



**KAR VE TOPRAK NEMİ UYDU
GÖRÜNTÜLERİ KULLANARAK ÇOK
KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayça EYLEN

Temmuz, 2024

**KAR VE TOPRAK NEMİ UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANARAK ÇOK
KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME**

Ayça EYLEN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Temmuz 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ayça EYLEN'nin KAR VE TOPRAK NEMİ UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANARAK ÇOK KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME başlıklı çalışması 26/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

Üye

: Doç. Dr. Gökçen UYSAL

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi M. Cansaran ERTAŞ

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

26/07/2024

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Ayęa EYLEN, KAR VE TOPRAK NEMİ UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANARAK ÇOK KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Doç. Dr. Ali Arda şORMAN

ÖZET

KAR VE TOPRAK NEMİ UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANARAK ÇOK KRİTERLİ HİDROLOJİK MODELLEME

Ayça EYLEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temmuz 2024

Danışman: Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

Son yıllarda, kar ve toprak nemi uydu görüntülerindeki ilerlemeler, bulutsuz kar örtüsü ve daha yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip toprak nemi uydu veri setlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada ilk olarak, SMAP toprak nemi ile MODIS kar örtüsü ve bulut örtüsü verilerinin Türkiye ve bölgeleri için analizleri yapılmıştır. Daha sonra, HBV tipi bir hidrolojik modelin çoklu kalibrasyonları için SMAP toprak nemi ile bulutsuz MODIS kar örtüsü verileri ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak kar baskın iki farklı havzada test edilmiştir. Özellikle, dağlık havzalarda akım modellemesinin yanı sıra toprak nemi ve kar uzaktan algılama ürünlerinin de eklenmesiyle birden fazla gözlemin eş zamanlı olarak dikkate alındığı model sonuçları, modelin içsel başarısını artırmaktadır. Toprak nemi verilerinin dahil edilmesinin toprak nemi simülasyonlarını, kar verilerinin dahil edilmesinin ise kar simülasyonlarını iyileştirdiği gösterilmektedir. Ayrıca, hem toprak nemi hem de kar örtüsü verilerinin dahil edilmesi, ayrı ayrı dahil edildiklerinde elde edilen performanslar kadar iyileştirmekte olup, akım performansını çok az değiştirmektedir. Kalibre edilmiş kar ile ilgili parametreler, kar verilerinden büyük ölçüde etkilenirken toprak nemi ile ilgili parametreler, toprak nemi verilerinden etkilenmektedir. Bu sonuçlar, hidrolojik modellemelerde uydu verilerinin kritik bir rol oynadığını ve model doğruluğunu artırmada önemli katkılar sağladığını göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Uydu görüntüleri, Toprak nemi, Kar, HBV modeli, Hidrolojik modelleme

ABSTRACT

MULTI-CRITERIA HYDROLOGICAL MODELING USING SNOW AND SOIL MOISTURE SATELLITE IMAGES

Ayça EYLEN

Department of Civil Engineering

Programme in Hydraulic

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, July 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Arda ŞORMAN

In recent years, advances in snow and soil moisture satellite imagery have facilitated the development of cloud-free snow cover and satellite soil moisture data sets with higher spatial and temporal resolutions. In this study, we first analyzed SMAP soil moisture, MODIS snow cover, and cloud cover data for Turkey and its regions. Subsequently, we tested SMAP soil moisture and cloud-free MODIS snow cover data using a weighting method for multiple calibrations of an HBV-type hydrological model in two snow-dominated basins. Particularly in mountainous catchments, incorporating both soil moisture and snow remote sensing products alongside flow modeling significantly enhances model performance by simultaneously considering multiple observations. Including soil moisture data improves soil moisture simulations, while including snow data improves snow simulations. Furthermore, the inclusion of both soil moisture and snow cover data improves model performance to the same extent as when they are included individually, with minimal impact on flow performance. The calibrated snow-related parameters are significantly influenced by snow data, while soil moisture-related parameters are affected by soil moisture data. These findings demonstrate the critical role of satellite data in hydrological modeling and their substantial contribution to improving model accuracy.

Keywords: Satellite images, Soil moisture, Snow, HBV model, Hydrological modeling

TEŞEKKÜR

Kendisi ile çalışma fırsatı bulduğum, lisans ve yüksek lisans sürecim boyunca bilgeliği ve rehberliği ile bana yol gösteren, zorluklarla karşılaştığım her an sabırla beni destekleyip yeniden ayağa kalkmamı sağlayan ve bu süreçte bana kattığı her şey için derin bir minnettarlık duyduğum çok kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN'a,

Lisans eğitimimde verdiği derslerle bu alanda ilerleme kararı almama vesile olan, kendisinden birçok şey öğrendiğim çok değerli hocam Prof. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN'a,

Değerli zamanlarını yüksek lisans çalışmama ayıran, bilgi ve deneyimleri ile çalışmamı daha iyi bir şekilde tamamlamamı sağlayan çok değerli jüri üyelerim Doç. Dr. Gökçen UYSAL ile Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Cansaran ERTAŞ'a,

İşler kötüye gittiği zamanlarda sayelerinde yeniden ayağa kalktığım, her fırsatta beni destekleyen en büyük şanslarım canım annem Birgül EYLEN ve canım babam Cemalettin EYLEN'e ve kendimi ne zaman kötü hissetsem bazen bir telefonla, bazen yanıma gelerek modumu yeniden yükselten, bana sürekli moral ve motivasyon kaynağı olan ve bu çalışmayı tamamlamamı sağlayan canımdan çok sevdiğim kardeşim ve en yakın arkadaşım Alper EYLEN'e,

Tüm süreci beraber yürüttüğüm, çıkmaza girdiğim her an fikirleriyle hatalarımı fark etmemi sağlayan çalışma arkadaşım Mamadi TRAORE ile R programını öğrenirken takıldığım her noktada tüm o yoğunluğuna rağmen bana içtenlikle yardımcı olan ve işlerimi oldukça kolaylaştıran Hamed HAFIZI'ye,

Çalışmam boyunca ihtiyaç duyduğum her anımda yanımda olan, moral destekleri ile bu süreci daha kolay ve keyifli hale getiren canım arkadaşlarım Selin, Betül ve Begüm'e,

Ve son olarak, kalbimin en güzel köşesinde kendisine yer bulan, bana hep ışık olan, beni her fırsatta destekleyen, dinleyen ve bana inanıp beni bu serüvenden vazgeçirmeyen, dostum, hayat arkadaşım, her şeyim Berkan'a çok teşekkür ederim.

Ayça EYLEN

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 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.

Ayça EYLEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

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
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın İçeriği	3
2. MATERYAL VE METHOD	4
2.1. Uzaktan Algılama.....	4
2.1.1. Kar	4
2.1.1.1. MODIS: Orta çözünürlüklü görüntüleme spektoradyometresi.....	7
2.1.1.2. IMS: İnteraktif çok sensörlü kar ve buz haritalama sistemi.....	14
2.1.2. Toprak nemi.....	16
2.1.2.1. SMAP: Toprak nemi aktif pasif	20
2.2. Hidrolojik Modelleme	24
2.2.1. HBV modeli: TUWmodel	25
2.3. Çok Kriterli Hidrolojik Modelleme.....	31
2.3.1. Kalibrasyon	37
2.3.1.1. Optimizasyon algoritması: DEoptim	38

2.3.1.2. Akım modellemesi.....	39
2.3.1.3. Kar modellemesi.....	39
2.3.1.4. Toprak nemi modellemesi.....	41
2.3.1.5. Çoklu amaç fonksiyonu.....	42
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
3.1. Uydu Görüntülerinin Türkiye Analizi: Kar ve Bulut Analizleri.....	43
3.2. Uydu Görüntülerinin Türkiye Analizi: Toprak Nemi Analizi.....	63
3.3. Çalışma Alanları	67
3.3.1. Yukarı Seyhan (Çukurkişla) havzası.....	67
3.3.2. Yukarı Aras (Kayabaşı) havzası	74
3.4. Kalibrasyon ve Doğrulama	82
3.4.1. Akım ve kar modellemesi.....	84
3.4.1.1. Çukurkişla havzası.....	84
3.4.1.2. Kayabaşı havzası.....	87
3.4.2. Akım ve toprak nemi modellemesi.....	91
3.4.2.1. Çukurkişla havzası.....	92
3.4.2.2. Kayabaşı havzası.....	95
3.4.3. Akım ve kar ile akım ve toprak nemi model sonuçlarının karşılaştırılması	99
3.4.3.1. Çukurkişla havzası.....	99
3.4.3.2. Kayabaşı havzası.....	105
3.4.4. Akım, kar ve toprak nemi modellemesi.....	111
3.4.4.1. Çukurkişla havzası.....	111
3.4.4.2. Kayabaşı havzası.....	129
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	146
KAYNAKÇA.....	153
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. MODIS terra kar örtüsü ürünleri,(https://nsidc.org/data/modis/data , erişim tarihi: 04/06/2023)	8
Tablo 2.2. MODIS aqua kar örtüsü ürünleri, (https://nsidc.org/data/modis/data , erişim tarihi: 04/06/2023)	9
Tablo 2.3. MODIS MOD10A1F veri setleri	11
Tablo 2.4. MOD10A1 sınıflandırma tablosu	12
Tablo 2.5. Toprak nemi sensörleri	18
Tablo 2.6. SMAP ürünleri	21
Tablo 2.7. TUWmodel parametreleri	30
Tablo 2.8. TUWmodel çıktıları	30
Tablo 2.9. Çoklu amaç fonksiyonu girdileri ve ağırlıkları	42
Tablo 3.1. IMS ve MODIS uydu görüntülerinin performans ölçütleri	53
Tablo 3.2. Türkiye ve bölgeleri aylık kök toprak nemi değerleri	66
Tablo 3.3. Her bir eşdeğer bölgenin alanları ve yükselti aralıkları	68
Tablo 3.4. Eğim ve arazi kullanım haritalarının alansal dağılımı	70
Tablo 3.5. Her bir eşdeğer bölgenin alanları ve yükselti aralıkları	75
Tablo 3.6. Eğim ve arazi kullanım haritalarının alansal dağılımı	77
Tablo 3.7. TUWmodel değer aralıkları	82
Tablo 3.8. Toprak nemi ağırlığının 0.1 olduğu durumlar	112
Tablo 3.9. Toprak nemi ağırlığının 0.2 olduğu durumlar	112
Tablo 3.10. Toprak nemi ağırlığının 0.3 olduğu durumlar	112
Tablo 3.11. Toprak nemi ağırlığının 0.4 olduğu durumlar	112
Tablo 3.12. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.1$).....	116
Tablo 3.13. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.2$).....	116
Tablo 3.14. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.3$).....	117
Tablo 3.15. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.4$).....	117
Tablo 3.16. Toprak nemi ağırlığının 0.5 olduğu durumlar	121
Tablo 3.17. Toprak nemi ağırlığının 0.6 olduğu durumlar	121
Tablo 3.18. Toprak nemi ağırlığının 0.7 olduğu durumlar	121
Tablo 3.19. Toprak nemi ağırlığının 0.8 olduğu durum.....	121

Tablo 3.20. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.5$).....	125
Tablo 3.21. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.6$).....	125
Tablo 3.22. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.7$).....	125
Tablo 3.23. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.8$).....	126
Tablo 3.24. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.1$).....	133
Tablo 3.25. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.2$).....	134
Tablo 3.26. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.3$).....	134
Tablo 3.27. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.4$).....	135
Tablo 3.28. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.5$).....	141
Tablo 3.29. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.6$).....	142
Tablo 3.30. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.7$).....	142
Tablo 3.31. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($wnem = 0.8$).....	142

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. 28 Ocak 2022 Türkiye MOD10A1 (üst) ve MOD10A1F (alt) kar haritaları	13
Şekil 2.2 12 Aralık 2019 Türkiye IMS 1 km (üst), 4km (orta) ve 24 km (alt) kar haritaları	15
Şekil 2.3. 31 Mart 2022 Türkiye SMAP kök toprak nemi haritası.....	23
Şekil 2.4. TUWmodel akış şeması (Neri vd., 2020).....	27
Şekil 3.1. MODIS bulutsuz kar ürünlerinin akış şeması	43
Şekil 3.2. Kutu grafiği tanımı, (https://waterdata.usgs.gov/blog/boxplots/)	44
Şekil 3.3. Akdeniz Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği.....	45
Şekil 3.4. İç Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği.....	45
Şekil 3.5. Doğu Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği.....	46
Şekil 3.6. Ege Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği	46
Şekil 3.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği	47
Şekil 3.8. Karadeniz Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği.....	47
Şekil 3.9. Marmara Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği.....	48
Şekil 3.10. Türkiye 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği	48
Şekil 3.11. Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları ortalama karla kaplı alan grafiği.....	49
Şekil 3.12 Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları günlük ortalama karla kaplı alan grafiği	50
Şekil 3.13 Türkiye IMS ve MODIS ortalama karla kaplı alan grafikleri	52
Şekil 3.14 IMS ve MODIS maksimum, ortalama ve minimum günlük ortalama grafiği.....	52
Şekil 3.15. MODIS bulut kalıcılığı ürünlerinin akış şeması.....	54
Şekil 3.16. 28 Ocak 2022 Türkiye Bulut Kalıcılığı (üst) ve MOD10A1F (alt) kar haritaları	55

Şekil 3.17. Akdeniz Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	56
Şekil 3.18. İç Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	56
Şekil 3.19. Doğu Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	57
Şekil 3.20. Ege Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	57
Şekil 3.21. Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	58
Şekil 3.22. Karadeniz Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	58
Şekil 3.23. Marmara Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	59
Şekil 3.24. Türkiye 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği	59
Şekil 3.25 Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları günlük ortalama bulutla kaplı alan grafiği	60
Şekil 3.26. Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları ortalama bulutla kaplı alan grafiği	61
Şekil 3.27. SMAP seviye dört kök bölgesi ürünlerinin akış şeması	63
Şekil 3.28. Türkiye ve bölgelerinin 2015-2023 su yılları günlük ortalama kök toprak nemi grafiği	64
Şekil 3.29 Türkiye ortalama mevsimsel kök toprak nemi haritası	65
Şekil 3.30 Türkiye ve bölgelerinin 2015-2023 su yılları ortalama kök toprak nemi grafiği	65
Şekil 3.31. Çukurkışla havzası konumu	67
Şekil 3.32. Çukurkışla havzası yükseklik bölgeleri	68
Şekil 3.33. Çukurkışla havzası hipsometrik eğrisi	69
Şekil 3.34. Çukurkışla havzası eğim haritası	69
Şekil 3.35. Çukurkışla havzası arazi kullanım (Corine 2008) haritası	70
Şekil 3.36. Çukurkışla havzası hidro-meteorolojik veriler	71
Şekil 3.37. Çukurkışla havzası günlük mevsimsel sıcaklık grafiği	72
Şekil 3.38. Çukurkışla havzası aylık mevsimsel toplam yağış grafiği	72
Şekil 3.39. Çukurkışla havzası akım gözlem istasyonu hidrografları	73

Şekil 3.40. Çukurkışla havzası aylık mevsimsel toplam buharlaşma grafiği	74
Şekil 3.41. Kayabaşı havzası konumu	74
Şekil 3.42. Kayabaşı havzası yükseklik bölgeleri	75
Şekil 3.43. Kayabaşı havzası hipsometrik eğrisi	76
Şekil 3.44. Kayabaşı havzası eğim haritası	76
Şekil 3.45. Kayabaşı havzası arazi kullanım (Corine 2008) haritası	77
Şekil 3.46. Kayabaşı havzası hidro-meteorolojik veriler	78
Şekil 3.47. Kayabaşı havzası günlük mevsimsel sıcaklık grafiği.....	80
Şekil 3.48. Kayabaşı havzası aylık mevsimsel toplam yağış grafiği.....	80
Şekil 3.49. Çukurkışla havzası akım gözlem istasyonu hidrografları	81
Şekil 3.50. Kayabaşı havzası aylık mevsimsel toplam buharlaşma grafiği.....	81
Şekil 3.51. Havzaların karla kaplı alan grafiği	83
Şekil 3.52. Havzaların toprak nemi grafiği.....	83
Şekil 3.53. Çukurkışla havzası akım ve kar modellemesi kalibrasyon sonuçları.....	85
Şekil 3.54. Çukurkışla havzası akım ve kar modellemesi doğrulama sonuçları	85
Şekil 3.55. Çukurkışla havzası akım ve kar modellemesi parametre setleri	86
Şekil 3.56. Kayabaşı havzası akım ve kar modellemesi kalibrasyon sonuçları	88
Şekil 3.57. Kayabaşı havzası akım ve kar modellemesi doğrulama sonuçları	88
Şekil 3.58. Kayabaşı havzası akım ve kar modellemesi parametre setleri	90
Şekil 3.59. Çukurkışla havzası akım ve toprak nemi modellemesi kalibrasyon sonuçları.....	93
Şekil 3.60. Çukurkışla havzası akım ve toprak nemi modellemesi doğrulama sonuçları.....	93
Şekil 3.61. Çukurkışla havzası akım ve toprak nemi modellemesi parametre setleri	94
Şekil 3.62. Kayabaşı havzası akım ve toprak nemi modellemesi kalibrasyon sonuçları.....	96
Şekil 3.63. Kayabaşı havzası akım ve toprak nemi modellemesi doğrulama sonuçları	96
Şekil 3.64. Kayabaşı havzası akım ve toprak nemi modellemesi parametre setleri.....	97
Şekil 3.65. Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi akım performansı	99
Şekil 3.66. Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi kar performansı	100
Şekil 3.67. Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansı	100
Şekil 3.68. Çukurkışla havzası doğrulama dönemi akım performansı	101

Şekil 3.69. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi kar performansı	101
Şekil 3.70. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansı	102
Şekil 3.71. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi akım performansı	105
Şekil 3.72. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi kar performansı	106
Şekil 3.73. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansı	106
Şekil 3.74. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi akım performansı	107
Şekil 3.75. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi kar performansı	107
Şekil 3.76. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansı	108
Şekil 3.77. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	113
Şekil 3.78. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	113
Şekil 3.79. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	114
Şekil 3.80. Çukurkişla havzası validasyon dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	114
Şekil 3.81. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.1 – 0.4$	115
Şekil 3.82. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.1 – 0.4$	115
Şekil 3.83. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	122
Şekil 3.84. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	122
Şekil 3.85. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	123
Şekil 3.86. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	123
Şekil 3.87. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.5 – 0.8$	124
Şekil 3.88. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.5 – 0.8$	124

Şekil 3.89. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	130
Şekil 3.90. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	131
Şekil 3.91. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	131
Şekil 3.92. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.1 – 0.4	132
Şekil 3.93. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.1 – 0.4$	132
Şekil 3.94. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.1 – 0.4$	133
Şekil 3.95. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	138
Şekil 3.96. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi akım performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	139
Şekil 3.97. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	139
Şekil 3.98. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi kar performansları, $wnem =$ 0.5 – 0.8	140
Şekil 3.99. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.5 – 0.8$	140
Şekil 3.100. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $wnem = 0.5 – 0.8$	141

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CGF	: Cloud-gap-filled (Bulut Boşluğu Doldurulmuş)
DEoptim	: Global Optimization by Differential Evolution (Diferansiyel Evrim Algoritması)
KGE	: Kling-Gupta Efficiency (Kling-Gupta Verimliliği)
MOD10A1	: Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m (Küresel 500m Seviye-3 Terra Kar Örtüsü)
MOD10A1F	: Terra CGF Snow Cover Daily L3 Global 500m (Küresel 500m Seviye-3 Terra Bulutsuz Kar Örtüsü)
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradiometresi)
modKGE	: Modified Kling-Gupta Efficiency (Modifiye edilmiş Kling-Gupta Verimliliği)
NSE	: Nash–Sutcliffe Efficiency (Nash–Sutcliffe Verimliliği)
NSE _{log}	: Logarithmic Nash–Sutcliffe Efficiency (Logaritmik Nash–Sutcliffe Verimliliği)
r	: Pearson (Pearson Momentler Çarpımı Korelasyon Katsayısı)
SMAP	: Soil Moisture Active Passive (Toprak Nemi Aktif Pasif)
TUWmodel	: Technische Universität Wien Model (Viyana Teknoloji Üniversitesi Modeli)
NDSI	: The Normalized Difference Snow Index (Normalleştirilmiş Fark Kar İndeksi)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
MYD10A1	: Aqua Snow Cover Daily L3 Global 500m (Küresel 500m Seviye-3 Aqua Kar Örtüsü)
MYD10A1F	: Aqua CGF Snow Cover Daily L3 Global 500m (Küresel 500m Seviye-3 Aqua Bulutsuz Kar Örtüsü)
IMS	: Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (İnteraktif Çok Sensörlü Kar ve Buz Haritalama Sistemi)

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Nüfus artışı, şehirleşme, çevresel kirlilik ve iklim değişikliği gibi çeşitli nedenler, su kaynakları üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle, su döngüsü bileşenlerinin mekansal ve zamansal değişkenliğini kontrol eden faktörlerin havza bazında bilinmesi, su kaynaklarının yönetimini ve planlanmasını iyileştirmek için kritik bir öneme sahiptir (Tong vd., 2021). Su döngüsü, birbiriyle etkileşimde bulunan karmaşık süreçleri içerir ve bu süreçleri tahmin etmek için hidrolojik modellere ihtiyaç duyulur. Hidrolojik modeller, farklı özelliklere sahip havzaların yağış tepkisini, genel havza davranışını ve mevsimsel değişkenliğini anlamak için bir yol sağlar. Havzaların mekansal olarak heterojen özelliklere sahip karmaşık sistemler olduğu gerçeği göz önüne alındığında onların basitleştirilmiş temsilleri olan hidrolojik modeller, karmaşık fiziksel yapısı, birçok model parametresi ve geniş yer gözlem verileri talebi ile parametre belirsizliği, girdi belirsizliği ve yapı belirsizliği gibi sorunları beraberinde getirir.

Örneğin, dünya genelinde birçok bölgede doğal rezervuarlar olarak işlev gören kar erimesi, su döngüsü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ancak, karla beslenen havzalarda bulunan yer gözlem istasyonları genellikle yetersizdir ve bu durum veri erişiminde bir belirsizlik oluşturur. Hidrolojik modellerin sahip olduğu parametrelerin çoğu, en basit haliyle hidro-meteorolojik girdiler yardımıyla elde edilen simülasyon akımını, gözlenen akıma en uyumlu hale gelecek şekilde kalibre edilerek bulunur. Bu parametrelerin farklı bir veri seti ile doğrulaması yapılarak güvenilirliği artırılmaya çalışılır. Ancak, farklı modellerin içerdiği modüllerin de kendi içerisinde tutarlı ve güvenilir olması önemlidir. Sadece akıma göre yapılan modelleme ile bu durumu test etmek oldukça zordur. Bu tür belirsizlikler, hidrolojik süreçlerdeki değişiklikleri doğru bir şekilde yansıtmayı zorlaştırabilir (Moges vd., 2021).

Uydu gözlemlerindeki ilerlemeler hidrolojik model simülasyonlarını iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Özellikle yer gözlemlerinin yetersizliğinde hidrolojik modellerin uydu görüntüleri ile desteklenmesi model parametrelerinin tahmininde belirsizliğin azaltılmasına yardımcı olur.

Tüm bu bilgiler dahilinde, havzalarda yapılacak olan hidrolojik modellemenin önemi ise şu şekilde açıklanabilir:

- Yer gözlemlerinin yetersizliğinden kaynaklanan girdi belirsizliğini uydu görüntüleri kullanarak azaltmaya çalışmak (kesikli-sürekli veri),
- Akımın yanısıra uydu görüntülerinden elde edilen gözlemlerin modele dahil edilerek model içsel başarısını artırmak ve daha güvenilir bir model yaklaşımı elde etmek,
- Uydu görüntülerinden elde edilen gözlemlerin model parametrelerinin belirlenmesine yardımcı olarak akım parametreleri dışında diğer modüllerde yer alan parametrelerin belirsizliğini azaltmaya çalışmaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Su döngüsünün iyi anlaşılması, su yönetimi ve planlamasına ilişkin kararlar için bir temel sağlar. Hidrolojik modelleme, su döngüsünün daha iyi anlaşılmasına yardımcı olan bir araçtır ve dağlık bölgelerde hidrolojik süreçlere dair bilgiler sunar. Bu durum, hidrolojik döngünün geçmiş değişikliklerini daha iyi anlamaya ve olası gelecekteki değişiklikleri tahmin etmeye yardımcı olur.

Türkiye'nin doğusu topoğrafik olarak dağlık alanlardan oluşmaktadır ve yağışlar genellikle kar olarak düşmektedir. Bu bölgelerde yer alan havzalarda akımın çoğunluğu kar erimesinden meydana gelmektedir. Bu nedenle, kar erimesinden oluşan akımların miktarının ve zamanlamasının tahmin edebilmek, su kaynaklarını etkili ve verimli bir şekilde yönetmeyi mümkün kılar.

Bu amaç doğrultusunda yapılan bu tez çalışması, Türkiye'nin dağlık kesimlerinde yer alan Seyhan ve Aras havzalarının alt havzaları olan Çukurkişla ve Kayabaşı havzalarında uydu görüntüleri destekli bir hidrolojik modelleme çalışması yapmaktır.

Bu modelleme çalışması ile elde edilmeye çalışılan hedefler ise şunlardır:

- Hidrolojik modelleme çalışmalarında oldukça sık kullanılan ve başarılı sonuçlar veren MODIS kar örtüsünün yeni bulutsuz ürününün (MOD10A1F) hidrolojik modelleme çalışmalarında nasıl bir katkı sunacağını,
- Kar örtüsünün yanısıra toprak nemi uydu görüntüsü olan SMAP ürününün dağlık havzalarda kullanılmasının model içsel başarısında iyileştirme sağlayıp sağlamayacağını ve
- Bu iki ürünün kavramsal bir hidrolojik modelin çok amaçlı kalibrasyonunda ve doğrulamasında kullanılma potansiyelini test etmektir.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır:

Bölüm iki, çalışmanın temel yapı taşlarını oluşturan uzaktan algılama ve hidrolojik modelleme ile ilgili genel bilgilerin literatür çalışmaları ile desteklenerek açıklandığı kısımdır. Bu kısımda hangi uydu görüntülerinden yararlanıldığı ve hangi modelin kullanıldığı, bunların neye göre seçildiği anlatılmıştır.

Bölüm üç, bölüm ikide açıklanan bilgilerin bu çalışmada nasıl kullanıldığını anlatan kısımdır. Bu bölüm iki kısma ayrılmıştır. İlk kısımda uzaktan algılama ürünleri ile Türkiye ve bölgeleri bazında bir analiz çalışması yapılmıştır. İkinci kısımda ise uydu görüntülerini havza bazında kullanarak bir hidrolojik modelleme çalışması yapılmıştır.

Son kısım olan bölüm dört ise, bölüm üçte elde edilen sonuçların özetlendiği kısımdır. Bu kısımda çok kriterli modelleme sonucunda elde edilen bilgiler sunulmuş ve ilerleyen zamanlarda yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. MATERYAL VE METHOD

2.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, yeryüzünün ve yeryüzü kaynaklarının fiziksel bir bağlantı olmadan incelenip yer yüzeyi hakkında bilgi edinilmesini sağlayan tekniğin adıdır. Bu teknik çok eskiye dayandığı için günümüze kadar farklı bilimsel çalışmalarda kullanılmıştır. Hidroloji alanında da gittikçe gelişen farklı amaçlı uyduların kullanılması, su kaynaklarını anlama ve yönetme süreçlerinde uzaktan algılamanın kritik bir rol oynamasını sağlamıştır.

2.1.1. Kar

Kar örtüsü, Dünya'nın yüzeyi ile atmosfer arasındaki ısı alışverişini, enerji dengesini ve sıcaklığını düzenlemeye yardımcı olur. Yüksek yansıtma özelliği (albedo), yüksek termal yayılım, düşük ısı iletkenliği ve su depolama kapasitesi nedeniyle kar, hidrolojik döngü ve iklim değişikliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle yüksek rakımlı bölgelerde kar; kar erimesine ve zamanlamasına bağlı olarak akarsuların beslenmesine ve yeraltı su kaynaklarına katkıda bulunurken aynı zamanda da rezervuarları doldurmaya yardımcı olur. Dolayısıyla, yükseltinin fazla olduğu bölgelerde kar erimesinin önemi ve karla kaplı bölgelerin su kaynakları üzerindeki potansiyel etkisi göz ardı edilmemelidir.

Hidrolojik olarak önemli ve kritik kar ölçümleri; kar derinliği (snow depth), kar suyu eşdeğeri (snow water equivalent) ve karla kaplı alan (snow cover area)dır. Kar derinliği; yerde bulunan kar miktarı, kar suyu eşdeğeri; kar yığınının erimesi durumunda mevcut olan toplam su miktarı ve karla kaplı alan herhangi bir zamanda karla kaplı arazi miktarı olarak tanımlanabilir.

Kar, hem zaman hem de mekan açısından oldukça değişkenlik gösterir çünkü bu değişkenlik yağış miktarı, sıcaklık ve nem gibi faktörlerden etkilenir. Özellikle dağlık alanlarda, karmaşık topografya ve bitki örtüsündeki farklılıklar, kar erime ve birikme süreçlerini etkiler (Largeron vd., 2020).

Bölgesel ve yerel ölçeklerde kar dağılımının mekansal olarak değişken doğası ile geniş mevsimsel kapsam göz önüne alındığında, kar derinliği ve kar suyu eşdeğeri ölçen yer tabanlı istasyonlar yeterli bilgi sağlayamamaktadır çünkü bu istasyonlarda ölçülen kar derinliği ve kar suyu eşdeğeri bulunduğu noktayı ve yakın çevresini temsil eder.

Aynı zamanda bu istasyonlardan elde edilen veriler genellikle kesikli verilerdir. Daha geniş alanlara hakim olabilmek için uydu görüntülerinden elde edilen sürekli verilere ihtiyaç vardır. Mikrodalga uydu gözlemlerine dayanan küresel ve kıtasal ölçekli kar suyu eşdeğeri tahminleri mevcuttur ancak bu ölçümler ile elde edilen kar suyu eşdeğeri, su kaynakları yönetimi ve akış tahmini gibi bilimsel ve yüksek sosyo-ekonomik değere sahip uygulamaları ele almak için gereken uzamsal ve zamansal çözünürlüklerde bir bilgi sağlayamamaktadır (Tsang vd., 2022). Örneğin, GlobSnow adlı bir proje, mikrodalga ve saha ölçümlerini birleştirerek küresel kar yoğunluğunu izlemektedir ancak GlobSnow, dağlık bölgelerdeki kar yoğunluğu değişikliklerini doğru bir şekilde tespit etmek için yetersizdir (Wrzesien vd., 2017). Kar suyu eşdeğeri ölçümlerindeki sınırlamalarından ötürü, bu ürünler karla kaplı alan ürünlerine kıyasla literatürde daha az kullanılmaktadır (Dietz vd., 2012).

Kar yüksek bir yansımaya sahiptir bu yüzden diğer yaygın yeryüzü malzemelerine göre benzersiz ve spektral olarak değişen yansıtma özelliği, karla kaplı alanın uzaydan haritalanması için temel oluşturur (Nolan, 2010). Karın uydu görüntülerinde tespit edilmesi için çeşitli mekansal çözünürlüklere ve dalga boylarına sahip pasif mikrodalga, optik ve radar sensörleri kullanılabilir. Kar örtüsü ürünleri için uzaktan algılama tekniklerinin seçimi istenilen zamansal ve mekansal çözünürlüğe göre değişir. Kar takibinde kullanılan her sensörün birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Örneğin, görünür ve yakın kızılötesi bölgelerde çalışan orta çözünürlüklü optik görüntüleyiciler, kar örtüsünü düzenli ve verimli bir şekilde gözlemlemek için uygun bir seçenektir çünkü pasif ve aktif mikrodalga ürünlerine göre daha iyi bir çözünürlüğe sahiptir. Optik görüntüleyiciler buluttan etkilenir ve özellikle dağlık bölgelerde kış aylarında elde edilen görüntüler bulut tarafından maskelenir ve bu durum karın doğru tespit edilmesini zorlaştırabilir. (Parajka ve Blöschl, 2008).

Pasif ve aktif mikrodalga ürünleri ise buluttan etkilenmez ancak kaba bir mekansal çözünürlüğe sahiptir. Dolayısıyla, karla kaplı alanın haritalanmasında orta ölçekli mekansal ve günlük zamansal çözünürlüklü aynı zamanda buluttan etkilenmeyen veya bulutsuz görüntü elde edilmesi açısından filtrelemeye sahip optik uydu görüntüleri tercih edilmektedir (Ertaş, 2020).

Literatürde görüntüdeki bulut etkisini azaltmak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler; mekansal yöntemler, zamansal yöntemler, mekansal-zamansal yöntemler ve çok kaynaklı füzyon yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Li vd., 2019).

En çok kullanılan mekansal yöntemlerden biri, bulutlu bir pikseli belirli kurallar doğrultusunda bulutsuz piksellerle değiştirme yöntemidir. Diğer bir yöntem ise kar birikmesi sonucu oluşan tabakanın (snowpack) yükseklik dağılımına göre bulutlu pikselleri kar veya kara olarak yeniden sınıflandıran kar çizgisi haritalama (snow line mapping) yöntemidir. Zamansal yöntem, bulutlu pikselleri kar örtüsünün zamansal korelasyonuna ve değişim kuralına göre yeniden sınıflandırır. MODIS Terra ve Aqua uydu görüntülerini birleştirerek bulutsuz görüntü elde etmek bu yöntemle örnektir. Mekansal-zamansal yöntemler ise bahsedilen iki yöntemin bir arada kullanılmasıdır. Terra ve Aqua uydularının günün farklı saatlerini görüntülemesi ve bulutların hareket etmesi nedeniyle, Terra veya Aqua MODIS verilerinin tek başına kullanılmasına kıyasla, her iki uydudan elde edilen veriler kullanılarak çoğu zaman daha fazla kar örtüsü veya karla kaplı olmayan arazi örtüsü görüntülenebilir (Hall vd., 2019).

Örneğin Parajka ve Blöschl (2008) MODIS Terra ve Aqua uydu görüntülerini birleştirip bulutla kaplı olmayan komşu piksellerden gelen bilgileri kullanarak bir bulut kaldırma filtrelemesi yapmış ve elde edilen veri setini yer gözlemleriyle uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Benzer çalışmaları Tekeli ve Tekeli (2012); Dariane vd. (2017); Mattar vd. (2022) yapmışlardır. Diğer bir yöntem olan çok kaynaklı füzyon yöntemleri ise iyi çözünürlüklü optik görüntüleri, kaba çözünürlüklü pasif mikrodalga görüntüleriyle (Akyürek vd., 2010; Deng vd., 2015; Yu vd., 2016; Li vd., 2019) veya uzun dönemli kesintisiz istasyon gözlemleriyle (Gafurov vd., 2015) harmanlayarak bulutsuz görüntü elde etme yöntemidir.

Bu çalışmada mekansal yöntemlerle bulutsuz görüntülerin elde edildiği, nesnelerin yansıttığı elektromanyetik radyasyonu algılayarak bilgi edinme yöntemi olan pasif optik uydu görüntüsü MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) kullanılmıştır.

2.1.1.1. MODIS: Orta çözünürlüklü görüntüleme spektoradyometresi

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektoradyometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS), 1970'lerin ortalarında, Dünya'yı zamansal ve mekansal ölçeklerde incelemeye yönelik artan ihtiyaç sonucu yeni bir sensör konsepti geliştirmek üzere ortaya çıktı. O zaman kurulan MODIS ekibi iki sensör gerektiren bir MODIS konsepti geliştirdi. Bunlardan ilki, Protoflight Modeli (PFM), Haziran 1997'de tamamlandı ve EOS-AM uzay aracıyla test edildikten sonra 18 Aralık 1999'da saat 10:30'da alçalan yörüngeye yerleştirildi. İkinci olan Flight Model 1 (FM1), 4 Mayıs 2002'de EOS-PM uydusunda saat 13.30'da yükselen yörüngeye fırlatıldı (Barnes ve Salomonson 1992). Fırlatmadan sonra, EOS-PM ve EOS-AM uydularının adı sırasıyla "Terra" ve "Aqua" oldu. Üretilen ilk Terra verileri erken sürüm ürünleriydi. İşlenen ilk Aqua verileri de geçici kalitedeydi. Hem Terra hem Aqua verilerinin tekrardan işlenmesi Haziran 2005'te başladı ve yüksek kalitede onaylanmış ürünler ortaya çıktı. Bu uydulardan karla kaplı arazi yüzeyini, karsız arazi ve bulutlardan ayırt edecek algoritmalar geliştirilip farklı çözünürlüklerde ve projeksiyonlarda sunulan, MODIS kar ürünleri elde edildi (Hall vd., 2002; 2004). Bu kar haritalama algoritması, karı piksel bazında tanımlamak ve sınıflandırmak için Normalleştirilmiş Fark Kar İndeksi (NDSI) tekniğini kullanır (Hall vd., 2001). NDSI, karın görünür dalga boyları (0,4-0,7 µm) ve kısa kızılötesi bölge (1-4 µm) arasındaki karakteristik yansıma farkının göreceli büyüklüğünün bir ölçüsüdür. MODIS sensörü için NDSI, karın görünür dalga boyunda bilgi veren Bant 4 (B4, 0,555 µm'de merkez) ve yakın kızıl ötesi dalga boyunda bilgi veren Bant 6 (B6, merkez 1,640 µm) kullanılarak belirlenir (Denklem 2.1).

$$NDSI = \frac{B4 - B6}{B4 + B6} \quad (2.1)$$

MODIS Terra ve Aqua uydularından elde edilen kar haritaları birbirinden farklıdır çünkü Aqua uydusunda bant 6 teknik bir sebepten ötürü kullanılamamaktadır. Bu sorunu aşmak için, Aqua uydusu kar haritalama algoritmalarında bant 7 kullanılır (Hall ve Riggs, 2007).

NDSI karı çoğu örtücü buluttan ayırabilirken, optik olarak ince sirrus bulutlarını her zaman kardan ayırt edemez (Hall vd., 2001). Kar haritalamalarında bant 6 önemli olduğundan ve NDSI algoritmasının ince sirrus bulutlarını ayırt edememesinden kaynaklı, Aqua uydusunda Terra uydusuna göre daha fazla bulut-kar ayırım hatası vardır (Hall vd., 2019). Bu durum, bulut örtüsünün, kar örtüsünün doğru bir şekilde haritalanmasını etkileyen en önemli faktör olduğunu göstermektedir.

Görünür/yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi sensörlerden elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan kar örtüsü haritalarında, bulutlar genellikle boşluklar yaratır. Bulut sorununu hafifletmenin bir yolu bulut boşluğunu doldurmaktır. MODIS ürünlerinde bu bulut boşluğunu doldurmak için mekansal, zamansal veya füzyon yöntemleri kullanılarak bulutsuz görüntüler elde edilebilir.

MODIS kar ürünleri, seviye 2'den başlayarak birçok versiyonda sunulmaktadır. Seviye 2 ürünleri altlık ürünlerdir. Versiyonlar ise en güncel veri setini temsil etmektedir. Tablo 2.1 ve 2.2'de güncel olarak kullanılan MODIS Terra ve Aqua ürünleri gösterilmektedir. Bu ürünler versiyon 6.1. ürünleridir.

Tablo 2.1. MODIS terra kar örtüsü ürünleri, (<https://nsidc.org/data/modis/data>, erişim tarihi: 04/06/2023)

Ürün Kodu	Zamansal Kapsam	Mekansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük
MOD10A1	24 Şubat 2000 Günümüz	500m x 500m	Günlük
MOD10A1F	24 Şubat 2000 Günümüz	500m x 500m	Günlük
MOD10A2	18 Şubat 2000 Günümüz	500m x 500m	8-Günlük
MOD10C1	24 Şubat 2000 Günümüz	0.05° x 0.05°	Günlük
MOD10C2	18 Şubat 2000 Günümüz	0.05° x 0.05°	8-Günlük
MOD10CM	1 Mart 2000 Günümüz	0.05° x 0.05°	Aylık
MOD10_L2	24 Şubat 2000 Günümüz	500m x 500m	5-Dakika

Tablo 2.2. MODIS aqua kar örtüsü ürünleri, (<https://nsidc.org/data/modis/data>, erişim tarihi: 04/06/2023)

Ürün Kodu	Zamansal Kapsam	Mekansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük
MYD10A1	4 Temmuz 2002 Günümüz	500m x 500m	Günlük
MYD10A1F	4 Temmuz 2002 Günümüz	500m x 500m	Günlük
MYD10A2	4 Temmuz 2002 Günümüz	500m x 500m	8-Günlük
MYD10C1	4 Temmuz 2002 Günümüz	0.05° x 0.05°	Günlük
MYD10C2	4 Temmuz 2002 Günümüz	0.05° x 0.05°	8-Günlük
MYD10CM	4 Temmuz 2002 Günümüz	0.05° x 0.05°	Aylık
MYD10_L2	4 Temmuz 2002 Günümüz	500m x 500m	5-Dakika

Mevcut optik tabanlı kar örtüsü ürünleri (AVHRR,VIRR gibi) arasında MODIS ürünleri, buz ve kar araştırmaları için ana veri kaynaklarından biri haline gelmiştir çünkü MODIS ürünleri, mekansal ve zamansal çözünürlük, küresel kapsama alanı, uzun zaman serileri ve ücretsiz erişim gibi avantajlara sahiptir (Li vd., 2019). Bu gibi avantajlarından ötürü literatürde birçok farklı çalışmaya konu olmuştur. Özellikle bilimsel çalışmalarda kullanılan uydu görüntülerinin, yer gözlemleri ve farklı uydu görüntüleri ile de yüksek uyum göstermesi oldukça önemlidir. MODIS ürünleri de çeşitli çalışma alanlarında gerçekleştirilen doğrulama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmıştır. Örneğin, Parajka ve Blösch (2006) Avusturya’da yaptıkları çalışmada MODIS kar ürünlerindeki bulutların, görüntülenen alanın %63’ünü kapladığını ancak bulutsuz günlerde sınıflandırma doğruluğunun çok iyi olduğu bulmuşlardır. Aynı zamanda aylık hata oranları incelendiğinde kış aylarının yaz aylarına göre daha fazla hata içerdiğini, bunun sebebinin ise bulut kar ayrımının iyi olmamasından kaynaklanan yanlış sınıflandırma olduğunu göstermişlerdir. Şorman vd. (2007) benzer bir çalışmayı Türkiye Karasu Havzası için yapmışlardır. Yer gözlemlerinin tarihinden 1 ve 2 günlük kaydırma uygulayarak, bulut örtüsünde %37’den %28’e (1 günlük) ve %18’e (2 günlük) bir azalmaya neden olduğunu göstermişlerdir.

Tuttu ve Kuter (2020) yaptıkları çalışmanın bir kısmında Türkiye için MOD10A1 kar ürününü, optik uydu görüntüsü olan Sentinel-2 uydu görüntüsü ile karşılaştırmışlardır ve MOD10A1 ürününün genel olarak iyi bir performans sergilediği ancak bazı mevsimsel değişkenliklerin olduğu sonucuna varmıştır. Dong ve Menzel (2016) Almanya’da Ren ve Tuna nehri yukarısında kalan bir bölge için kış aylarında bulutların neden olduğu eksik kar verilerini tamamlamak için yer istasyonlarından yararlanarak bulutsuz MODIS ürünü elde etmişlerdir. Aqua ve Terra ürünlerini birleştirerek bulut örtüsünün azaltılması hedeflenmiş ve buna ek olarak yerinde ölçülen kar derinliği verilerine dayalı olarak MODIS kar haritalarındaki bulut örtüsünün yeniden sınıflandırılması için koşullu olasılık interpolasyonu kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar ile orijinal MODIS ürünleri arasında yüksek doğruluk olduğunu ve yer tabanlı ve uydu tabanlı kar gözlemlerinin birleştirilmesinin, bulutsuz uzaktan algılama kar verileri oluşturmak için etkili bir yaklaşım olduğunu göstermişlerdir.

Li vd. (2019) Orta Asya'daki Tianshan Dağları'nda Terra ve Aqua sensörlerini birleştirerek bulut etkisini azaltmayı hedeflemişler ve birleşimden arda kalan bulutları IMS ürünü ile karşılaştırarak değiştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre iyileştirilmiş MODIS ürün verilerinden elde edilen yıllık ortalama kar örtüsünün, orijinal MODIS ürününden %31.5 daha yüksek olduğunu, yerinde gözlemlerle gerçekleştirilen doğrulama sonucunda ise kar doğruluğunun %82 olduğunu göstermişlerdir. Genel olarak yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde ve benzer çalışmalara bakıldığında MODIS orijinal ürünlerinin direkt olarak kullanılması yerine bir bulut temizleme yöntemlerine başvurulmuştur. Orijinal MODIS ürünleri yeterli bir doğrulamaya sahip olsa da özellikle karın yoğun olduğu bölgelerdeki hidrolojik çalışmalarda kullanılması tavsiye edilmez. Bu sebepten, MODIS kar ürünün yer gözlemleri ile yüksek doğrulukta olması, bir bulut filtresinin uygulanabilmesi hidrolojik çalışmalarda en çok kullanılan uydu görüntüsü olmasına olanak sağlamıştır (Bakınız: Bölüm 2.3).

Tüm bu bulut temizleme çalışmalarına ek olarak NASA, MODIS ürünlerinin yeni versiyonunda (Koleksiyon 6 ürünleri) MOD10A1F ve MYD10A1F olarak adlandırılan iki ürün sunmuştur. Bu ürünler sırasıyla Terra ve Aqua ürünleri olup MOD10A1 ve MYD10A1 altlığı kullanılarak yapılmış, bulut boşluğu doldurulmuş ürünlerdir. Bulut boşluğu doldurma, bulutu azaltılmış veya bulutsuz kar haritaları sağlayan bir başka yaygın yöntemdir. Bulut boşluğu doldurma işlemi her gün bulutsuz bir kar haritası sağlasa da, piksel düzeyinde verilen herhangi bir kararın doğruluğu kısmen kar var ya da kar yok kararına bağlı olduğu unutulmamalıdır (Hall vd., 2019). Diğer bir sınırlama ise eğer bulut maskesine göre bir piksel bulutluysa, bulut boşluğu algoritması son açık günün kar haritalama sonucunu kullanır, bu nedenle bir kar yağışı meydana gelmişse ve bulutlar dağılmadan önce yerdeki kar erimişse kar örtüsü haritalanamayabilir (Riggs vd., 2019).

