında bu 4 havzanın kullanılmasının temel sebepleri havzaların ortalama yükseltilerinin birbirine yakın olması, hipsometri eğrilerinin aynı dağılım sergilemesi, birbirlerine sınır olan ve aynı coğrafyada bulunan dağlık havzalar olması, yağış ve sıcaklık gibi iklimsel değişkenlerin benzer olması etkili olmuştur.

Yapılan modelleme çalışması sonucunda, ölçülen akım ve hesaplanan akım değerlerinin birbirine yakın olduğu determinasyon katsayısı (R^2) ve hacim farkı (D_v) gibi SRM’in kullandığı doğruluğun değerlendirilmesi formüllerinden anlaşılmaktadır. Buna göre determinasyon katsayısından, Karasu havzasında ortalama 0.86, Murat havzasında 0.86, Kayabaşı havzasında 0.88 ve Bayburt havzasında ise 0.89 benzeşim başarısı yakalanmıştır. Ayrıca, hacim farkı’nın (D_v); Karasu havzasında %1.11, Murat havzasında %0.92, Kayabaşı havzasında %0.99 ve Bayburt havzasında ise %2.91 olmaktadır.

Karasu, Murat, Kayabaşı ve Bayburt gibi memba havzalarında, SRM’de günlük modelleme yapılsa da nihai hedefin barajlara gelecek su hacmini tahmin etmek olduğundan erime dönemi ayları; Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran için analiz edilen 4 aylık dilimde akım hidrografındaki ortalama farkın %3’ün altında olması sonuçları başarılı kılmalıdır. Hacim farkı açısından bakıldığında sonuçlardaki hata payının az olduğu görülmektedir.

Tezin son çalışması olan iklim değişikliği etkilerinin incelenmesi bölümünde ise; aynı havzalarda yağış, sıcaklık ve akımın ortak verisinin bulunduğu 2008, 2009, 2010 ve 2011 yıllarının erime dönemi için SRM’de simülasyon gerçekleştirilmiştir. Daha önce yapılan iklim değişikliği çalışmalarında yağışın analiz edilen periyotlarda ve havzalarda dalgalanma gösterdiği ve sıcaklığın 2100 yılının son çeyreğinde 4.34 °C’ye kadar arttığı görülmüş, bu çalışmada yalnızca sıcaklık parametreleri 1, 2, 3, 4 ve 5 °C arttırılmış, bunun sonucunda KKA ve akım eğrilerindeki kaymalar her havza için bulunmuştur. Sonuçlara göre, 4 °C sıcaklık artışında havzalarda; %50 KKA değerinin 6 – 18 Gün, %5 KKA değerinin 12 – 28 Gün, %50 akımın 9 – 21 Gün ve pik akımın 61 Güne kadar öne çekildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, çalışma yapılacak alanda kullanılabilecek çözünürlüğün seçilmesini kolaylaştıracak sonuçlar bu çalışmada ortaya koyulmuş, 4 havzada SRM modeli kullanılarak hidrolojik modelleme çalışması yapılarak havza karakteristikleri bulunup

karşılaştırılmış ayrıca, aynı havzalarda SRM kullanılarak yapılan iklim değişikliği çalışması neticesinde kar ve akımın nasıl etkileneceği bulunmuştur.