Bu çalışmada, Geotiff veya HDF formatında üç farklı projeksiyon (Sinüzoidal, UTM ve Coğrafi) seçeneği sunularak paftalar halinde indirilebilen MODIS/Terra veri seti (MOD10A1F) (<https://nsidc.org/data/mod10a1f/versions/61>) kullanılmıştır. MOD10A1F veri dosyası üç farklı bilimsel veri kümesi ve iki farklı kalite alanı içerir. Bunlar Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. MODIS MOD10A1F veri setleri

Bilimsel Veri Kümesi	Kalite Alanı
NDSI Karla Kaplı Alan (NDSI Snow Cover-MOD10A1)	Temel Kalite Değerlendirilmesi (Basic QA)
Bulut Boşluğu Doldurulmuş (Cloud-gap-filled-MOD10A1F)	Algoritma Kalite Değerlendirilmesi (Algorithm Flags QA)
Bulut Kalıcılığı (Cloud Persistence)	

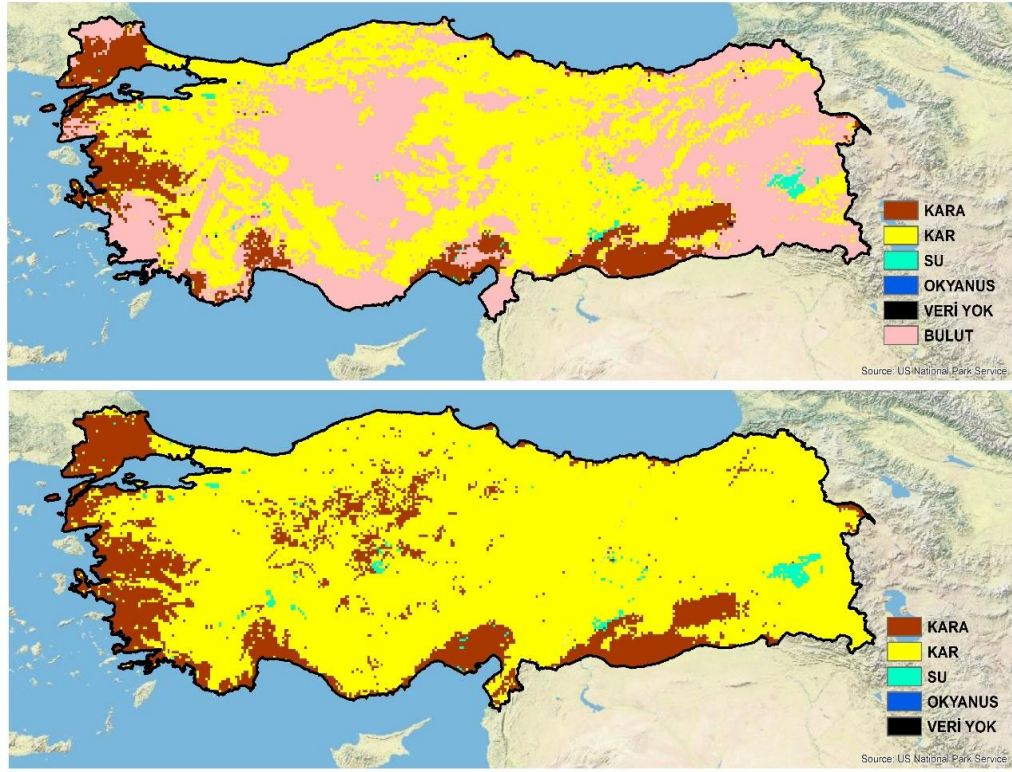
Kalite alanları işlenen pikseller için genel kalite tahmini ve yanlış veya belirsiz kar tespitlerini belirlemek için uygulanan veri taramaları için hazırlanmıştır (Hall ve Riggs 2020). Bilimsel veri kümeleri ise normalleştirilmiş fark kar indeksi kullanılarak elde edilen kar örtüsü ve bulut örtüsü tarafından gizlenen hücresel raster verilerinden oluşur. Bulut boşluğu doldurulmuş ürünler ise yüzeyin önceki günlerdeki açık gökyüzü görünümünden yararlanarak bulut gözlemlerini bulutsuz gözlemlerle değiştirilmesiyle elde edilen bir veri setidir. Bulutsuz günlük MODIS/Terra kar haritası, mevcut MOD10A1 günündeki bulut gözlemlerinin MOD10A1F'ye en yakın bulutsuz gözlemle değiştirilmesiyle oluşturulur (Hall vd., 2019).

MOD10A1 Terra kar Örtüsü, hücresel değerlerin 0 ile 255 arasında değiştiği raster verilerinden oluşur. Tablo 2.4’de bu değerlere karşılık gelen sınıflar açıklanmıştır. Bu sınıfların çok ve detaylı olmasından dolayı bu çalışma için yeniden sınıflandırma yapılarak az ve kullanışlı sınıflar oluşturulmuştur. 0 ile 100 arasındaki değerler kar kısmını temsil eder. Sıfır değeri (0) arazide hiç kar yok, yüz değeri (100) ise arazinin tamamen karlı kaplı olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 2.4. MOD10A1 sınıflandırma tablosu

Sınıf Numarası	Sınıf Adı	Yeni Sınıf Numarası	Yeni Sınıf Adı
0	Kara	0	Kara
10	Kar	0	Kara
100	Kar	1	Kar
200	Eksik Veri	5	Veri Yok
201	Kararsız	5	Veri Yok
211	Gece	5	Veri Yok
237	Su Birikintisi	3	Su Birikintisi
239	Okyanus	4	Okyanus
250	Bulut	6	Bulut
254	Sensör Hatası	5	Veri Yok
255	Veri Yok (Fill)	5	Veri Yok

Bulutsuz kar örtüsü görüntüleri de (MOD10A1F) aynı değerlere sahiptir. Örneğin 250 değeri için bulut tanımlaması yapılmıştır ancak hücresel değerlerde 250 değerine tekabül eden raster verisi yoktur. Şekil 2.1’de 28 Ocak 2022 tarihli Türkiye kar haritası görülmektedir. Bu haritalar sırasıyla yoğun bulut örtüsünü gösteren MOD10A1 kar haritası ile MOD10A1 haritasına karşılık gelen MOD10A1F (bulut boşluğu doldurulmuş) kar haritasıdır.



Şekil 2.1. 28 Ocak 2022 Türkiye MOD10A1 (üst) ve MOD10A1F (alt) kar haritaları

Diğer MODIS ürünlerinde olduğu gibi bu ürünlerle de doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Örneğin, Hall vd. (2019) batı Amerika’da yaptıkları çalışmada 500m çözünürlüklü MODIS bulutsuz ürünü ile 375m çözünürlüklü bulutsuz VIIRS ürününü karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre bu iki ürün arasında yüksek uyum gözlenmiş ve Terra ürününün Aqua ürününden daha doğru olduğu sonucunu bulmuşlardır. Hao vd. (2022) Çin’de yaptıkları çalışmanın bir kısmında yeni bulutsuz MODIS ürünlerinin kar sezonlarında yer gözlemleri ile yüksek doğrulukta olduğunu özellikle Aqua bulutsuz ürünlerinin, normal MODIS ürünlerinden daha yüksek doğrulukta olduğunu bulmuşlardır. Yuan vd. (2022) Qinghai-Tibet Platosu’nda yaptıkları çalışmada bulutsuz Terra ve Aqua MODIS ürünlerini birleştirerek Landsat görüntülerinden elde edilen kar haritaları ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre birleşmiş ürün ile Landsat arasında yüksek doğrulukta uyum olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada MODIS bulutsuz kar ürününü yanısıra bulut kalıcılığı ile ilgili de çalışmalar yapılmıştır. Bulut kalıcılığı da kar örtüsü gibi hücresel değerlerin 0 ile 255 arasında değiştiği raster verilerinden oluşur. 0 değerindeki bir bulut kalıcılığı bulutsuzluğu temsil eder. 1 değerindeki bir bulut kalıcılığı, mevcut gözlemin o gün bulutlu olduğu söyler. Birden büyük bir bulut kalıcılığı değeri ardışık bulutlu günlerin sayısını belirtir. Buradaki sınıflandırma kardaki gibi çok olmadığı için orijinal sınıflandırma korunarak yeniden sınıflandırma yapılmıştır.

2.1.1.2. IMS: İnteraktif çok sensörlü kar ve buz haritalama sistemi

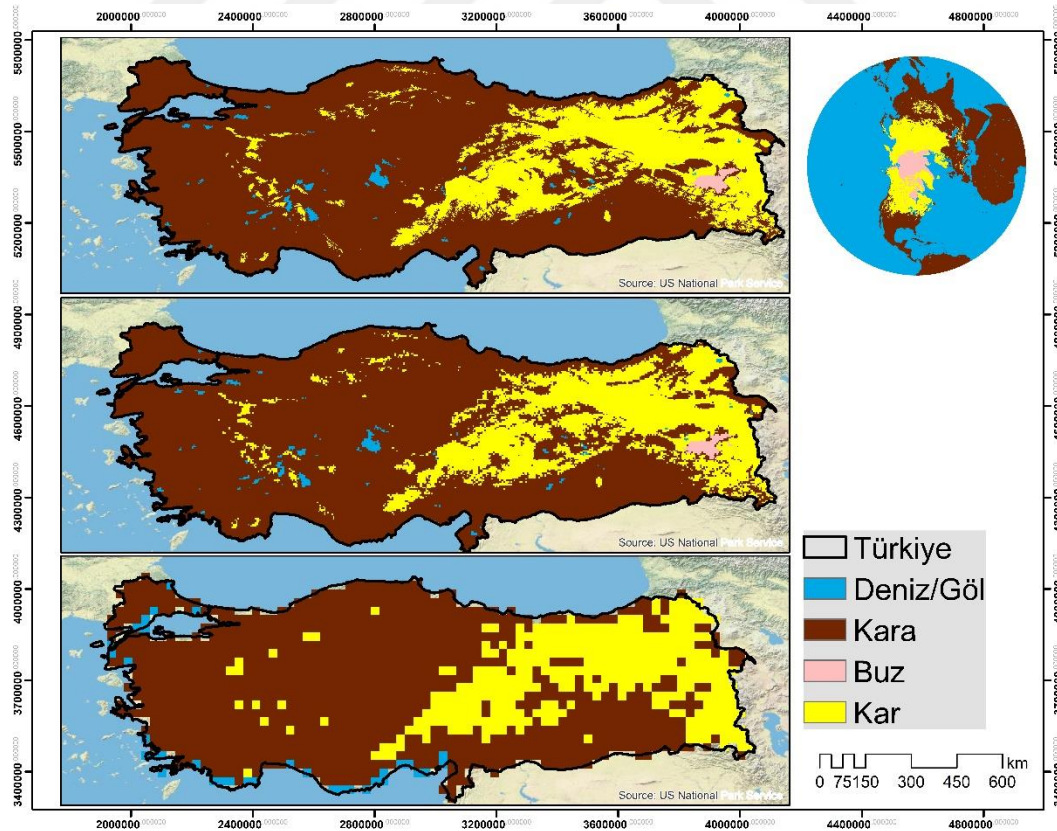
En yaygın kullanılan kar örtüsü veri setlerinden biri Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi Ulusal Çevre Uydu Veri ve Bilgi Servisi (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından İnteraktif Çok Sensörlü Kar ve Buz Haritalama Sistemi (Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System, IMS) kapsamında oluşturulan kar ve buz örtüsü haritalarıdır (Helfrich vd., 2007).

IMS haritaları günlük olarak mevcuttur ve Kuzey Yarımküre'yi yaklaşık 1 km (2014'ten beri) , 4 km (2004'ten beri) ve 24 km (1997'den beri) uzamsal çözünürlükte kapsamaktadır.

IMS uydu görüntüleri ASCII ve GeoTIFF formatlarında saklanmaktadır. IMS kar örtüsü 0, 1, 2, 3 ve 4 olarak kodlanmıştır. Bu değerler sırasıyla Kuzey Yarımküre dışında kalan kısımlar, deniz veya iç sular, karsız arazi, buzul ve karla kaplı araziye temsil eder. ASCII veri dosyalarındaki değerlerin çoğu 0 ile 4 arasında değişen bir basamaklı tam sayılardır, bu paketlenmiş form olarak bilinir. Bununla birlikte, 24 km ASCII veri dosyalarının küçük bir kısmı (1997-1998 yıllarının bazı günleri) bir basamaklı yerine üç basamaklı tamsayı olan değerler içerir; bu paketlenmemiş form olarak bilinir. Bu iki kodlamanın tek farkı buz ve kar sınıfını sayısal olarak farklı değer ile temsil etmesidir. Örneğin 3 değeri 164 ile, 4 değeri 165 ile temsil edilmiştir (U.S. National Ice Center, 2008).

Pasif mikrodalga sensörleri kullanan uydu gözlemleri kaba bir uzamsal çözünürlüğe sahiptir. Bununla birlikte, çoğu bulut türünden etkilenmezler. IMS kar örtüsü görüntüleri çok çeşitli uydu görüntülerinden, haritalanmış ürünlerden ve yerinde kar gözlemlerinin harmanlanmasıyla elde edilmiştir. Çeşitli özelliklerdeki farklı verilerin kullanılması sayesinde IMS uydu görüntüsü hem buluttan arındırılmış olarak hemde kar örtüsü özelliklerinin mekansal olarak sürekli (boşluksuz) olacak şekilde sunulmaktadır (Chiu vd., 2020). IMS kar ürünleri, literatürde genel olarak bulut arındırma işlemlerinde kullanılmıştır. Kar kısmında bahsedildiği üzere farklı uydu görüntüleri ile birleştirilerek bu işlem gerçekleştirilmiştir (Hao vd.,2018; Li vd., 2019).

Şekil 2.2’de 1 km, 4 km ve 24 km çözünürlüklü IMS uydusunun 12 Aralık 2019 tarihli Türkiye kar haritası görülmektedir. Şekil 2.2 incelendiğinde 1 ve 4 km IMS uydularının oldukça benzer bir sonuç verdiği ancak 24 km IMS uydusunun Türkiye bazında iç suları yakalayamadığı ve kıyı kısımlarda kara-su ayrımını iyi yapamadığı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.2 12 Aralık 2019 Türkiye IMS 1 km (üst), 4km (orta) ve 24 km (alt) kar haritaları

Açıkyol (2022) yaptığı tez çalışmasının bir kısmında farklı çözünürlüklere sahip IMS uydu görüntülerini kapsadığı alana göre kıyaslamıştır ve 24 km çözünürlüğe sahip IMS görüntüleri, 1 km ve 4 km çözünürlüğe sahip IMS görüntülerinden daha farklı bir eğilime sahip olduğunu göstermiştir. Ancak alan artıka 24 km çözünürlüğe sahip IMS uydusunun 1 km ve 4 km çözünürlüğe sahip IMS uydusuna benzer bir eğilim gösterdiğini gözlemlemiştir.

Bu çalışmada IMS uydu görüntüleri, yeni bulutsuz Terra MODIS görüntüleri ile karşılaştırmak için kullanılmıştır. Bu sebepten aynı veri aralığını karşılaştırabilmek ve veri sürekliliğini sağlayabilmek için 4 km ve 24 km IMS uydu görüntülerinden yararlanılmıştır.

2.1.2. Toprak nemi

Kara ve atmosfer arasındaki etkileşimler, yüzey ve yüzey altı suyunun mekansal ve zamansal dinamiklerini belirleyen süreçlerin önemli bir parçasıdır (Corradini, 2014). Yüzey katmanındaki toprak nemi ise buharlaşma yoluyla atmosfere su buharı sağlayarak ve enerji akışlarının değişimini kontrol ederek bu etkileşime katkıda bulunur. Toprak nemi, Dünya sistemindeki önemi göz önüne alınarak, Uluslararası İklim Değişikliği Paneli ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi çalışmalarını desteklemek amacıyla Küresel İklim Gözlem Sistemi tarafından 50 Temel İklim Değişkeninden biri olarak listelenmiştir (Mason vd., 2010).

Aynı zamanda hidrolojik süreçleri daha iyi anlamak için kullanılan kilit parametrelerden biridir çünkü buharlaşmanın değişkenliğini kontrol eden en önemli hidrolojik değişkenlerden biri yüzeydeki ve kök bölgesindeki toprak nemidir (Kim vd., 2020).

Genel olarak toprak neminin tespit edilebilmesi için üç farklı yol vardır. Bunlar, yerinde gözlem, uzaktan algılama ve modellenmiş verilerdir. Toprak nemi ölçümlerinin yapılabilmesi için uygulanan en doğru ve geleneksel yöntem, ölçüm istasyonları kullanılarak nokta ölçeğinde hassas zemin değerlendirmeleri ile yapılan yöntemidir. Ancak bu yöntemin en büyük dezavantajı aynı kar ölçümlerinde olduğu gibi istasyonların noktasal ölçekte ölçüm yapabilmesidir.

Toprak nemi hem mekansal hem de zamansal olarak oldukça değişken olduğu için bu tür noktasal ölçümler, mekansal dağılımı temsil etmez. Bu nedenle bölgesel ve küresel ölçekte çalışmaları yürütmek için yetersiz kalır (Wang ve Qu, 2009). Günümüzde yer gözlemlerinin en büyük dezavantajını avantaja çeviren uzaktan algılama ürünleri, geniş alanlarda toprak neminin izlenmesi için mümkün olan en iyi seçenektir. Son yıllarda, toprak nem içeriğini tahmin etmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Genel olarak; optik, termal kızılötesi, sentetik açıklı radar ve mikrodalga uzaktan algılama gözlemleri toprak nemini elde etmek için kullanılabilir. Ancak optik ve termal uzaktan algılama, buluttan etkilenmesi ve toprak nemıyla dolaylı fiziksel bağlantısı nedeniyle doğru ve kesintisiz toprak nemi alımı için sentetik açıklı radar ve mikrodalga uzaktan algılama ürünlerine göre dezavantajlıdır (Scoot vd., 2003).

Mikrodalga uzaktan algılama hem aktif hem de pasif mikrodalga sensörleri içerir. Aktif sensörler arazi yüzeyine doğru mikrodalga enerjisi yayar ve yansıyan enerjiyi ölçer. Pasif sensörler ise arazi yüzeyinden doğal olarak yayılan enerjiyi algılar. Genel olarak, mikrodalga uzaktan algılama ürünleri kaba uzamsal çözünürlüğe sahiptir. Mikrodalga radyometreler, toprak fiziksel sıcaklığı ile orantılı olan toprak yüzeyinden gelen termal emisyonu (parlaklık sıcaklığı) tespit eder. Dünya yüzeyinden yayılan enerji, mikrodalga radyasyonun frekansı ile orantılıdır ve doğal emisyonlar toprak nemine duyarlı frekanslarda çok zayıftır. Bu durum, mikrodalga radyometrelerin zayıf emisyonları tespit etmek için daha geniş bir alana bakması gerektiğinden parlaklık sıcaklığı ölçümlerinin kaba çözünürlüğüne neden olur (Karthikeyan vd., 2017). Pasif radyometreler, kaba uzamsal çözünürlüğe sahip olsalar da sık gözlemler sağlayabilmektedir. Sentetik açıklıklı radar (SAR) gibi aktif mikrodalga sensörleri çok daha yüksek uzamsal çözünürlük sağlayabilir, ancak bitki örtüsü yapısı, yüzey pürüzlülüğü ve su içeriğinin geri saçılma katsayıları üzerindeki birleşik etkileri nedeniyle toprak neminin alınmasında daha fazla zorlukla karşılaşılır (Peng vd., 2021).

Toprak nemi tespiti için genellikle C-bandı (4-8 GHz) ve L-bandı (1-2 GHz) sensörleri kullanılır. Mikrodalga frekansı ne kadar düşük olursa parlaklık sıcaklığının toprak nemine göreceli duyarlılığı o kadar yüksek ve atmosferik bozukluklar gibi diğer bozucu faktörlere duyarlılık o kadar düşük olur (Escorihuela vd., 2016).

Aynı zamanda C bandı kullanan uydular daha az bitki örtüsüne sahip bölgeler için daha uygun olup bitki su içeriğine daha duyarlıdır. Diğer bir yandan L bandı kullanan sensörler yüzeye yakın toprak nem ölçümleri sağladığı için toprak nemine daha duyarlı bulunmuştur (Mohanty vd., 2017). Bu nedenle L-bandı mikrodalga radyometrisi uzaktan algılama ile toprak nemini tahmin etmenin en iyi yolları arasındadır.

Küresel ölçekte mevcut olan birkaç mikrodalga tabanlı toprak nemi ürünü vardır. Küresel toprak nemi ürünleri SMOS (Toprak Nemi ve Okyanus Tuzluluğu), SMAP (Toprak Nemi Aktif Pasif) AMSR-E (Gelişmiş Mikrodalga Taramalı Radyometre Yeryüzü Gözlem Sistemi) ve ASCAT (Gelişmiş Saçılımölçer) gibi uydular çok sayıda sensörden elde edilmiştir. Tablo 2.5’de bu toprak nemi ürünleri özetlenmiştir. Ürünlerin mekansal ve zamansal çözünürlüğü versiyonlara göre farklılık gösterebilir.

Tablo 2.5. *Toprak nemi sensörleri*

Sensör	Zamansal Kapsama	Veri Formatı	Band	Tip	Mekansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük
SMOS	12 Ocak 2010 Günümüz	NetCDF	L	Pasif Radyometre	35-50 km	1-3 gün
SMAP	31 Mart 2015 Günümüz	GeoTIFF	L	Radyometre	9 km	3 saat
AMSR-E	2 Temmuz 2012 Günümüz	HDF- EOS5	C	Pasif Mikrodalga Radyometre	25 km	50 dakika
ASCAT	Ocak 2007 Günümüz	NetCDF	C	Aktif Radar Saçılımölçer	12.5/25 km	1.5 gün

Kaynakça:

SMOS: <https://earth.esa.int/eogateway/catalog/smos-science-products>,
SMAP: <https://nsidc.org/data/spl4smgp/versions/7>,
AMSR-E: https://nsidc.org/data/au_land/versions/1,
ASCAT: https://hsaf.meteoam.it/Products/ProductsList?type=soil_moisture

Uzaktan algılanan toprak nemi ürünlerinin uygulamalarına yönelik sınırlamaları ve hata özelliklerini daha iyi anlamak için ve bu ürünlerin yer gözlemleri veya uydular ile doğrulanmasına yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Mousa ve Shu (2020) yaptıkları çalışmanın bir kısmında, Afrika’da SMAP, SMOS ve ASCAT H113 ürünlerini yer gözlemleriyle karşılaştırmışlardır. Mayıs 2015 ile Aralık 2016 tarihleri arası yer gözlemleri ile karşılaştırdıkları toprak nemi ürünlerinde SMAP’ın diğer ürünlere oranla yüksek korelasyon ve düşük sapma değeri ile yer gözlemleri ile daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır.

Hu vd. (2022)'de Moğolistan'da SMAP ve SMOS toprak nemi ürünlerini 10 cm derinlikteki yer gözlem toprak nemi ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre SMAP'ın Moğolistan bölgesinde daha iyi bir korelasyona sahip olduğunu göstermişlerdir. Burgin vd. (2017) ise SMAP ürünlerini SMOS, Aquarius, ASCAT ve AMSR2 toprak nemi uydu görüntüleri ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre SMOS ve SMAP diğer toprak nemi görüntülerine göre en yüksek korelasyonu göstermektedir. SMAP ve SMOS, düşük bitki örtüsüne sahip arazi örtüsünde daha iyi karşılaştırma yaparken, SMAP ve Aquarius orta derecede bitki örtüsüne sahip arazi örtüsünde daha yakın karşılaştırma yaptıkları, SMAP ve ASCAT ürünlerinin benzer genel eğilimler gösterdiği ancak ASCAT'nin, SMAP'den daha ıslak olma eğiliminde olduğunu, son olarak SMAP ve AMSR2 ürünlerinin toprak nemi eğilimleri ve mekansal modellerinde büyük ölçüde uyumsuzluk olduğunu göstermişlerdir.

Toprak nemi ürünlerinin uydular veya yer gözlemleri ile karşılaştırılmasının yanı sıra kullanıldığı başka konularda vardır. Örneğin, toprak nemi ölçümlerinin hidrolojik model veri asimilasyonlarında kullanmak veya yağış-akış modellemesinde girdi olarak kullanma ve bu tür entegrasyonlar sayesinde sel/kuraklık potansiyeli değerlendirilmesi gibi konularda da önemli bir rol oynamıştır. Örneğin Parajka vd. (2006) yaptıkları çalışmada uydu toprak nemi asimilasyonundan sonra toprak nemi iyileşirken yüzey akışının iyileşmediğini gözlemlemiştir. Boracca vd. (2011) yaptıkları çalışma da kök bölgesi toprak nemi ürünlerinin yüzey akışını iyileştirdiği ancak yüzey bölgesi toprak nemi ürünleri ile sınırlı bir iyileşme gözlemlemiştir. Wanders vd. (2014) yaptıkları çalışmada uzaktan algılanan toprak nemi verilerinin sel tahmin sistemine entegre edilerek sel tahminlerinin doğruluğunun arttırılabileceğini göstermişlerdir.

2.1.2.1. SMAP: Toprak nemi aktif pasif

Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından başlatılan Toprak Nemi Aktif Pasif (Soil Moisture Active Passive, SMAP) uydu misyonu, 31 Ocak 2015 tarihinde fırlatılan dünya bilimi misyonları serisinin bir parçasıdır. SMAP'ın bilimsel amacı, yüksek çözünürlüklü, sık ziyaret edilen, toprak nemini ve donma/erime durumunu küresel olarak gözlemlemektir (Entekhabi vd., 2010). Çünkü dünya çapında çok az sayıda otomatik yerinde ölçüm istasyonunun bulunması ve bunların yalnızca noktasal ölçümler sağlamasından ötürü bir sınırlama söz konusudur. Bu nedenle, SMAP toprak nemi verileri birçok farklı alanda uygulanabilir. Özellikle hidroloji alanında, SMAP verilerinin kullanılması hava tahmini ve iklim modellerinin geliştirilmesine, aynı zamanda toprak nemini izleyerek sel ve kuraklık gibi olayların tahmin edilmesine de yardımcı olabilir.

Tüm toprak türleri mikrodalga radyasyonu yayar ancak su miktarı bu enerjinin ne kadarının yayıldığını değiştirir. Toprak ne kadar kuruyorsa o kadar fazla mikrodalga enerjisi, toprak ne kadar ıslaksa, o kadar az enerji yayar. SMAP L-bandı radar (aktif) ve L-bandı radyometre (pasif) taşımaktadır. L-band ölçümleri, kara yüzeyinin nem ve donma/çözülme koşullarına doğrudan duyarlıdır ve günün her saati, gece veya gündüz, çoğu hava koşulunda yüzeyi gözlemleyebilir. SMAP, L-bandı mikrodalga dalga boyundaki radyasyonu ölçer. Bu dalga boyundaki enerji bulutlara nüfuz eder, bu nedenle SMAP bulutlu koşullardan etkilenmez.

Pasif ve aktif sensörlerin kombinasyonu ile radyometreyle yapılan ölçümlerin hassasiyetine yaklaşan toprak nem haritaları elde edilebilir ancak bu haritalar, radar ve radyometre çözünürlüklerinin arasında bir çözünürlüğe sahiptir (Entekhabi vd., 2010) SMAP radyometresi, toprak mikrodalga emisyonlarını yaklaşık 40 km çözünürlükte 5 cm derinliğine kadar kaydederken, SMAP radarı 3 km çözünürlükte yansıma ölçümlerini gerçekleştirir. Bu iki farklı veri kaynağının kombinasyonu ile dünyayı her 2-3 günde bir kapsayan 9 km çözünürlükte toprak nem ölçümleri elde edilir (Reichle vd., 2022).

SMAP, dört veri seviyesini temsil eden on beş ürüne sahiptir ve Tablo 2.6'da gösterilmiştir. Seviye bir verileri, radar ve radyometre olarak adlandırılan verileridir. Seviye iki ürünleri, uydunun Dünya etrafındaki yörüngesini tamamlarken elde edilen yükselen ve alçalan yörünge segmentlerinden elde edilen jeofiziksel çıkarımları içerir.

Seviye üç ürünleri, seviye iki ürünlerinin jeofiziksel verileri bir araya getirerek dünya çapında birleştirilmiş halini ifade eder. Seviye dört ürünleri ise kök bölgesi toprak nemini ve ekosistemdeki karbon değişimini gösteren verilerin matematiksel modeller kullanılarak türetilmiş model tabanlı ürünlerdir.

Tablo 2.6. SMAP ürünleri

Ürün Adı	Tanım	Çözünürlük	Kapsam
L1A_Radar	Ham Radar Verileri		Yarım Yörünge
L1A_Radiometer	Ham Radiometre Verileri		Yarım Yörünge
L1B_S0_LoRes	Düşük Çözünürlüklü Radar	(5x30 km)	Yarım Yörünge
L1C_S0_HiRes	Yüksek Çözünürlüklü Radar	1 km	Yarım Yörünge
L1B_TB	Parlaklık Sıcaklığı Radyometresi	(39x47 km)	Yarım Yörünge
L1C_TB	Parlaklık Sıcaklığı Radyometresi	36 km	Yarım Yörünge
L2_SM_A	Toprak Nemi (Radar)	3 km	Yarım Yörünge
L2_SM_P	Toprak Nemi (Radyometre)	36 km	Yarım Yörünge
L2_SM_AP	Toprak Nemi (Kombinasyon)	9 km	Yarım Yörünge
L3_FT_A	Donma/Çözülme (Radar)	3 km	45° Kuzey
L3_SM_A	Toprak Nemi (Radar)	3 km	Küresel
L3_SM_P	Toprak Nemi (Radyometre)	36 km	Küresel
L3_SM_AP	Toprak Nemi (Kombinasyon)	9 km	Küresel
L4_SM	Kök ve Yüzey Toprak Nemi	9 km	Küresel
L4_C	Karbon Ağı Ekosistem Değişimi	9 km	Küresel

Birçok hidrolojik uygulama, kök bölge toprak nem ölçümlerine ihtiyaç duyar ancak bu ölçüm doğrudan mikrodalga uzaktan algılama ile elde edilemez. Bu nedenle, bu sınırlamaları ele almak için SMAP Seviye-4 yüzey ve kök bölgesi toprak nemi algoritması, SMAP parlaklık sıcaklığı gözlemlerini NASA Havza Arazi Yüzey Modeli'ne asimile ederek küresel, 3 saatlik kapsama sahip yüzey (0-5 cm) ve kök bölgesi (0-100 cm) ve profil (0 cm'den ana kaya derinliğine kadar) toprak nemi tahminlerinin bir analizini elde eder (Reichle vd., 2017; 2019).

Havza Arazi Yüzey Modeli, doymamış koşullar altında bir dizi Richard denklemi hesaplaması üzerine inşa edilmiş, yüzey ve kök bölgesi arasındaki toprak neminin dikey transferini tanımlamaktadır. Bu model, yağışlar da dahil olmak üzere gözleme dayalı yüzey meteorolojik zorlamaları tarafından yönlendirilir (Reichle vd., 2017).

Reichle vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, SMAP seviye dört ürünü, yerinde ölçümlerle karşılaştırıldığında yüzey ve kök bölge toprak nemleri için $0.04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ altında olan belirsizlik değerleri göstermiştir. Bu değerler, SMAP gibi toprak nem ürünleri için kabul edilebilir doğruluk değeri olarak kabul edilmektedir ve SMAP'ın güvenilir bir ürün olduğunu gösterir.

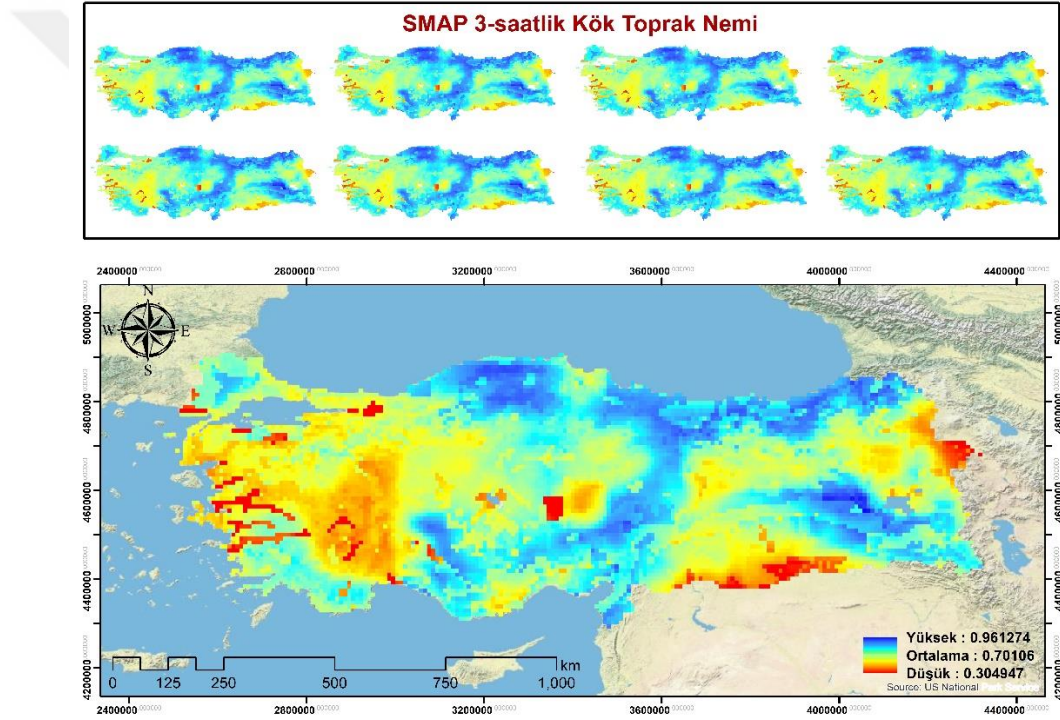
SMAP L4_SM ürünleri 1 Nisan 2015'ten beri mevcuttur ve Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi'nden ücretsiz bir şekilde indirilebilir. SMAP toprak nemi ürünleri, 9 km çözünürlüklü, 3 saatlik kapsama sahip ve Ease Grid 2.0 projeksiyonuna sahip toprak nemi tahminleridir. Seviye dört toprak nemi veri ürünü üç veri koleksiyonundan oluşmaktadır. Bunlar,

- Jeofizik verileri (geophysical data) koleksiyonu
- Analiz güncelleme verileri (analysis update data) koleksiyonu
- Arazi modeli sabitleri verileri (land model constants data) koleksiyonudur.

Jeofizik veri grubu, mekansal koordinat bilgileriyle birlikte jeofizik verileri belirten öğeler içerir. Gözlem veri grubu, zaman ve uzay koordinat bilgileriyle birlikte asimile edilmiş SMAP gözlemleri hakkında bilgi sağlar. Tahmin veri grubu, gözlem veri grubunun kara modeli eşdeğeridir, yani asimile edilmiş gözlemlere ilişkin kara yüzeyi modelinin tahminlerini sağlar. Analiz veri grubu, Kalman filtresi analiz güncellemesinden sonra toprak nemi ve sıcaklık tahminleri ile bunlara karşılık gelen belirsizlik tahminlerini içerir.

Gözlem, tahmin ve analiz veri grupları analiz güncelleme verileri koleksiyonun parçalarıdır. Son olarak Arazi modeli sabitleri veri Grubu, havza arazi yüzeyi modelinin statik parametrelerini ve mekansal koordinat bilgileriyle ilişkili L-bandı mikrodalga ışıyım transfer modelini belirten unsurları içerir.

Yüzey ve kök toprak nemi ürünleri jeofizik veri grubu içindedir. Bu ürünler hacimsel veya birimsiz olarak sunulur. Hacimsel toprak nemi birimleri ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), toplam toprak hacmi başına toprak suyu hacmini belirtir ve mümkün olan minimum değer sıfırdır ve mümkün olan maksimum değer ise toprak gözenekliliği (porosity) tarafından verilir. Birimsiz toprak nemi ürünleri 0 ile 1 arasında değişir ve sırasıyla tamamen kuru koşullar ile tamamen doymuş koşullar arasındaki bağıl doygunluğu gösterir. Birimsiz ürünler, toprak gözenekliliği ile çarpılarak hacimsel toprak nemi birimlerine dönüştürülebilir. Şekil 2.3’de 31 Mart 2022 tarihine ait 3-saatlik kök toprak nemi haritası ve bu haritaların raster ortalaması alınarak oluşturulan 1-günlük kök toprak nemi haritası gösterilmiştir.



Şekil 2.3. 31 Mart 2022 Türkiye SMAP kök toprak nemi haritası

Genel olarak hidrolojik çalışmalarda toprak nemi ürünlerinin bir arazi yüzey modeline asimilasyonunun, simüle edilen hidrolojik değişkenlerin doğruluğuna katkıda bulunduğu yönelik çalışmalar vardır (Nayak vd., 2021; Jadidoleslam vd., 2021; Yang vd., 2021; Li vd., 2023) ancak uzaktan algılanan veriler, model parametrelerinin kalibrasyonu yoluyla modelin kendisini geliştirmek için de kullanılabilir. Bu amaçla, bu çalışmada SMAP seviye dört kök bölgesi toprak nemi ürünü hidrolojik modelleme kısmında kullanılmıştır.

2.2. Hidrolojik Modelleme

Yağış-akış modelleri, bir dizi meteorolojik girdi zaman serisinin ve havza özelliklerinin bir fonksiyonu olarak havza çıkışında yağışın akıma dönüşümünü simüle eden hidrolojik modellerdir. Bu dönüşüm, hidrolojik dönüşüm olarak adlandırılır ve model girdileri ile aynı zamansal çözünürlüğe sahip olan havza akımı ve diğer çıktılarının oluşmasını sağlar. Akım ve diğer çıktılarının oluşması, havzayı karakterize eden bir dizi model parametresi tarafından kısıtlanan model denklemlerine bağlıdır. Literatürde kullanılan yağış-akış modelleri hem yapı hem de uygulama amacı bakımından birbirlerinden farklıdır ancak genel olarak iki temel hedeften birini karşılamak üzere tasarlanmışlardır. Havza modellemesinin bir amacı, bir havzada faaliyet gösteren hidrolojik olayları ve havzadaki değişikliklerin bu olayları nasıl etkileyebileceğini daha iyi anlamaktır. Havza modellemesinin diğer bir amacı da tesis tasarımı veya tahminlerde kullanılmak üzere hidrolojik verilerin sentetik dizilerinin oluşturulmasıdır. Ayrıca arazi kullanımı veya iklimdeki değişikliklerin potansiyel etkilerini incelemek için de değerlidirler.

Literatürde çok sayıda yağış-akış modeli mevcuttur ancak bunlar genel olarak fiziksel tabanlı modeller ve kavramsal modeller olarak sınıflandırılabilir. Fiziksel temelli modeller, havza tepkisini kontrol eden hidrolojik süreçlerin fizikine ilişkin anlayışa dayanır ve bu süreçleri tanımlamak için fiziksel temelli denklemler kullanır. Fiziksel temelli modeller hidrolojik süreçlerin ayrıntılarını incelemek için uygundur ancak bunların uygulanması çoğu havzada mevcut olmayan büyük miktarda bilgi gerektirir. Kavramsal modeller, akış süreçleri hakkında varsayımlarda bulunur ve temel hidrolojik süreçlerin basitleştirilmiş temsillerini kullanarak algılanan bir sistem olarak tanımlanabilir. Mekansal çözünürlükleri toplu (lumped) ya da mekansal olarak dağıtılmış (distributed) olabilir. Fiziksel prensiplere uymayan denklemler (kütle dengesi hariç) ve parametrelerinin havzanın fiziksel özellikleriyle bağlantılı olması gerekmez, bu sayede modelin fiziksel tabanlı bir alternatiften çok daha az karmaşık olmasını sağlar (Lee vd., 2005). Sistem bileşenlerine ilişkin farklı kavramsallaştırmalar, literatürde çok sayıda kavramsal modelin tanımlanmasına ve uygulanmasına yol açmıştır (HEC-HMS, HBV, SWAT gibi).

Son zamanlarda kavramsal modellerin farklı yazılımlara entegre edildiği görülmektedir. Açık kaynaklı programlama dili R da hidroloji camiasında en yaygın kullanılan dillerden biridir. Örneğin hidro-meteorolojik verileri düzenlemek, havzanın mekansal analizlerini yapmak, uydu görüntülerini indirmek ve işlemek gibi hidrolojik çalışmalarda üstlenilen tüm iş akışı R ile yapılabilir (Slater vd., 2019). Hidrolojik modelleme kısmında da R oldukça geniş model konseptine sahiptir. (Astagneau vd., 2021) HBV ve SWAT gibi dünya literatüründe kabul görmüş bu modellerin R da paketleri vardır. Aynı zamanda sadece R ortamında uygulanabilinen modellerde vardır. Bu modellerin en bilineni GR modelleridir.

Literatürde mevcut olan çok çeşitli kavramsal hidrolojik modeller arasında HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) modeli, çok sayıda hidrolojik çalışmalarda test edilmiş ve uygulanmıştır. Model ilk olarak İsveç'te taşkın uyarıları ve akım tahmini için geliştirilmiştir (Bergström ve Lindström, 2015). Daha sonra, modelin birçok versiyonu geliştirilmiş ve düşük veri gereksinimi ile fiziksel olarak sağlam detaylı yapısı sayesinde dünya çapında hidrolojik modelleme, iklim değişikliği, akım tahmini gibi konularda uygulanabilir hale gelmiştir.

Bu çalışmada ise HBV modelinin R versiyonu olan TUWmodel kullanılmıştır.

2.2.1. HBV modeli: TUWmodel

TUWmodel (Parajka vd., 2007), Viyana Teknoloji Üniversitesinde Viglione ve Parajka (2020) tarafından geliştirilen HBV modelinin (Bergström, 1976; Lindström vd., 1997) yarı-dağıtılmış bir versiyonudur (toplu olarak da çalıştırılabilir) ve R ortamında TUWmodel paketi aracılığıyla kullanılabilir. Model, günlük yağış-akış simülasyonları için tasarlanmış olsa da uygun şekilde kalibre edilirse farklı zaman ölçeklerinde de uygulanabilir. Modelin çalışması için gereken üç adet girdi vardır. Bunlar, sıcaklık (°C), yağış (mm) ve potansiyel buharlaşma (mm)'dir.

TUWmodelin yarı dağıtılmış versiyonunda, kullanıcı havzayı kavramsal olarak alt havzalara, tipik olarak yükseklik bölgelerine bölebilir, ancak farklı havza alt bölümleri de dikkate alınabilir (örneğin, ana arazi örtüsü sınıfları gibi). Yükseklik bölgelerine ayırabilir. Yükseklik bölgelerine ayrılan girdilerin her biri $n \times m$ matrisidir, burada n yükseklik bölgelerinin sayısını m ise zaman serisinin uzunluğunu temsil eder.

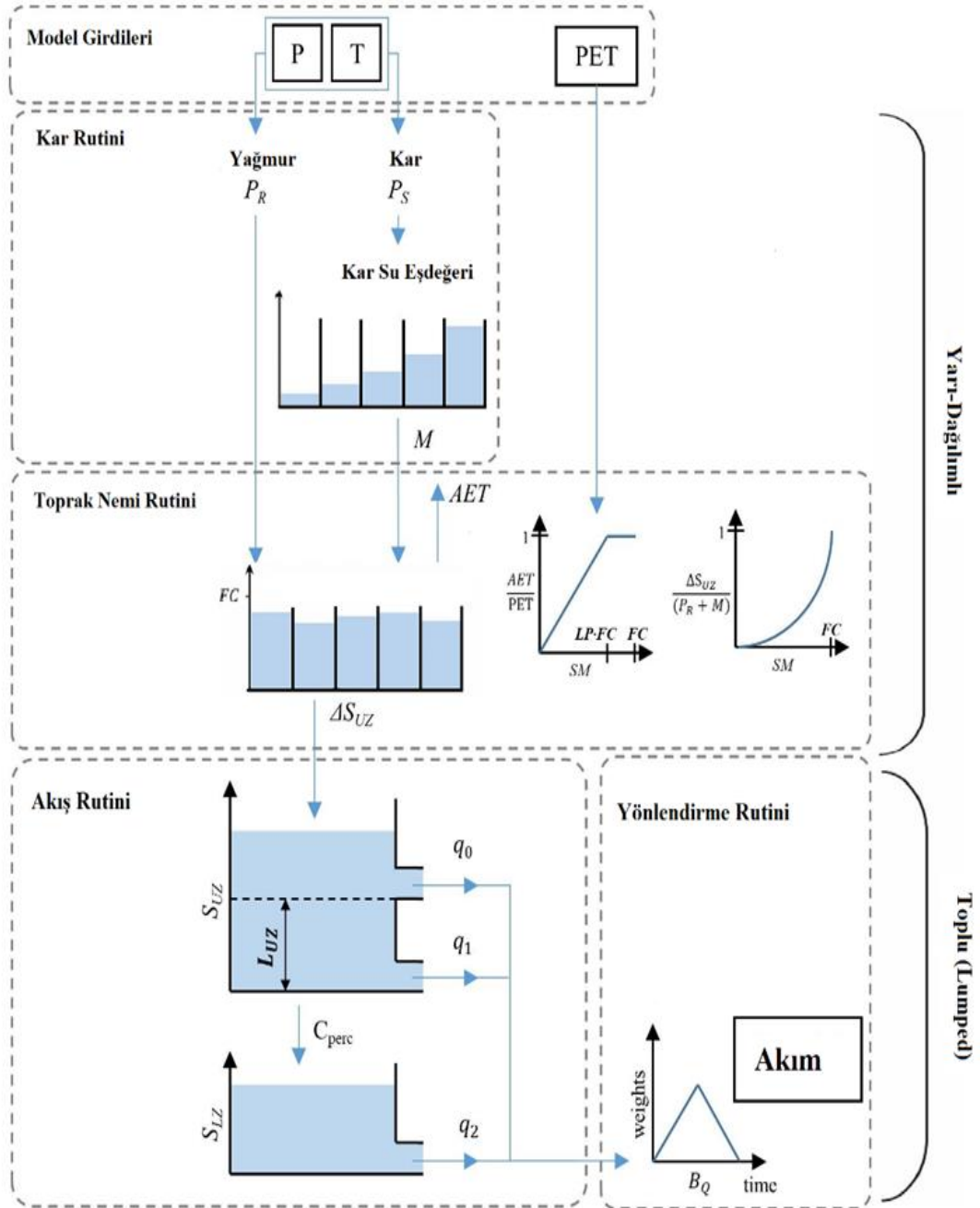
Model girdileri ve model durumları her bir alt havzada tanımlanırken, model parametreleri ya tüm havza için aynı olabilir (yani tüm yükseklik bölgeleri için tek bir parametre seti) ya da alt havzalar arasında farklı veri setleri oluşturulabilir.

TUW modelinin bu çalışma için seçilmesinin nedenleri hem ulusal hem uluslararası çalışmalarda oldukça kullanılan ve başarısını kanıtlamış HBV modelinin bir versiyonu olması hem de yükseklik bölgelerinden elde edilen farklı çıktıların toplam akışa verdiği katkıyı yükseklik bölgelerine göre vermesinden ötürüdür.

TUW modelin toplu veya yarı-dağıtılmış versiyonları kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, yarı-dağıtılmış versiyonun toplu versiyona göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Örneğin, Brziak vd. (2020) dağlık ve ovalık havzalarda ölçülmüş kar derinliğini toplu ve yarı-dağıtımlı model sonuçları ile karşılaştırmışlardır ve yarı-dağıtımlı versiyonunun hem dağlık hem de ovalık havzalarda kar örtüsünün oluşumunu daha doğru bir şekilde simüle ettiğini göstermişlerdir. Kubáň ve Brziak (2020) ovalık havzalarda ASCAT ve Sentinel-1 uydu görüntülerinin birleşiminden elde ettikleri toprak nemini toplu ve yarı-dağıtımlı model sonuçları ile karşılaştırmışlardır ve yarı-dağıtımlı toprak nemi model sonucunun biraz daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Brziak vd. (2020) model performansı, parametre aralığı ve hipsometrik özelliklere bağlı olarak model verimliliklerindeki farklılıkları toplu ve yarı-dağıtımlı model kullanarak karşılaştırmışlardır ve model performansı ile parametre aralığı iki model için benzer olsa da, yarı-dağıtımlı modelin dağlık havzalarda daha iyi modelleme sonuçları sağladığını göstermişlerdir. Benzer bir çalışma Kubáň vd. (2021) tarafından da yapılmıştır ve havza karakteristikliği ile toplu model arasında ise bir ilişki kurulamadığını göstermişlerdir.

TUW model model kalibrasyonu dışında, parametre bölgeselleştirme tekniklerinin test edilmesi (Neri vd., 2020), model parametrelerinin belirsizliği (Sleziak vd., 2020), model verimliliği ile iklimsel göstergeler arasındaki ilişki (Sleziak vd., 2018), uydu yağış ürünlerinin değerlendirilmesi (Hafizi ve Şorman 2021) gibi konularda da literatürde uygulanmıştır.

Modelin yapısı ve işleyişi Parajka vd. (2007) tarafından açıklanmıştır. Buna göre model, kar rutini, toprak nemi rutini, akış tepkisi ve yönlendirme rutininden oluşmaktadır. Şekil 2.4’de model yapısının akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.4. TUWmodel akış şeması (Neri vd., 2020)

Tablo 2.7’de özetlenen TUWmodel parametreleri bu kısımda açıklanmaktadır. TUWmodel parametreleri denklemlerde kalın olarak belirtilmiştir.

Kar rutini basit bir derece-gün konseptine dayanır ve beş parametre tarafından yönetilir. Bunlar; T_r , T_s , T_m , DDF ve SCF ‘dir. T_r ve T_s yükseklik bölgesindeki ortalama günlük yağış girdisini (P) yağmur yağışı (P_r) ve kar yağışı (P_s) olarak sınıflandıran iki eşik sıcaklıktır.

$$P = \begin{cases} P_r = P & , \quad T > T_r \\ P_r \frac{T - T_s}{T_r - T_s} & , \quad T_r < T < T_s \\ 0 & , \quad T \leq T_s \end{cases} \quad (2.2)$$

$$P_s = P - P_r \quad (2.3)$$

Erime süreci, ortalama hava sıcaklığı (T) erime sıcaklığı eşiğini (T_m) aştığında başlar. Burada M zaman adımı başına eriyen su miktarı, DDF derece-gün faktörü ve SWE kar suyu eşdeğeridir. Erime sadece katı halde depolanmış su olduğunda gerçekleşebilir.

$$M = \begin{cases} (T - T_m) * DDF, & T > T_m \text{ ve } SWE > 0 \\ 0 & , \text{ Diğer Durumlarda} \end{cases} \quad (2.4)$$

Yağışın katı kısmı bir kar düzeltme faktörü (SCF) ile çarpılır ve kar suyu eşdeğerini (SWE) besler. SCF katsayısının kullanılması, yağışın kar depolamasına katkısının daha iyi kalibre edilmesini sağlar. SWE, hava sıcaklığı erime sıcaklığı eşiği T_m 'yi aştığında bir kar erimesi (M) üretir ve bu da aynı zaman adımında rezervuardan çıkarılır. Günlere göre kar suyu eşdeğerindeki değişiklikler ($i-1$) ile (i) aşağıdaki tarafından hesaba katılır. Burada Δt bir günlük zaman adımıdır.

$$SWE(i) = SWE(i - 1) + (SCF * P_s - M)\Delta t \quad (2.5)$$

Toprak nemi rutini, toprak nemi durumu değişikliklerini ve yüzey akışı oluşumunu temsil eder ve üç parametre içerir. Bunlar, FC, LP ve β ’dır. Kar erimesi ve yağmur yağışının yüzey akışına neden olan kısmı (ΔS_{uz}), toprak nem seviyesi (SM) ile FC ve β parametrelerinin bir fonksiyonudur. Her bir zaman adımındaki toprak nem depolama seviyesi, yağış ve kar erimesinin yeniden dolun katkıları ile ΔS_{uz} arasındaki su dengesi aracılığıyla hesaplanır. Üst toprak tabakası doymuşsa ($FC=SM$), tüm yağış ve kar erimesi yüzey akışına katkıda bulunur.

$$\Delta S_{uz} = \left(\frac{SM}{FC} \right)^\beta (P_r + M) \quad (2.6)$$

$$SM(i) = SM(i - 1) + P_r + M - \Delta S_{uz} \quad (2.7)$$

Gerçek buharlaşma (A_{et}), üst katmandaki toprak neminin parçalı doğrusal bir fonksiyonu ile potansiyel buharlaşmadan (P_{et}) hesaplanır.

$$\begin{cases} A_{et} = P_{et} \frac{SM}{LP}, & SM < LP \\ A_{et} = P_{et}, & SM \geq LP \end{cases} \quad (2.8)$$

Son olarak, bir üst ve bir alt toprak rezervuarı ve bir üçgen transfer fonksiyonu; L_{suz} , k_0 , k_1 , k_2 , C_{perc} , B_{max} ve C_{route} olmak üzere yedi ek parametre içeren akış tepkisi ve yönlendirme rutinini oluşturmaktadır. Fazla yağış ve kar erimesi üst bölge seviye rezervuarına (S_{uz}) girer ve bu rezervuarı üç yolla terk eder:

- Hızlı depolama katsayısına (k_1) bağlı olarak rezervuardan dışarı akış
- Sabit bir süzülme oranı (C_{perc}) ile alt seviye rezervuarına süzülme
- Alt bölge seviye rezervuarı (S_{LZ}) depolama durumu eşiği aşılsa, çok hızlı depolama katsayısına (k_0) dayalı ek bir çıkış yoluyla.

Su, alt bölgeyi (S_{LZ}) yavaş depolama katsayısı (k_2) ile terk eder.

$$S_{uz}(i) = S_{uz}(i-1) + \Delta S_{uz} - q_0 - q_1 - C_{perc} \quad (2.9)$$

$$q_0 = \frac{S_{UZ} - L_{suz}}{k_0} e^{\frac{-1}{k_0}} \quad (2.10)$$

$$q_1 = \frac{S_{UZ}}{k_1} e^{\frac{-1}{k_1}} \quad (2.11)$$

$$S_{UZ}(i) = S_{UZ}(i-1) - q_0 - q_1 - C_{perc} \quad (2.12)$$

$$S_{LZ}(i) = S_{LZ}(i-1) + q_2 + C_{perc} \quad (2.13)$$

$$q_2 = \frac{S_{LZ}}{k_2} e^{\frac{-1}{k_2}} \quad (2.14)$$

Her iki rezervuardan gelen çıkışlar daha sonra akarsulardaki akış yönlendirmesini temsil eden üçgen bir transfer fonksiyonu ile yönlendirilir; burada B_Q transfer fonksiyonunun tabanı, çıkış akışının C_{route} ve B_{max} parametreleri tarafından ölçeklendirilmesiyle tahmin edilir.

$$B_Q = \max(B_{max} - C_{route}(q_1 + q_2 + q_3), 1) \quad (2.15)$$

Tablo 2.7. TUWmodel parametreleri

Parametre	Tanım	Birim
SFC	Kar düzeltme faktörü	-
DDF	Derece-gün faktörü	mm/°C/gün
T_r	Yağışın yağmur olduğu eşik sıcaklığı	°C
T_s	Yağışın kar olduğu eşik sıcaklığı	°C
T_m	Erime sıcaklığı	°C
LP	Buharlaşma sınırı ile ilgili parametre	-
FC	Maksimum toprak nemi kapasitesi	mm
β	Akış üretimi için doğrusal olmayan parametre	-
k_0	Çok hızlı depolama katsayısı	gün
k_1	Hızlı depolama katsayısı	gün
k_2	Yavaş depolama katsayısı	gün
L_{suz}	Depolama durumu eşiği	mm
C_{perc}	Sabit süzülme hızı	mm
B_{max}	Düşük debiler için maksimum baz	gün
C_{route}	Ölçekleme parametresi	gün ² /mm

Yukarıdaki bilgilere ek olarak model, durum değişkenlerine sahipse bu durum değişkenleri (ilk koşullar) eklenerek çalıştırılabilir ancak zorunlu değildir. TUWmodel için durum değişkenleri dört tanedir. Bunlar; kar, toprak nemi depolaması, alt ve üst rezervuardır. Modele eklenmesinde ise bunlar kar su eşdeğeri (SWE_0), toprak nemi (SSM_0), üst rezervuar için hızlı depolama (SUZ_0), ve alt depolama için yavaş depolama (SLZ_0)'dır.

Tablo 2.8. TUWmodel çıktıları

Çıktılar	Tanım	Birim
q_{zones}	Her bölge için simüle edilmiş yüzey akışı	mm/zaman aralığı
q_0	Yüzeysel akış	mm/zaman aralığı
q_1	Yüzey altı akış	mm/zaman aralığı
q_2	Baz akışı	mm/zaman aralığı
rain	Yağmur suyu	mm/zaman aralığı
snow	Kar	mm/zaman aralığı
melt	Kar erimesi	mm/zaman aralığı
moist	Toprak nemi	mm
swe	Kar su eşdeğeri	mm
eta	Gerçek buharlaşma-terleme	mm/zaman aralığı
suz	Üst depolama bölgesi	mm
slz	Alt depolama bölgesi	mm

2.3. Çok Kriterli Hidrolojik Modelleme

En bilinen modelleme yöntemi sadece akıma göre yapılan modellemedir ancak hidrolojik modellerinin genişleyen kullanımı ve artan karmaşıklığı, fazla parametre sayısı hata riskleri konusunda endişelere yol açmıştır (Bergström vd., 2002). Bu sebepten kar, toprak nemi veya yer altı suyu gibi gözlemler modele dahil edilerek çok kriterli hidrolojik modelleme çalışmaları yapılabilir. Bu tür çalışmalar, hem modelin içsel başarısı hakkında bilgi edinmek hem de parametre değer aralığını sınırlandırarak belirsizliği azaltmaya yardımcı olur.

Uydulardan elde edilen kar ve toprak nemi ürünleri, yer bilimleri için oldukça geniş bir araştırma konusuna sahiptir. Yer biliminin içinde yer alan su bilimi için ise bu konuları genel olarak iki ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlardan birincisi bu ürünlerden elde edilen karla kaplı alanların ve/veya toprak neminin hidrolojik modelleri kalibre etmek ve değerlendirmek için doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmasıdır. İkinci kullanım ise karla kaplı alanların ve/veya toprak neminin gözlem verileriyle uyumlu hale getirilip tahminlerin iyileşmesini sağlamak amacıyla kullanılmasıdır (Hidrolojik Asimilasyon). (Taheri vd.,2022). Hidrolojik modelleme konusunda ulusal ve uluslararası çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Akım ve yeraltı suyu kullanılarak yapılan çalışmalar:

Seibert (2000) tarafından İsveç’de bulunan iki havza üzerinde yapılan çalışmada, genetik algoritma kullanılarak yeraltı suyu ve akım gözlemleriyle çoklu modelleme yapılmıştır. Kullanılan model HBV modelidir. Makalenin literatüre katkısı ise genetik algoritma kullanarak birden fazla gözleme göre yapılan modellemenin iç süreçleri daha iyi anlamamıza yardımcı olduğudur. Aynı zamanda model performansını tek gözleme göre daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Benzer bir çalışmayı Madsen (2003)’de yapmıştır ve yeraltı suyu verilerinin, yeraltı suyunu temsil eden parametrelerin belirsizliğini önemli ölçüde azalttığını bulmuştur.

Akım ve kar kullanılarak yapılan çalışmalar:

Parajka ve Blösch (2008) tarafından 148 adet Avusturya havzasında yapılan çalışma da farklı MODIS kar görüntüleri kullanarak çoklu modelleme yapmışlardır. Kullanılan model HBV modelidir. Literatüre katkısı, model performansının farklı MODIS kar ürünlerine karşı (Aqua ve Terra görüntülerinin birleştirilmesi ve filtrelenmesi) değerlendirilmesi, yüzey akışı ve kar modeli verimliliklerini önemli ölçüde etkilemediğini ve uydu görüntülerinin modellemelerde kullanılması akım başarısını düşürse de içsel başarıyı küçük de olsa arttırdığını gözlemlemişlerdir. Şorman vd. (2009) Türkiye’de Fırat havzasının memba kısmında HBV modeli ve MODIS uydu görüntüleri kullanarak çoklu modelleme yapmışlardır ve sadece akıma göre yapılan modellemenin yanı sıra kar gözlemlerinde eklenmesi ile içsel kar başarısının hataların karesinin ortalamasının karekökü performans metriği ile %13 artış gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Akım başarısında ise düşüş gözlenmesine rağmen başarılı sayılabilecek bir sonuç elde etmişlerdir. Duethmann vd. (2014) tarafından Kırgızistan’da bulunan Karadarya havzasının alt havzalarında yapılan çalışmada, genetik algortima kullanarak MODIS kar uydu görüntüsü ve akım gözlemleriyle çoklu modelleme yapılmıştır. Kullanılan model WASA modelidir. Akıma göre yapılan modelleme akım üzerinde iyi bir performans gösterse de içsel kar model başarısı iyi sonuç göstermediği, bu yüzden uydu görüntülerinden elde edilen karla kaplı alanların model kalibrasyonu için dikkate alınması gerektiğini göstermişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalara ek olarak, Tuo vd. (2018) İtalya Alplerinde bulunan Adige havzasında kar ölçüm istasyonlarından elde edilen kar derinliği ve SWAT modeli kullanarak; Şorman vd. (2019) Türkiye Karasu havzasında MODIS uydu görüntülerinden elde edilen kar örtüsü ve kar erime dinamiklerinin daha iyi karakterize edilmesine olanak tanıyan kar çizgileri ile SRM hidrolojik modelini kullanarak; Nemri ve Kinnard (2020) Kanada’da bulunan kar baskın 12 adet havzada kar su eşdeğeri ve akım gözlemleri ve GR4J-CemaNeige modeli kullanarak; Sleziak vd. (2020) Avusturya’da bulunan 213 havzada kar derinliği ölçümleri ve TUWmodel kullanarak; Di Marco vd. (2021) Adige havzasında MODIS uyduları ve ICHYMOD modeli kullanarak; Peker ve Şorman (2021) Türkiye’de bulunan Murat ve Karasu havzalarında MODIS uyduları ve SWAT modeli kullanarak; Thorton vd. (2021) Batı İsviçre Alpleri’ndeki Vallon de Nant ve Vallon de La Vare havzalarında çeşitli kar gözlemlerine dayanan (Landsat 8 görüntülerinden elde

edilen kar kapsamı haritaları ile iki adet istasyondan elde edilen kar su eşdeğeri verileri) daha hibrit fiziksel-ampirik model olan WaSiM modeli kullanarak; Taheri vd. (2022) Batı İranda yer alan Gheshlagh havzasında MODIS karla kaplı alan ile ERA-5 LAND kar su eşdeğerini ve WASMOD-M modelini kullanarak; Taia vd. (2023) Tunus Oued El Abid havzasında MODIS uydu görüntüleri ve SWAT modeli kullanarak akım ve kar modellemesi yapmışlardır.

Genel olarak farklı çalışma alanları ve farklı modeller kullanılarak yapılan akım ve kar modellemesinde elde edilen sonuçlar içsel kar başarısının arttığı ve akım başarısında küçük düşüşler gözlemlenmiştir. Bazı durumlarda ise akım başarısı korunabilir, örneğin, Riboust vd. (2019) MODIS uydularından elde edilen kar örtüsü kullanarak akım simülasyonunu bozmadan kar simülasyonunun performansını iyileştirdiğini göstermiştir.

Akım ve toprak nemi kullanılarak yapılan çalışmalar:

Model simülasyonunu iyileştirmek için yüzey toprak nemi tahminlerini kullanan çalışmaların çoğu, yerinde, sentetik veya uzaktan algılanan verilerin asimilasyonunu içerir. Uzaktan algılanan yüzey veya kök toprak nemi bilgilerini model kalibrasyon sürecine uygulayan çalışmalar günümüzde daha çok yaygınlaşmıştır.

Parajka vd. (2009) Avusturya'da bulunan 148 havzada ERS dağılımlı ölçer kullanarak bir modelleme çalışması yapmışlardır. HBV modelinin kullanıldığı bu çalışmada toprak nemi ve akım ağırlıklandırılarak hesaplanmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre toprak nemi içsel başarısını artmasına rağmen, akım başarısı korunamamıştır. Ayrıca sadece yüzey toprak nemi kullanarak akım üretemediklerini göstermişlerdir. Xiong ve Zeng (2019) tarafından Çin'in güneyindeki Qujiang ve Ganjiang havzasında yapılan çalışmada SMAP toprak nemi ürününü amaç fonksiyonunda farklı ağırlıklandırarak bir modelleme yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre amaç fonksiyonundaki farklı toprak nemi ağırlıklarının, toprak nemi ve akım modellemesinde toprak nemi performansında küçük de olsa iyileştirdiğini ancak en iyi akım performansını sadece akıma göre yapılan modelleme sonucunda elde ettiklerini göstermişlerdir.

Li vd. (2019) tarafından Beimiaoji havzasında yapılan akım ile akım ve toprak neminin kullanıldığı bir modelleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada SMAP kök bölgesi toprak nemi kullanılmıştır. Hidrolojik model olarak MIKE-SHE modelini kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, çok hedefli kalibrasyonun kök bölge toprak nem simülasyonunu iyileştirdiğini ancak akış debisi simülasyonunu hafifçe olumsuz etkilediğini gözlemlemişlerdir. Kubáň vd. (2021) tarafından 209 adet Avusturya havzalarında yapılan çalışmada, ASCAT yüzey ve kök toprak nemi ürünleri ve akım gözlemi kullanarak çoklu modelleme yapmışlardır. Kullandıkları model TUWmodelin bir versiyonu olan TUWmodel dual'dır. TUWmodel dualın orijinal TUWmodelden farkı yüzey bölgesi için eklenen üç fazla parametresi olmasıdır. Çalışmada akım, akım ve yüzey toprak nemi, akım ve kök toprak nemi ve hepsinin bir arada olduğu modelleme yapılmıştır. Makalenin literatüre ise katkısı hem dağlık hem düzlük havzalarda toprak nemi yüzey ve kök ürünlerinin modele dahil edilmesi, hem kalibrasyon hem de validasyon dönemi toprak nemi sonuçlarını iyileştirdiği, akım başarısı ise biraz düşmesine rağmen iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Yine Kubáň vd. (2022) tarafından önceki çalışmanın devamı niteliğinde olan bu makalede, elde ettikleri model sonuçlarının parametreleri nasıl etkilediğine dair bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak her koşulda en hassas parametrenin FC (maksimum toprak nemi kapasitesi) olduğu ve yapılan çoklu modellemelerde düzlük havzalarda FC'nin düştüğü, dağlık havzalarda ise FC'nin arttığını gözlemlemişlerdir. Duygu ve Akyürek (2022) tarafından Türkiye Çakıt havzasında yapılan çalışmada, Kozmik Işın Nötron Sayacından elde ettikleri toprak nemi verisi ile bir modelleme yapmışlardır. Kullanılan model NAM modelidir. Akım ve toprak nemi verilerinin beraber kullanımı, sadece akım veya sadece toprak nemi modellemesine göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Aynı zamanda Çakıt havzasının alt havzası olan Darboğaz havzasında bu iyileştirmelerin daha belirgin olduğunu göstermişlerdir

Yukarıdaki çalışmalara ek olarak, Rajib vd. (2016) ABD'deki Yukarı Wabash ve Cedar Creek su havzalarında AMSR-2 toprak nemi ve SWAT modeli kullanarak; Li vd. (2018) Avusturya'nın güneydoğusunda bulunan Clarence ve Condamine havzalarında SMOS toprak nemi ve GR4H modeli kullanarak akım ve toprak nemi modellemesi yapmışlardır.

Genel olarak farklı çalışma alanları ve farklı modeller kullanılarak yapılan akım ve toprak nemi modellemesinde aynı akım ve kar modellemesinde olduğu gibi benzer sonuçlar vardır: Toprak nemi içsel başarısı artmasına rağmen akım başarısında düşüşler olmuştur.

En az iki gözlemin kullanıldığı çalışmalar:

Yer gözlemlerini veya yerinde ölçümleri birleştiren hidrolojik model kalibrasyonu, yalnızca geleneksel akım kalibrasyonunun sınırlamalarının üstesinden gelmek için bir çözüm yöntemidir çünkü kavramsal modelleri daha fiziksel hale getirebilmemize olanak sağlar. Yukarıda bahsedilen çalışmalar için hangi girdi modele dahil ediliyorsa o girdinin model parametreleri, diğer model parametrelerine göre daha çok etkilendir. Böylece, model kalibrasyonunda birden fazla veri kaynağının birleştirilmesi model parametrelerindeki belirsizlikleri azaltmaya yardımcı olur (Nijzink vd., 2018; Demirel vd., 2019; Széles vd., 2020).

Özellikle akım olmadan hidrolojik modellerin kalibrasyonu oldukça zordur ancak bilindiği üzere her havzada her zaman ölçüm alınamayabilir. Ölçümü olmayan havzalar için uzaktan algılanan ürünlerin hidrolojik modellerde kullanımı önemlidir. Bunun içinde bu ürünlerin doğruluğunu, modellerdeki başarısını ölçmek gerekir. Aşağıdaki örneklerde akımla beraber en az iki gözlemin bir arada kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Nijzink vd. (2018) Birleşik Krallık ve Almanya’da bulunan ovalık ile Fransa ve Avusturya’da bulunan dağlık 27 adet havzaya uygulanan beş farklı kavramsal hidrolojik model kullanarak, toprak nemi (AMSR-2, ASCAT), yeraltı suyu depolaması (GRACE), buharlaşma (LSA-SAF, MOD16) ve kar (MODIS) verilerini içeren mekansal örüntüleri dikkate almadan yalnızca havza ortalaması zaman serilerini içeren bir modelleme çalışması yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre AMSR-E ve ASCAT toprak nemi verilerini içeren kombinasyonlar dahil edildiğinde toprak neminde iyileştirmeler elde edildiği, küçük havzalarda GRACE verisinin modelleri anlamlı bir şekilde sınırlamada önemli bir katkı sağladığı, karlı havzalarda MODIS kar ürünlerinin bazı modeller için faydalı olduğu sonucuna ulaşarak hidrolojik süreçleri daha iyi anlamak için çeşitli bilgi kaynaklarını dikkate almanın avantajını vurgulamışlardır. Makalenin literatüre katkısı ise ölçümü olmayan havzalarda uydu görüntülerinin kullanımına yönelik bir altlık oluşturmuşlardır.

Demirel vd. (2019) Moselle havzasında üç farklı toprak nemi ile iki farklı yeraltı suyu depolaması uydu görüntüleri ve HBV modelini kullanarak çoklu modelleme yapmışlardır. Elde ettikleri sonuca göre, yeraltı suyu performansı KS (baz akım için durgunluk katsayısı) parametresine toprak nemi performansı ise FC (maksimum toprak nemi kapasitesine) parametresine en duyarlı olduğunu, hem yeraltı suyu hem toprak neminin modele dahil edilmesinin içsel başarıyı artırmasının yanında akım performansını da iyileştirdiğini göstermişlerdir.

Dembélé vd. (2020) Batı Afrika Volta havzasında tamamen dağılımlı kavramsal model (fully distributed) olan mHM kullanarak buharlaşma (GLEAM), toprak nemi (ESA CCI) ve yeraltı suyu depolaması (GRACE) verilerinin mekansal örüntülerini dikkate alarak bir modelleme çalışması yapmışlardır ve çok değişkenli bir yapıda akım performansındaki azalma ile diğer hidrolojik süreçlerdeki performans artışı (yani yeraltı suyu depolaması, toprak nemi ve buharlaşma) tarafından büyük ölçüde dengelediğini göstermişlerdir. Széles vd. (2020) Avusturya'nın batı kesiminde yer alan Petzenkirchen'de küçük bir deneysel havza olan Hidrolojik Açık Hava Laboratuvarı'nda model bileşenlerinin parametrelerini saha gözlemleri ve uydu görüntüleri ile adım adım tahmin etmek için TUWmodel kullanarak farklı bir yöntemle modelleme çalışması yapmışlardır. Elde ettikleri sonuca göre bu havza bazında toprak nemi ve buharlaşma saha gözlemlerinin akış simülasyonları üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu, kar gözlemlerinin akış simülasyonu performansını düşürdüğü sonucuna varmışlardır. Yine Széles vd. (2021) tarafından önceki çalışmanın devamı niteliğinde olan bu makalede, akım ölçümü olmayan havzada model bileşenlerinin parametrelerini akım gözlemleri olmadan adım adım kalibre etmişlerdir. Elde ettikleri sonuca göre yalnızca kar ve toprak nem verilerini kullanarak yapılan modelin kalibrasyonu, yalnızca akış verilerini kullanarak tek bir adımda yapılan kalibrasyonla benzer sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda, proxy verilerinin kullanılmasıyla modelin, yalnızca akış verilerinin kullanıldığı kalibrasyon senaryosundan daha iyi bir şekilde gerçeği temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Son olarak bu çalışmaya da ilham kaynağı olan, Tong vd. (2021) tarafından 213 adet Avusturya havzalarında yapılan çalışma da ASCAT toprak nemi, MODIS kar örtüsü ve akım kullanarak çoklu modelleme çalışması yapmışlardır. Kullandıkları model TUW modelidir. Elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla benzer olup ek olarak yüzeysel akış söz konusu olmadığında sadece kar kullanımı sadece toprak nemi kullanımına göre biraz daha iyi yüzeysel akış simülasyonları göstermiştir. Aynı şekilde kar, toprak nemi ve akım kullanarak yapılan modellemede akım performansı ile toprak nemi ve akım modellemesinde elde edilen akım performansının benzer sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Benzer bir çalışmayı ölçümü olmayan havzalarda da gerçekleştirmişlerdir (Tong vd., 2022).

Bu bilgiler ışığında bu çalışmanın araştırma sorusu dağlık havzalarda akım ve kar modellemesinin yanı sıra toprak neminin de eklenmesiyle birden fazla gözlemin eş zamanlı olarak dikkate alındığı model sonucunun sadece akım gözlemleri dikkate alınarak yapılan modellemeye göre daha başarılı olup olmayacağıdır.

2.3.1. Kalibrasyon

Yağış-akış modeli parametreleri, simüle edilen ve gözlemlenen akımlar arasındaki farkları en aza indirecek şekilde kalibre edilebilir. Kalibrasyon manuel olarak ya da modern bilgisayarlardaki yüksek hesaplama gücü sayesinde otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Otomatik bir kalibrasyon prosedürü genellikle iki ana özellik ile karakterize edilir. Bunlar, amaç fonksiyonu ve optimizasyon algoritmasıdır.

Bir optimizasyon algoritması, bir optimizasyon probleminin çözümü için mantıksal bir matematiksel prosedürdür. Bu tür problemler, nihai amacı bir veya daha fazla karar değişkenine bağlı olan bir amaç fonksiyonunun minimizasyonu veya maksimizasyonundan oluşan karar problemleridir. Optimizasyon algoritmaları normalde iteratif olarak çalışır ve farklı yaklaşımlara dayanmaktadır.

2.3.1.1. Optimizasyon algoritması: DEoptim

Bu çalışma da kullanılan optimizasyon algoritması, Diferansiyel Evrim (DE), algoritması Storn ve Price (1997) tarafından tanıtılmış ve uygulaması Price vd. (2006) tarafından açıklanmıştır. DE, bir genetik algoritma olarak sınıflandırılır ve bu nedenle türevsiz bir global optimize edicidir. Bu açıdan DE, aday çözümlerden oluşan bir başlangıç popülasyonunun, amaç fonksiyonunun global minimumunu elde etmek için değiştirme ve seçme işlemlerine tabi tutulduğu evrimsel bir algoritmadır. DE algoritması türev içermediğinden, tek gereklilik amaç fonksiyonunun ve parametrelerin gerçek değerli olmasıdır.

CRAN üzerinde DE algoritmasını uygulayan ilk paket Ardia vd. (2011) ve Mullen vd. (2011) tarafından geliştirilen DEoptim paketidir. DEoptim() işlevi dört bağımsız değişkenle belirtilir. Minimize edilecek amaç fonksiyonu “fn” argümanı olarak sağlanır. Fonksiyon gerçek bir skaler değer döndürmelidir. Parametreler için alt ve üst sınırlar sırasıyla “lower” ve “upper” argümanları aracılığıyla ayarlanabilir.

Algoritma, “DEoptim.control()” işlevi tarafından döndürülen bir liste nesnesi bekleyen kontrol bağımsız değişkenine göre uyarlanabilir. Optimizasyon süreci, amaç fonksiyonunun bir değeri (VTR argümanı) belirtilerek sonlandırılabilir. Varsayılan değeri “-Inf” olarak ayarlanmıştır; daha yüksek bir değerle değiştirilirse, maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında veya amaç fonksiyonunun gerçek değeri VTR'den küçük olduğunda süreç sonlandırılır. Ayrıca, kullanıcı göreceli yakınsama toleransı (reltol argümanı) için bir değer belirterek optimizasyon sürecinin sonlandırılmasını kontrol edebilir. R'ın çalıştırıldığı platforma bağlı olarak bu değer kabaca 1-e8'dir. Son olarak, optimizasyonun ilerleyişi “trace” argümanı aracılığıyla izlenebilir. TRUE (varsayılan) olarak ayarlanırsa, her iterasyonun ara sonuçları yazdırılır ve bir tamsayı değeri “i” olarak belirtilirse sadece her “i” iterasyonun çıktısı alınır. Optimizasyon algoritmasının daha detaylı anlatım ve uygulama örneklerine “<https://cran.r-project.org/web/packages/DEoptim/index.html>” adresinden ulaşılabilir.

2.3.1.2. Akım modellemesi

Çukurkişla ve Kayabaşı havzasında akım modellemesi için kullanılan amaç fonksiyonu Nash Sutcliffe verimliliği (NSE) ve Logaritmik Nash Sutcliffe (NSE_{log}) verimliliği kombinasyonudur. Bu iki amaç fonksiyonunu birleştirilmesinin sebebi hem pik hem düşük akımları tutturmaya çalışmaktır. NSE pik akımları tutturmaya çalışırken LogNSE düşük akımları tutturmaya çalışır.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (Q_{model,k} - Q_{gözlem,k})^2}{\sum_{k=1}^n (Q_{gözlem,k} - \overline{Q_{gözlem,k}})^2} \quad (2.16)$$

$$NSE_{log} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (\log(Q_{model,k}) - \log(Q_{gözlem,k}))^2}{\sum_{k=1}^n (\log(Q_{gözlem,k}) - \log(\overline{Q_{gözlem,k}}))^2} \quad (2.17)$$

Burada $Q_{model,k}$ ve $Q_{gözlem,k}$ “k” günündeki günlük simüle edilen ve gözlenen akımları temsil etmektedir. $Q_{gözlem}$ gözlenen akımların ortalamasıdır. NSE ve NSE_{log} katsayıları $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. 1 değeri mükemmel bir simülasyonu temsil etmektedir. NSE ve NSE_{log} kombinasyonundan oluşan amaç fonksiyonu ($Q_{Akım}$) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$Q_{Akım} = \frac{NSE + NSE_{log}}{2} \quad (2.18)$$

2.3.1.3. Kar modellemesi

Genel olarak kavramsal modeller kar birikimi ve kar erimesini simüle etmek için derece-gün konseptini kullanarak bir kar su eşdeğeri üretir. Bu durum aslında modelin karın su olarak depolanan miktarını (hacmi) simüle etmesinden kaynaklanır. Diğer yandan uydu tabanlı kar görüntüleri sadece karın varlığını ve dağılımını gösteren mekansal bir bilgi sunar ve havza içindeki kar su eşdeğeri hakkında bilgi vermez. Doğal olarak kar su eşdeğeri ile uydulardan elde edilen karla kaplı alan dolaylı yoldan karşılaştırılır. Literatürde bu karşılaştırma için farklı yöntemler vardır. Bu çalışmada kullanılan yöntem ise model çıktısı olan kar su eşdeğerini karla kaplı alana çevirmektir. Bu çevrim her bir yükseklik bölgesi için belirlenen eşik değere göre olur. Örneğin yükseklik bölgelerinde kar su eşdeğeri, eşik değerden büyükse orada kar var, eşik değerden küçükse orada kar yok şeklinde bir dönüşüm yapılır.

Çukurkişla ve Kayabaşı havzasında kar modellemesi için kullanılan amaç fonksiyonu Kling-Gupta (KGE) verimliliğidir. Bu verimlilik Gupta vd. (2009) tarafından önerilen ve farklı bileşenlerin kombinasyonu olarak tanımlanan bir ölçüttür. Kling vd. (2012) yanlılık ve değişkenlik oranlarının çapraz ilişkili olmaması için bu endeksin revize edilmiş bir versiyonunu önermiştir ve bu verimlilikte modifiye edilmiş Kling-Gupta verimliliği (mKGE) olarak adlandırılmıştır.

Her iki verimliliğin hesaplanmasında üç ana bileşen söz konusudur. Bunlar;

- r : Pearson momentler çarpımı korelasyon katsayısıdır. İdeal r değeri 1'e eşittir.
- β : Simüle edilen değerlerin ortalaması ile gözlemlenen değerlerin ortalaması arasındaki orandır. İdeal β değeri 1'e eşittir.
- vr : Yönteme bağlı olarak simüle edilmiş ve gözlemlenen değerlerin standart sapması (α) veya varyasyon katsayısı (γ) kullanılarak hesaplanabilen değişkenlik oranıdır. Her iki durumda da ideal α ve γ değerleri 1'e eşittir.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (vr - 1)^2} \quad (2.19)$$

$$r = \frac{\sum ((\theta_{model,k} - \overline{\theta_{model,k}}) * (\theta_{gözlem,k} - \overline{\theta_{gözlem,k}}))}{\sqrt{(\sum (\theta_{model,k} - \overline{\theta_{model,k}})^2 * \sum (\theta_{gözlem,k} - \overline{\theta_{gözlem,k}})^2)}} \quad (2.20)$$

$$\beta = \frac{\overline{\theta_{model}}}{\overline{\theta_{gözlem}}} \quad vr = \begin{cases} \alpha, & \text{yöntem} = "2009" \\ \gamma, & \text{yöntem} = "2012" \end{cases} \quad (2.21)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{model}}{\sigma_{gözlem}} \quad \gamma = \frac{\sigma_{model} * \overline{\theta_{model}}}{\sigma_{gözlem} * \overline{\theta_{gözlem}}} \quad (2.22)$$

Burada $\theta_{model,k}$ ve $\theta_{gözlem,k}$ gözlem, k "k" günündeki günlük simüle edilen ve gözlenen karları temsil etmektedir. $\overline{\theta_{model}}$ ve $\overline{\theta_{gözlem}}$ simüle edilen ve gözlenen karların ortalamasını, σ_{model} ve $\sigma_{gözlem}$ simüle edilen ve gözlenen karların standart sapmasını temsil etmektedir. Bu çalışmada kar modellemesi için seçilen verimlilik $Q_{kar(mKGE)}$ 'dir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$Q_{kar(mKGE)} = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2} \quad (2.23)$$

$Q_{kar(mKGE)}$ $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. 1 değeri mükemmel bir simülasyonu temsil etmektedir.

2.3.1.4. Toprak nemi modellemesi

Bilindiği üzere yer tabanlı ölçümler yalnızca birkaç santimetrelik uzamsal desteklere sahiptir ve nispeten küçük alanları kapsayabilirler. Bu da orta ve büyük ölçekli havzalarda anlamlı mekansal ortalamaların tahmin edilmesini çok zorlaştırmaktadır. Daha büyük havzalar için daha uygun alternatifler hidrolojik modeller ve uydu gözlemleridir (Babaeian vd., 2019). Hidrolojik modellerin kullanılmasının temel avantajı, alansal ortalamaları açıkça temsil etmeleri ve bu modeller tarafından simüle edilen toprak neminin tüm kök bölgesi üzerinde dikey olarak temsil edici olarak kabul edilmesidir. Bu çalışmada kullanılan TUW modeli, kök bölgesindeki toprak nemini simüle eden kavramsal bir hidrolojik modeldir. Uydu gözlemleri de benzer şekilde bir alan üzerinde hidrolojik modellerle doğrudan karşılaştırmaya olanak tanıyan bir değer sağlar. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için model simülasyonlarını boyutsuz uydu toprak nemi ile eşleştirmek gerekir. Bu sebepten simüle edilen toprak nemi 0 ile 1 arasında değişen bir bağıl kök bölgesi nemi elde etmek üzere maksimum toprak nemi kapasitesi (yani model parametresi FC) ölçeklendirilir.

Tong vd. (2022) yaptıkları çalışmada uydu toprak nemi ürünü ile model toprak nemi ürününü pearson korelasyon katsayısı ile karşılaştırmışlardır. Bunun sebebini ise uydu toprak nemi ile simüle edilen kök bölgesi toprak nemi zaman serilerinin uzamsal ve zamansal uyumunu değerlendirmek olarak açıklamışlardır. Benzer yöntemler toprak nemi ile yapılan çalışmalarda da vardır. Örneğin Kuban vd. (2022) uydu toprak nemi ürünü ile model toprak nemi ürününü spearman korelasyon katsayısı ile karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada da SMAP uydu toprak nemi ürününü model toprak nemi ürünü ile karşılaştırırken pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır çünkü mutlak büyüklüklerine ve ilişkilerindeki olası kesişme noktalarına bakılmaksızın iki değişkenin zamansal dinamiklerinin karşılaştırılmasına olanak tanır (Parajka vd., 2006).

Çukurkişla ve Kayabaşı havzasında toprak nemi modellemesi için kullanılan amaç fonksiyonu Pearson Korelasyonu (r) verimliliğidir.

$$Q_{nem(r)} = \frac{\sum ((\theta_{model,k} - \bar{\theta}_{model,k}) * (\theta_{gözlem,k} - \bar{\theta}_{gözlem,k}))}{\sqrt{(\sum (\theta_{model,k} - \bar{\theta}_{model,k})^2 * \sum (\theta_{gözlem,k} - \bar{\theta}_{gözlem,k})^2)}} \quad (2.24)$$

Burada $\theta_{model,k}$ ve $\theta_{gözlem,k}$ “k” günündeki günlük simüle edilen ve gözlenen toprak nemini temsil etmektedir. $\overline{\theta_{model}}$ ve $\overline{\theta_{gözlem}}$ simüle edilen ve gözlenen toprak neminin ortalamasını temsil etmektedir.

Korelasyon katsayısının değeri -1 ile +1 arasında değişir. Sonucun +1 çıkması iki değişken arasında kuvvetli olumlu ilişkinin bulunduğunu, -1 ise kuvvetli olumsuz ilişkinin bulunduğunu gösterir. Korelasyon katsayısı sıfıra yaklaştıkça ilişkinin kuvveti zayıflar, sıfır ise iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığını gösterir.

2.3.1.5. Çoklu amaç fonksiyonu

Çoklu amaç fonksiyonu akım, kar ve toprak nemi amaç fonksiyonlarının ağırlıklı toplamının minimize edilmesinden oluşur. Bu sayede sadece akıma göre yapılan modellemenin yanısıra kar, toprak nemi veya her ikisinin bir arada kullanıldığı modellemeler yapılabilir. Çoklu amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$F = w_{akım} * Q_{akım} + w_{kar} * Q_{kar} + w_{nem} * r_{nem} \quad (2.25)$$

Burada $w_{akım}$ değeri bir ise sadece akımın kullanıldığı, w_{kar} değeri bir ise sadece karın kullanıldığı ve son olarak w_{nem} değeri bir ise sadece toprak neminin kullanıldığı modellemeyi temsil eder. Bu çalışmada kullanılan ağırlıkların değerleri 0 ile 1 arasında (0.1 aralıklarla) değişmektedir ve kullanılan ağırlıkların toplamı her zaman birdir.

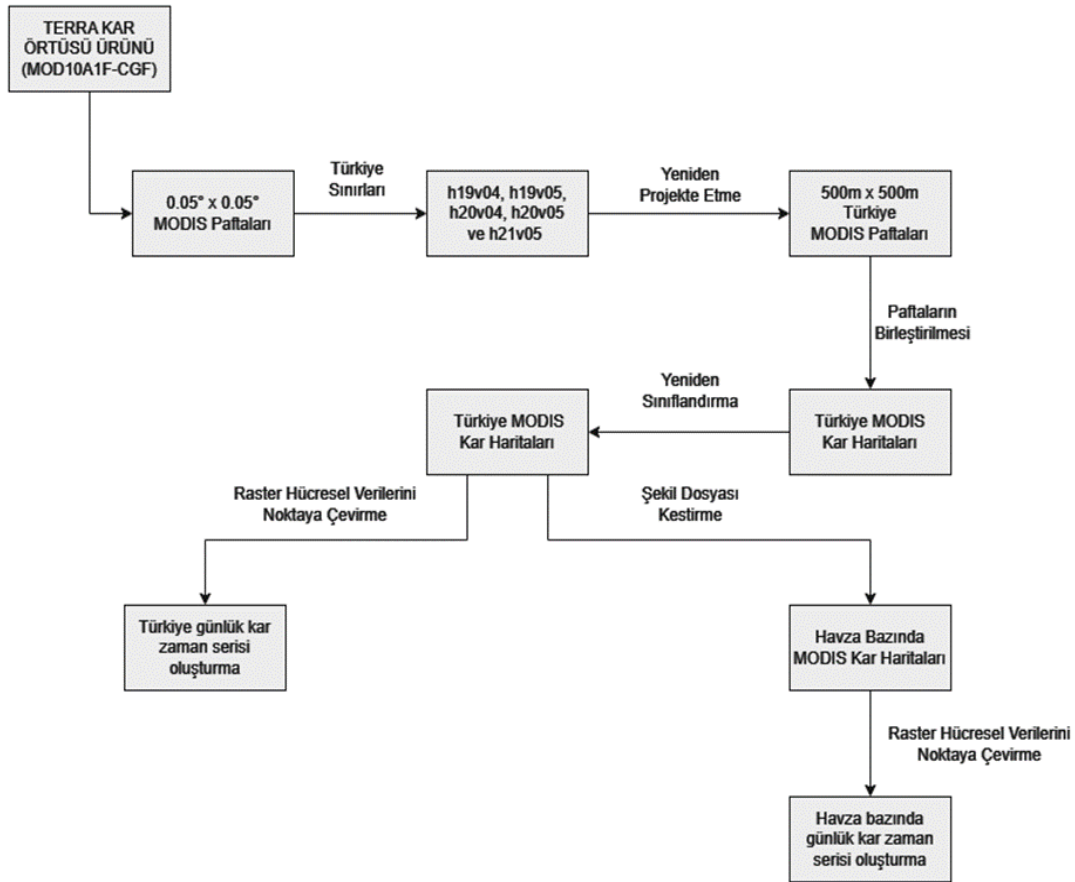
Tablo 2.9. Çoklu amaç fonksiyonu girdileri ve ağırlıkları

Modelleme	Akım Ağırlığı	Kar Ağırlığı	Nem Ağırlığı
Sadece Akım	$W_{AKİM} = 1.0$	$W_{KAR} = 0.0$	$W_{NEM} = 0.0$
Akım ve Kar	$W_{AKİM} = \left\{ \frac{k}{10} \right\}_{k=0}^{10}$	$W_{KAR} = 1 - W_{AKİM}$	$W_{NEM} = 0.0$
Akım ve Nem	$W_{AKİM} = \left\{ \frac{k}{10} \right\}_{k=0}^{10}$	$W_{KAR} = 0.0$	$W_{NEM} = 1 - W_{AKİM}$
Akım, Kar ve Nem	$W_{AKİM} = \left\{ \frac{k}{10} \right\}_{k=0}^{10}$	$W_{KAR} = W_{KAR}$	$W_{NEM} = W_{NEM}$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Uydu Görüntülerinin Türkiye Analizi: Kar ve Bulut Analizleri

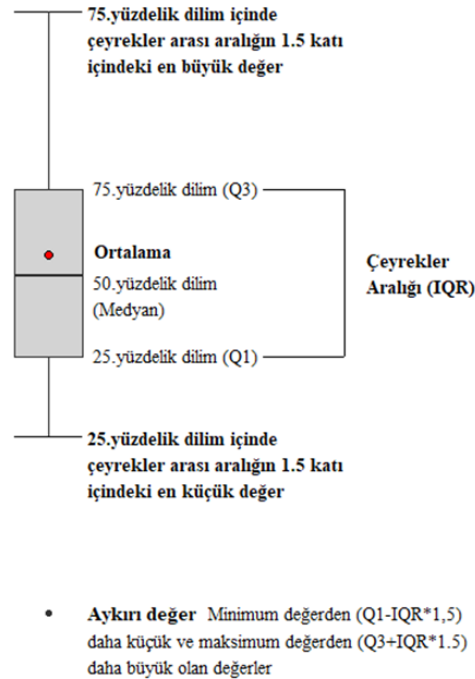
Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi (NSIDC DAAC) MODIS veri koleksiyonunun (<https://nsidc.org/data/modis/data>), bir parçası olan MOD10A1F veri seti, her bir veri granülü 500 m sinüzoidal ızgaraya yansıtılmış 10°x10°'lık bir pafta (karo) içerir. Türkiye sınırları, MOD10A1F veri seti için beş pafta tarafından kapsanmaktadır. Bunlar h19v04, h19v05, h20v04, h20v05 ve h21v05'tir. Bu paftalar GeoTIFF formatında Coğrafi projeksiyona sahip olacak şekilde indirilmiştir. Daha sonra R programında yeniden projekte (Ease Grid 2.0) edilip birleştirilerek Türkiye kar haritası oluşturulmuştur. Bu görüntüler yeniden sınıflandırılarak karla kaplı alanlar belirlenmiş ve bir zaman serisi oluşturulmuştur. Havza bazında elde edilen kar haritaları da, yeniden sınıflandırılmış Türkiye kar haritalarından elde edilmiştir. Görüntülerin hangi aşama ile işlendiğini gösteren akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



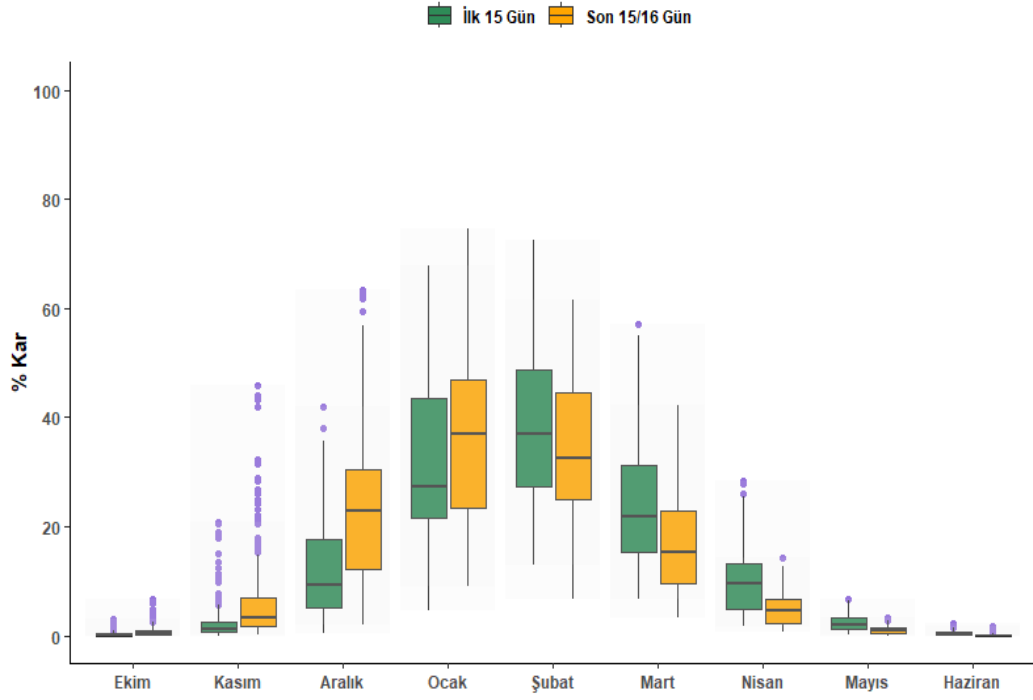
Şekil 3.1. MODIS bulutsuz kar ürünlerinin akış şeması

MODIS bulutsuz kar görüntüleri 26 Şubat 2000 tarihinden başlayarak 30 Eylül 2023 tarihine kadar işlenmiştir. MODIS ön işlemler sonucunda Türkiye ve bölgeleri için elde edilen karla kaplı alan zaman serileri aşağıdaki gibidir. Türkiye’de kar temmuz, ağustos ve eylül aylarında neredeyse yoktur. Bu yüzden oluşturulan zaman serisi grafiklerinde su yılı esas alınmış olup karla kaplı alan ekim-haziran aralığında gösterilmiştir.