4 km çözünürlükteki IMS görüntüleri kullanılarak yapılan modelleme ve iklim değişikliği çalışmaları daha iyi mekânsal çözünürlüğe sahip 1 km IMS ya da 500 m'lik MODIS uydu kar görüntüleri de kullanılarak 4 havzadaki çalışma karşılaştırılabilir ve sonuçlar değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, OMGI'lerdeki yağış ve sıcaklık değişkenleri kullanılmış, havzalardaki istasyon dağılımı yeterli olmadığından noktasal verinin alanı iyi temsil edemediği bazı ekstrem yağış olaylarının yaşandığı günlerde modelleme çalışmalarında görülmüştür. Dolayısıyla, bu havzalarda farklı model kullanılarak ya da SRM kullanılması durumunda yapılacak çalışmalarda son zamanlarda yaygın bir şekilde sıcaklık ve yağış verilerinin de uydulardan temin edilmesi sonuçların karşılaştırılması açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Abudu, S., Cui, C., Saydi, M., & King, J. (2012). Application of snowmelt runoff model (SRM) in mountainous watersheds: A review. *Water Sci. Eng.*, 5, 123–136.
- Akyürek, Z., & Şorman, Ü. (2002). Accuracy assessment of a Landsat assisted land-cover mapping. Case study: City of Erzurum and its vicinity—Turkey. *3rd International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, İstanbul, Turkey*, 11 – 13. June, (Vol.2).
- Akyürek, Z., Süreş, S., & Beşer, Ö. (2011). Investigation of the snow-cover dynamics in the Upper Euphrates Basin of Turkey using remotely sensed snow-cover products and hydrometeorological data,. *Hydrological Processes*, 25(23), 3637-3648.
- Alvarado-Montero, R., Uysal, G., Collados-Lara, A. J., Şorman, A. A., Pulido-Velazquez, D., & Şensoy, A. (2022). Comparison of sequential and variational assimilation methods to improve hydrological predictions in snow dominated mountainous catchments. *Journal of Hydrology*, 127981.
- Aytemiz, L., & Kodaman, T. (2006). Sınır Aşan Sular Kullanımı ve Türkiye – Suriye İlişkileri. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*.
- Azizi, A. H., & Asaoka, Y. (2019). Incorporating snow model and snowmelt runoff model for streamflow simulation in a snow-dominated mountainous basin in the western Hindukush-Himalaya region. *Hydrological Research Letters*, 14(1), 34-40.
- Baumgartner, M., & Rango, A. (1995). A microcomputer based alpine snowcover analysis system (ASCAS). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(12), 1475-1486.
- Bozkurt, D., & Şen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of hydrology*, 480, 149–161.
- Brown, L. C., Howell, S. E., Mortin, J., & Derksen, C. (2014). Evaluation of the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) for monitoring sea ice phenology. *Remote sensing of environment*, 147, 65-78.
- Butt, M. J., & Bilal, M. (2011). Application of snowmelt runoff model for water resource management. *Hydrological Processes*, 25, 3735–3747.
- Chen, C., Lakhankar, T., Romanov, P., Helfrich, S., Powell, A., & Khanbilvardi, R. (2012). Validation of NOAA-Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping

- System (IMS) by comparison with ground-based measurements over continental United States. *Remote Sens.*, 4(5):1134–1145.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioglu, 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.
- Deniz, A., Toros, H., & İncecik, S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of climatology*, 31(3), 394-403. doi:10.1002/joc.2081
- Doğan, Y. O. (2018). Çoruh Havzasında Çok Kriterli Hidrolojik Modelleme ve Tahmin Çalışması. *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Eskişehir), Yüksek Lisans Tezi*.
- Elibüyük, M., & Yılmaz, E. (2010). Türkiye'nin Coğrafi Bölge ve Bölümlerine Göre Yükselti Basamakları ve Eğim Grupları. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8(1), 27-56.
- Ferguson, R. I. (1999). Snowmelt runoff models. *Progress in Physical Geography*, 23(2), 205–227.
- Frank, J., Itten, I., & Staez, K. (1988). Improvement in NOAA AVHRR snow cover determination for runoff prediction. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 'Remote Sensing: Moving Toward the 21st Century'*, (Vol. 1, pp. 433-435).
- Gómez-Landesa, E., & Rango, A. (2002). Operational snowmelt runoff forecasting in the Spanish Pyrenees using the snowmelt runoff model. *Hydrological Processes*, 16(8), 1583-1591.
- Gözel, E. (2012). Yukarı Fırat Havzasında kar suyu potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük modellenmesi. *Master of Science Thesis, Eskişehir: Anadolu University*.
- Gueriussen, T., Bjerke, P., Hallikainen, M., Hilbrunner, D., Johnsen, H., Jaaskelainen, V., . . . Wiesmann, A. (2000). Research and Development of Earth Observation Methods for Snow Hydrology. *SnowTools Final Report*, 431/47-00.
- Hall, D. K., Foster, J., Verbyla, D., Klein, A., & Benson, C. S. (1998). Assessment of snow-cover mapping accuracy in a variety of vegetation cover densities in Central Alaska. *Remote Sens. Environ*, 66(2): 129–137.
- Hall, D., & Martinec, J. (1985). *Remote sensing of ice and snow*. London: Chapman and Hall.
- Hall, D., & Riggs, G. (2007). Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(12), 1534-1547.