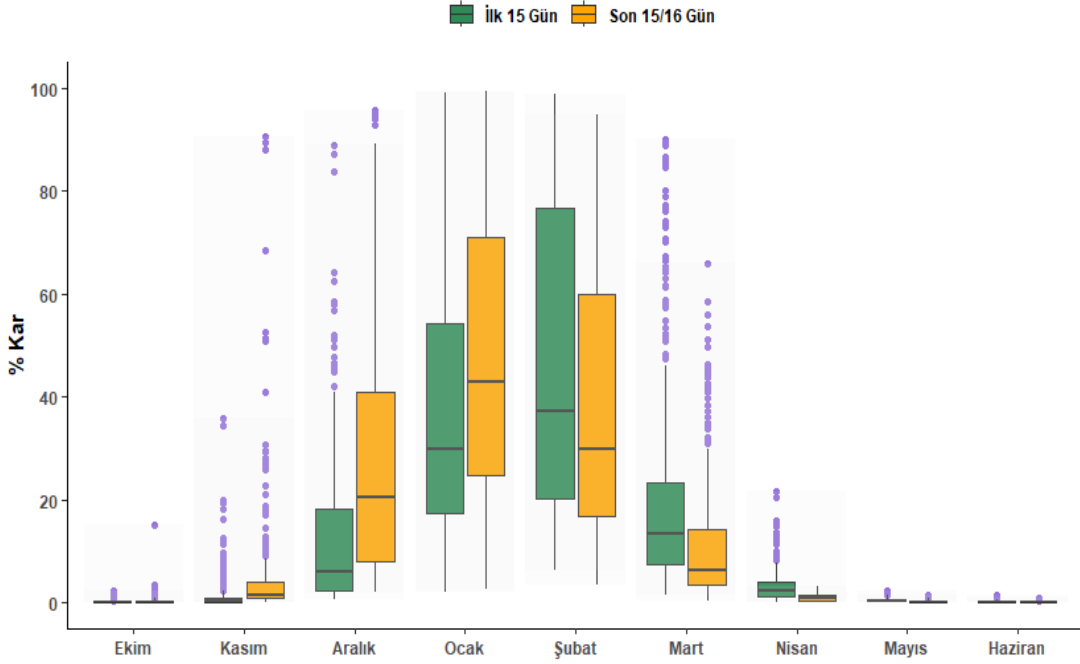
Oluşturulan kutu grafikleri (Şekil 3.3-3.10) her bir yıl için ilk 15 gün ve sonraki 15 veya 16 gün için aylık ortalamalar alınarak hesaplanmıştır çünkü iki haftalık değişimler birbirinden farklı davranmaktadır. Kutu grafiklerinde görülen gri renkler tüm veri setini temsil etmektedir ve sınırları o ayın maksimum ve minimum değerlerinden oluşmaktadır. Kutunun içinde bulunan yatay çizgi, veri setinin ortalama değerini temsil eder. Kutunun alt ve üst sınırları, veri setinin ilk ve üçüncü çeyreklerini temsil eder. İlk çeyrek, verilerin çeyreklerine göre sıralandığında en düşük %25'lik bölümü, üst çeyrek ise en yüksek %25'lik bölümü gösterir. Bu iki değer arasındaki fark ise ortadaki %50'lik kısmının genişliğini belirtir ve veri dağılımındaki değişkenliği gösterir. Kutunun dışında bulunan noktalar, aykırı değerlerdir ve minimum değerlerden daha küçük veya maksimum değerlerden daha büyük değerleri temsil eder. Şekil 3.2’de kutu grafiğinin temsil ettiği veriler gösterilmiştir.



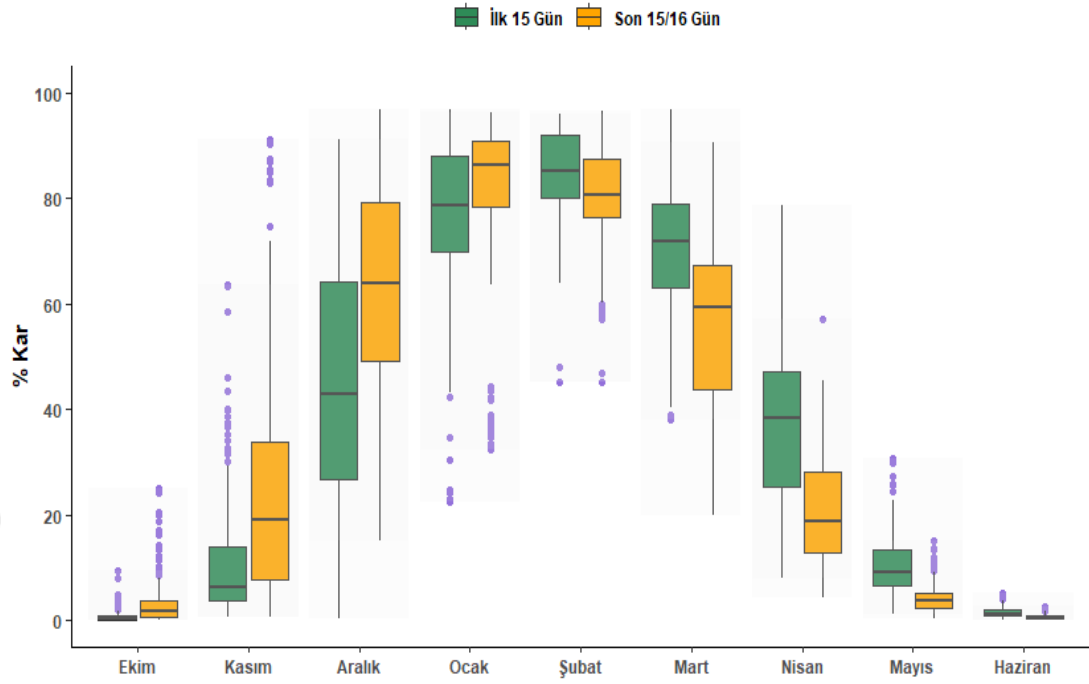
Şekil 3.2. Kutu grafiği tanımı, (<https://waterdata.usgs.gov/blog/boxplots/>)



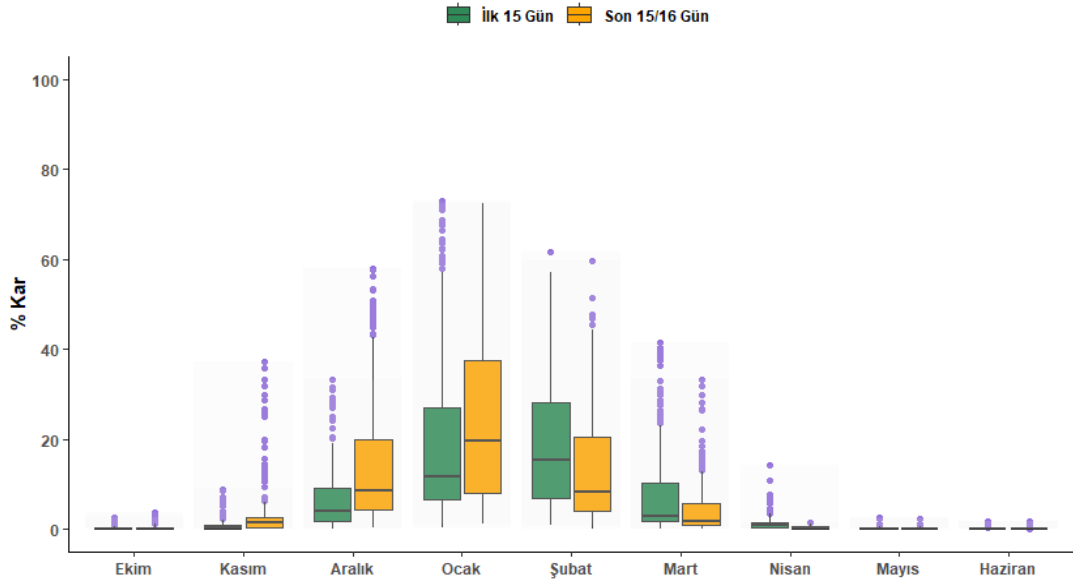
Şekil 3.3. Akdeniz Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



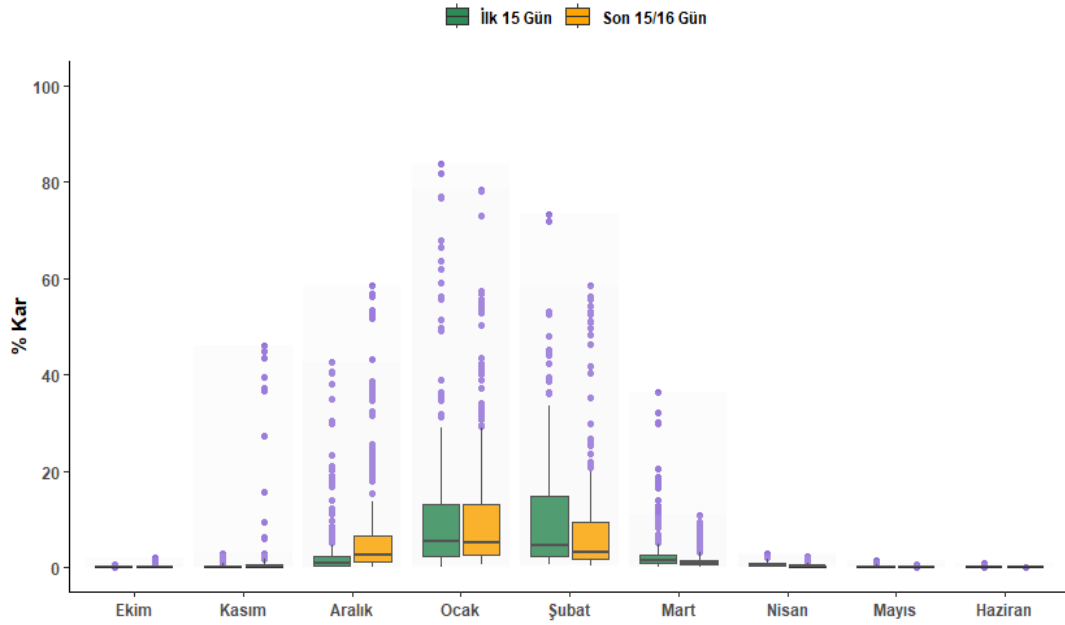
Şekil 3.4. İç Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



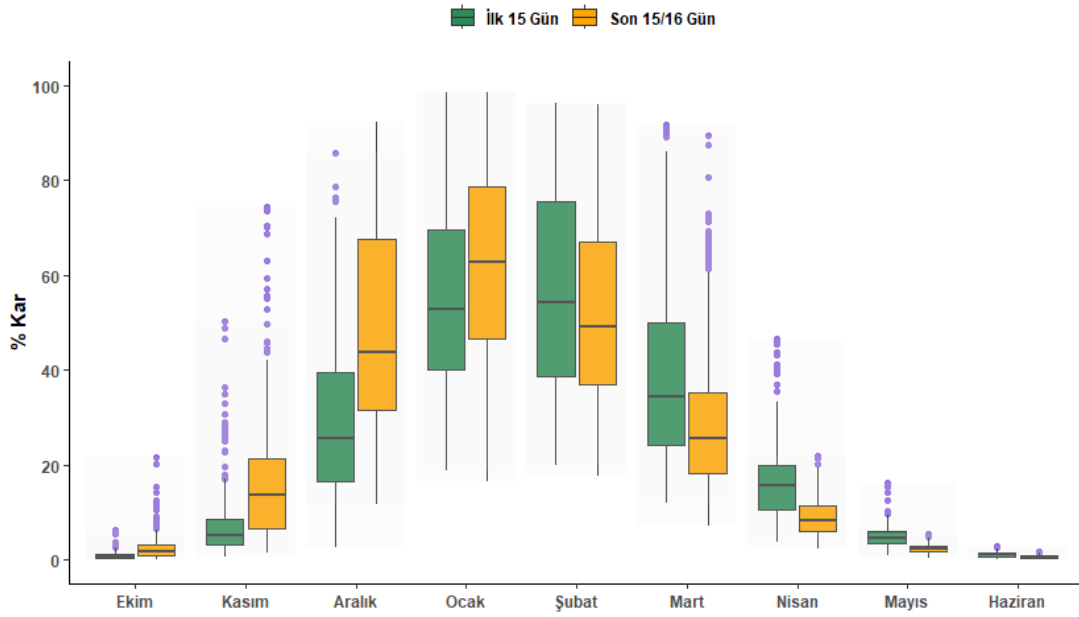
Şekil 3.5. Doğu Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



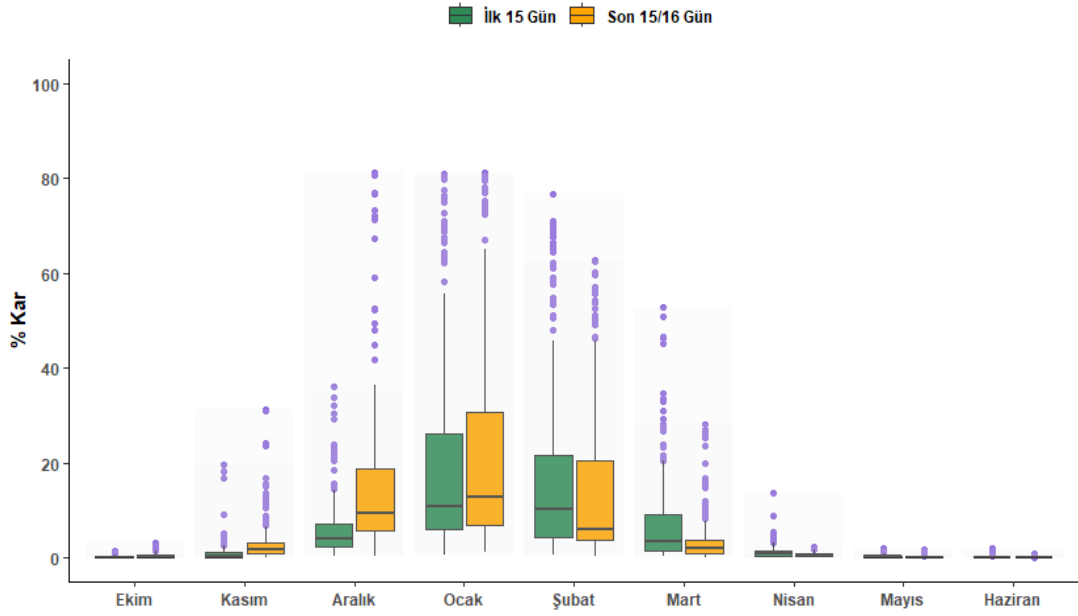
Şekil 3.6. Ege Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



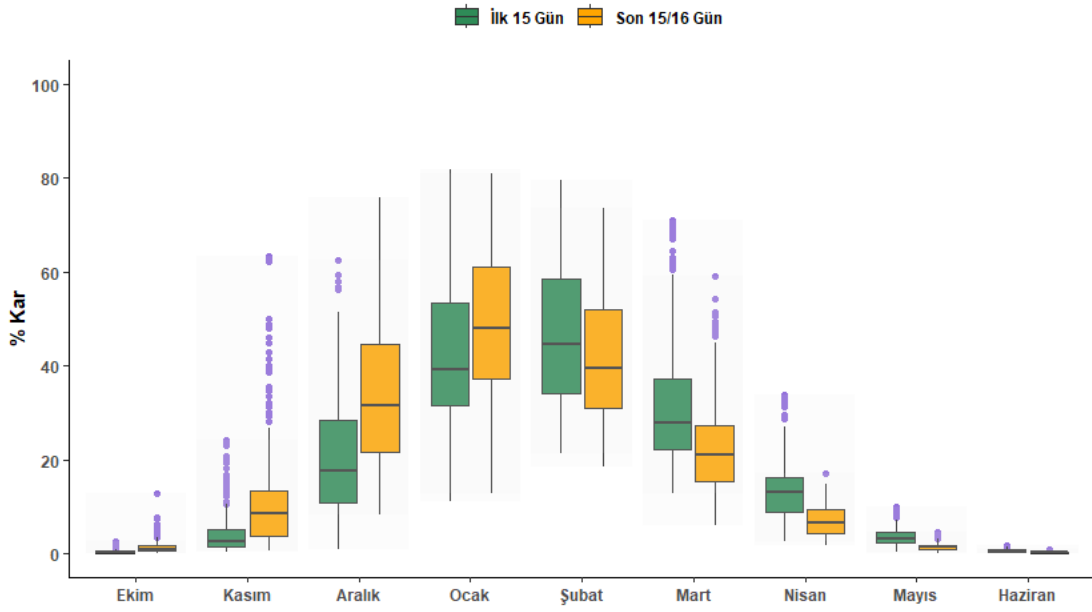
Şekil 3.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



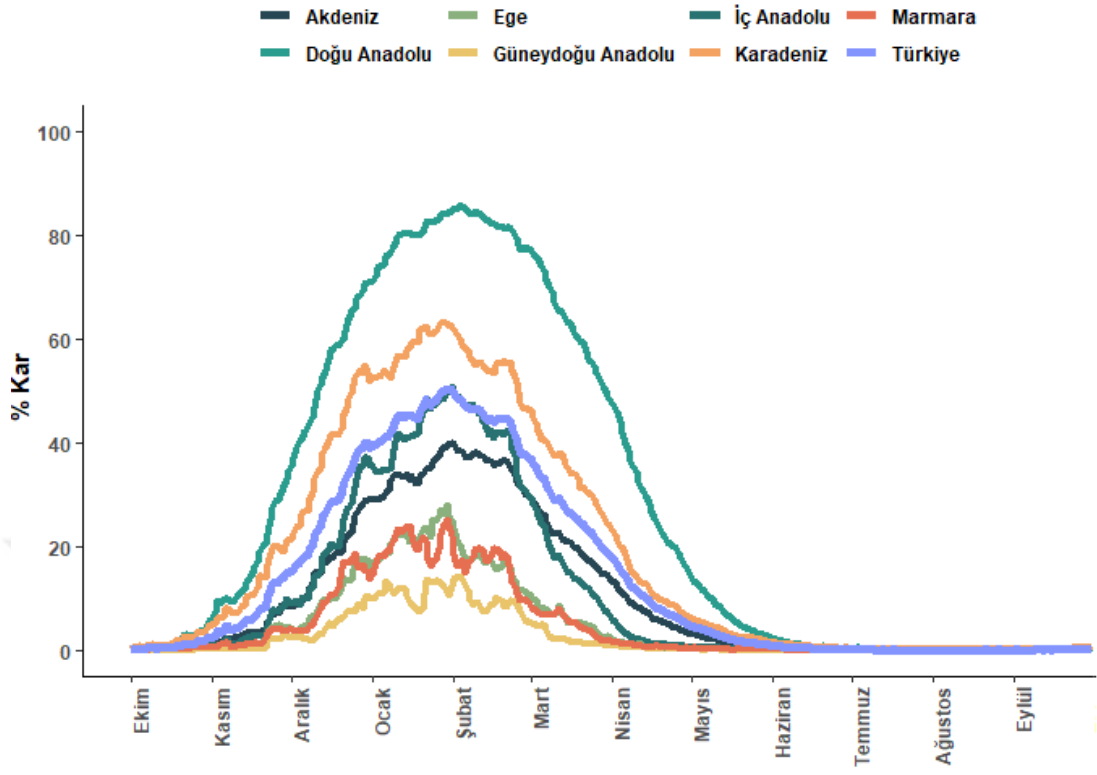
Şekil 3.8. Karadeniz Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



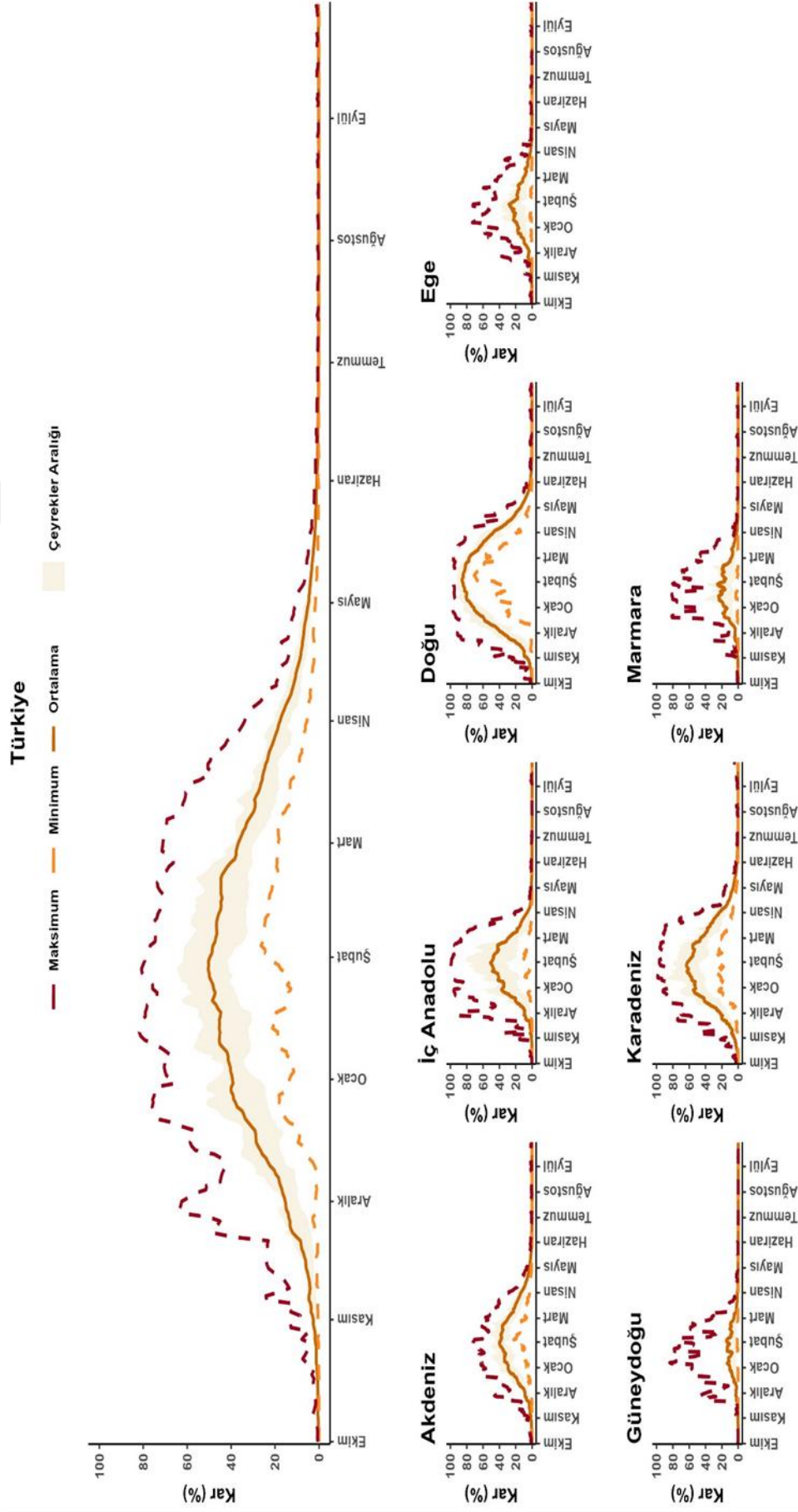
Şekil 3.9. Marmara Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



Şekil 3.10. Türkiye 2000-2023 su yılları 2-haftalık karla kaplı alan grafiği



Şekil 3.11. Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları ortalama karla kaplı alan grafiği

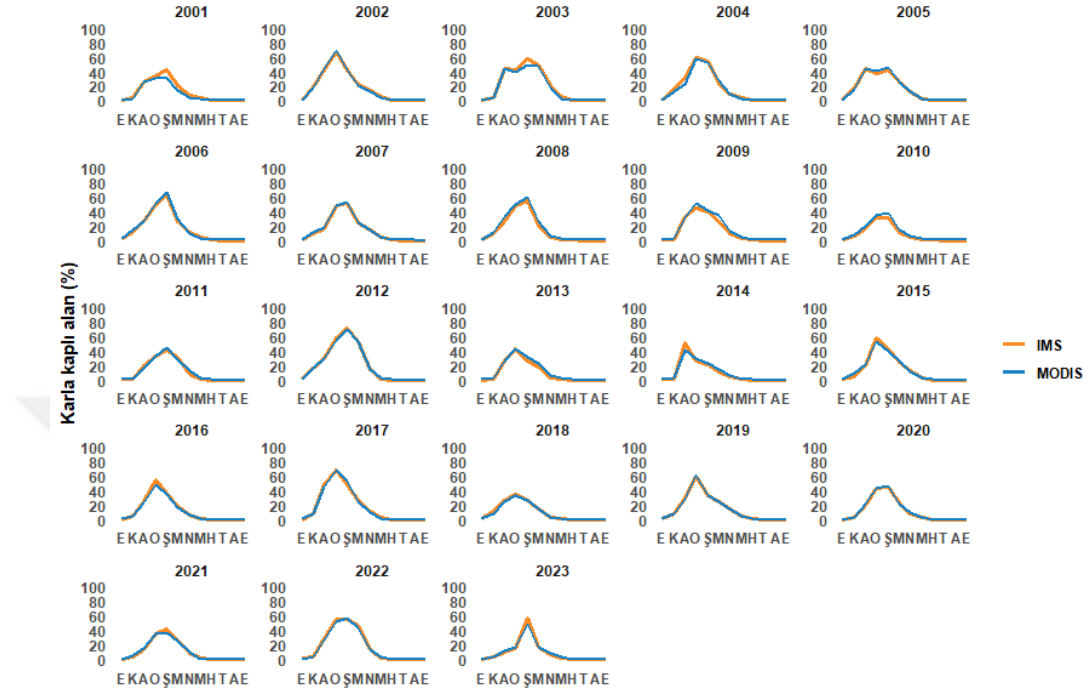


Şekil 3.12 Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları günlük ortalama karla kaplı alan grafiği

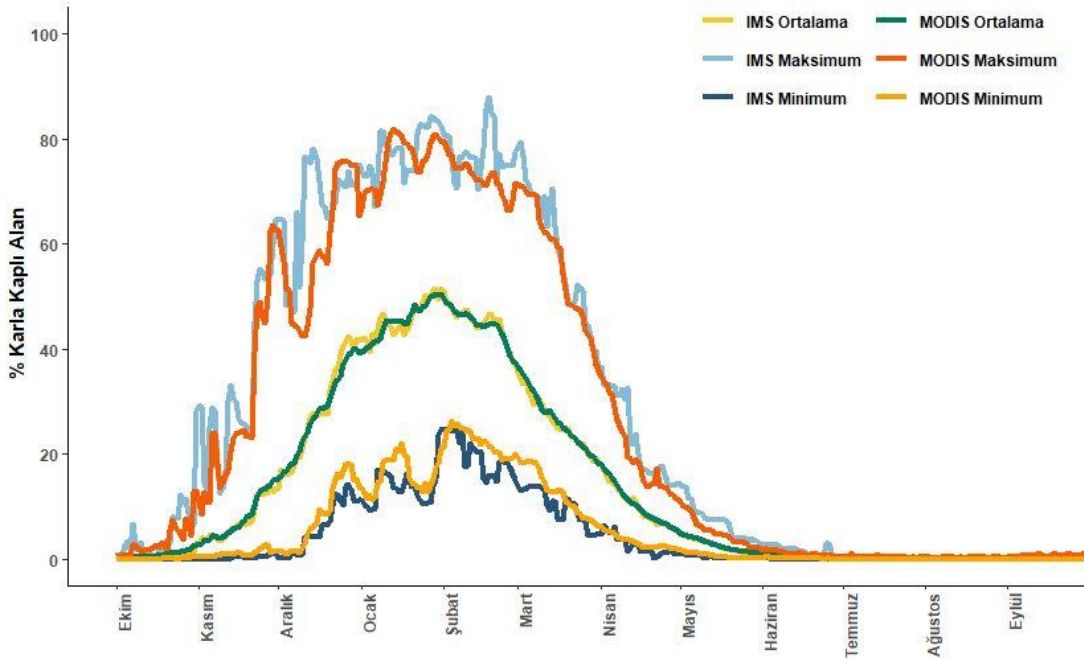
Türkiye'nin ortalama yükseltisi, 1141 m'dir. Ortalama yükseltisi en yüksek olan bölge, Doğu Anadolu Bölgesi (1829 m), en düşük olan ise Marmara Bölgesi (280 m)'dir. İç Anadolu Bölgesi 1205 m, Karadeniz Bölgesi 1163 m, Akdeniz Bölgesi 1027 m, Güneydoğu Anadolu Bölgesi 748 m ve Ege Bölgesi 715 m'dir (Elibüyük ve Yılmaz, 2010). Karın yüzeyde kalması ile yükseklik arasında bir ilişki vardır. Örneğin Şekil 3.11 incelendiğinde en çok kar Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. Bunun sebebi sıcaklığın yüksek kotlarda düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra ortalama eğimde karın yüzeyde kalması ile ilişkilendirilebilir. Ortalama eğimin en yüksek olduğu bölge Karadeniz Bölgesi'dir. En düşük ortalama eğimler ise Güneydoğu Anadolu Bölgesindedir. Bu sebepten Şekil 3.11'de yükseklik ve eğim beraber düşünüldüğünde Karadeniz Bölgesinin İç Anadolu Bölgesinden daha fazla kara sahip olması normaldir. Aynı şekilde Güneydoğu Anadolu Bölgesinin en az kara sahip olması da bu durumdan kaynaklanmaktadır. Ortalama yükseklikleri birbirine yakın olan Karadeniz ve İç Anadolu Bölgelerinin 23 yıllık karla kaplı alan dağılımının Türkiye ile benzer olduğu da Şekil 3.11'de görülmektedir. Türkiye ve bölgelerinin aylık ve günlük ortalamaları incelendiğinde, kar birikme zamanının aralık, ocak, şubat aylarında olduğu; kar erime zamanının ise mart, nisan, mayıs ve haziran aylarında olduğu görülmektedir. Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinde ise kasım ayının son 15 gününde de birikme olduğu görülmektedir. Genel olarak birikme aylarında ilk ve son 15 günlük ortalamalardaki farklılıklar, erime aylarındakinden daha fazladır ancak ortalama yükseltisi daha az olan bölgelerde bu farklılıkların çok daha az olduğu da görülmektedir. Şekil 3.12'de özellikle Marmara, Güneydoğu ve Ege Bölgelerinin ortalama ve minimum karla kaplı alan grafiklerinin birbirine yakın, maksimum karla kaplı alan grafiğinin ise bu çizgilerden daha uzak olması ortalama yükseltisinin düşük olması ile açıklanabilir. Doğu Anadolu Bölgesinin minimum karla kaplı alanı, İç Anadolu ve Karadeniz Bölgelerinin ortalama karla kaplı alanı ile neredeyse aynıdır. Genel olarak, ortalama yüksekliği düşük olan bölgelerde kar daha kısa sürede, ortalama yüksekliği fazla olan bölgelerde kar daha uzun sürede kalmaktadır.

Benzer sonuçları 4 ve 24 km IMS ürünlerinin karla kaplı alan sonuçlarını inceleyerek de görebiliriz. Şekil 3.13'de IMS ve MODIS uydu görüntülerinin ortak yıllarının günlük ortalama karla kaplı alan grafiği görülmektedir. 1 Ekim 2000 ile 24 Şubat 2004 tarihleri arası 24 km IMS verilerinden, sonrası için 4 km IMS verilerinden yararlanılmıştır.

Şekil 3.14’de ise 23 yıllık IMS ve MODIS uydu görüntülerinin karla kaplı alanlarının günlük maksimum, ortalama ve minimum grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Türkiye IMS ve MODIS ortalama karla kaplı alan grafikleri



Şekil 3.14 IMS ve MODIS maksimum, ortalama ve minimum günlük ortalama grafiği

Tablo 3.1 ve Şekil 3.13-14 incelendiğinde IMS ve MODIS ürünleri yüksek uyum içerisinde olduğu farklı performans metrikleri ile gösterilmiştir. Genel bir değerlendirme ile en uyuşmaz yılların başında 2001 ve 2010 yılları, en iyi yılların başında ise 2012, 2019, 2020 yılları geldiği söylenebilir.

Tablo 3.1. *IMS ve MODIS uydu görüntülerinin performans ölçütleri*

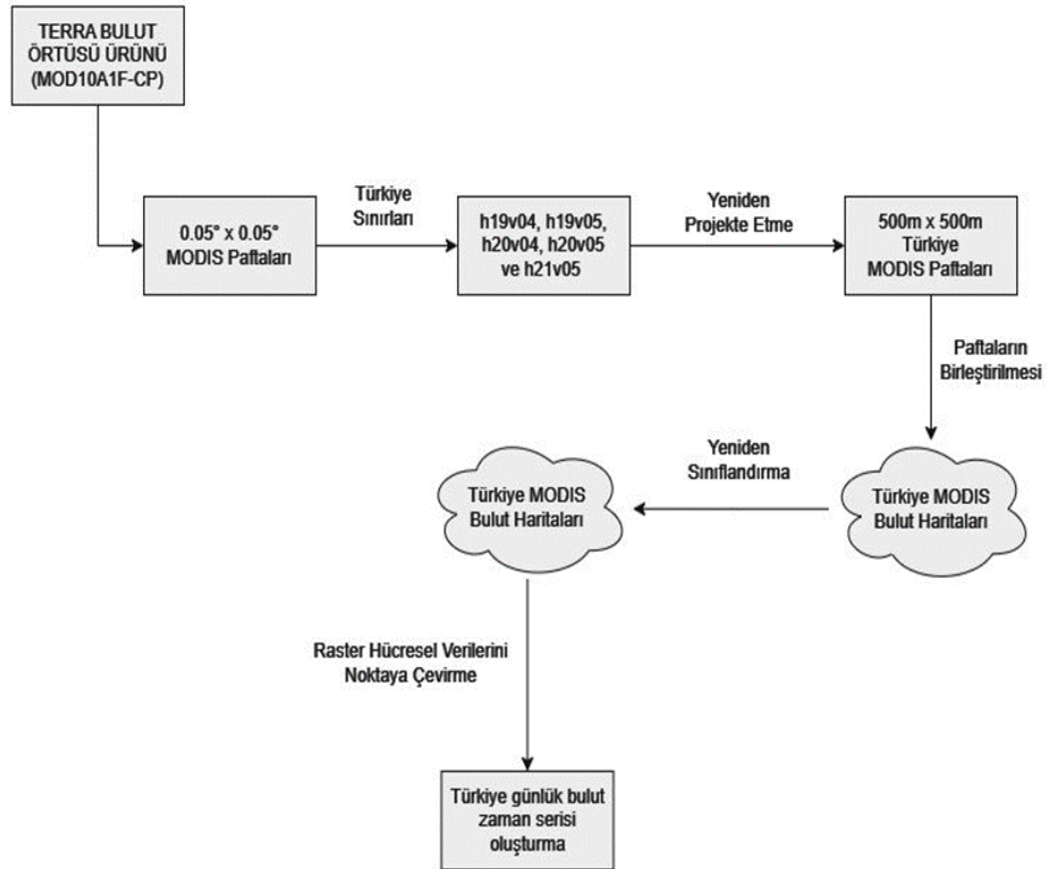
Yıllar	mKGE	VE	NSE	R ²	Yıllar	mKGE	VE	NSE	R ²
2001	0.628	0.15	0.887	0.919	2013	0.797	-0.13	0.868	0.879
2002	0.934	0.04	0.973	0.973	2014	0.870	-0.02	0.920	0.931
2003	0.850	0.10	0.971	0.976	2015	0.893	0.00	0.892	0.893
2004	0.823	0.11	0.881	0.884	2016	0.824	0.06	0.939	0.948
2005	0.924	-0.04	0.949	0.952	2017	0.969	0.01	0.970	0.970
2006	0.956	-0.03	0.965	0.966	2018	0.857	0.05	0.947	0.953
2007	0.929	-0.05	0.975	0.977	2019	0.973	-0.01	0.948	0.948
2008	0.743	-0.12	0.957	0.973	2020	0.976	-0.01	0.959	0.959
2009	0.791	-0.12	0.932	0.943	2021	0.851	0.03	0.881	0.883
2010	0.665	-0.18	0.852	0.878	2022	0.896	0.04	0.970	0.972
2011	0.894	-0.02	0.875	0.876	2023	0.841	0.02	0.911	0.920
2012	0.942	0.01	0.980	0.982					

mKGE: Modifiye edilmiş Kling Gupta Verimliliği
VE: Hacim Hatası
NSE: Nash Sutcliffe Verimliliği
R2: Belirleme Katsayısı

Açıkyol (2022) farklı çözünürlükteki IMS uydularının doğruluğunu belirleyebilmek için 2019 su yılı bazında yer gözlemleri ile bir ihtimal tablosu oluşturmuştur ve 4 km IMS uydusunun yüzeydeki karı yakalama başarısını %86 bulmuştur. IMS ve MODIS ürünleri arasındaki yüksek uyuma bakıldığı zaman, yeni bulutsuz MODIS Terra ürünlerinin, orijinal ürünlerdeki bulut ayırma işlemlerine gerek duyulmadan literatürde kullanılabileceğini göstermektedir.

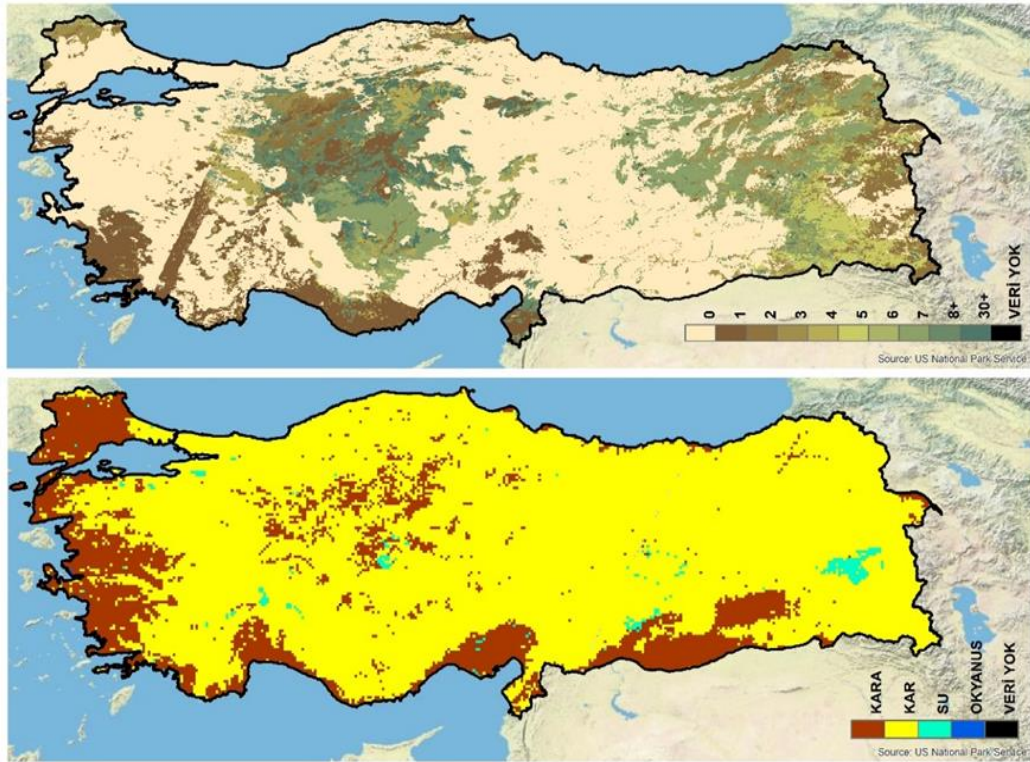
Bulut boşluğu doldurma her gün bulutsuz bir kar haritası sağlasa da, kar gözleminin doğruluğu kısmen son bulutsuz gözlemden bu yana geçen gün sayısına bağlıdır. Bu nedenle bulut kalıcılığına ilişkin bilgiler her ürüne dahil edilir. Bulut kalıcılığı algoritması, bir piksel için bulutla kaplı ardışık günlerin sayısını artırarak son bulutsuz gözlemden bu yana geçen gün sayısını izler. Mevcut gün gözlemi 'bulut' ise, bulut sayısı birdir. Bulut kalıcılığı sayısı 0 ise, bu kar örtüsü gözleminin geçerli güne ait olduğu anlamına gelir. Mevcut gün için bulutta kalıcılık sayısı birden büyük ise, bu o gün bulutla örtülü ardışık gözlemlerin sayısını belirtir yani bir hücredeki bulut kalıcılık değeri "2" ise, o hücrede ardışık olarak iki gün boyunca bulutlu hava koşullarının devam ettiğini gösterir. Tüm bu bilgiler dahilinde, bulutlar için gösterilen zaman serisi grafikleri, o gün için bulutlu olan yani hücresel değeri bir ve birden büyük olan veriler kullanılarak yapılmıştır.

Bulut kalıcılığı ürünleri de kar ürünleri ile aynı şekilde ön işlemlerden geçmiştir. Görüntülerin hangi aşama ile işlendiğini gösteren akış şeması Şekil 3.15’de verilmiştir.