- Hall, D., Riggs, G., Salomonson, V., DiGirolamo, N., & Bayr, K. (2002). MODIS snow cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1), 181-194.
- Harrison, A., & Lucas, R. (1989). Multi-spectral classification of snow using NOAA AVHRR imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 10(4-5), 907-916.
- Hayat, H., Akbar, A. T., Tahir, A. A., Hassan, Q. K., Dewan, A., & Irshad, M. (2019). Simulating Current and Future River-Flows in the Karakoram and Himalayan Regions of Pakistan Using Snowmelt-Runoff Model and RCP Scenarios. *Water*, 11(4), 761. doi:10.3390/w11040761
- He, Z. H., Parajka, J., Tian, F. Q., & Bloschl, G. (2014). Estimating degree-day factors from MODIS for snowmelt runoff modelling. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 18(12), 4773–4789.
- Helfrich, S., McNamara, D., Ramsay, B., Baldwin, T., & Kasheta, T. (2007). Enhancements to, and forthcoming developments in the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS). *Hydrological Processes*, 21 (12), 1576-1586.
- Hu, X., Bailey, J., Barret, E., & Kelly, E. (1993). Monitoring snow area and depth with integration of remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 14(17), 3529-3268.
- Immerzeel, W., Droogers, P., de Jong, M., & Bierkens, M. (2009). Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 113(1), 40–49.
- IPCC. (2000). Special Report on Emissions Scenarios. *Cambridge University Press, England*, 599.
- IPCC. (2007). Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies:. *IPCC Expert Meeting Report*, Netherlands.
- IPCC. (2013). Summary for policymakers. In: Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Intergovernmental Panel On Climate Change*.
- IPCC. (2022). Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. *Intergovernmental Panel On Climate Change*.

- Kaya, I. (1999). Application of Snowmelt Runoff Model using remote sensing and geographic information systems. *Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Ankara.*
- Kult, J., Choi, W., & Choi, J. (2014). Sensitivity of the Snowmelt Runoff Model to snow covered area and temperature inputs. *Applied Geography* , 55, 30–38.
- Kuter, S., Akyurek, Z., & Weber, G. (2018). Retrieval of Fractional Snow Covered Area from MODIS Data by Multivariate Adaptive Regression Splines. *Remote Sensing of Environment*, 205, 236-252.
- Leavesley, G. (1983). Precipitation-runoff modeling system: User's manual. *Water-resources investigations report*, 83, 4238.
- Li, X., & Williams, M. (2008). Snowmelt runoff modeling in an arid mountain watershed, Tarim Basin, China. *Hydrological processes*, 22(19), 3931–3940.
- Martinec, J. (1975). Snowmelt runoff model for streamflow forecasts. *Nordic Hydrology*, 6(3), 145– 154.
- Martinec, J., & Rango, A. (1987). Interpretation and utilization of areal snow cover data from satellites. *Annals of Glaciology*, 9, 166-169.
- Martinec, J., Rango, A., & Roberts, R. (2008). Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual; New Mexico State University Press: New Mexico. *NM, USA*, pp. 19–39.
- Mazari, N., Tekeli, A., Xie, H., Sharif, H., & El Hassan, A. (2013). Assessment of ice mapping system and moderate resolution imaging spectroradiometer snow cover maps over Colorado Plateau. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 073540.
- Nagler, T., & Rott, H. (1997). The application ERS-1 SAR for snowmelt runoff modeling. *Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences*, 119-126.
- Nagler, T., Rott, H., Malcher, P., & Müller, F. (2008). Assimilation of meteorological and remote sensing data for snowmelt runoff forecasting. *Remote Sensing of Environment*, 112 (4), 1408-1420.
- Nourani, V., Afkhaminia, A., Andaryani, S., & Zhang, Y. (2021). Multi-station calibration strategy for evaluation and sensitivity analysis of the snowmelt runoff model using MODIS satellite images. *Hydrology Research*, 52(6), 1389-1404. doi:10.2166/nh.2021.075
- Nunchhani, V., Bandyopadhyay, A., & Bhadra, A. (2021). Spatiotemporal Variability in Snow Parameters from MODIS Data Using Spatially Distributed Snowmelt