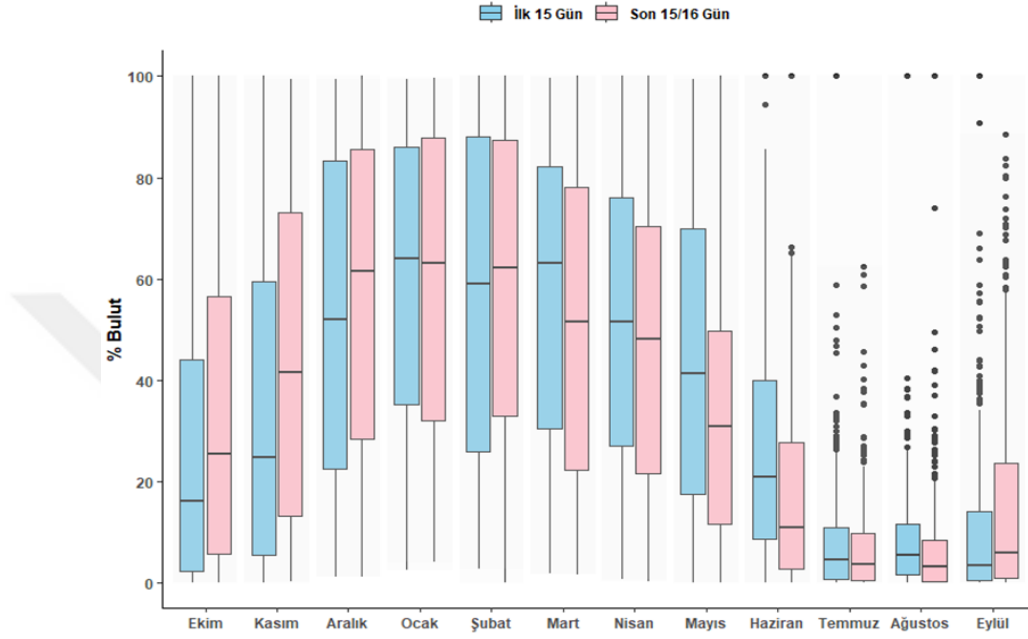
Şekil 3.15. MODIS bulut kalıcılığı ürünlerinin akış şeması

Şekil 3.16’da Türkiye için 28 Ocak 2022 tarihinde bulut örtüsünün ne kadar süreyle devam ettiği ve aynı zamanda kaç gün öncesinin raster verisini kullanarak bulut doldurma işleminin gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Burada, bulut kalıcılık sayısı sıfırsa, kar örtüsü gözleminin geçerli güne ait olduğu anlamına gelir yani Şekil 3.13 için “sıfır” değerleri 20 Ocak 2022 tarihinde piksel ne gösteriyorsa aynı şekilde alınmıştır. Mevcut gün için bulut sürekliliği sayısı birden büyük veya eşitse, son "bulutsuz" gözlemde bu yana geçen gün sayısını temsil eder yani 28 Ocak 2022 tarihi için bulut kalıcılığındaki “bir” değeri 28 Ocak 2022 tarihinde o pikselin bulutlu olduğunu, “birden büyük” değerler ise o pikselin önceki günlerde de bulutlu olduğunu söyler. Bulut kalıcılığı bir zaman serisi için başlatıldığı gün, bulut kalıcılığı haritası, bulut olmayan gözlemler için sıfır, bulut gözlemleri için ise bir değerini göstererek o günde oluşan bulut durumunu gösterir. Eğer sadece o günde oluşan bulut durumuna bakmak istersek sadece bir değerlerini dikkate almamız gerekir.

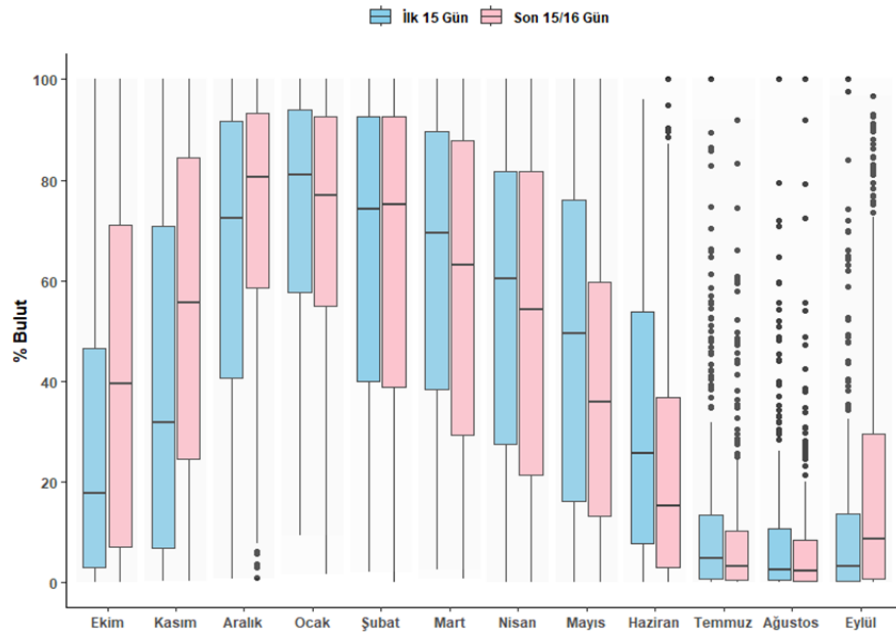


Şekil 3.16. 28 Ocak 2022 Türkiye Bulut Kalıcılığı (üst) ve MOD10A1F (alt) kar haritaları

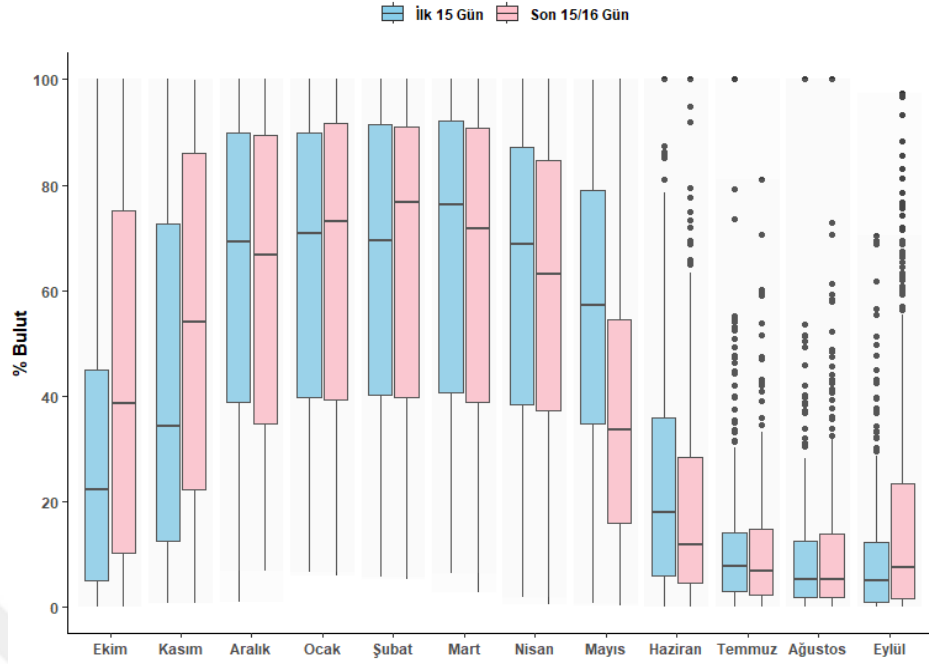
Bulut kalıcılığı görüntüleri 26 Şubat 2000 tarihinden başlayarak 30 Eylül 2023 tarihine kadar işlenmiştir. Bu ön işlemler sonucunda Türkiye ve bölgeleri için elde edilen bulutla kaplı alan zaman serileri Şekil 3.17-25'deki gibidir. Bu zaman serileri bir ve birden büyük değerler dikkate alınarak oluşturulmuştur.



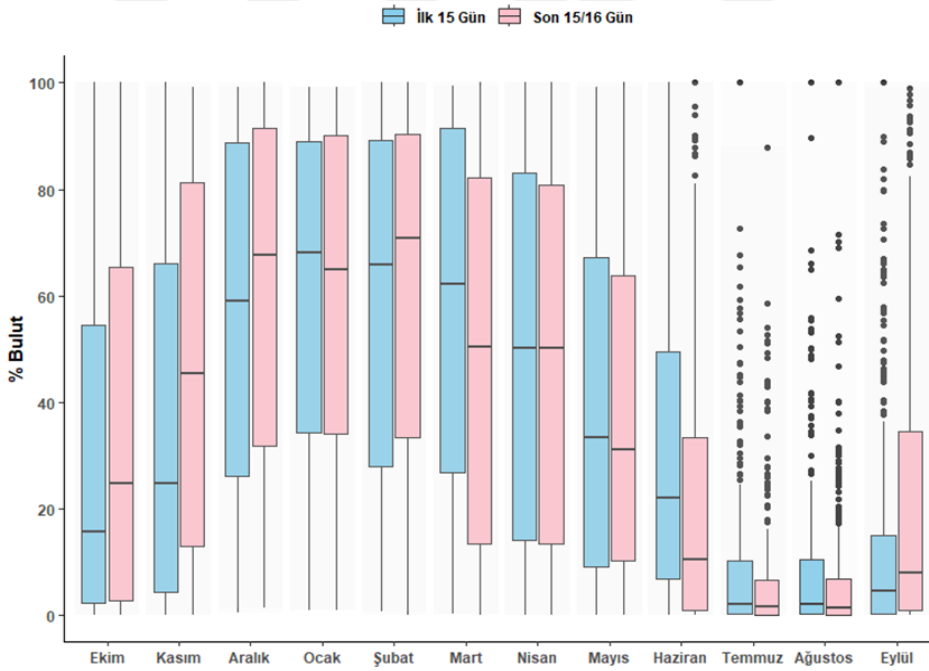
Şekil 3.17. Akdeniz Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği



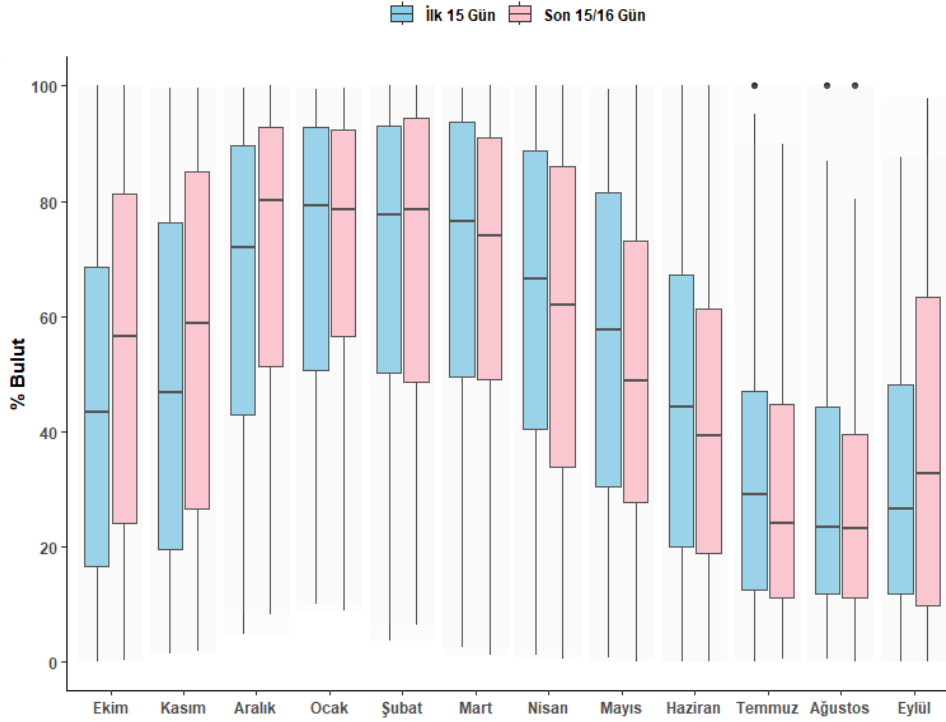
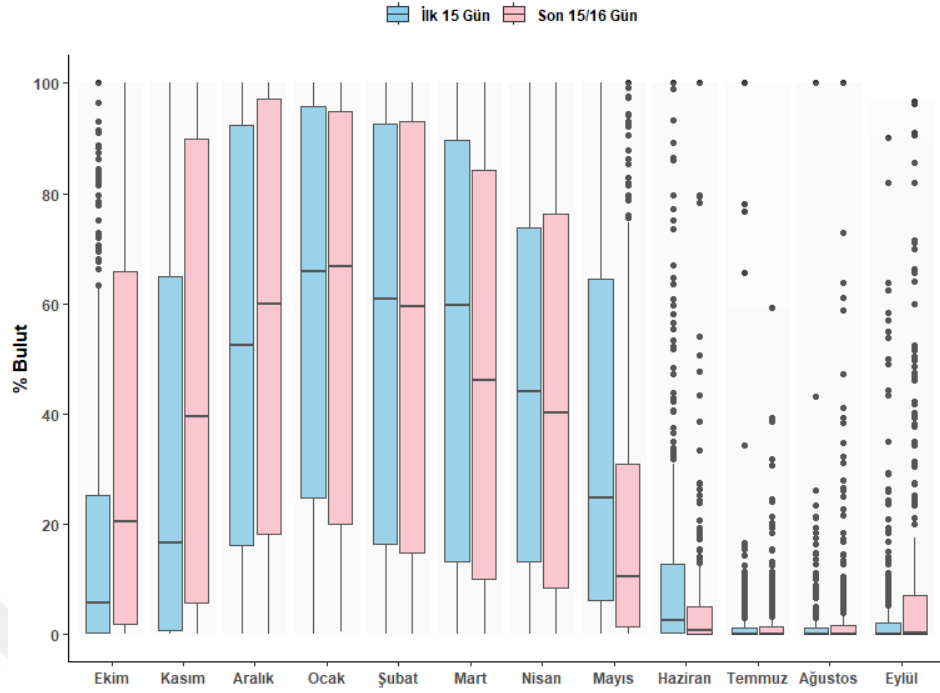
Şekil 3.18. İç Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği

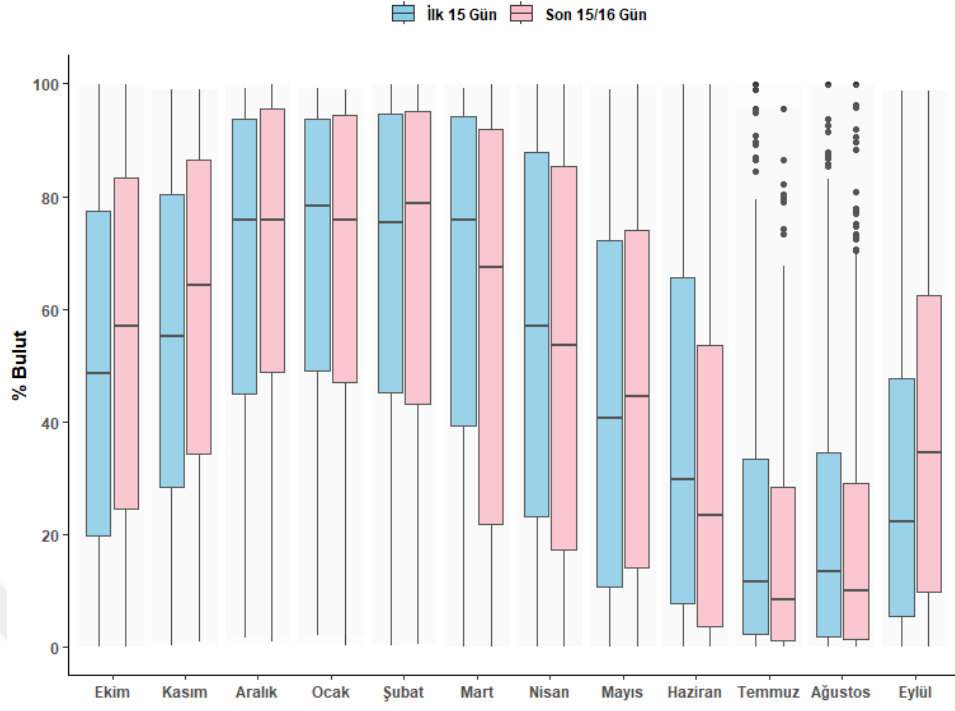


Şekil 3.19. Doğu Anadolu Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği

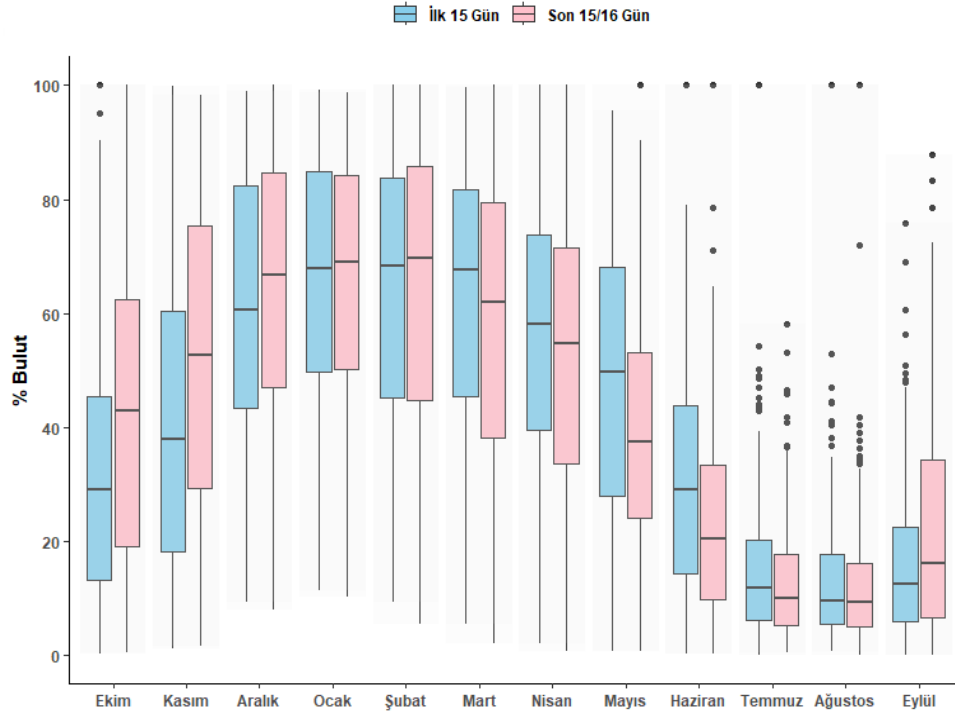


Şekil 3.20. Ege Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği



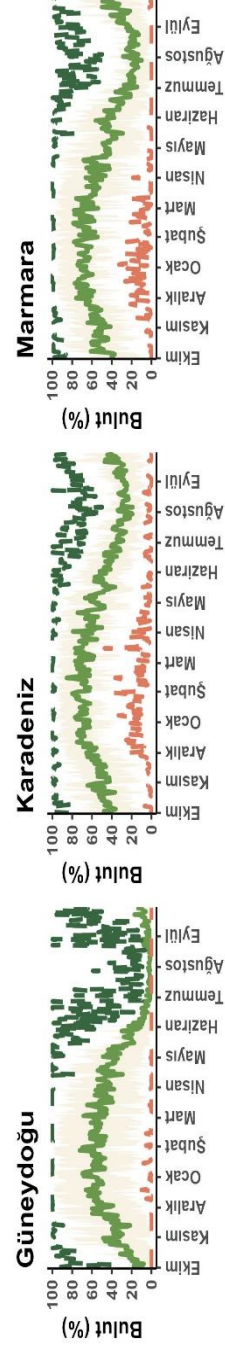
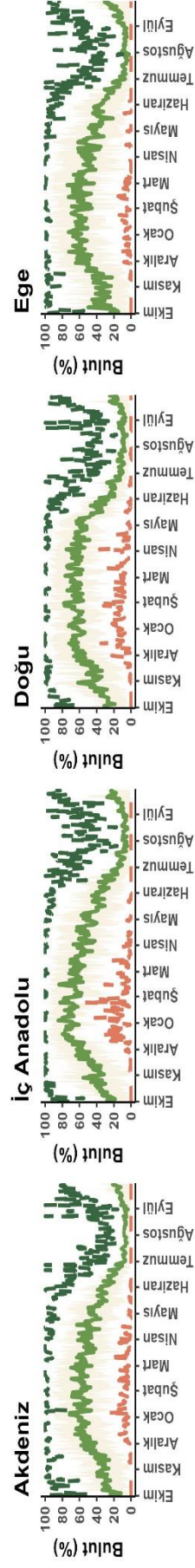
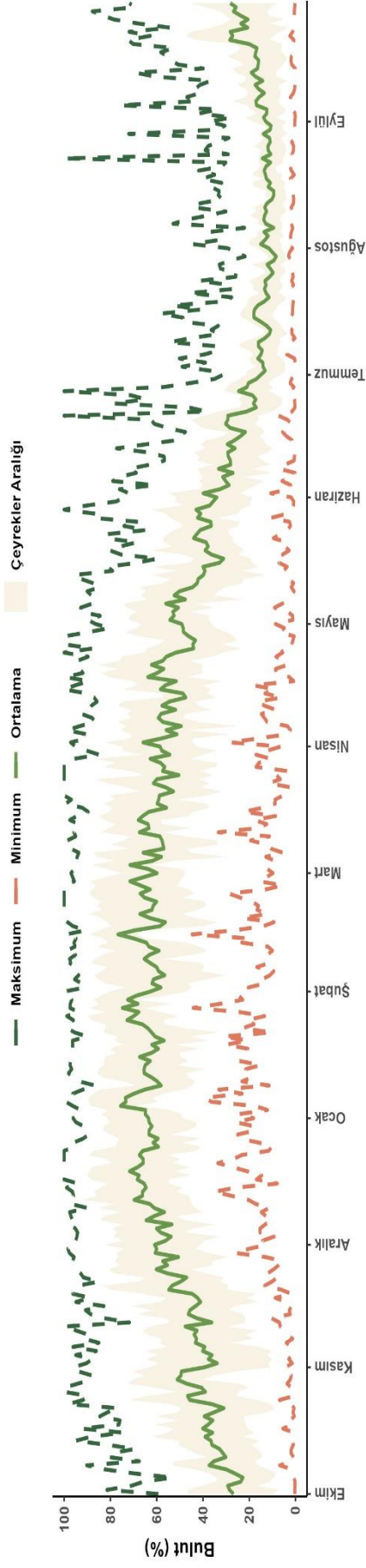


Şekil 3.23. Marmara Bölgesi 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği

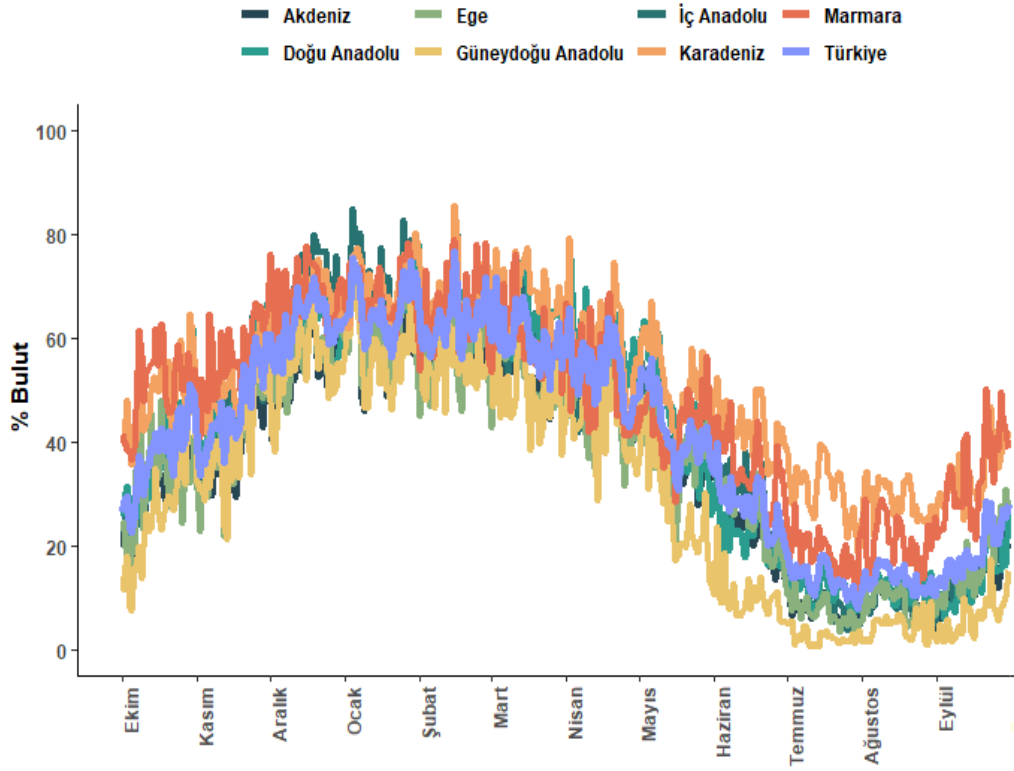


Şekil 3.24. Türkiye 2000-2023 su yılları 2-haftalık bulutla kaplı alan grafiği

Türkiye



Şekil 3.25 Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları günlük ortalama bulutla kaplı alan grafiği



Şekil 3.26. Türkiye ve bölgelerinin 2000-2023 su yılları ortalama bulutla kaplı alan grafiği

Genel olarak, ortalama yükseklik arttıkça bulut oluşma olasılığının arttığı söylenebilir. Türkiye ve bölgelerinin bulut durumu incelendiğinde, özellikle kış aylarında diğer aylara göre bulut oranının fazla olduğu görülmektedir. En belirgin farklılıklar yaz aylarında ve sonbahar başında ortaya çıkmaktadır. Haziran eylül arasını incelendiği zaman, en yoğun bulut Karadeniz Bölgesinde, en seyrek bulut ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde görülmektedir. Bu bölgeler dışında, bulut yoğunluğu en fazla Marmara, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Ege ve Akdeniz olarak sıralanabilir. Marmara Bölgesi, çevresindeki Karadeniz, Ege Denizi ve Akdeniz gibi su kütlelerine yakın konumda bulunduğundan dolayı bölgede nem miktarı diğer bölgelere kıyasla daha yüksektir. Aynı zamanda Marmara Bölgesi, Karadeniz'in ılıman iklimi ile Akdeniz'in yumuşak iklimi arasında bir geçiş bölgesidir. Bu durumlar bölgede değişken hava koşullarına ve sık bulut oluşumuna neden olabilir.

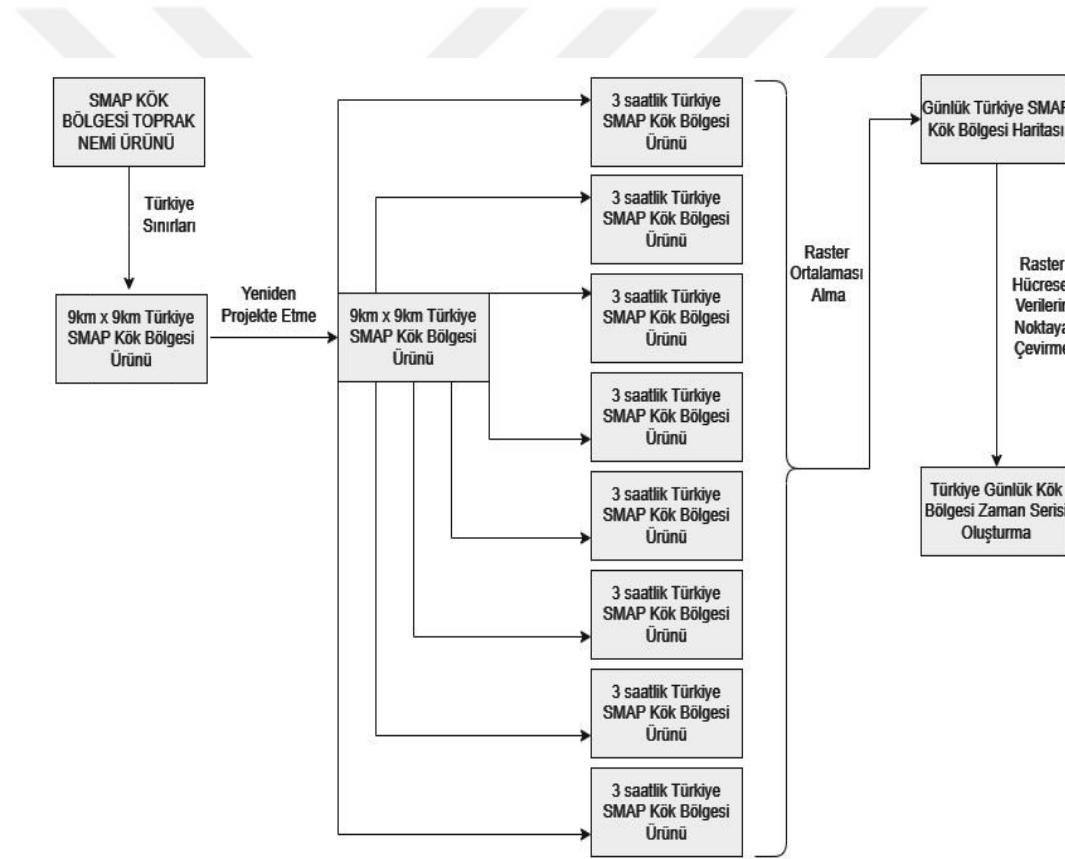
Tüm bölgeler için en yoğun bulut örtüsü ocak ayındadır. Ortalama yükseltisi düşük olan Marmara, Ege, Güneydoğu ve Ege Bölgeleri için en seyrek bulutlar temmuz ayında oluşmaktadır. Ortalama yükseltisi yüksek olan İç Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri için ise en seyrek bulutlar ağustos ayında oluşmaktadır.

Tüm bölgeler için aralık, ocak, şubat ve mart aylarında %50'nin üzerinde bulut vardır. Kar birikme zamanının aralık, ocak ve şubat aylarında olduğu ve kar erimesinin de mart ayında başladığı Türkiye'de, özellikle hidrolojik modelleme çalışmalarında kullanılan orijinal MODIS ürünlerinin kesinlikle bir bulut filtrelemesine ihtiyaç duyduğu bulut kalıcılığı ürünlerinde açıkça ortaya çıkmaktadır.



3.2. Uydu Görüntülerinin Türkiye Analizi: Toprak Nemi Analizi

Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi (NSIDC DAAC) SMAP veri koleksiyonunun (<https://nsidc.org/data/smap/data>), bir parçası olan SPL4SMGP veri seti, kök bölgesi toprak nemi ürünlerini içeren 9 km çözünürlüğünde tüm dünyayı kapsayan bir settir. Bu setler, GeoTIFF formatında Coğrafi projeksiyona sahip olacak şekilde indirilmiştir. Daha sonra R programında Türkiye sınırları kestirilerek yeniden projekte (Ease Grid 2.0) edilmiştir. Kök bölgesi toprak nemi ürünleri 3 saatlik ürünler olduğu için tam bir güne tamamlamak için her sekiz adet raster verisinin ortalaması alınmıştır. Bu işlemler hem zaman serisi hem de oluşturulan haritalar için uygulanmıştır. Görüntülerin hangi aşama ile işlendiğini gösteren akış şeması Şekil 3.27’de verilmiştir.

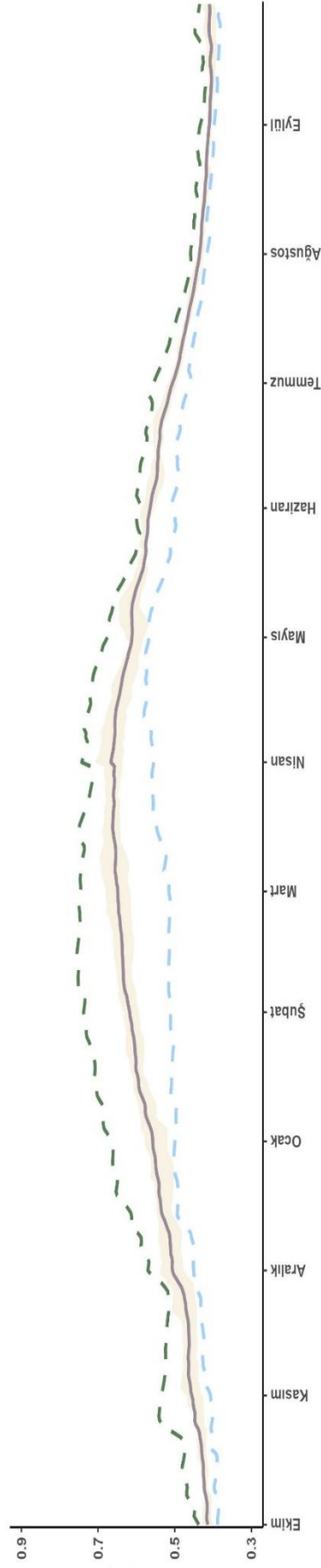


Şekil 3.27. SMAP seviye dört kök bölgesi ürünlerinin akış şeması

SMAP kök bölgesi toprak nemi ürünleri 1 Nisan 2015 tarihinden başlayarak 30 Eylül 2023 tarihine kadar işlenmiştir. SMAP ön işlemler sonucunda Türkiye ve bölgeleri için elde edilen toprak nemi zaman serileri Şekil 3.28’deki gibidir.

Türkiye

— Maksimum — Minimum — Ortalama Çeyrekler Aralığı

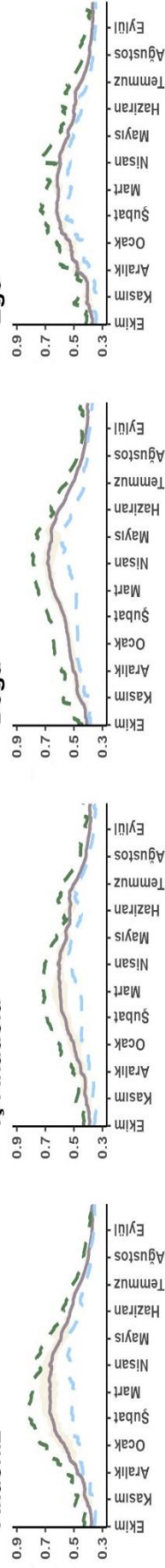


Akdeniz

İç Anadolu

Doğu

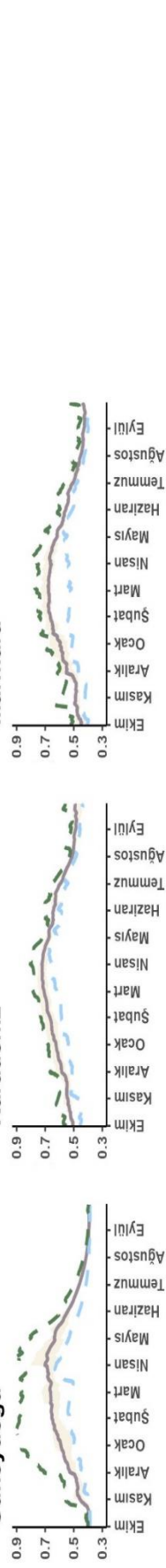
Ege



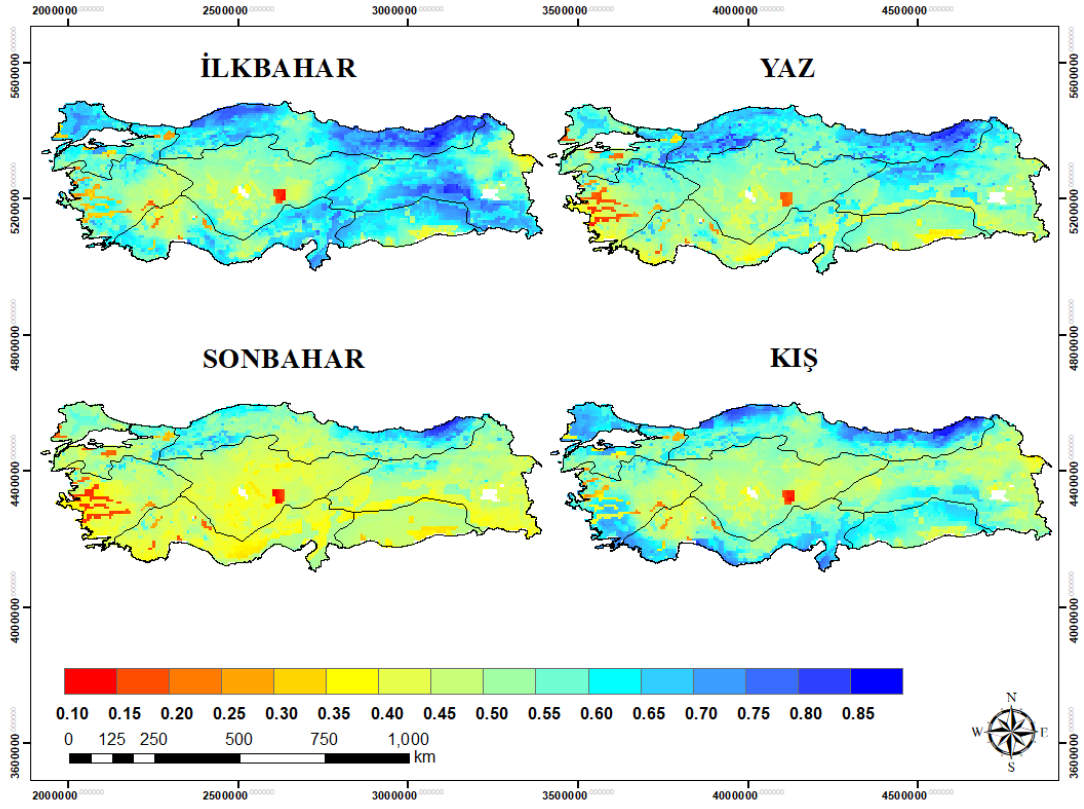
Güneydoğu

Karadeniz

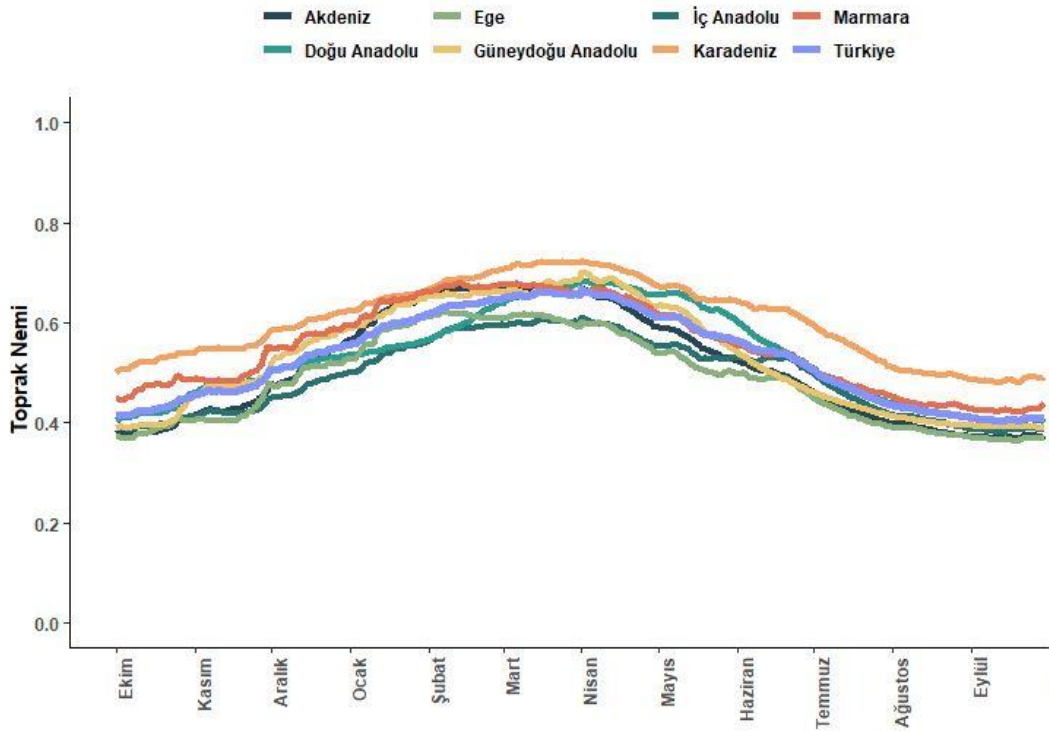
Marmara



Şekil 3.28. Türkiye ve bölgelerinin 2015-2023 su yılları günlük ortalama kök toprak nemi grafiği



Şekil 3.29 Türkiye ortalama mevsimsel kök toprak nemi haritası



Şekil 3.30 Türkiye ve bölgelerinin 2015-2023 su yılları ortalama kök toprak nemi grafiği

SMAP kök toprak nemi veri setleri kış (Aralık, Ocak, Şubat), sonbahar (Eylül, Ekim, Kasım), ilkbahar (Mart, Nisan, Mayıs) ve yaz (Haziran, Temmuz, Ağustos) mevsimleri için haritalanmıştır. Şekil 3.28’de görüldüğü üzere, Doğu Karadeniz Bölgesi tüm sene boyunca yüksek kök toprak nemine sahiptir. Kış aylarında havaların soğuması ile azalan sıcaklıklar ve artan yağışların etkisi ile ülke genelinde toprak nemi değerleri yükselmektedir. Şekil 3.29’da Türkiye ve bölgelerinin 2015-2023 su yılları ortalama kök toprak nemi grafiği verilmiştir. Tüm bölgeler için toprak nemi aralık ayından başlayarak mart ayının sonuna kadar yükselmektedir. Ancak, Ege ve İç Anadolu bölgeleri için bu yükseliş daha hızlı başlayıp Şubat ayında zirveye ulaşmaktadır. Toprak neminin azalması Nisan ayında başlarken, Doğu Anadolu Bölgesi için Mayıs sonu gibi başlamaktadır. Bunun sebebi o bölgede bulunan kar erimesi ile toprak ıslaklığının artmasıdır. Genel olarak, Akdeniz ile Marmara Bölgesi; Ege ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi; İç Anadolu ile Doğu Anadolu Bölgesi (Şubat-Nisan arası ıslaklık durumu hariç) benzer özellik göstermektedir. Türkiye’nin genel ıslaklık durumu ise Karadeniz bölgesi ile aynıdır.

Tablo 3.2’de 2015-2023 su yılları aylık ortalama kök toprak nemi değerleri verilmiştir. Toprak neminin en fazla olduğu aylar şubat, mart, nisan ayında değişirken; tüm bölgeler için en az olduğu ay eylül ayıdır.

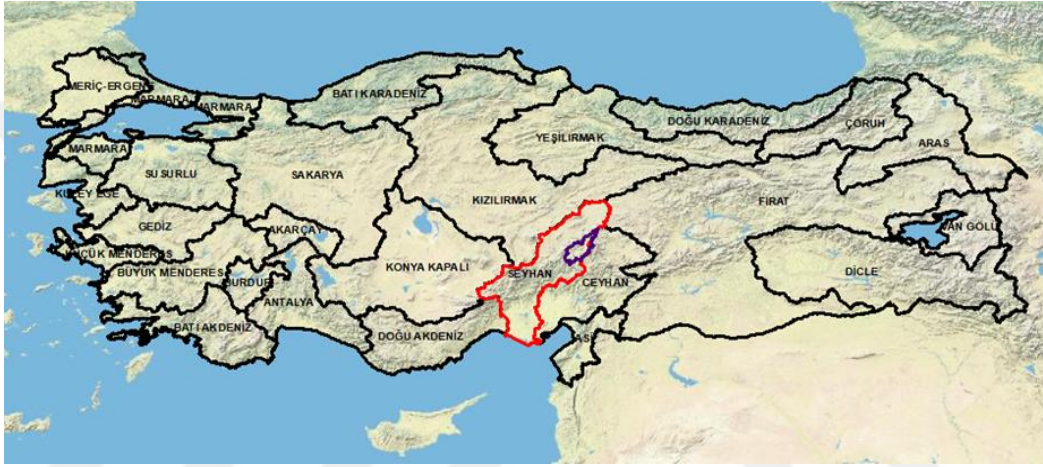
Tablo 3.2. Türkiye ve bölgeleri aylık kök toprak nemi değerleri

Ay	Türkiye	Akdeniz	Anadolu	Doğu	Ege	G. Doğu	Karadeniz	Marmara
Ekim	0.430	0.387	0.398	0.425	0.387	0.404	0.524	0.472
Kasım	0.469	0.433	0.423	0.479	0.418	0.476	0.552	0.496
Aralık	0.531	0.518	0.474	0.520	0.502	0.557	0.603	0.571
Ocak	0.591	0.618	0.535	0.549	0.579	0.621	0.647	0.635
Şubat	0.636	0.666	0.587	0.602	0.615	0.657	0.688	0.673
Mart	0.657	0.665	0.601	0.663	0.610	0.673	0.718	0.671
Nisan	0.644	0.636	0.586	0.673	0.580	0.673	0.705	0.652
Mayıs	0.591	0.560	0.540	0.640	0.517	0.598	0.658	0.589
Haziran	0.540	0.498	0.524	0.555	0.485	0.500	0.626	0.537
Temmuz	0.468	0.427	0.454	0.473	0.417	0.436	0.555	0.478
Ağustos	0.423	0.386	0.404	0.423	0.382	0.402	0.499	0.438
Eylül	0.407	0.372	0.386	0.405	0.368	0.392	0.486	0.426

3.3. Çalışma Alanları

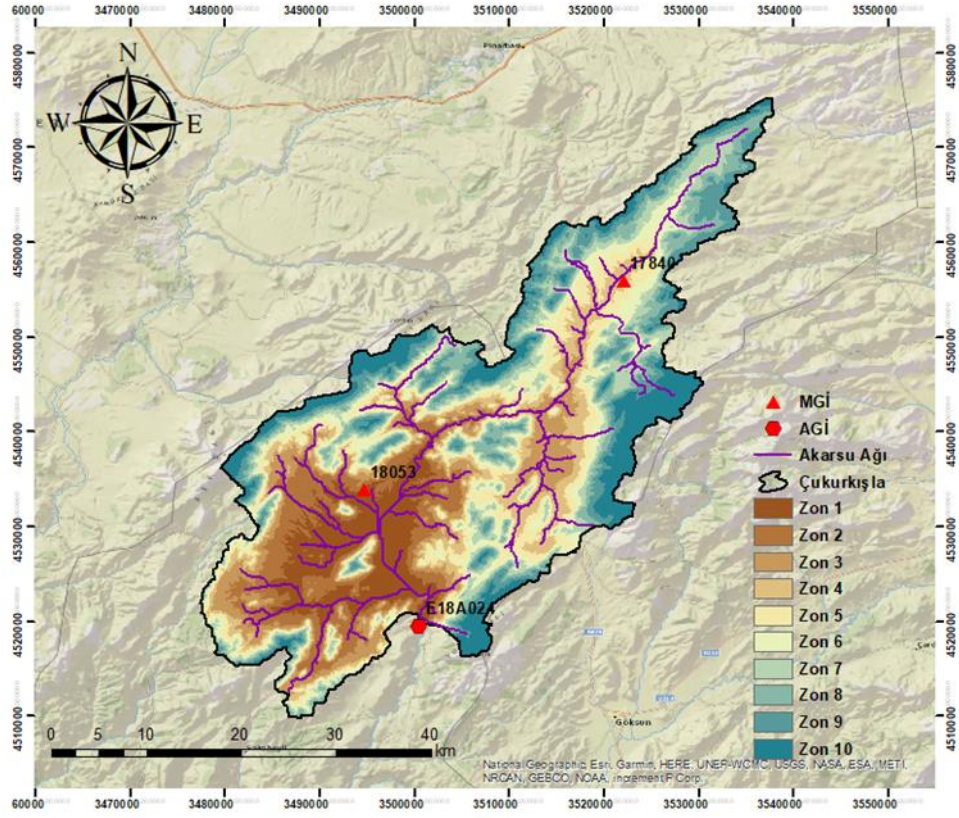
3.3.1. Yukarı Seyhan (Çukurkişla) havzası

Çukurova'dan kuzeye doğru uzanan Seyhan havzası, yukarı bölümü (Göksu ve Zamantı kolları) İç Anadolu, orta ve aşağı bölümü Akdeniz bölgesinde yer alan $36^{\circ} 30'$ ile $39^{\circ} 15'$ kuzey enlemleri ve $34^{\circ} 45'$ ile $37^{\circ} 00'$ doğu boylamları arasında bulunan bir havzadır. Bu çalışmada kullanılmak üzere seçilen ve dağlık bir bölgede bulunan Çukurkişla alt havzası ise Göksu nehrinin üst kotunda yer alan Çukurkişla istasyonudur.