- Runoff Model (SDSRM): a Case Study in Dibang Basin, Arunachal Pradesh. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(2), 325–340.
- Önol, B., Bözkurt, D., Turuncuoğlu, U. U., Şen, Ö. L., Dalfes, H. N., & Dalfes, N. (2013). Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region. *Clim. Dyn.*, 42, 1949–1965.
- Özkan, D. (2020). Yukarı Aras Havzasında Otomatik Kalibrasyon Yöntemi ile Çok Kriterli Hidrolojik Modelleme ve Tahmin Çalışması. *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Master's thesis*.
- Parajka, J., & Blöschl, G. (2012). MODIS-based snow cover products: validation, and hydrologic applications. *Multiscale Hydrologic Remote Sensing: Perspectives and Applications*, CRC Press, 185-212.
- Peker, B. İ. (2020). Türkiye'deki dağlık havzalarda uygulanan swat modeli ile iklim değişikliğinin incelenmesi . *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Master's thesis*.
- Peker, İ. B., & Sorman, A. A. (2021). Application of SWAT Using Snow Data and Detecting Climate Change Impacts in the Mountainous Eastern Regions of Turkey. *Water*, 13(14), 1982.
- Qiu, L., You, J., Qiao, F., & Peng, D. (2014). Simulation of snowmelt runoff in ungauged basins based on MODIS: a case study in the Lhasa River basin. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 28(6), 1577-1585.
- Quick, M. C., & Pipes, A. (1997). UBC Watershed Model. *Hydrological Sciences Journal*, 22(1), 153-161.
- Ramsey, B. H. (1998). The interactive multisensor snow and ice mapping system. *Hydrological Processes*, 12(10-11), 1537-1546.
- Rango, A. (1996). Spaceborne remote sensing for snow hydrology applications. *Hydrological Sciences Journal*, 41(4), 477-494.
- Rango, A., & Martinec, J. (1979). Application of a snowmelt runoff model using Landsat data. *Nordic Hydrology*, 10(4), 225– 238.
- Rango, A., & Martinec, J. (1994). Areal extent of seasonal snow cover in a changed climate. *Hydrology Research*, 25(4), 233-246.
- Rango, A., Salomonson, V., & Foster, J. (1977). Seasonal streamflow estimation in the Himalayan region employing meteorological snowcover observations. *Water Resources Research*, 13(1), 109-112.

- Rasouli, H., Kayastha, R., Bhattarai, B., Shrestha, A., Arian, H., & Armstrong, R. (2013). Estimation of Discharge From Upper Kabul River Basin, Afghanistan Using the Snowmelt Runoff Model. *Journal of Hydrology and Meteorology*, 9(1), 85-94.
- Rott, H. (1978). Zur Schneekartierung in alpinen Einzugsbeobieten aus Satellitenbildern. *Zeitschrift fur Gletscherkunde und Glaziologie*, 14(1), 81-93.
- Rott, H., Nagler, T., Glendinning, G., Wright, G., Miller, D., Gauld, J., . . . Pirker, O. (2000). *Hydalp-Hydrology of Alpine and High Latitude Basins: Final Report*. Mitteilungen: Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, Mitteilungen, (4).
- Seidel, K., Brush, W., & Steinmeier, C. (1994). Experiences from real time runoff forecasts by snow cover remote sensing. *Proceedings of IGARSS'94-1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4, (Vol. 4, pp. 2090-2093), IEEE.
- Şensoy, A., & Uysal, G. (2012). The value of snow depletion forecasting methods towards operational snowmelt runoff estimation using MODIS and Numerical Weather Prediction Data. *Water Resour. Manag.*, 26 (12), 3415–3440.
- Sönmez, İ., Tekeli, A., & Erdi, E. (2014). Snow cover trend analysis using Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 34(7): 2349–2361, DOI: 10.1002/joc.3843.
- Şorman, A. A., Şensoy, A., Tekeli, A. E., Şorman, A. Ü., & Akyürek, Z. (2009). Modeling and forecasting snowmelt runoff process using the HBV model in the eastern part of Turkey. *Hydrological Processes*, 23(7), 1031–1040.
- Şorman, A. U., & Beser, O. (2013). Determination of snow water equivalent over the eastern part of Turkey using passive microwave data. *Hydrological Processes*, 27(14), 1945–1958. <https://doi.org/10.1002/hyp.9267>.
- Şorman, A. Ü., Uzunoğlu, E., & Kaya, I. (2001). Applications of SRM and SLURP models in eastern Turkey using remote sensing and geographic information systems. *Proceedings Santa Fe symp. April 2000*, (pp. 81-86).
- Sorman, A., & Yamankurt, E. (2011). Modified satellite products on snow covered area in upper Euphrates basin, Turkey. *Geophys Res. Abstr.*, 13, EGU2011-7887.
- Şorman, A., Akyürek, Z., Şensoy, A., Şorman, A., & Tekeli, A. E. (2007). Commentary on comparison of MODIS snow cover and albedo products with ground