Şekil 3.31. Çukurkişla havzası konumu

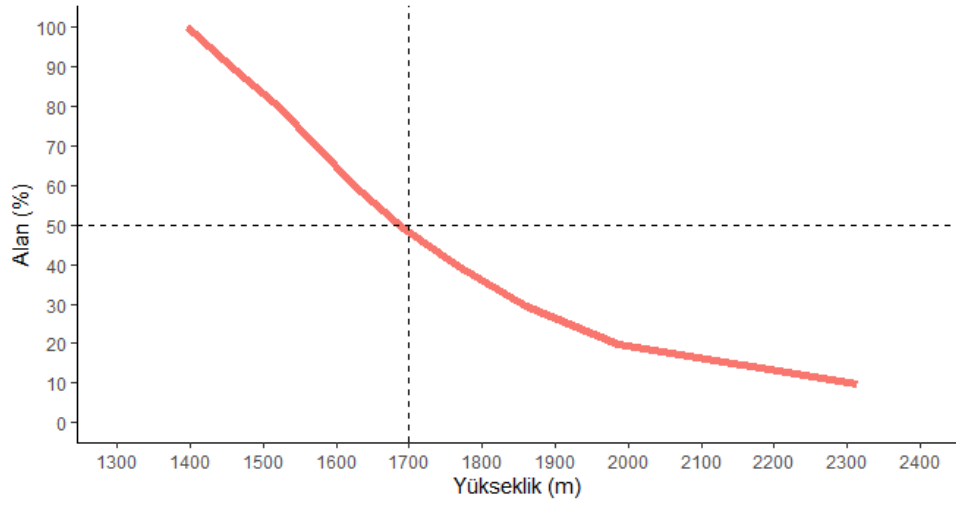
Havza'nın çıkış noktasına göre, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla Sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak çeşitli mekansal analizler yapılmıştır. Bu analizlere göre havza yüksekliği 1364 m ile 2953 m arasında değişmektedir. Havzanın hipsometrik ortalaması 1700 m'dir. Drenaj alanı 1522.4 km²'dir. Çukurkişla havzası, dağlık olduğundan ve kar erimesi havzanın hidrolojisinde önemli bir rol oynadığından kar temsilinin daha anlamlı olabilmesi için havza 10 eşit alana sahip olacak şekilde bölünmüştür. Her bir eşdeğer bölgenin alanları, maksimum, minimum ve ortalama kotları Tablo 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Çukurkışla havzası yükseklik bölgeleri

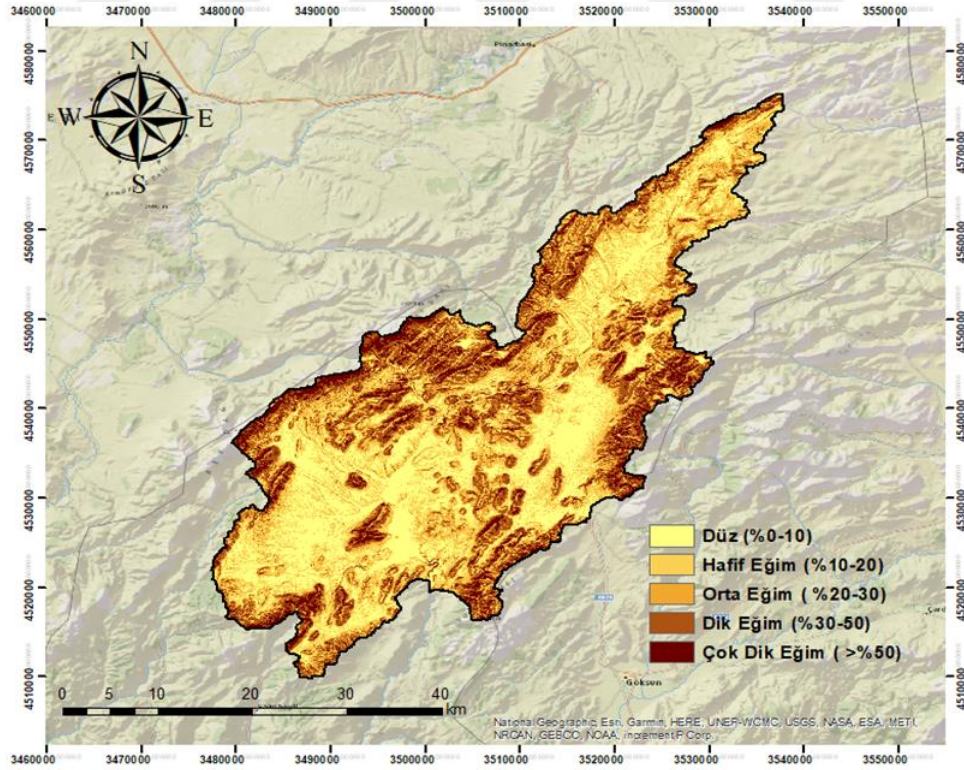
Tablo 3.3. Her bir eşdeğer bölgenin alanları ve yükselti aralıkları

Bölge	Yükseklik Aralığı	Alan	Ortalama Yükseklik
1	1364-1427	154.10	1394.82
2	1428-1490	152.69	1456.45
3	1491-1547	154.32	1520.67
4	1548-1598	153.31	1573.47
5	1599-1655	153.44	1625.79
6	1656-1726	152.01	1689.93
7	1727-1808	152.19	1766.39
8	1809-1914	150.29	1859.19
9	1915-2072	150.34	1985.89
10	2073-2953	149.70	2314.43

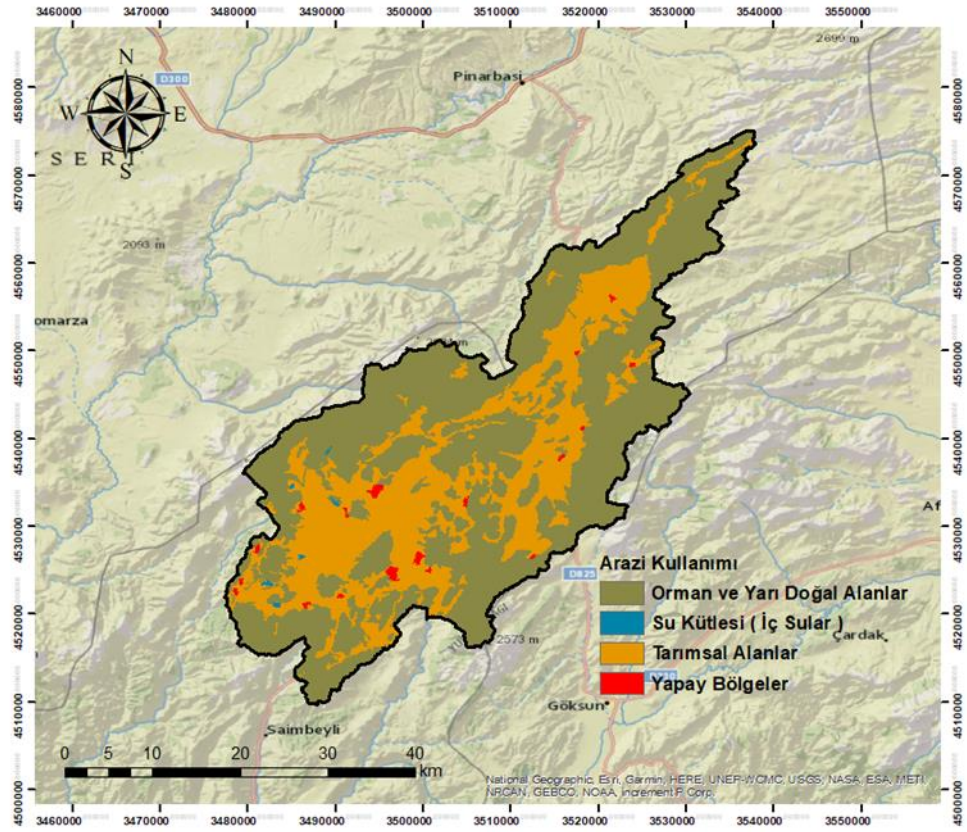


Şekil 3.33. Çukurkişla havzası hipsometrik eğrisi

Çukurkişla havzasının ortalama eğimi %22'dir ve büyük bir kısmı tarım ve ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Eğim ve arazi kullanım haritalarının alansal dağılımı Tablo 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Çukurkişla havzası eğim haritası



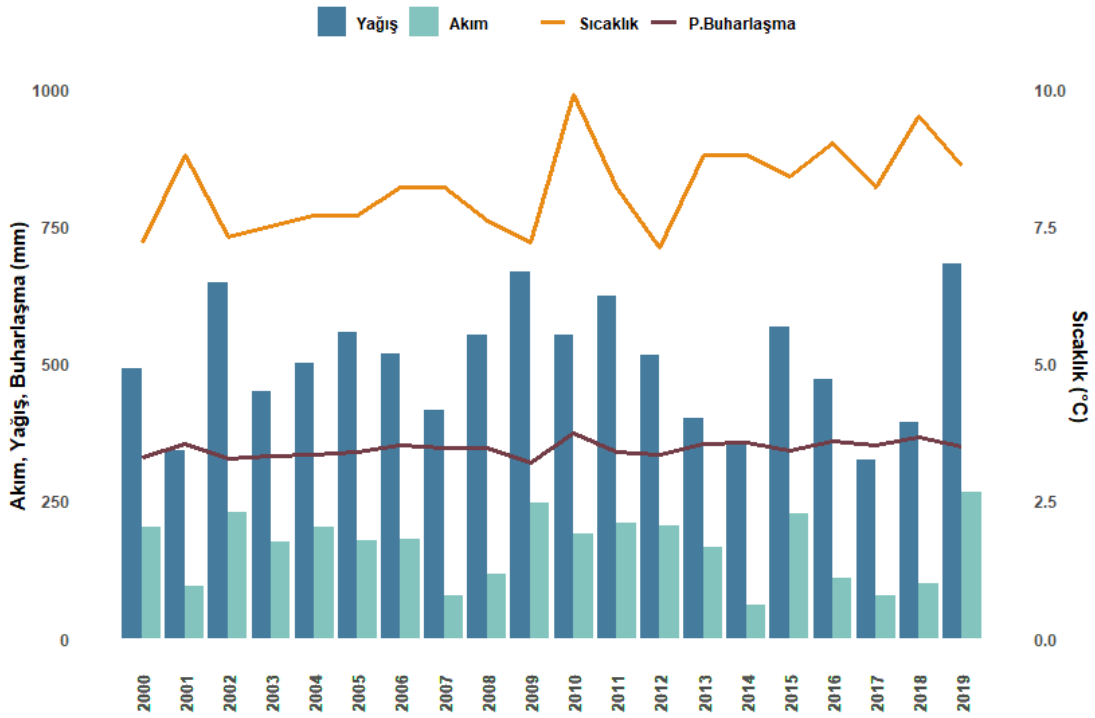
Şekil 3.35. Çukurkışla havzası arazi kullanım (Corine 2008) haritası

Tablo 3.4. Eğim ve arazi kullanım haritalarının alansal dağılımı

Arazi Kullanımı	Alansal Dağılım(%)	Eğim	Alansal Dağılım (%)
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	65.28	Düz	27.46
		Hafif Eğimli	23.81
Su Birikintisi (Kütlesi)	0.15	Orta Eğimli	16.05
Tarımsal Alanlar	33.92	Dik	23.58
Yapay Bölgeler	0.65	Çok Dik	9.1

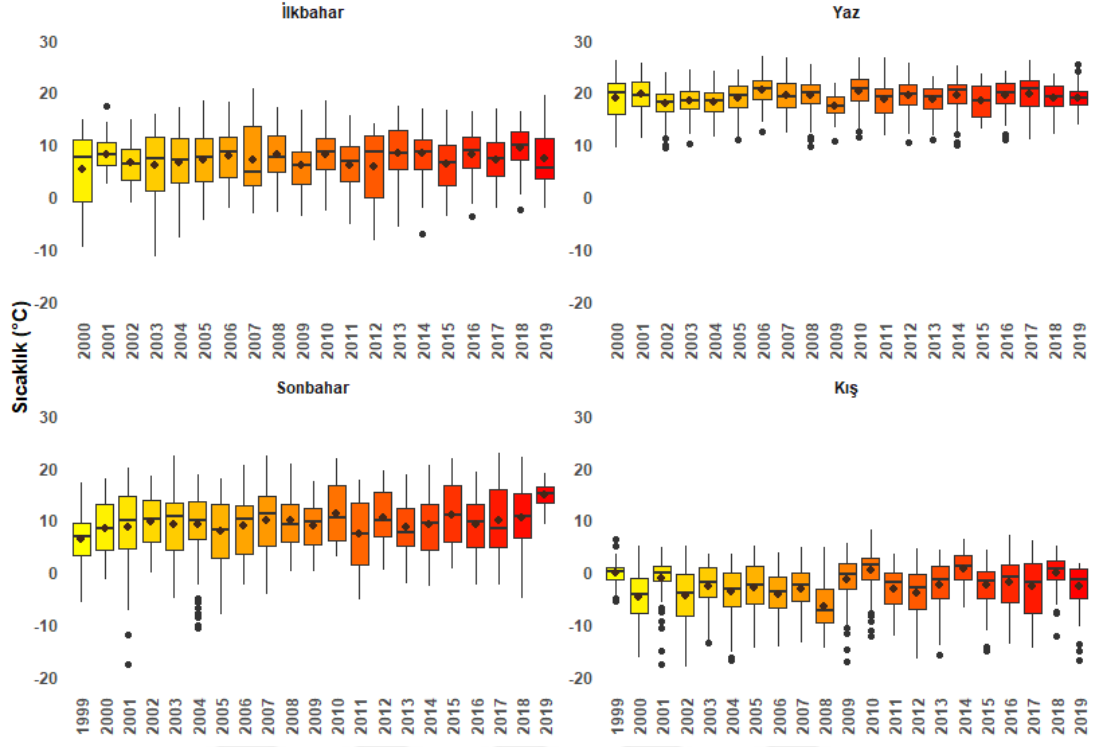
Havza içinde iki adet meteoroloji gözlem istasyonu (Kayseri Sarız ve Adana Tufanbeyli) ve bir adet akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen yağış, sıcaklık ve akım verileri MGM ve DSİ'den elde edilmiştir. Elde edilen veriler kalite kontrolünden geçirildikten sonra hidrolojik modelde kullanılmak üzere bir veri seti hazırlanmıştır.

Havzanın hidro-meteorolojik koşullarına göre 2000-2019 su yılları arasındaki yıllık ortalama yağışı (P) 503.06 mm, sıcaklığı (T) 8.16 °C'dir. Çukurkışla istasyonunun ortalama debisi 7.93 m³/s ve maksimum gözlenen akarsu debisi 122 m³/s'dir. İstasyondaki aylık ortalama akım değerlerine göre kar erimesi, erime mevsimi boyunca yıllık akış hacminin yaklaşık %62'sine katkıda bulunmaktadır.

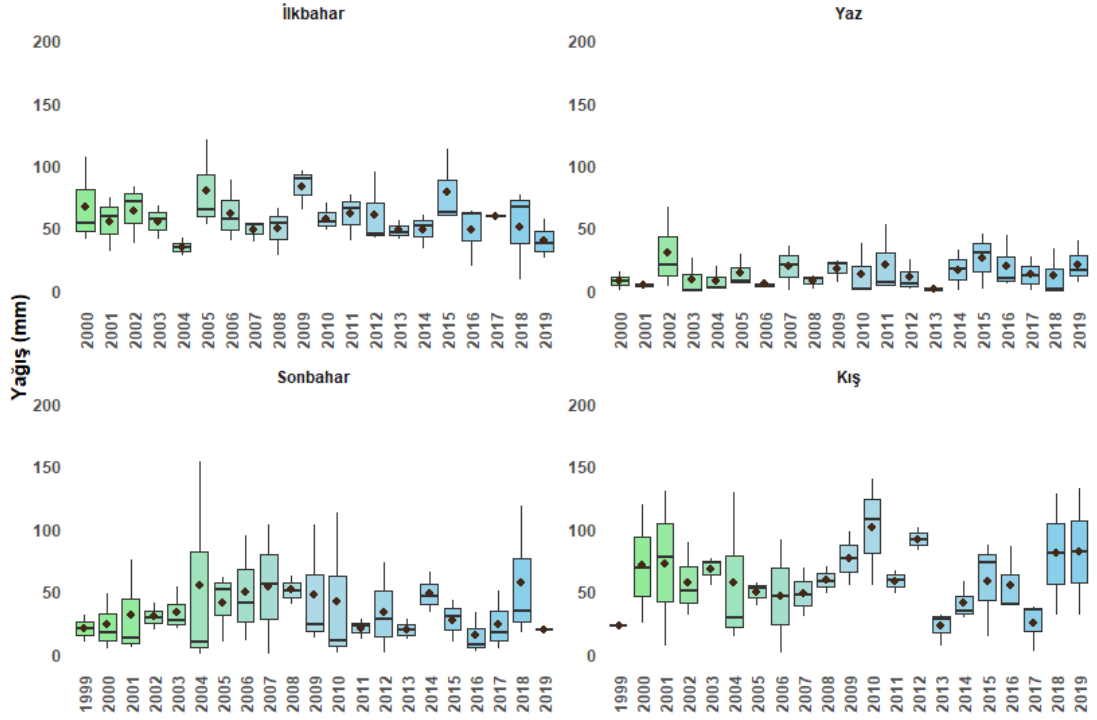


Şekil 3.36. Çukurkışla havzası hidro-meteorolojik veriler

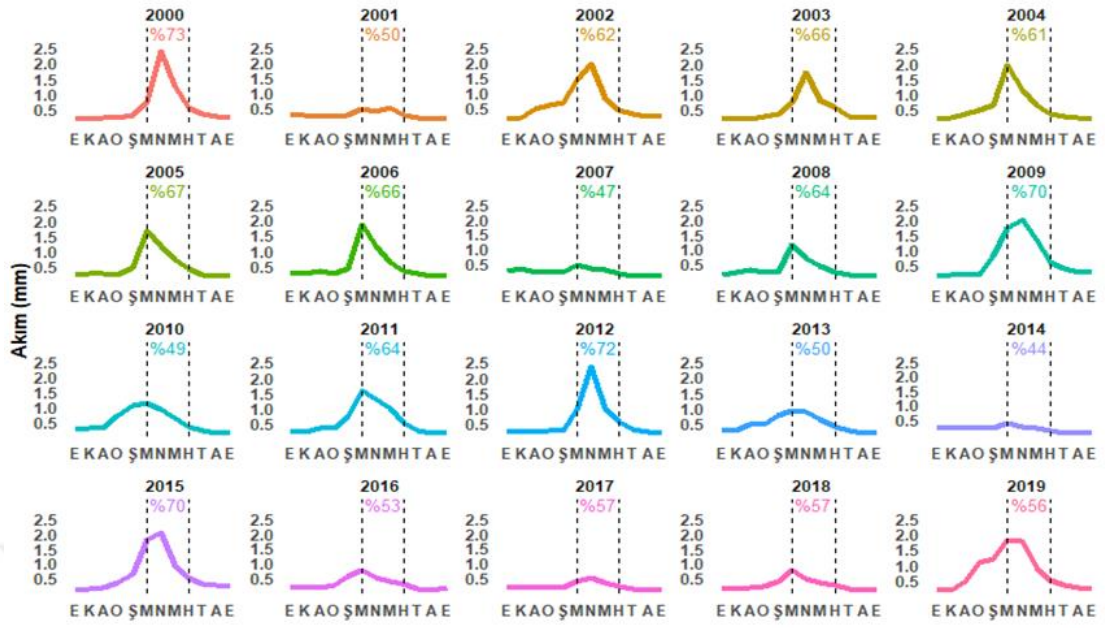
Çukurkışla havzasının hidro-meteorolojik verileri su yılları bazında incelendiği zaman, en sıcak yıl 2010 yılı, en soğuk yıl 2012 yılı, en yağışlı yıl 2019 yılı ve en kurak yıl ise 2009 yılıdır. Diğer yıllar ise 20 yılı kapsayan verilerin ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak yağış ve akım için kuru, ıslak ve normal; sıcaklık için soğuk, sıcak ve normal olarak adlandırılmıştır. Buna göre 2000, 2002, 2009 ve 2012 soğuk yıllar, 2010 yılı sıcak yıl, geri kalan yılların sıcaklığı normaldir. Yağış ve akım için ise 2001, 2004, 2017 ve 2018 kuru yıllar, 2002, 2009, 2011 ve 2019 ıslak yıllar, geri kalan yılların yağış ve akımı ise normaldir.



Şekil 3.37. Çukurkışla havzası günlük mevsimsel sıcaklık grafiği

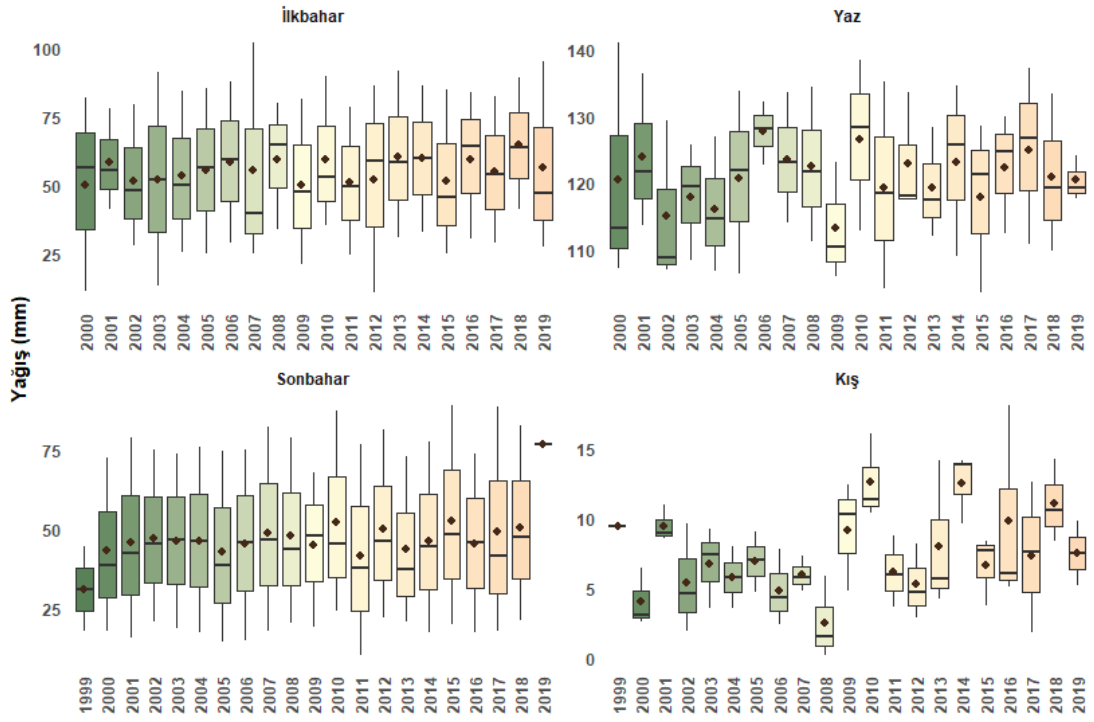


Şekil 3.38. Çukurkışla havzası aylık mevsimsel toplam yağış grafiği



Şekil 3.39. Çukurkışla havzası akım gözlem istasyonu hidrografları

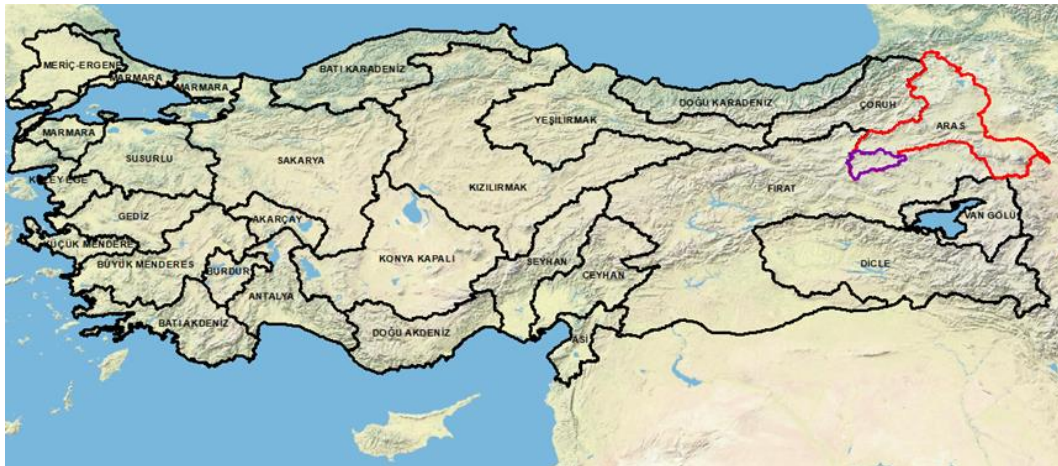
Buharlaşma, ölçümü zor olan hidrolojik girdilerden biridir ancak literatürde buharlaşma hesabını yapabilmek için basitten karmaşığa giden birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada Oudin yöntemi kullanılmıştır. Oudin vd., (2005) tarafından açıklanan bu yöntem, R ortamında airGR paketi kullanılarak hesaplanabilir. Gerekli veriler günlük veya saatlik ortalama sıcaklık verisi ile istasyonun derece veya radyan enlem verisidir. Çukurkışla havzası için hesaplanan yıllık ortalama buharlaşma ise 691.38 mm'dir.



Şekil 3.40. Çukurkişla havzası aylık mevsimsel toplam buharlaşma grafiği

3.3.2. Yukarı Aras (Kayabaşı) havzası

Türkiye'nin doğusunda bulunan Aras Havzası, Erzurum il sınırları içerisinde başlayarak Kars ili sınırına kadar uzanmaktadır. Bu çalışmada kullanılmak üzere seçilen ve dağlık bir bölgede bulunan Kayabaşı alt havzası ise $39^{\circ} 52'$ ve $39^{\circ} 18'$ kuzey enlemleri ile $41^{\circ} 10'$ ve $41^{\circ} 55'$ doğu boylamları arasında yer alan Kayabaşı istasyonudur.

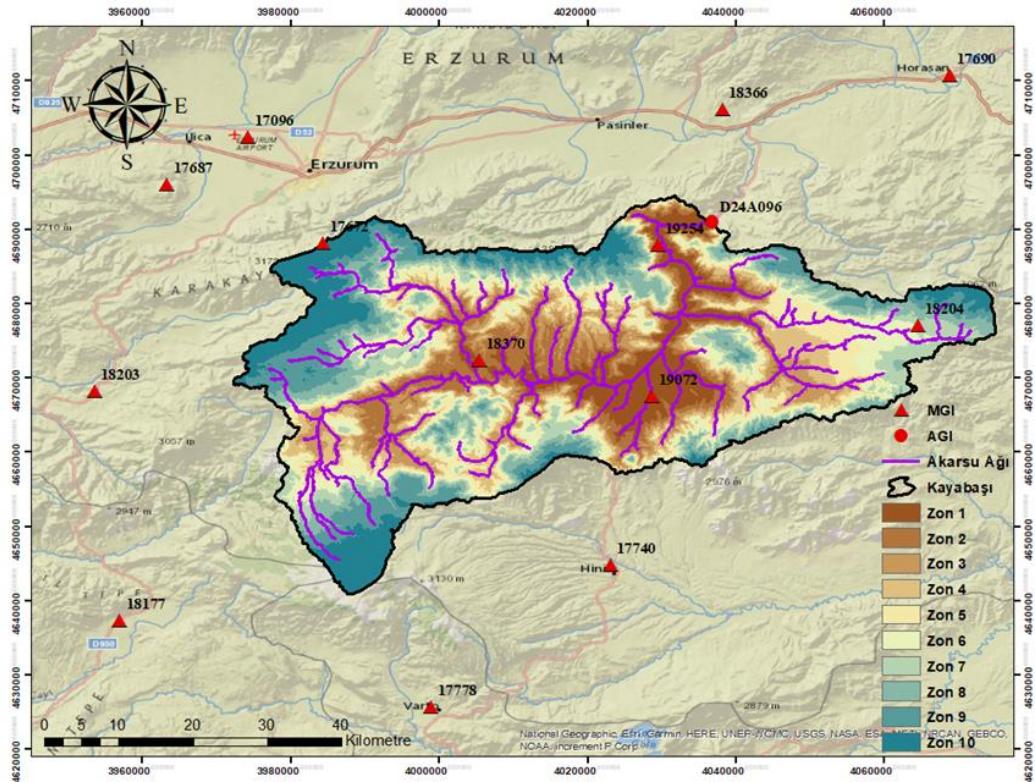


Şekil 3.41. Kayabaşı havzası konumu

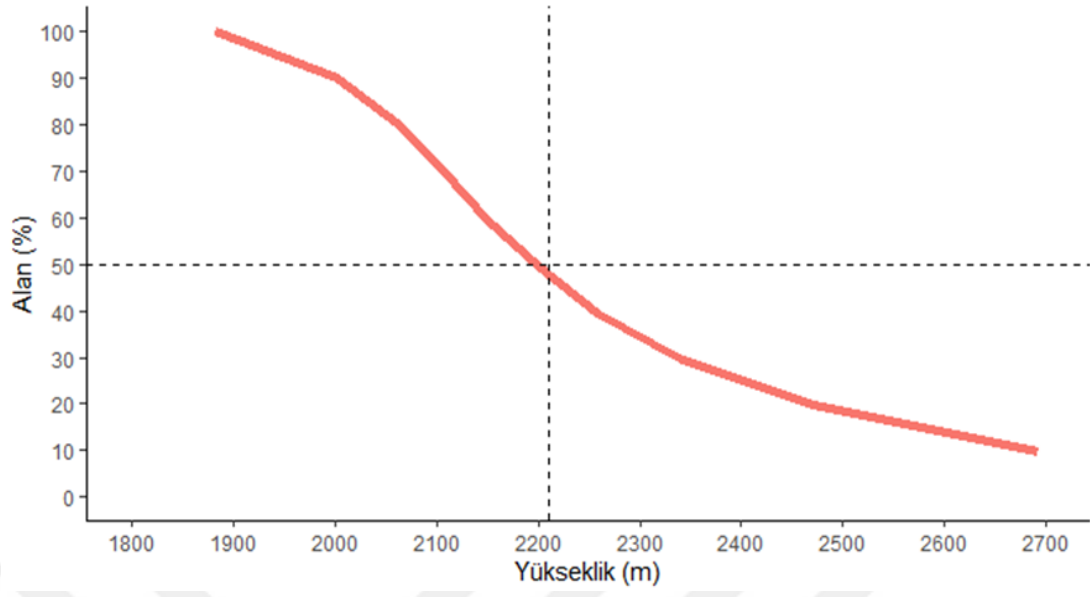
Havza'nın çıkış noktasına göre, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla Sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılarak çeşitli mekansal analizler yapılmıştır. Bu analizlere göre havza yüksekliği 1679 m ile 3155 m arasında değişmektedir. Havzanın hipsometrik ortalaması 2214 m'dir. Drenaj alanı 2727.3 km²'dir. Kayabaşı havzası, dağlık olduğundan ve kar erimesi havzanın hidrolojisinde önemli bir rol oynadığından kar temsiline daha anlamlı olabilmesi için havza 10 eşit alana sahip olacak şekilde bölünmüştür. Her bir eşdeğer bölgenin alanları, maksimum, minimum ve ortalama kotları Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Her bir eşdeğer bölgenin alanları ve yükselti aralıkları

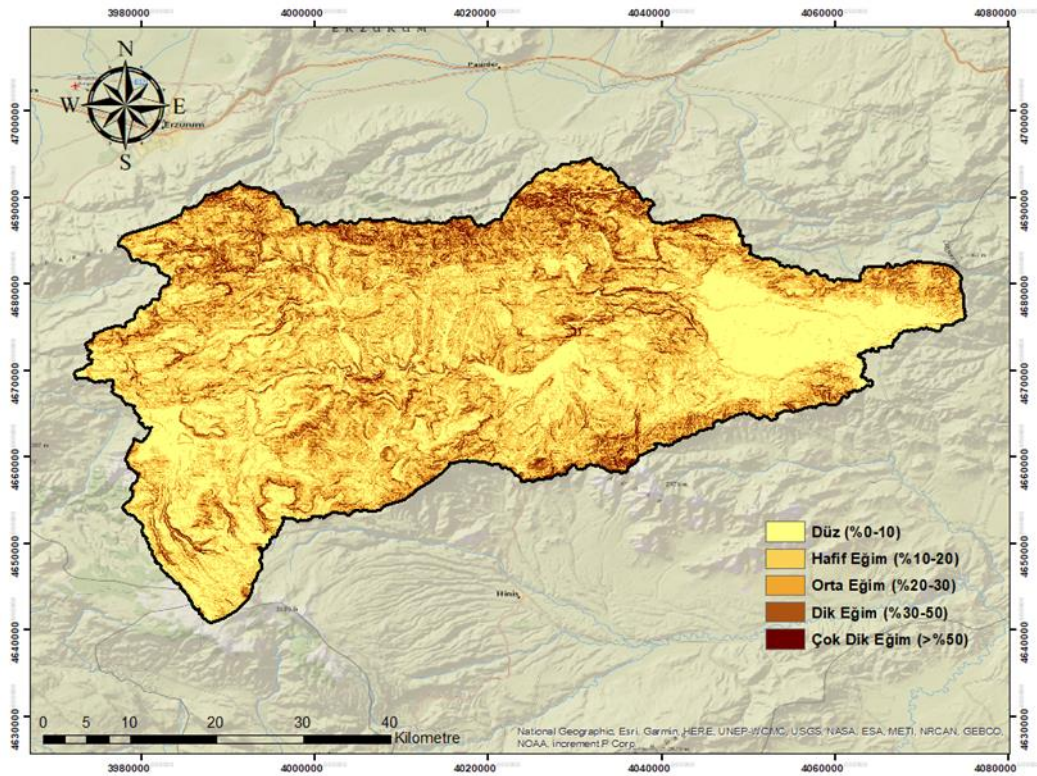
Bölge	Yükseklik Aralığı	Alan	Ortalama Yükseklik
1	1679-1958	273.26	1881.21
2	1959-2035	277.22	2001.24
3	2036-2084	275.38	2061.59
4	2085-2127	277.80	2106.06
5	2128-2173	275.41	2149.52
6	2174-2227	271.11	2200.60
7	2228-2291	271.04	2257.50
8	2292-2398	269.39	2341.31
9	2399-2549	269.36	2471.38
10	2550-3155	267.34	2692.52



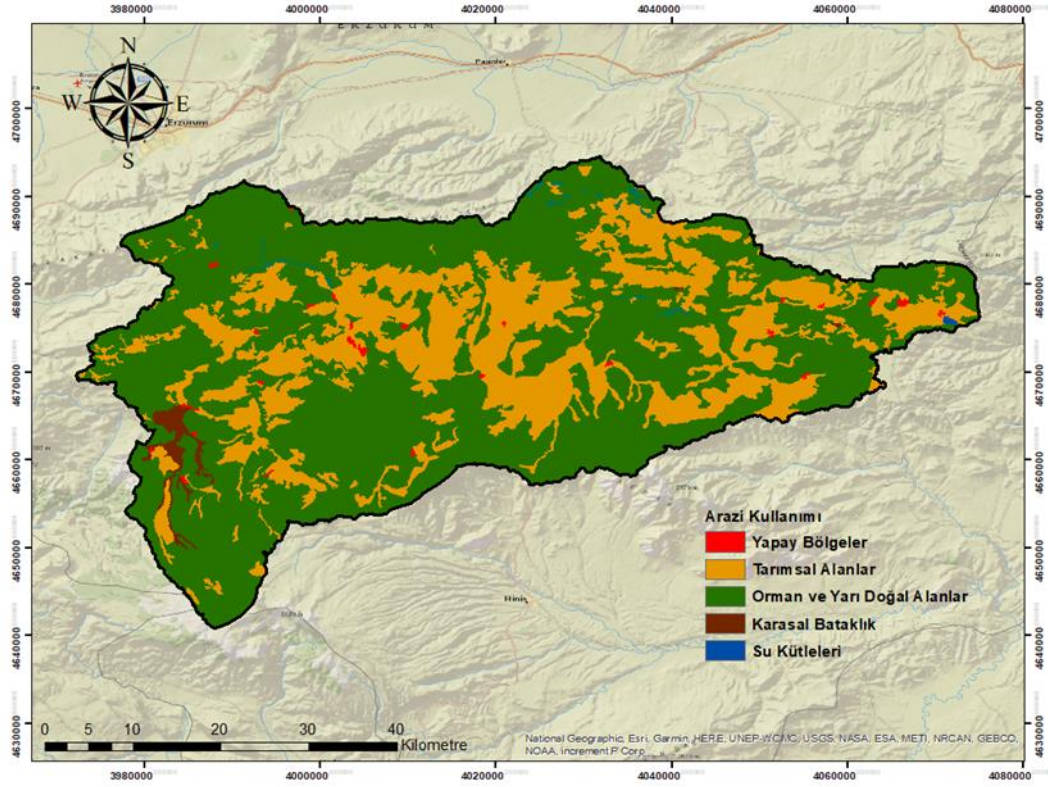
Şekil 3.42. Kayabaşı havzası yükseklik bölgeleri



Şekil 3.43. Kayabaşı havzası hipsometrik eğrisi



Şekil 3.44. Kayabaşı havzası eğim haritası



Şekil 3.45. Kayabaşı havzası arazi kullanım (Corine 2008) haritası

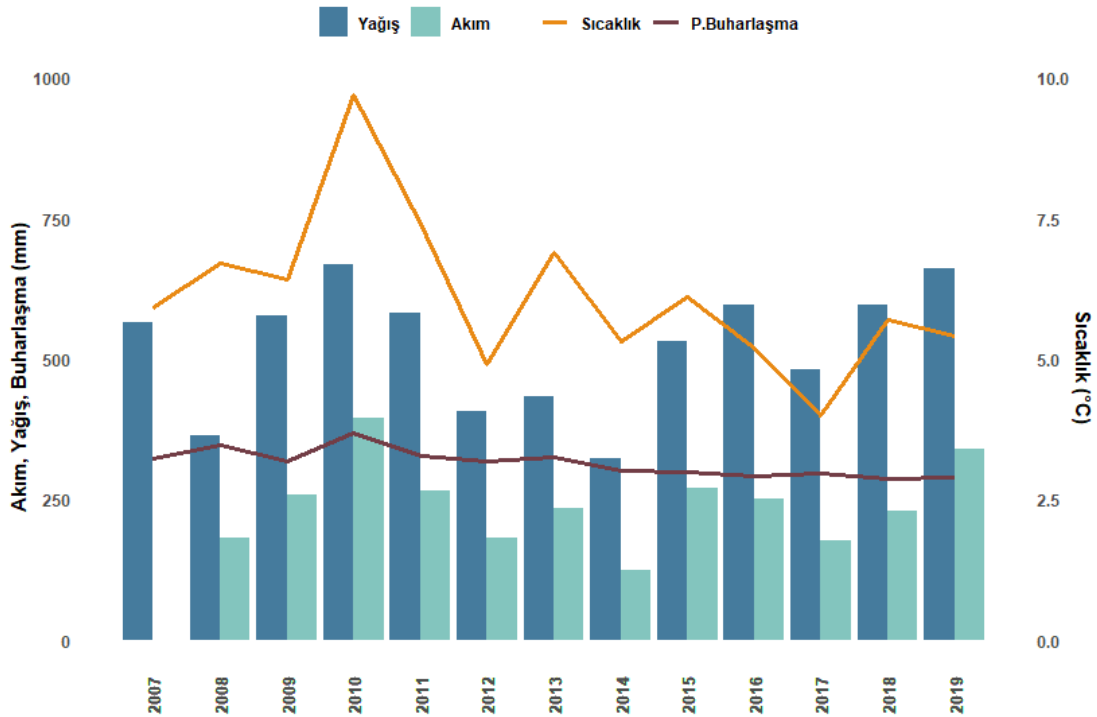
Kayabaşı havzasının ortalama eğimi %17’dir ve büyük bir kısmı tarım ve ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Eğim ve arazi kullanım haritalarının alansal dağılımı Tablo 3.6’da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Eğim ve arazi kullanım haritalarının alansal dağılımı

Arazi Kullanımı	Alansal Dağılım(%)	Eğim	Alansal Dağılım (%)
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	68.34	Düz	33.18
Karasal Bataklık	0.93	Hafif Eğimli	32.03
Su Birikintisi (Kütlesi)	0.04	Orta Eğimli	19.77
Tarımsal Alanlar	30.28	Dik	12.86
Yapay Bölgeler	0.41	Çok Dik	2.16

Havza içinde beş adet (Palandöken Dağı, Tekman, Karayazı, Hacıömer ve Yılanlı Köyü), havza dışında sekiz adet (Erzurum Havalimanı, Ilıca, Horasan, Hınıs, Varto, Karlıova, Çat ve Köprüköy) meteoroloji gözlem istasyonu ile bir adet akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen yağış, sıcaklık ve akım verileri MGM ve DSİ'den elde edilmiştir. Elde edilen veriler kalite kontrolünden geçirildikten sonra hidrolojik modelde kullanılmak üzere bir veri seti hazırlanmıştır.

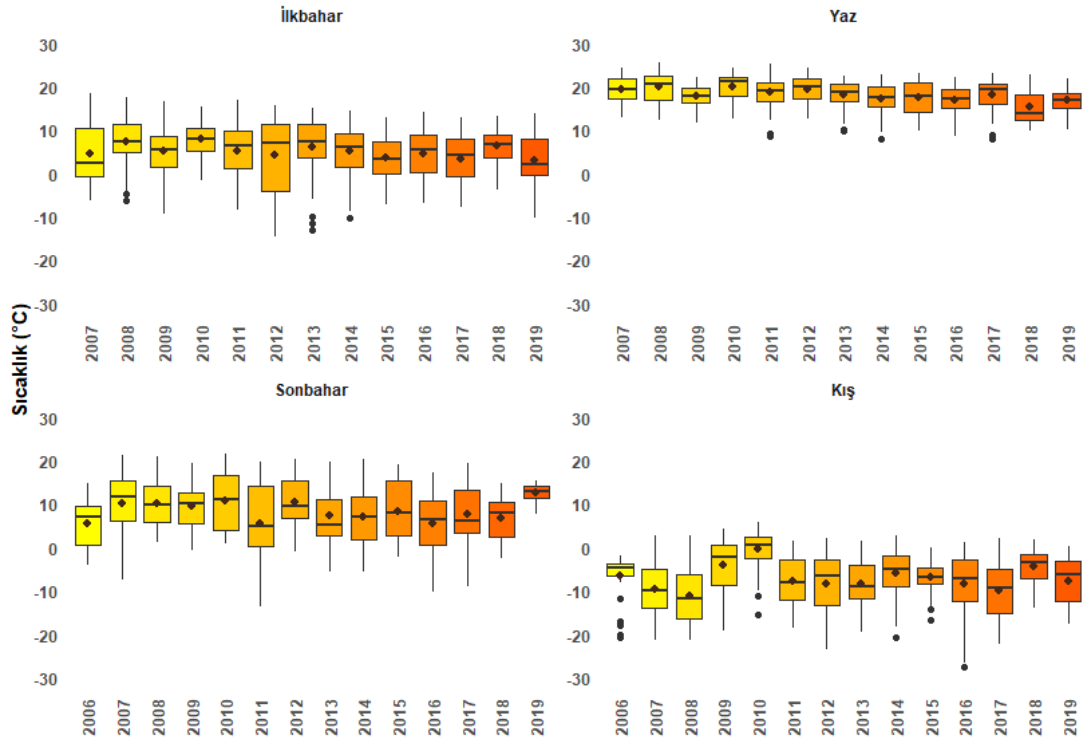
Havzanın hidro-meteorolojik koşullarına göre 2008-2019 su yılları arasındaki yıllık ortalama yağışı (P) 520.95 mm, sıcaklığı (T) 6.12 °C'dir. Kayabaşı istasyonunun ortalama debisi 21.36 m³/s ve maksimum gözlenen akarsu debisi 329 m³/s'dir. İstasyondaki aylık ortalama akım değerlerine göre kar erimesi, erime mevsimi boyunca yıllık akış hacminin yaklaşık %76'sına katkıda bulunmaktadır. 2007 su yılının akım verilerinde bazı aylarda eksiklik olmasından ötürü şekil 3.46'da akım verisi gösterilmemiştir. Kayabaşı havzası için hesaplanan yıllık ortalama buharlaşma ise 628.94 mm'dir.



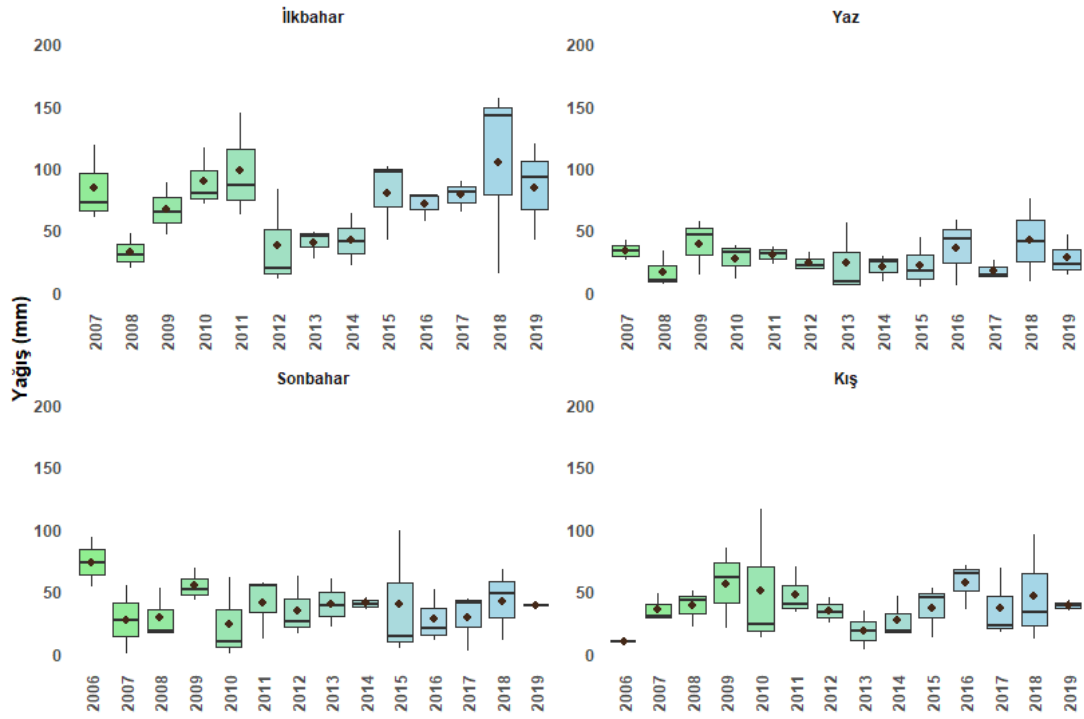
Şekil 3.46. Kayabaşı havzası hidro-meteorolojik veriler

Kayabaşı havzasının hidro-meteorolojik verileri su yılları bazında incelendiği zaman, en sıcak yıl 2010 yılı, en soğuk yıl 2017 yılı, en yağışlı yıl 2010 yılı ve en kurak yıl ise 2014 yılıdır. Diğer yıllar ise 13 yılı kapsayan verilerin ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak yağış ve akım için kuru, ıslak ve normal; sıcaklık için soğuk, sıcak ve normal olarak adlandırılmıştır. Buna göre 2017 soğuk yılı, 2010 yılı sıcak yıl, geri kalan yılların sıcaklığı normaldir. Yağış ve akım için ise 2008, 2012 ve 2014 kuru yıllar, 2010 ve 2019 ıslak yıllar, geri kalan yılların yağış ve akımı ise normaldir.

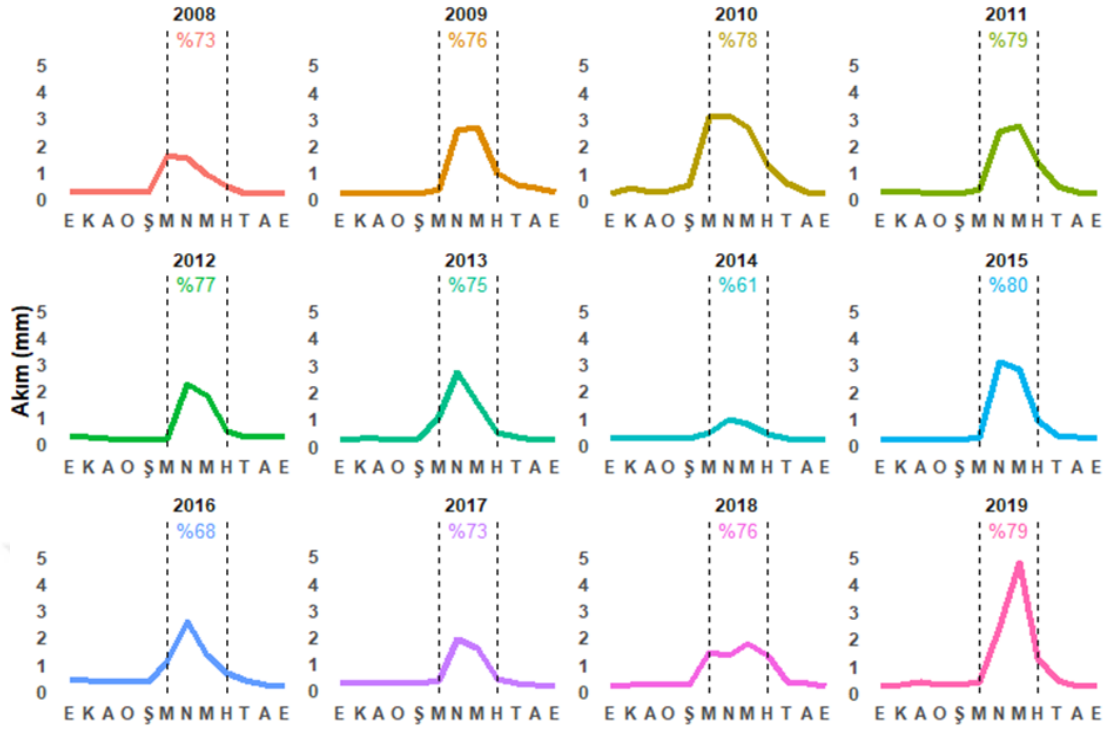
Şekil 3.47-50 arasında gösterilen hidro-meteorolojik verilerde sıcaklık, buharlaşma ve yağış verisi 2007-2019 su yılları arasında süreklidir. Ancak, akım verisinde 2007 su yılında eksiklikler vardır. Grafikler, sıcaklık, buharlaşma ve yağış verisi için 2007-2019 su yılları kullanılarak oluşturulmuştur; akım grafiği ise 2008-2019 su yıllarını temel alarak hazırlanmıştır.



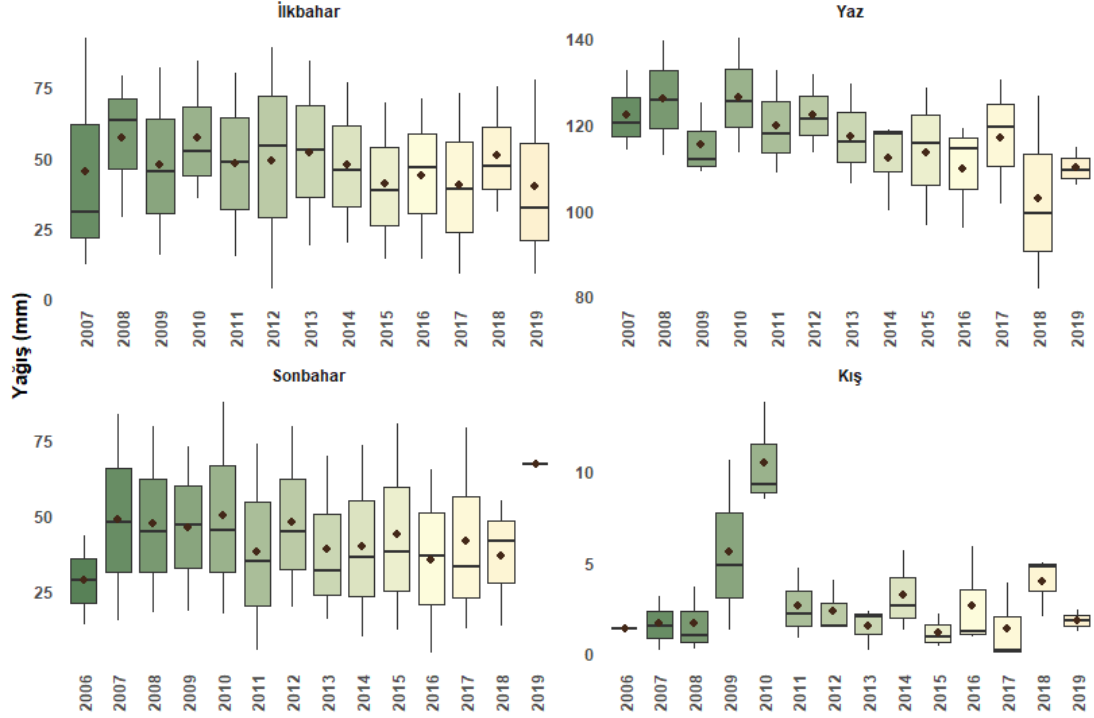
Şekil 3.47. Kayabaşı havzası günlük mevsimsel sıcaklık grafiği



Şekil 3.48. Kayabaşı havzası aylık mevsimsel toplam yağış grafiği



Şekil 3.49. Çukurkışla havzası akım gözlem istasyonu hidrografları



Şekil 3.50. Kayabaşı havzası aylık mevsimsel toplam buharlaşma grafiği

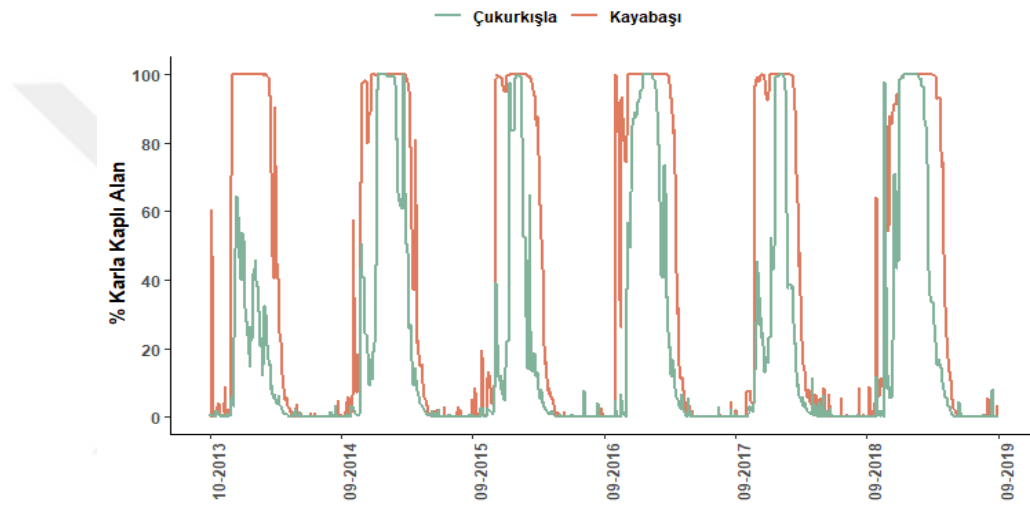
3.4. Kalibrasyon ve Doğrulama

Çukurkişla ve Kayabaşı havzalarında çok kriterli hidrolojik modelleme için kullanılan meteorolojik girdiler sırasıyla 2000-2019 su yılları ve 2007-2019 su yılları arasında, MODIS kar örtüsü 2000-2023 su yılları arasında ve SMAP toprak nemi 2015-2023 su yılları arasındadır. Tüm girdilerin bir arada kullanılması için ortak periyot aralığı 2015-2019 su yılları seçilmiştir. Buna göre her iki havza için 2017-2019 kalibrasyon dönemi, 2015-2016 doğrulama dönemi olarak seçilmiştir. Isınma periyodu, kalibrasyon ve doğrulama döneminin başlangıcından bir yıl öncedir. TUWmodeli yarı-dağıtılmış bir şekilde çalıştırılmıştır, yani model girdileri %10'luk bir alana sahip yükseklik bölgeleri için oluşturulmuştur (Her biri eşit alana sahip 10 tane yükseklik bölgesi) çıktıları da aynı yükseklik bölgeleri için tahmin edilmiştir ancak model parametreleri her havzada toplu olarak (yani sabit) kabul edilmiştir. Her iki havza için optimizasyonda kullanılan parametreler ve alt-üst limitleri Tablo 3.7'deki gibidir.

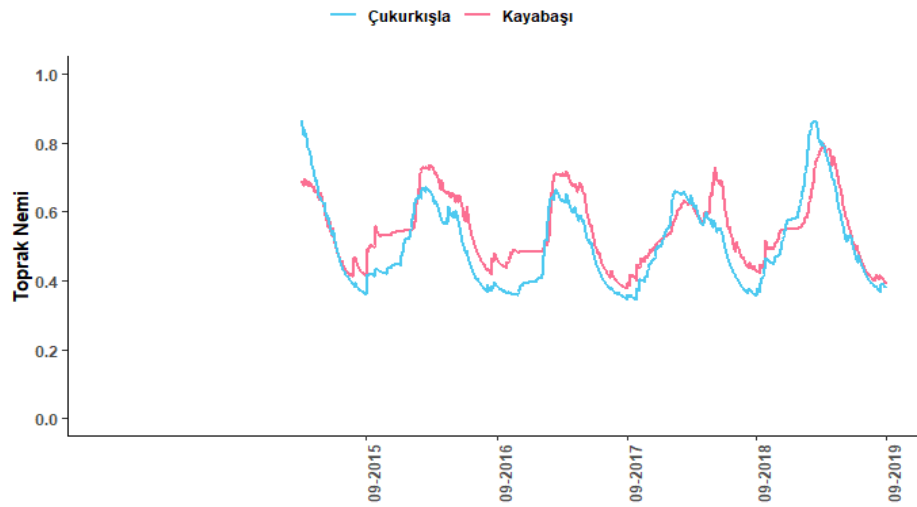
Tablo 3.7. *TUWmodel değer aralıkları*

Parametre	Rutin (Process)	Değer Aralığı
SFC	Kar	0.8-1.5
DDF	Kar	0-5
Tr	Kar	1-4
Ts	Kar	-3-1.5
Tm	Kar	-3-2
LP	Buharlaştırma	0-1
FC	Sızma	0-600
β	Sızma	0-20
k0	Akış	0-2
k1	Akış	2-30
k2	Akış	30-300
Lsuz	Akış	1-100
Cperc	Sızma	0-8
Bmax	Akış	0-30
Croute	Akış	0-50

Şekil 3.51 ve 3.52’ de havzaların kar ve toprak nemi grafikleri görülmektedir. Karla kaplı alan grafiği incelendiğinde Kayabaşı havzasında karın yüzeyde kalma süresinin Çukurkişla havzasına göre daha uzun olduğu görülmektedir. Toprak nemi grafiği incelendiğinde, genel olarak toprak ıslaklık durumunun Kayabaşı havzasında daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumu yağışlar ve karın yerde kalma süresi ile ilişkilendirebiliriz. 2016, 2017 ve 2018 su yıllarında toplam yağış miktarı Kayabaşı havzasında daha fazladır.



Şekil 3.51. Havzaların karla kaplı alan grafiği



Şekil 3.52. Havzaların toprak nemi grafiği

3.4.1. Akım ve kar modellemesi

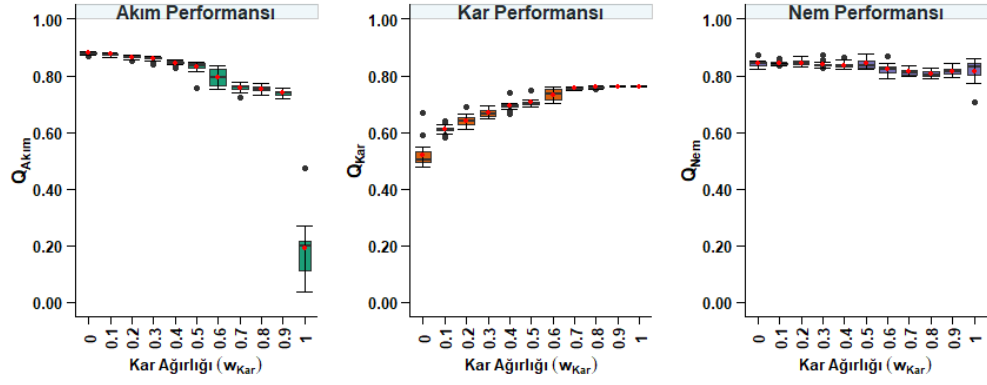
Çukurkışla ve Kayabaşı havzaları için ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak yapılan akım ve kar modellemesinde, kullanılan ağırlıkların değerleri 0 ile 1 arasında (0.1 aralıklarla) değişmektedir. Modelleme önce sadece akıma göre ($w_{kar} = 0$) daha sonra kar ağırlığını 0.1 artırarak sadece kara göre ($w_{kar} = 1$) olacak şekilde yapılmıştır. Çoklu amaç fonksiyonu $F(-) = w_{akım} * Q_{akım} + w_{kar} * Q_{kar}$ şeklinde yazılmış olup model bu denklemin en iyi sonucunu yakalayama çalışmaktadır. Burada kar girdileri %10'luk bir alana sahip yükseklik bölgeleri için oluşturulmuştur. Q_{kar} ise eşit alana sahip yükseklik bölgelerinin ortalamasını temsil etmektedir. Parametre optimizasyonu için $F(-)$ çok amaçlı fonksiyonu minimize edilerek gözlenen yüzey akışına ve kara göre 15 model parametresinin tamamı kalibre edilmiştir.

Modelleme de kullanılan optimizasyon yöntemi farklı parametre setleri üreterek benzer performans sonucu vermeye eğilimlidir. Bu yüzden her bir koşul için model çok kez çalıştırılmıştır ve elde edilen tüm sonuçlar kutu grafiklerinde gösterilmiştir.

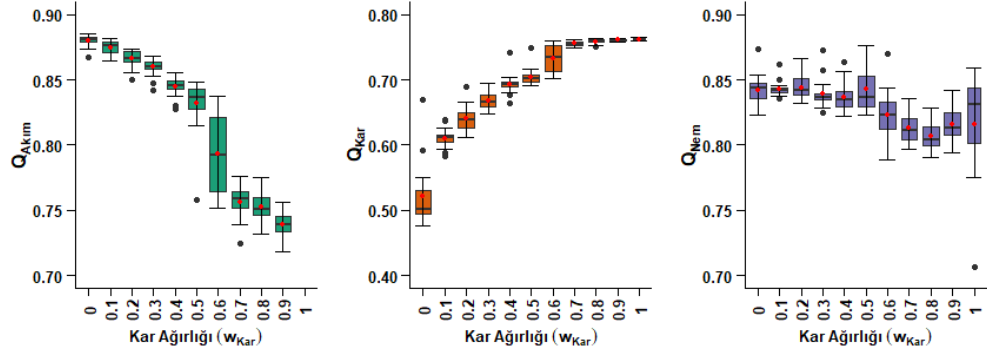
3.4.1.1. Çukurkışla havzası

Çukurkışla havzasında akım ve kar modellemesinde elde edilen sonuçlar, çok amaçlı kalibrasyonunun performansı ile kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişiklikler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

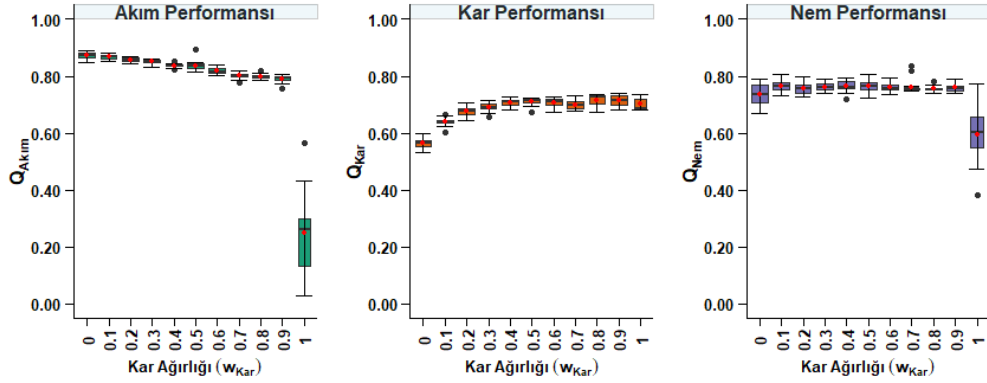
Şekil 3.53 ile 3.54 akım ve kar modellemesi kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında akım, kar ve toprak nemi model performans sonuçlarını göstermektedir. $w_{kar} = 0$ sadece yüzey akışının kullanıldığı kalibrasyonu, $w_{kar} = 1$ ise yüzey akış verileri kullanılmadan sadece kar gözleminin (MODIS) kullanıldığı kalibrasyonu temsil eder. Toprak nemi performansı ise kar ağırlığının artmasına (veya akım ağırlığının azalmasına) göre değerlendirilmiştir. Buna göre performans metrikleri incelendiğinde kar ağırlığı arttığında kar performansının yükseldiği, kar ağırlığı artarken akım ağırlığı düştüğü için de akım performansında azalmalar görülmüştür. Buna ek olarak toprak nemi gözlemlerinin kullanılmamasına rağmen Çukurkışla havzası için kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde düzenli bir artış ya da azalma görülmemektedir.



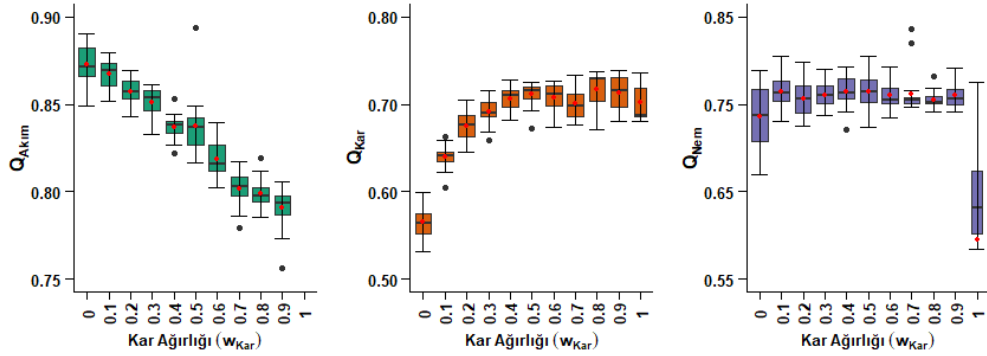
Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.53. Çukurkışla havzası akım ve kar modellemesi kalibrasyon sonuçları

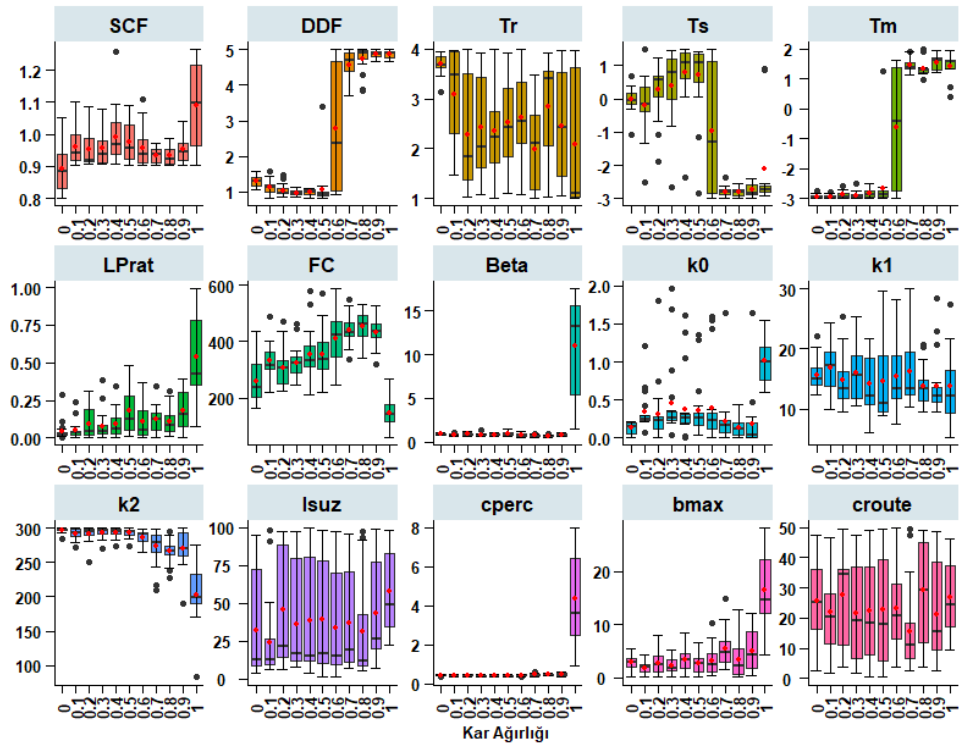


Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.54. Çukurkışla havzası akım ve kar modellemesi doğrulama sonuçları

Genel olarak $w_{kar} = 0$ ile $w_{kar} = 1$ olduğu durumların medyanları dikkate alındığında, kalibrasyon dönemi için akım performansındaki düşüş %77.3 iken validasyon dönemi için %70.2'dir. Grafiklerde incelendiğinde diğer durumlar için akım performansı 0.75 ile 0.90 arasında değişmektedir. Beklenildiği üzere en iyi akım performansı her iki dönem için $w_{kar} = 0$ olduğu durumdadır. Ancak, yüzey akışının kullanılmadığı kalibrasyonda her iki periyot aralığı için üretilen akımın yeterli bir performans göstermediği görülmektedir. Kar performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için artış %52 iken, validasyon döneminde %21.9'dur. Artışlar arası farklılıklar olsa da, Çukurkışla havzası için maksimum kar performansı kalibrasyon döneminde 0.76 iken, validasyon döneminde 0.74'dür. Özellikle kar ağırlığı arttıkça kar performansının daha daralarak belirli bir seviyede kaldığı görülmektedir. Burada da beklenildiği üzere, en iyi kar performansı her iki dönem için $w_{kar} = 1$ olduğu durumdadır. Toprak nemi performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için %1.5 düşüş gözlenirken, validasyon dönemi için %18.4 düşüş gözlenmiştir. Toprak nemi performansının her bir kar ağırlığında kalibrasyon döneminde daha iyi olduğu söylenebilir. Ancak, karın varlığı ve yokluğu durumlarını saymazsak, kar ağırlığının artması, toprak nemi için olumlu yada olumsuz bir durum göstermemektedir.



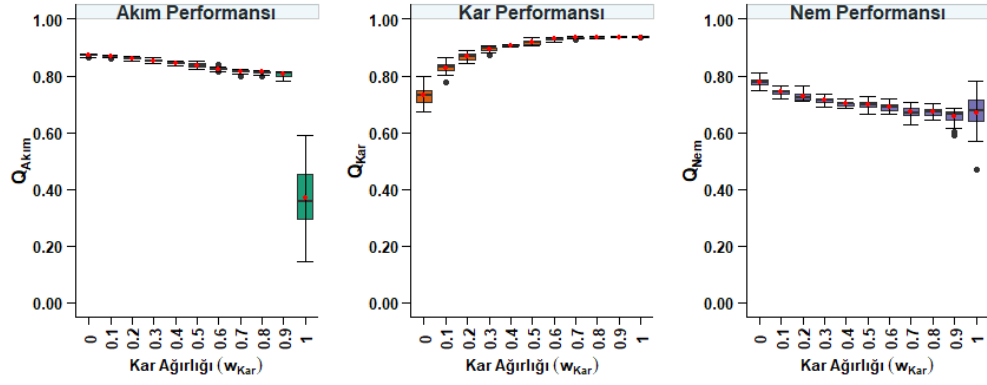
Şekil 3.55. Çukurkışla havzası akım ve kar modellemesi parametre setleri

Şekil 3.55’de Çukurkişla havzası için akım ve kar modellemesinde elde edilen parametre setleri gösterilmektedir. Parametre setleri içinde kar ağırlığının artması kar parametrelerini ciddi bir biçimde etkilediği görülmektedir. Özellikle kar ağırlığının 0 ile 0.5 ve 0.5 ile 1.0 olduğu durumlarda iki farklı eğilim vardır. Bu durum farklı yükseklik bölgelerindeki karı yakalayabilme durumundan kaynaklanmaktadır. Akım ve kar modellemesi, kar parametrelerinde daha çok DDF ve sıcaklık parametrelerini etkilemiştir. SCF genel olarak belirli bir aralıkta ilerlemektedir. Bunun sebebi modelin çalışma yapısındaki kar suyu eşdeğeri üretebilmesi, bu sayede dolaylı geçişle karla kaplı alanları daha iyi yakalayabilmesidir. Akım ve kar modellemesi, toprak nemi parametrelerini de küçük de olsa etkileyebilmektedir. Örneğin kar ağırlığı arttıkça FC parametresinde arttığı görülmektedir. Akım parametrelerinde ise yorum yapmak oldukça zordur çünkü birden fazla değişkene bağlıdır (kar ve nem rutinleri). Özellikle k_0 , k_1 , L_{suz} , C_{route} gibi akım parametreleri kendi içerisinde anlamlı bir ilişki göstermemektedir. Ancak, sadece kar gözleminin kullanıldığı model seti, diğer setlere nazaran oldukça değişken bir eğilim göstermektedir. Tüm parametreler incelendiğinde, kar ağırlığının artması ile belirgin bir ilişki gösteren parametrelerin, kar rutinini etkileyen ana parametreler olduğu gözlenmektedir.

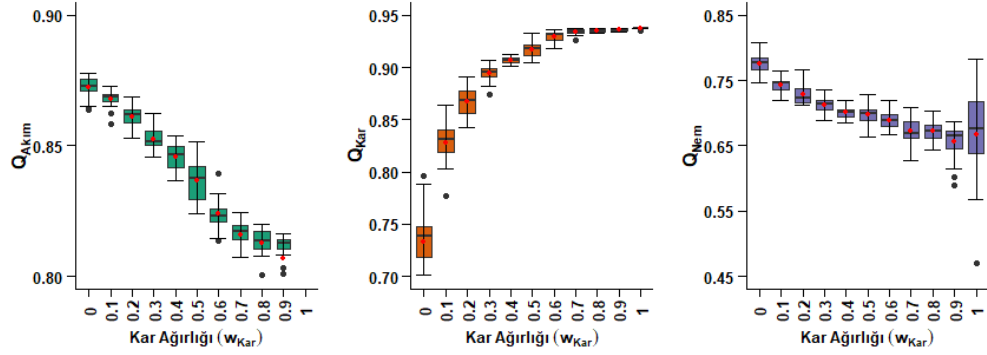
3.4.1.2. Kayabaşı havzası

Kayabaşı havzasında akım ve kar modellemesinde elde edilen sonuçlar, çok amaçlı kalibrasyonunun performansı ile kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişiklikler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

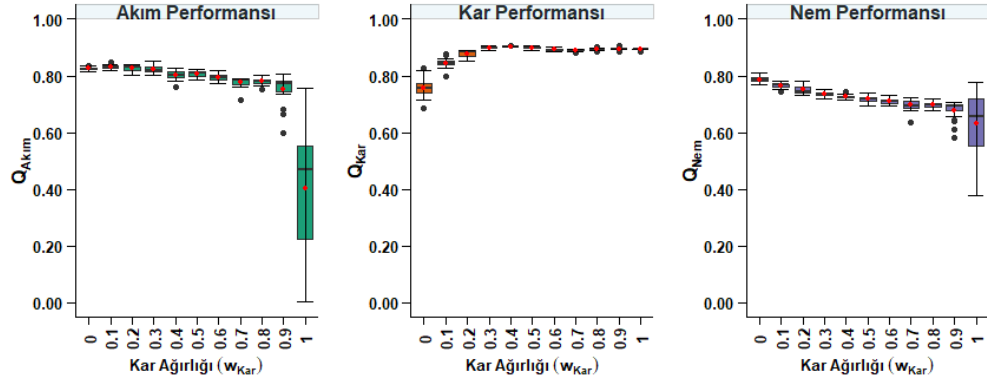
Şekil 3.56 ile 3.57 akım ve kar modellemesi kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında akım, kar ve toprak nemi model performans sonuçlarını göstermektedir. $w_{kar} = 0$ sadece yüzey akışının kullanıldığı kalibrasyonu, $w_{kar} = 1$ ise yüzey akış verileri kullanılmadan sadece kar gözleminin (MODIS) kullanıldığı kalibrasyonu temsil eder. Toprak nemi performansı ise kar ağırlığının artmasına (veya akım ağırlığının azalmasına) göre değerlendirilmiştir. Buna göre performans metrikleri incelendiğinde, akım ve kar performansı sonuçları Çukurkişla havzası ile benzerlik göstermektedir. Çukurkişla havzasından farklı olarak kar ağırlığı arttıkça toprak nemi performansında her bir kar ağırlığında azalmalar gözlenmiştir.



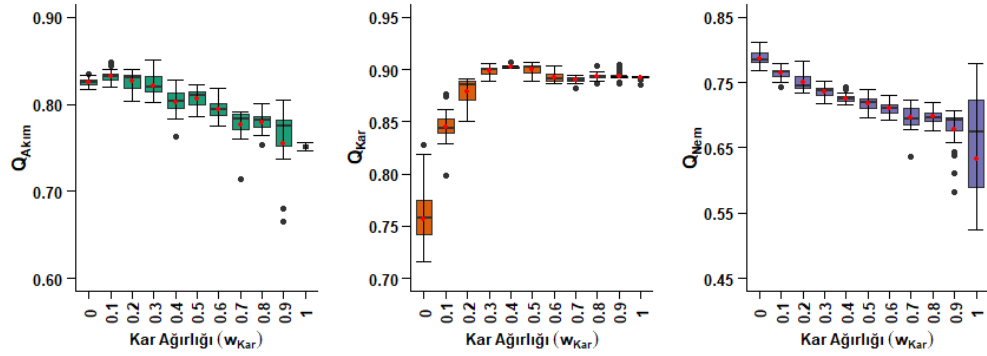
Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.56. Kayabaşı havzası akım ve kar modellemesi kalibrasyon sonuçları



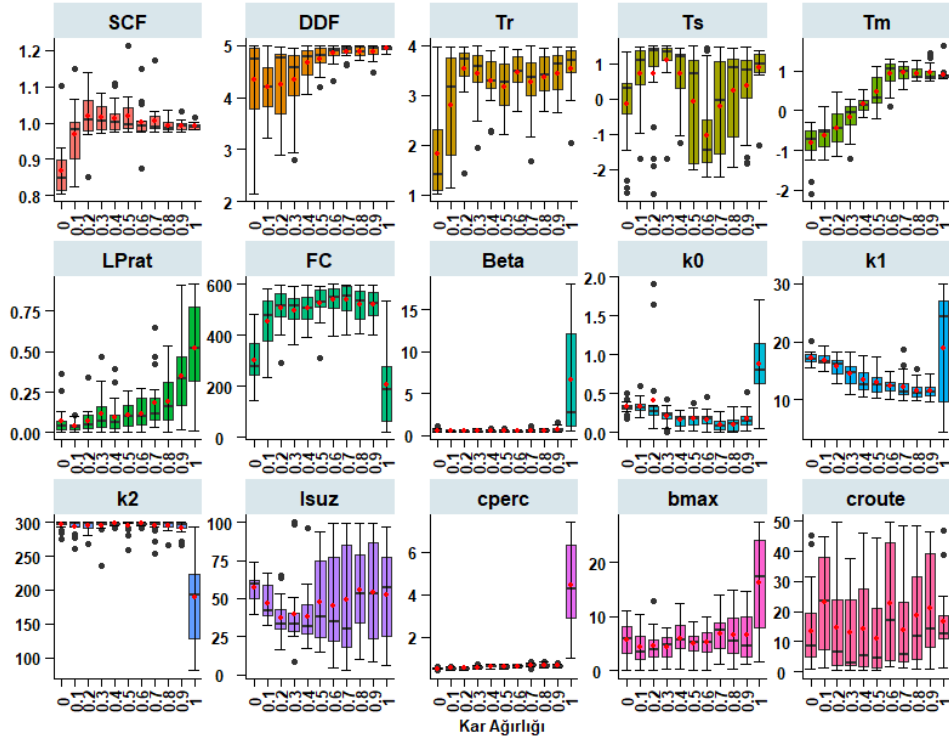
Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.57. Kayabaşı havzası akım ve kar modellemesi doğrulama sonuçları

Genel olarak $w_{kar} = 0$ ile $w_{kar} = 1$ olduğu durumların medyanları dikkate alındığında, kalibrasyon dönemi için akım performansındaki düşüş %59.2 iken validasyon dönemi için %43.1'dir. Grafiklerde incelendiğinde diğer durumlar için akım performansı 0.65 ile 0.90 arasında değişmektedir. Beklenildiği üzere en iyi akım performansı her iki dönem için $w_{kar} = 0$ olduğu durumdadır. Ancak, yüzey akışının kullanılmadığı kalibrasyonda her iki periyot aralığı için üretilen akımın yeterli bir performans göstermediği görülmektedir. Kar performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için artış %27.9 iken, validasyon döneminde %17.9'dur. Kayabaşı havzası için maksimum kar performansı kalibrasyon döneminde 0.94 iken, validasyon döneminde 0.89'dur. Özellikle kar ağırlığı arttıkça, Çukurkışla havzasında olduğu gibi kar performansının daha daralarak belirli bir seviyede kaldığı görülmektedir. Burada da beklenildiği üzere, en iyi kar performansı her iki dönem için $w_{kar} = 1$ olduğu durumdadır. Kayabaşı ile Çukurkışla havzalarının temel farkı karın yerde kalma süresidir. Şekil 3.51'de Kayabaşı havzasının daha fazla kar tuttuğu söylenebilir. Bu sebepten sadece yüzey akışının kullanıldığı modelde kar performansı, Çukurkışlaya göre daha fazla olmasına rağmen yüzdesel olarak performans artışı daha azdır.

Toprak nemi performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için %13.1 düşüş gözlenirken, validasyon dönemi için %16.4 düşüş gözlenmiştir. Toprak nemi performansının her bir kar ağırlığında kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde benzer olduğu ancak kar ağırlığının artmasının toprak nemi performansını düşürdüğü gözlenmiştir. Çukurkışla havzasında toprak nemi etkisi yeteri kadar hissedilmese de, Kayabaşı havzası her bir kar ağırlığında bu durumu net bir şekilde hissettirmektedir. Bu sebepten, havzaların kar baskın bir havza olmasının yanısıra toprak nemi etkisinin görülebilmesi için karın yerde kalma süresinin de önemli olduğu çıkarılmaktadır.



Şekil 3.58. Kayabaşı havzası akım ve kar modellemesi parametre setleri

Şekil 3.58’de Kayabaşı havzası için akım ve kar modellemesinde elde edilen parametre setleri gösterilmektedir. Kayabaşı havzasında akım ve kar modellemesinden elde edilen parametre setlerinde de kar parametrelerinin diğer parametrelere göre daha çok etkilendiği görülmektedir. Kar parametrelerinde oluşan eğilim Çukurkişla ile aynıdır sadece kar ağırlığı daha küçük ağırlıklarda (0.2-0.3) kendini hissettirmektedir. Örneğin erime sıcaklığı (T_m) için negatiften pozitive giden bir artış söz konusudur. Bu durum Çukurkişla havzası için 0.4-0.5 ağırlığında başlarken, Kayabaşı havzası için 0.2-0.3 ağırlığında başlamaktadır. İki havza arasında ciddi farklar toprak nemi parametrelerinde görülmektedir. Kayabaşı havzasında FC parametresinin değeri, Çukurkişla havzasına göre yüksek ve değerler birbirine yakındır. Akım parametreleri ise her iki havza da benzer olup, sadece kar gözleminin kullanıldığı durumda elde edilen set, diğer setlere nazaran oldukça değişken bir eğilim göstermektedir.

Sonuç olarak, karla beslenen iki farklı havza için farklı ağırlıklar kullanılarak yapılan modellemede sadece yüzey akışının kullanıldığı durumda içsel kar başarısının yeteri kadar iyi olmadığı, sadece kar gözleminin kullanıldığı durumda da akım performansından ciddi kayıplar olduğu görülmektedir.

Kar modelinin gözlemlenen kar verileri üzerinde kalibre edilmesi, kar modeli parametrelerinin sağlamlığını artırırken aynı zamanda içsel başarıyı da artırdığı elde edilen sonuçlarda görülmektedir. Kar ve yüzey akımının beraber kullanıldığı modeller, ister tahmin (barajların yönetimi, yüksek ve düşük akışlar) ister iklim değişikliği etkileri çalışmaları için olsun, su kaynaklarının daha iyi yönetilmesine yardımcı olacaktır. Burada ağırlık seçimleri ise tamamen kullanıcıya ve havzaya bağlıdır. Ancak her iki havza için ortak bir ağırlık belirlemek gerekirse kar ağırlığının 0.6'ya kadar arttırılabileceği, akım ağırlığının ise en az 0.4 olduğu durumlar en makul ve kabul edilebilir bir başarı sunabilir.

3.4.2. Akım ve toprak nemi modellemesi

Çukurkişla ve Kayabaşı havzaları için ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak yapılan akım ve toprak nemi modellemesinde, kullanılan ağırlıkların değerleri 0 ile 1 arasında (0.1 aralıklarla) değişmektedir. Modelleme önce sadece akıma göre ($w_{nem} = 0$) daha sonra toprak nemi ağırlığını 0.1 artırarak sadece toprak nemine göre ($w_{nem} = 1$) olacak şekilde yapılmıştır. Çoklu amaç fonksiyonu $F(-) = w_{akım} * Q_{akım} + w_{nem} * Q_{nem}$ şeklinde yazılmış olup model bu denklemin en iyi sonucunu yakalayama çalışmaktadır. Burada toprak nemi girdileri %10'luk bir alana sahip yükseklik bölgeleri için oluşturulmuştur. Q_{nem} ise eşit alana sahip yükseklik bölgelerinin ortalamasını temsil etmektedir. Parametre optimizasyonu için $F(-)$ çok amaçlı fonksiyonu minimize edilerek gözlenen yüzey akışına ve kara göre 15 model parametresinin tamamı kalibre edilmiştir.

Modelleme de kullanılan optimizasyon yöntemi farklı parametre setleri üreterek benzer performans sonucu vermeye eğilimidir. Bu yüzden her bir koşul için model çok kez çalıştırılmıştır ve elde edilen tüm sonuçlar kutu grafiklerinde gösterilmiştir

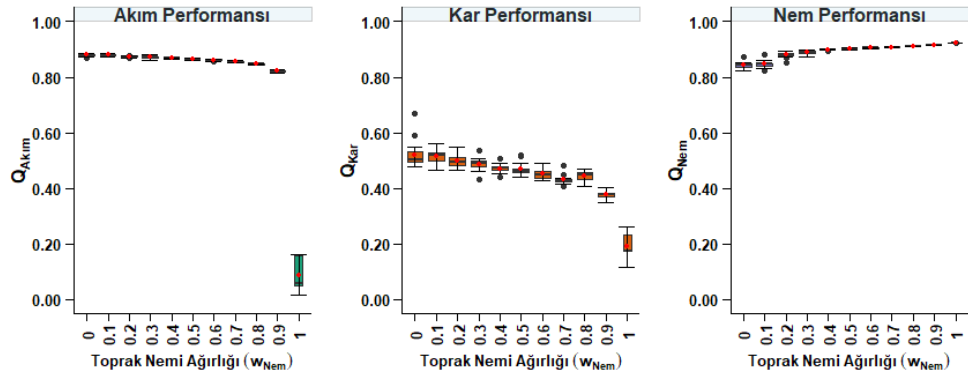
3.4.2.1. Çukurkişla havzası

Çukurkişla havzasında akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen sonuçlar, çok amaçlı kalibrasyonunun performansı ile kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişiklikler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

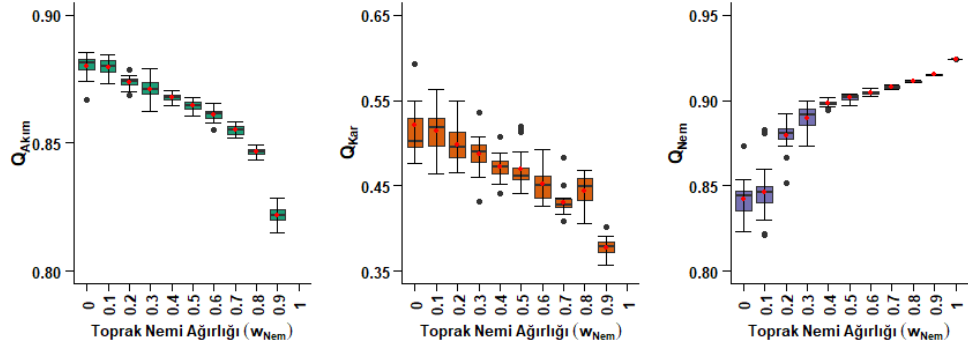
Şekil 3.59 ile 3.60 kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında akım, kar ve toprak neminin model performans sonuçlarını göstermektedir. $w_{nem} = 0$ sadece yüzey akışının kullanıldığı kalibrasyonu, $w_{nem} = 1$ ise yüzey akış verileri kullanılmadan sadece toprak nemi gözleminin (SMAP) kullanıldığı kalibrasyonu temsil eder. Performans metrikleri incelendiğinde toprak nemi ağırlığı arttığında toprak nemi performansının yükseldiği, toprak nemi ağırlığı artarken akım ağırlığı düştüğü için de akım performansında azalmalar görülmüştür. Buna ek olarak kar gözlemlerinin kullanılmamasına rağmen Çukurkişla havzası için kar performansında düşüşler görülmektedir.

Genel olarak $w_{nem} = 0$ ile $w_{nem} = 1$ olduğu durumların medyanları dikkate alındığında, kalibrasyon dönemi için akım performansındaki düşüş %93.6 iken validasyon dönemi için %84.3'dür. Grafiklerde incelendiğinde diğer durumlar için akım performansı 0.80 ile 0.90 arasında değişmektedir. Beklenildiği üzere en iyi akım performansı her iki dönem için $w_{nem} = 0$ olduğu durumdadır. Ancak, yüzey akışının kullanılmadığı kalibrasyonda her iki periyot aralığı için üretilen akımın yeterli bir performans göstermediği görülmektedir. Ayrıca toprak nemi gözleminin akım üretebilme potansiyeli sadece kar gözleminin akım üretebilme potansiyeline göre oldukça düşük olduğu gözlenmektedir. Kar performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için düşüş %65.2 iken, validasyon döneminde %48.3'dür. Burada, en iyi kar performansı her iki dönem için $w_{nem} = 0$ olduğu durumdadır ancak bu durum bile iyi bir kar performansı sunmamaktadır. Toprak nemi performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için %9.5 artış gözlenirken, validasyon dönemi için %12.4 artış gözlenmiştir. Toprak nemi performansının her bir toprak nemi ağırlığında kalibrasyon döneminde daha iyi olduğu söylenebilir.

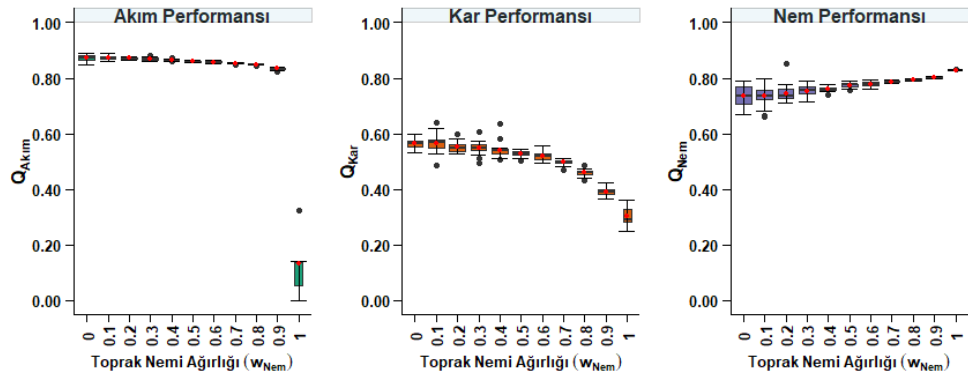
Kar baskın bir havzada kar gözlemi kullanılmadan yapılan toprak nemi modellemesinde, kar performansında toprak nemi artışına oranla 7 kat düşüş gözlenmiştir. Bu durum göstermektedir ki, her ne kadar toprak nemi performansını artsa da, kar ile beslenen bir havzada kar gözlemi kullanılmadan bir model yapılmamalıdır.