- observations over the mountainous terrain of Turkey. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4), 1353-1360.
- Şorman, A., Uysal, G., & Şensoy, A. (2019). Probabilistic snow cover and ensemble streamflow estimations in the Upper Euphrates Basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67(1), 82-92.
- Sucu, S., & Dinç, T. (2008). Çoruh havzası projeleri. Ankara, İnşaat Mühendisleri Odası, “TMMOB 2.Su politikaları kongresi, Bildiriler kitabı”, C. 1, s. 33-38.
- Sunar, F., Özkan, C., & Osmanoğlu, B. (2018). *Uzaktan Algılama*. Eskişehir, Türkiye: Anadolu Üniversitesi.
- Tahir, A., Hakeem, S., Hu, T., Hayat, H., & Yasir, M. (2019). Simulation of snowmelt-runoff under climate change scenarios in a data-scarce mountain environment. *International Journal of Digital Earth*, 12(8), 910-930.
- Tekeli, A. E. (2000). Integration of remote sensing and geographic information systems on snow hydrology modeling. *Master of Science Thesis, Water Resources Laboratory, Civil Engineering Department, Graduate School of Natural and Applied Sciences*, Ankara.
- Tekeli, A. E. (2008). Early findings in comparison of AMSR-E/Aqua L3 global snow water equivalent EASE grids data with in situ observations for Eastern Turkey. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(15), 2737-2747, DOI: 10.1002/hyp.7093.
- Tekeli, A., Akyürek, Z., Şorman, A., Şensoy, A., & Şorman, A. (2005). Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97(2), 216-230.
- Temimi, M., Romanov, P., Ghedira, H., Khanbilvardi, R., & Smith, K. (2011). Sea-ice monitoring over the Caspian Sea using geostationary satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 32(6), 1575–1593.
- Wiesnet, D., Ropelewski, C., Kukla, G., & Robinson, D. (1987). A discussion of the accuracy of NOAA satellite derived global seasonal snow cover measurements. *IAHS publications*, 166, 291-304.
- Yücel, L., Güventürk, A., & Şen, O. L. (2014). Climate change impacts on snowmelt runoff for mountainous transboundary basins in eastern Turkey. *International Journal of Climatology*, 35(2), 215-228.

http-1: <https://earthexplorer.usgs.gov> (Erişim tarihi: 01.05.2022)

http-2: <https://land.copernicus.eu/> (Erişim tarihi: 01.05.2022)

http-3: <http://harmosnow.eu/> (Erişim tarihi: 01.05.2022)

http-4: <https://snow.nasa.gov/> (Erişim tarihi: 01.05.2022)

http-5: <https://nsidc.org/> (Erişim tarihi: 01.05.2022)



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-2296-4623

Adı Soyadı : Sinan AÇIKYOL
Yabancı Dil : İngilizce, Arapça

Eğitim Geçmişi:

2019 - 2022 : Yüksek Lisans - Eskişehir Teknik Üniversitesi/ Lisansüstü
Eğitim Enstitüsü/ Hidrolik A.B.D.
2014 - 2019 : Lisans - Eskişehir Teknik Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği
Bölümü
2010 - 2014 : Lise - Şehit Ahmet Benli Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

Mesleki Geçmişi:

12.2019 - : Kontrol Mühendisi - İstanbul Büyükşehir Belediyesi/ Yol
Bakım ve Altyapı Koordinasyon Daire Başkanlığı
07.2018 - 08.2018 : Stajyer, Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü
06.2017 - 07.2017 : Stajyer, Girişken İnşaat Tic. Ltd. Şti.