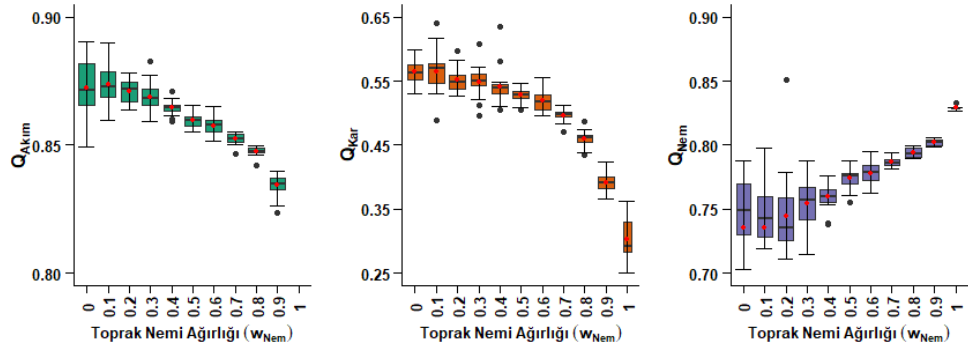
Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.59. Çukurkişla havzası akım ve toprak nemi modellemesi kalibrasyon sonuçları

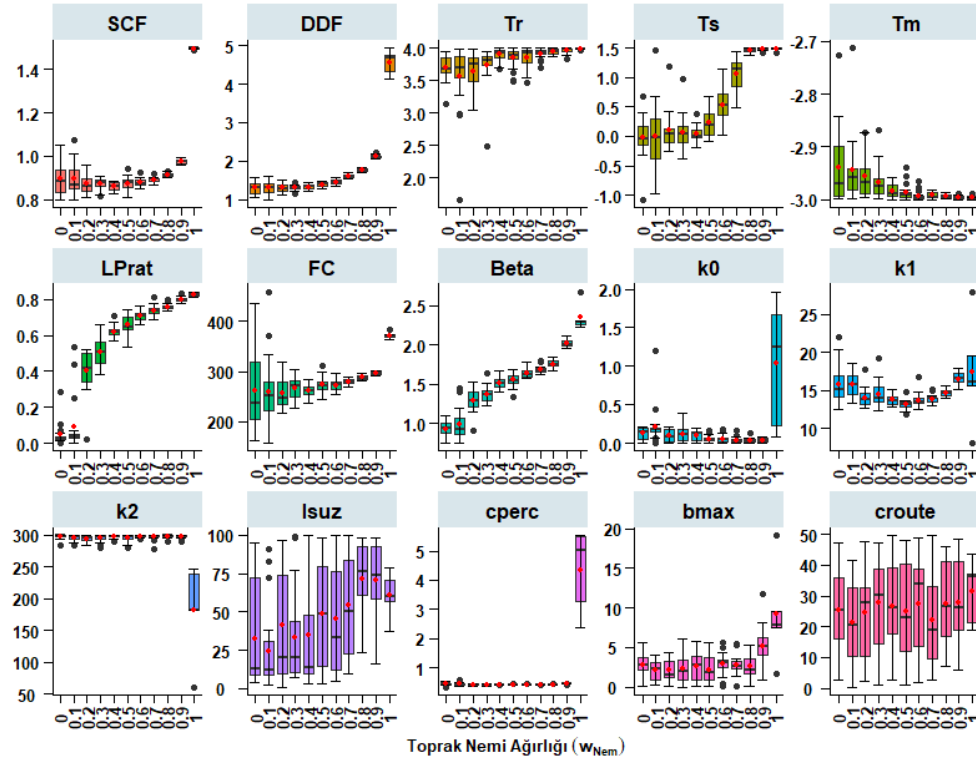


Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.60. Çukurkişla havzası akım ve toprak nemi modellemesi doğrulama sonuçları

Akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametre setleri Şekil 3.61’de gösterilmiştir.



Şekil 3.61. Çukurkışla havzası akım ve toprak nemi modellemesi parametre setleri

Akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametre setleri içinde toprak nemi ağırlığının artması toprak nemi parametrelerini etkilediği görülmektedir. Özellikle kar modellemesinde artan FC değerinin toprak nemi modellemesinde daha dar aralıklarla arttığı gözlenmektedir. Buna karşılık, kar ve yüzey akışının kullanıldığı modelde, özellikle sıcaklık parametreleri (T_r , T_s , T_m) toprak nemi ve yüzey akışının kullanıldığı modele göre farklı değerlere sahip olma eğilimindedir.

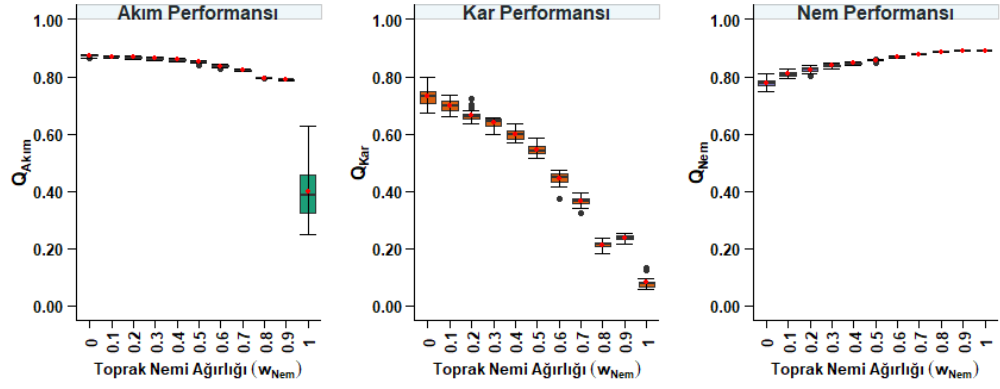
Buna rağmen toprak nemi ağırlığının 1 olduğu durum hariç, kar parametreleri belirli bir sınırdadır ve toprak neminin artması bu parametreleri etkilememektedir. Akım parametreleri kar ve nem rutinleri gibi birden fazla değişkene bağlı olmasında rağmen, her iki modelde de benzer eğilim göstermektedir. Sadece toprak nemi gözleminin kullanıldığı model seti, diğer setlere göre farklı bir eğilim göstermektedir. Tüm parametreler incelendiğinde, toprak nemi ağırlığının artması ile belirgin bir ilişki gösteren parametrelerin, toprak nemi rutinini etkileyen ana parametreler olduğu gözlenmektedir.

3.4.2.2. Kayabaşı havzası

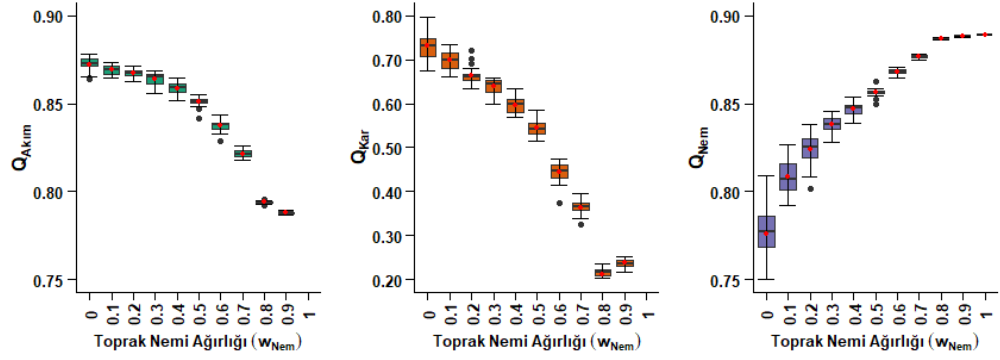
Kayabaşı havzasında akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen sonuçlar, çok amaçlı kalibrasyonunun performansı ile kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişiklikler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

Şekil 3.62 ile 3.63 kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında akım, kar ve toprak neminin model performans sonuçlarını göstermektedir. $w_{nem} = 0$ sadece yüzey akışının kullanıldığı kalibrasyonu, $w_{nem} = 1$ ise yüzey akış verileri kullanılmadan sadece toprak nemi gözleminin (SMAP) kullanıldığı kalibrasyonu temsil eder. Performans metrikleri incelendiğinde, Çukurkışla havzasında olduğu gibi benzer durumlar burada da gözlenmektedir. Sadece kar performansı düşüşleri Çukurkışla havzasına göre daha fazla hissedilmektedir.

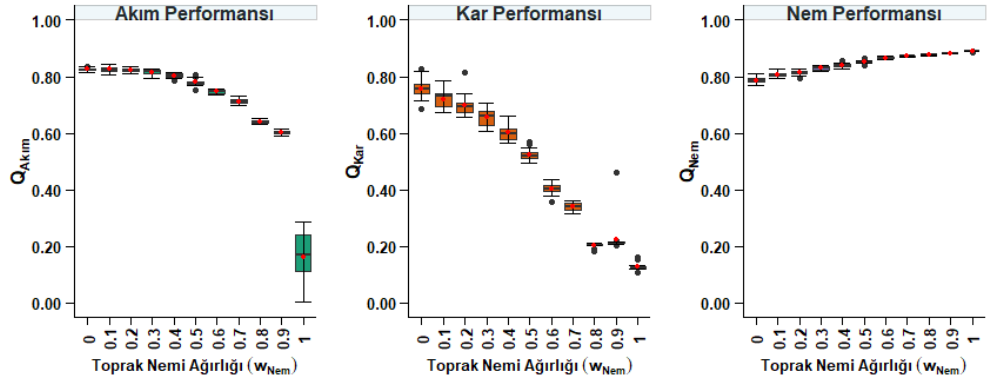
Genel olarak $w_{nem} = 0$ ile $w_{nem} = 1$ olduğu durumların medyanları dikkate alındığında, kalibrasyon dönemi için akım performansındaki düşüş %55.6 iken validasyon dönemi için %79.5'dur. Grafiklerde incelendiğinde diğer durumlar için akım performansı 0.60 ile 0.90 arasında değişmektedir. Beklenildiği üzere en iyi akım performansı her iki dönem için $w_{nem} = 0$ olduğu durumdadır. Ancak, yüzey akışının kullanılmadığı kalibrasyonda her iki periyot aralığı için bir akım üretildiği ancak bu akımın yeterli bir performans göstermediği görülmektedir. Ayrıca toprak nemi gözleminin akım üretebilme potansiyeli sadece kar gözleminin akım üretebilme potansiyeline göre oldukça düşük olduğu Kayabaşı havzasında da gözlenmektedir. Kar performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için düşüş %89.4 iken, validasyon döneminde %83.3'dür. Burada, en iyi kar performansı her iki dönem için $w_{nem} = 0$ olduğu durumdadır. Toprak nemi performansları incelendiğinde, kalibrasyon dönemi için %14.4 artış gözlenirken, validasyon dönemi için %13.2 artış gözlenmiştir. Toprak nemi performansının her bir toprak nemi ağırlığında kalibrasyon döneminde daha iyi olduğu söylenebilir. Kayabaşı havzasında da kar performansında toprak nemi artışına oranla 6 kat düşüş gözlenmiştir.



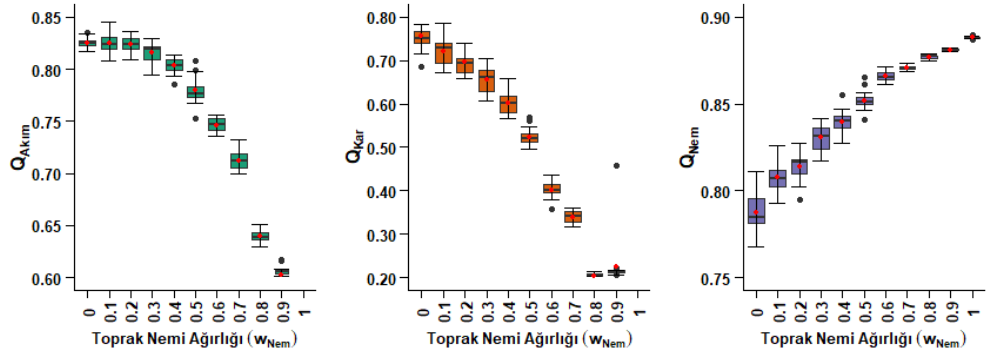
Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.62. Kayabaşı havzası akım ve toprak nemi modellemesi kalibrasyon sonuçları

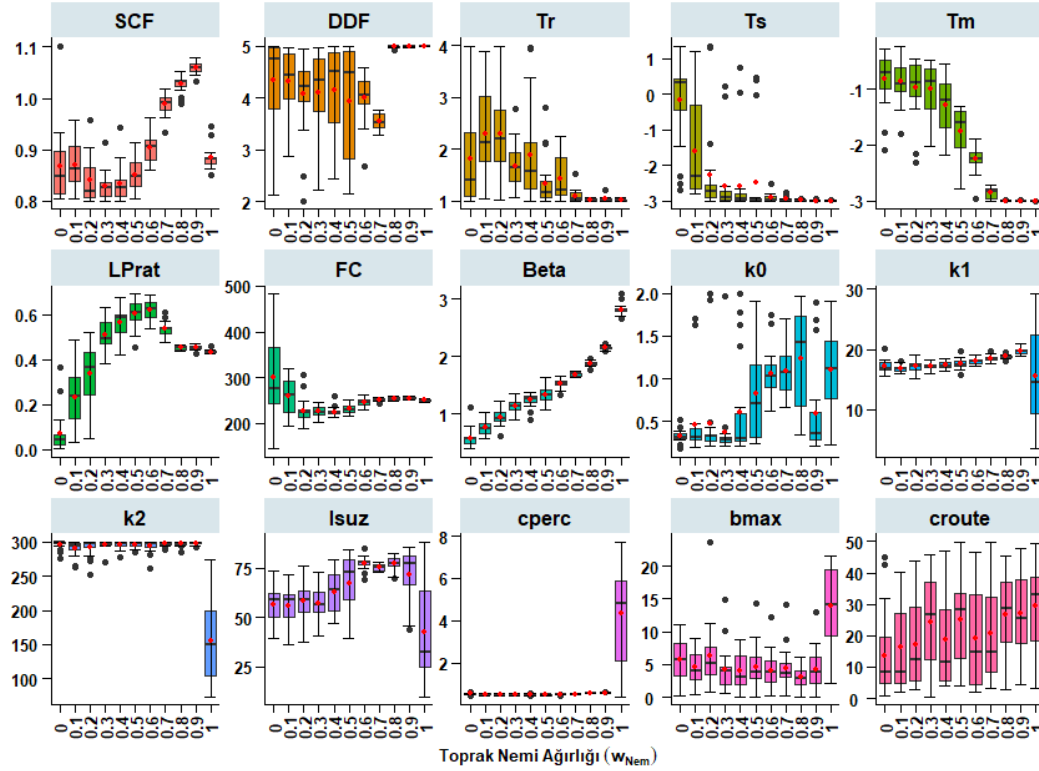


Akım, Kar ve Toprak Nemi Performans Grafiklerinin Detaylı Gösterimi



Şekil 3.63. Kayabaşı havzası akım ve toprak nemi modellemesi doğrulama sonuçları

Akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametre setleri Şekil 3.64’de gösterilmiştir.



Şekil 3.64. Kayabaşı havzası akım ve toprak nemi modellemesi parametre setleri

Akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametre setleri içinde toprak nemi ağırlığının artması toprak nemi parametrelerini etkilediği görülmektedir. Özellikle kar modellemesinde artan FC değerinin toprak nemi modellemesinde daha dar aralıklarla arttığı gözlenmektedir (Toprak nemi ağırlığının 0.2 ve sonrası olduğu durumlarda). Buna karşılık, kar ve yüzey akışının kullanıldığı modelde, özellikle sıcaklık parametreleri (T_r , T_s , T_m) toprak nemi ve yüzey akışının kullanıldığı modele göre farklı değerlere sahip olma eğilimindedir. Toprak nemi ağırlığının 0.6 ve sonrası olduğu durumlarda, kar parametreleri belirli bir sınırdadır ve toprak neminin artması bu parametreleri etkilememektedir. Ancak, kar parametreleri iki havzada da farklı davranmaktadır.

Akım parametreleri kar ve nem rutinleri gibi birden fazla değişkene bağlı olmasında rağmen, her iki modelde de benzer eğilim göstermektedir. Sadece toprak nemi gözleminin kullanıldığı model seti, diğer setlere göre farklı bir eğilim göstermektedir. Tüm parametreler incelendiğinde, toprak nemi ağırlığının artması ile belirgin bir ilişki gösteren parametrelerin, toprak nemi rutinini etkileyen ana parametreler olduğu gözlemlenmektedir.

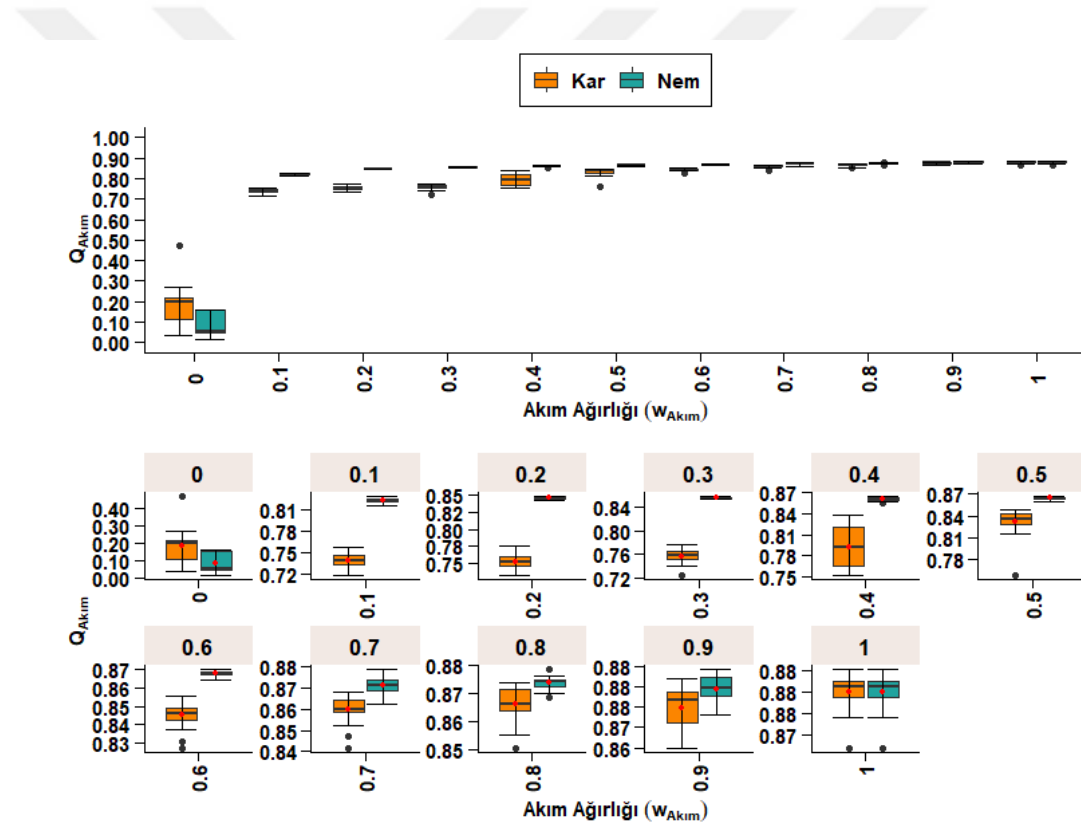
Sonuç olarak, karla beslenen iki farklı havza için farklı ağırlıklar kullanılarak yapılan toprak nemi modellemesinde sadece toprak nemi gözleminin kullanıldığı durumda akım performansından ciddi kayıplar olduğu, 0.1 aralıklarla artırılan toprak nemi ağırlığında ise kar içsel başarısının oldukça kötüleştiği görölmektedir. Toprak nemi modelinin gözlemlenen toprak nemi verileri üzerinde kalibre edilmesi, toprak nemi parametrelerini sıkıştırdığı aynı zamanda içsel başarıyı da arttırdığı elde edilen sonuçlarda görölmektedir. Toprak nemi ve yüzey akımının beraber kullanıldığı modeller, akarsu rejimlerini, yer altı suyu beslenme miktarlarını ve sel riskini tahmin etmek için kullanılabilir. Her ne kadar kar bazlı havzada sadece toprak nemi verilerinin kullanılması çok sağlıklı olmasa da, modeli daha gerçekçi hale getirebilmek için küçük ağırlıklarda toprak nemi kullanılabilir. Burada ağırlık seçimleri yine tamamen kullanıcıya ve havzaya bağlıdır. Ancak her iki havza için ortak bir ağırlık belirlemek gerekirse toprak nemi ağırlığının en fazla 0.2 olduğu durum kabul edilebilir bir başarı sunmaktadır.

3.4.3. Akım ve kar ile akım ve toprak nemi model sonuçlarının karşılaştırılması

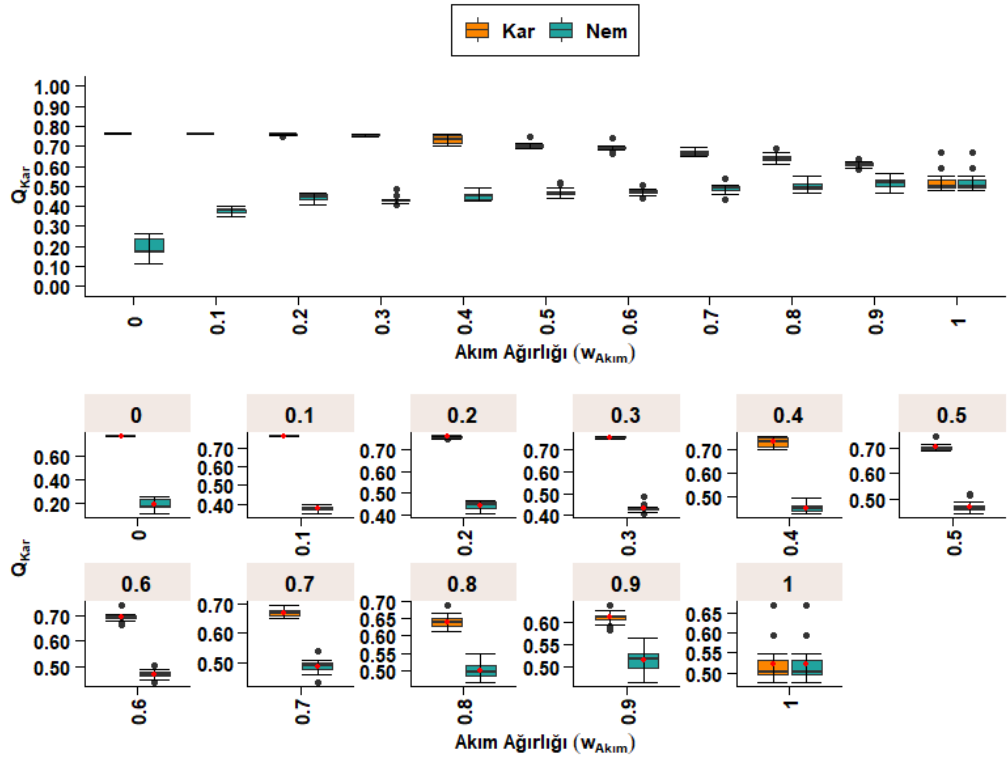
Bu kısımda önceki başlıklarda incelenen modelleme sonuçlarının havza bazında karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki model için ortak değişken akımdır. Buradaki amaç, akım ağırlığının artması ile kar ve toprak nemi değişkenlerinin model performansını ve parametrelerini nasıl etkilediğini göstermektir.

3.4.3.1. Çukurkişla havzası

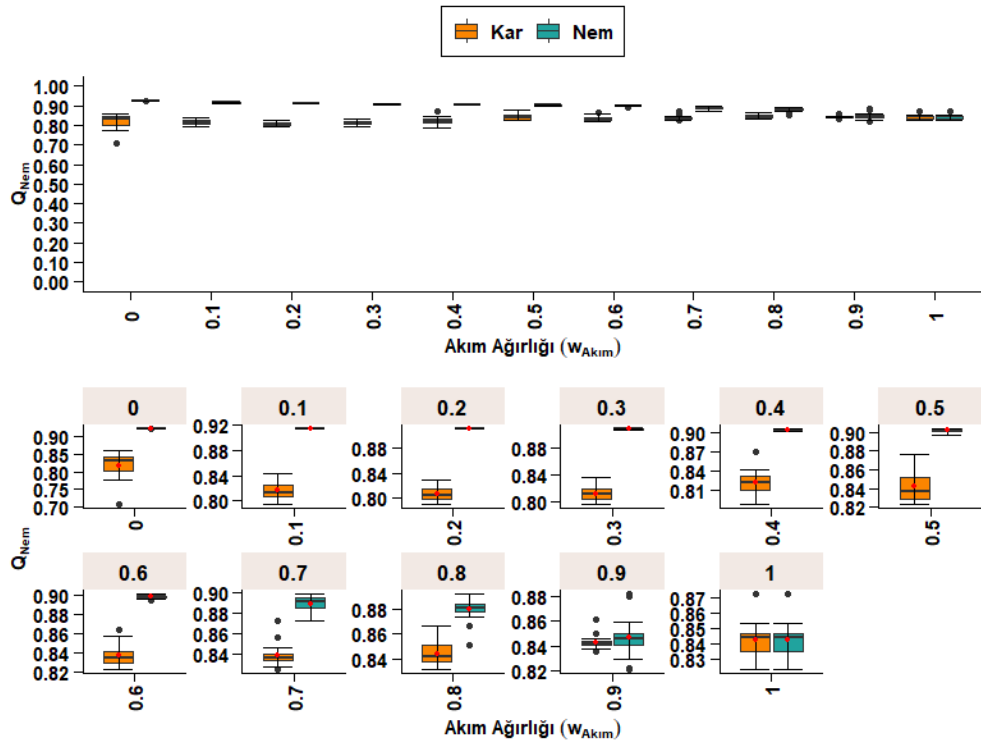
Çukurkişla havzasında akım ve kar ile akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen sonuçlar, çok amaçlı kalibrasyonunun performansı ile kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişiklikler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.



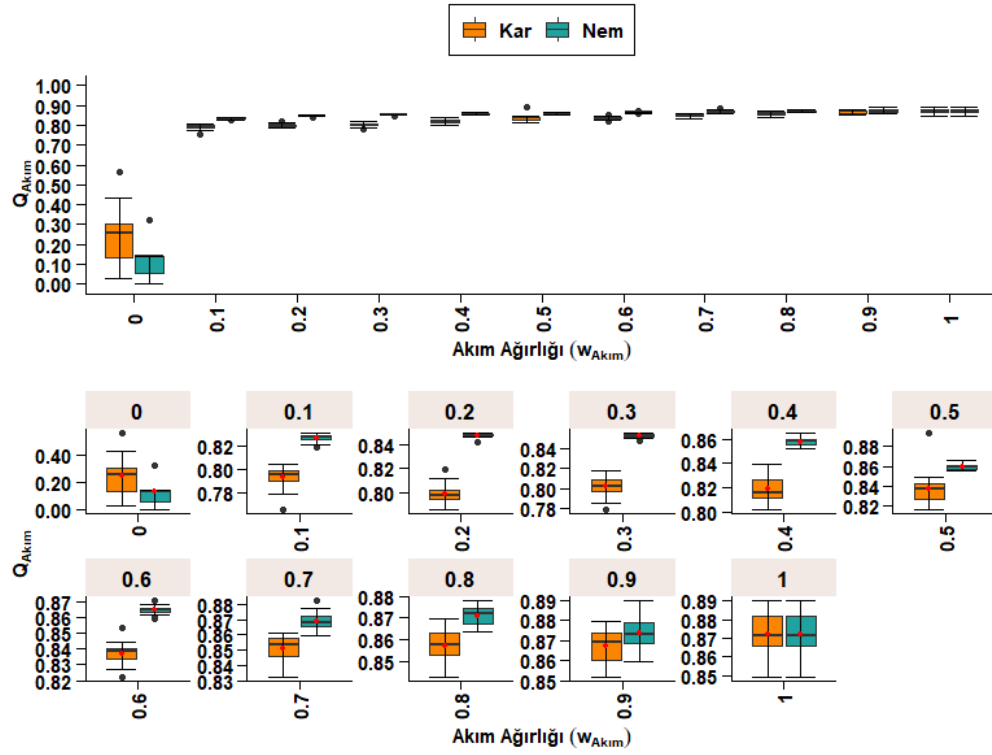
Şekil 3.65. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi akım performansı



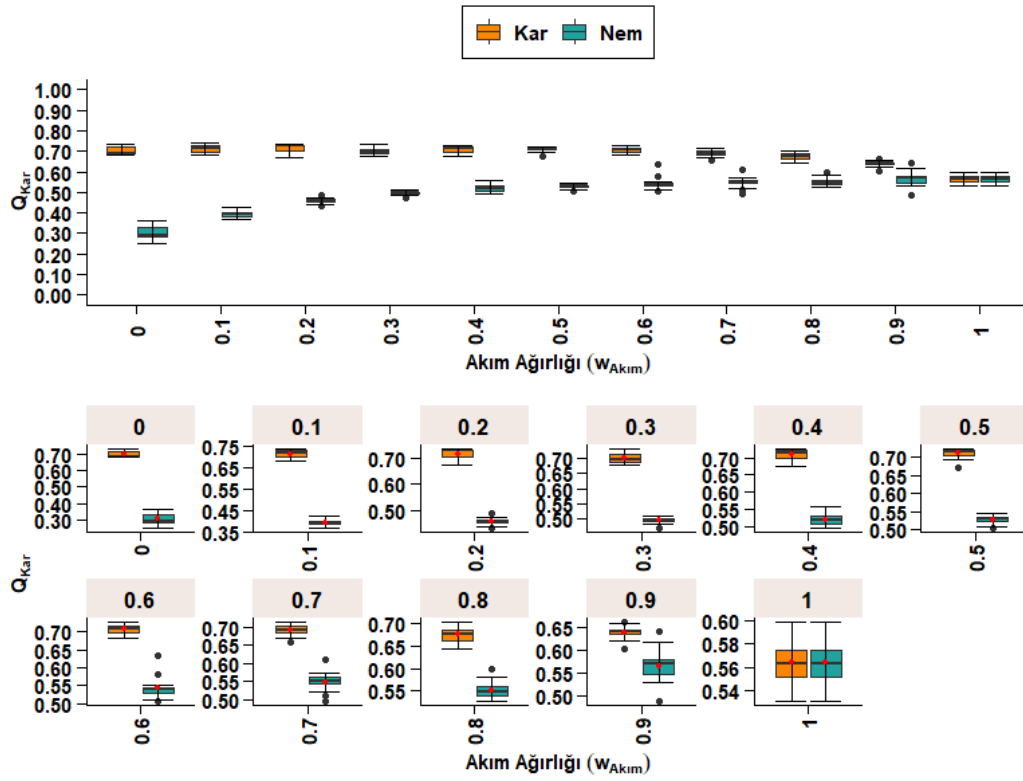
Şekil 3.66. Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi kar performansı



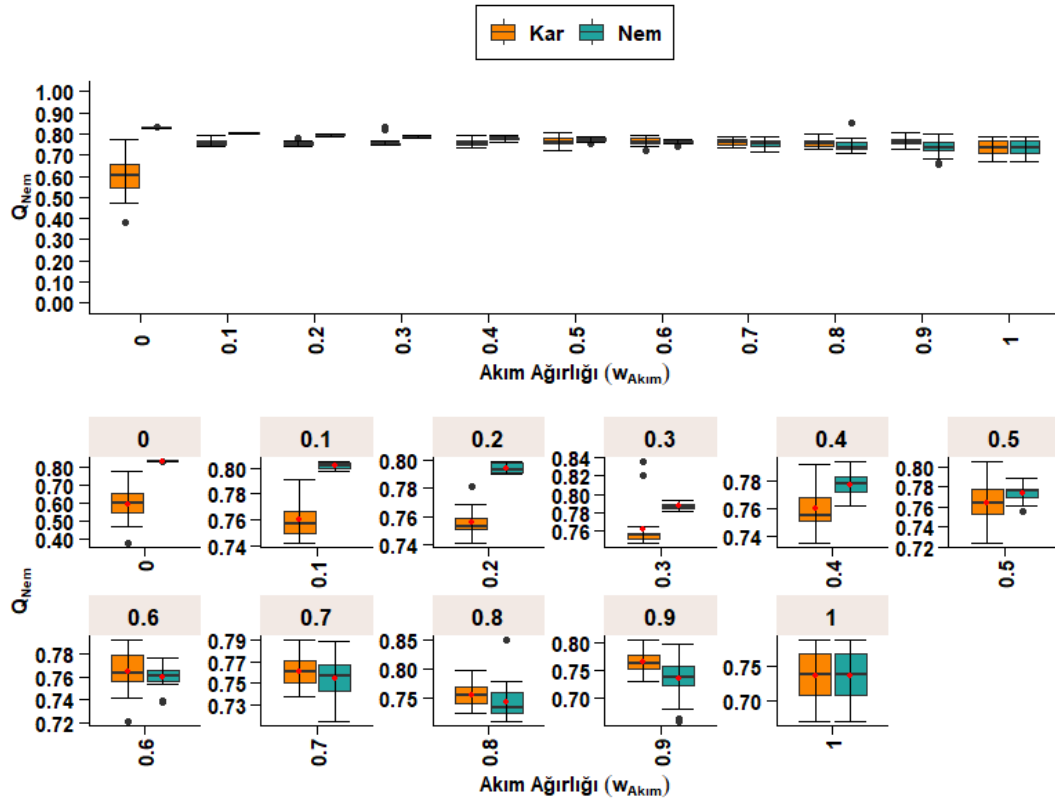
Şekil 3.67. Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansı



Şekil 3.68. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi akım performansı



Şekil 3.69. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi kar performansı



Şekil 3.70. Çukurkışla havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansı

Çukurkışla havzasında yapılan kar ile toprak nemi modelleme sonuçları beraber incelendiğinde akım ağırlığının 0.1 ile 0.9 arasında değiştiği tüm durumlarda akım ile toprak nemi modelinin akım üretebilme başarısı, akım ile kar modelinin akım üretme başarısından daha fazladır. Ancak akımın olmadığı durumda kar modelinin akım üretme başarısı toprak nemine göre daha iyidir. Akım ağırlığı azaldıkça akım performansında düşmeler gözlenmektedir. Bu düşüşler özellikle kalibrasyon döneminde kar modelinde daha fazla hissedilmektedir.

Kar performansları incelendiğinde, her iki periyot için akım ağırlığı azaldıkça kar modelinde kar performansı artarken, toprak nemi modelinde kar performansı azalmaktadır. Özellikle akım ağırlığının 0.4'den daha küçük olduğu durumlarda kar modelinde kar performansı neredeyse sabit kalırken (çok küçük artışlar), toprak nemi modelinde hızlı düşüşler görülmektedir.

Toprak nemi performansları incelendiğinde, validasyon dönemi akım ağırlığının 0 olduğu kar modellemesi hariç, tüm performans sonuçları 0.7 ve üzerindedir. Genel olarak kar modelinin toprak nemi üzerinde etkisi çok azdır ve genellikle belirli bir aralıktadır. Akım ağırlığının 0.6'dan daha küçük olduğu durumlarda toprak nemi neredeyse sabit kalmaktadır. Akım ağırlığının 0.1 ile 0.9 arasında değiştiği durumlarda kalibrasyon dönemi toprak nemi performansı 0.82 ile 0.92 arasında, validasyon dönemi için ise 0.70 ile 0.80 arasında değişmektedir. Genel olarak içsel başarı durumları ağırlıklar ile doğru orantılıdır. Bu yüzden ağırlık seçimleri akım, kar ve toprak nemi bir arada incelenerek seçilmelidir.

Kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişikliklerin grafikleri ekler kısmında sunulmuştur (EK-1). Çukurkişla havzası için akım ve kar ile akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametreler üç kısımda incelenmiştir. Bunlar kar parametreleri, toprak nemi parametreleri ve akım parametreleridir.

➤ Kar parametrelerindeki değişimler

Kar parametreleri SCF, DDF, T_r , T_s , T_m 'den oluşmaktadır. SCF parametresi her iki model için belirli aralıklardadır. Ancak, toprak nemi modellemesine göre bu aralık her bir ağırlık için daha dardır. Akım ağırlığının 0.5'den daha küçük olduğu durumlarda, kar modellemesinde SCF değeri azalırken, toprak nemi modellemesinde artış gözlenmektedir. Özellikle akımın olmadığı toprak nemi modellemesinde SCF en yüksek değerleri almaktadır. Bunun sebebi, kar doğrudan modellenmese bile, yağış ve sıcaklık girdilerin etkisiyle modelin karın erimesiyle oluşan suyu yeterince hesaba katmadığını ve bu nedenle düzeltme ihtiyacı duyduğunu göstermektedir. DDF parametresi, akım ağırlığı 0.5 ve sonrası olduğu durumlarda benzer aralıklardayken, 0.5 ve öncesi olduğu durumlarda artış gözlenmektedir. Kar modelinde bu durum çok daha iyi hissedilirken, toprak neminde biraz daha yavaş artışlar söz konusudur. DDF kar erimesini sıcaklık değerlerine göre tahmin eden bir parametre olduğu için buradaki değişimler sıcaklık parametreleri ile ilişkilidir. T_r parametresi, kar modellemesinde geniş aralıklarda değerlere sahipken, toprak nemi modellemesinde genel olarak 3.5 ile 4.0 arasında değişmektedir. T_s parametresi, toprak nemi modellemesinde artarken, kar modellemesinde DDF de olduğu gibi akım ağırlığı 0.5 ve sonrası olduğu durumlarda benzer aralıklardayken, 0.5 ve öncesi olduğu durumlarda azalış göstermektedir.

Akım ağırlığı 0.3 ve daha küçük olduğu durumlarda iki modelde zıt bir eğilim göstermektedir. Son olarak, T_m parametresinde toprak nemi modellemesinde her bir ağırlık için değerler neredeyse aynıken, kar modellemesinde T_s parametresindeki durumun tam tersi bir durum söz konusudur. Bu durumlar, kar modelinin hem kar yağışı hem de kar erimesi süreçlerini toprak nemi modelinde ise yağışın yağmur olarak düşmesi sürecini kapsamamasından kaynaklanabilir. Her iki model sonucu elde edilen kar parametrelerinin kar gözlemlerinden daha çok etkilendiği, toprak neminin ise daha çok T_s parametresini etkilediği bunun da sebebinin havzanın kar baskın olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

➤ Toprak nemi parametrelerindeki değişimler

Toprak nemi parametreleri, FC, β ve C_{perc} 'den oluşmaktadır. Ancak buharlaşmayı etkileyen LP de bu kısımda incelenmiştir. LP parametresi kar modellemesi ile sabit aralıklarda ilerlerken, toprak nemi modellemesinde akım ağırlığı azaldıkça artmaktadır. Yüksek bir LP değeri, potansiyel buharlaşma sınırının arttığını ve buharlaşma potansiyelinin daha yüksek olduğunu gösterebilir. FC parametresi her iki modelde de artış göstermektedir. Özellikle toprak nemi modellemesinde FC değerleri belirli sınırlarda ve küçük artışlar gösterirken, kar modellemesinde bu sınırlar biraz daha geniştir. Akım ağırlığının 0 olduğu kar modellemesinde FC değeri diğer ağırlıklara göre daha farklı davranmaktadır. β ise FC değeri ile ters orantılıdır, C_{perc} ile benzer özellikler göstermektedir. β ve C_{perc} akım ağırlığının 0.1 ile 0.9 olduğu tüm değerlerde benzer değer aralıklarına sahiptir ve toprak nemi modellemesinde bu değerler daha dardır.

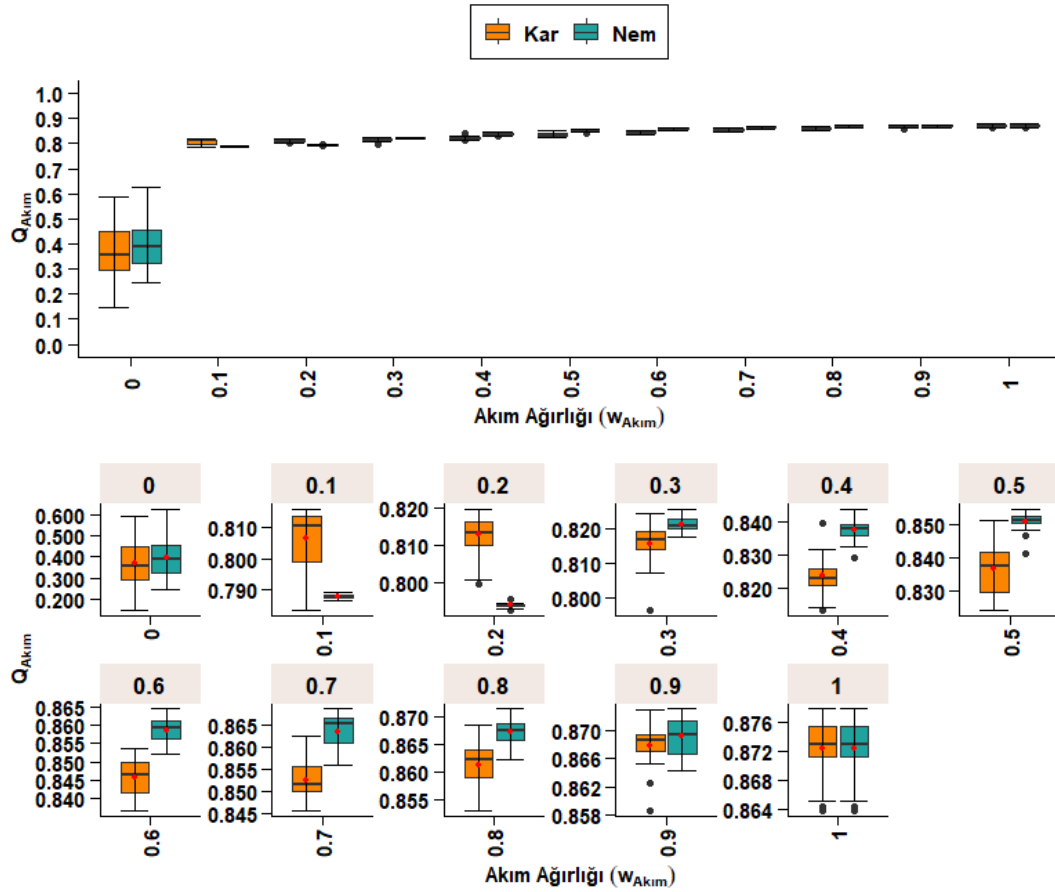
Her iki model sonucu elde edilen toprak nemi parametrelerinin toprak nemi gözlemlerinden daha çok etkilendiği, karın ise daha çok FC parametresini etkilediği söylenebilir.

➤ Akım parametrelerindeki değişimler

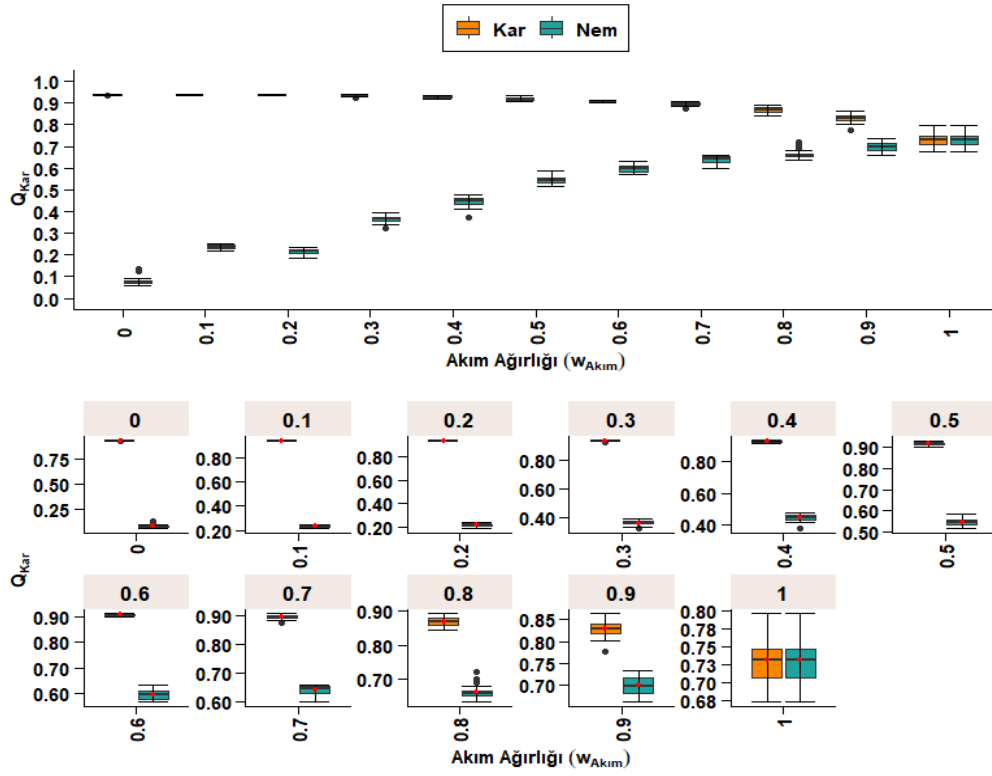
Akım parametreleri, k_0 , k_1 , k_2 , L_{suz} , B_{max} ve C_{route} 'dan oluşmaktadır. Akım en son üretilen bir çıktı olduğu için hem kar hem toprak nemi rutinlerinden etkilenmektedir. Bu yüzden direkt olarak akım ağırlığına bağlı değildir. Genel olarak tüm parametreler her iki modelde benzer eğilimler göstermektedir. L_{suz} parametresi hariç diğer parametreler, akımın olmadığı tüm durumlarda farklı bir eğilim göstermektedir.

3.4.3.2. Kayabaşı havzası

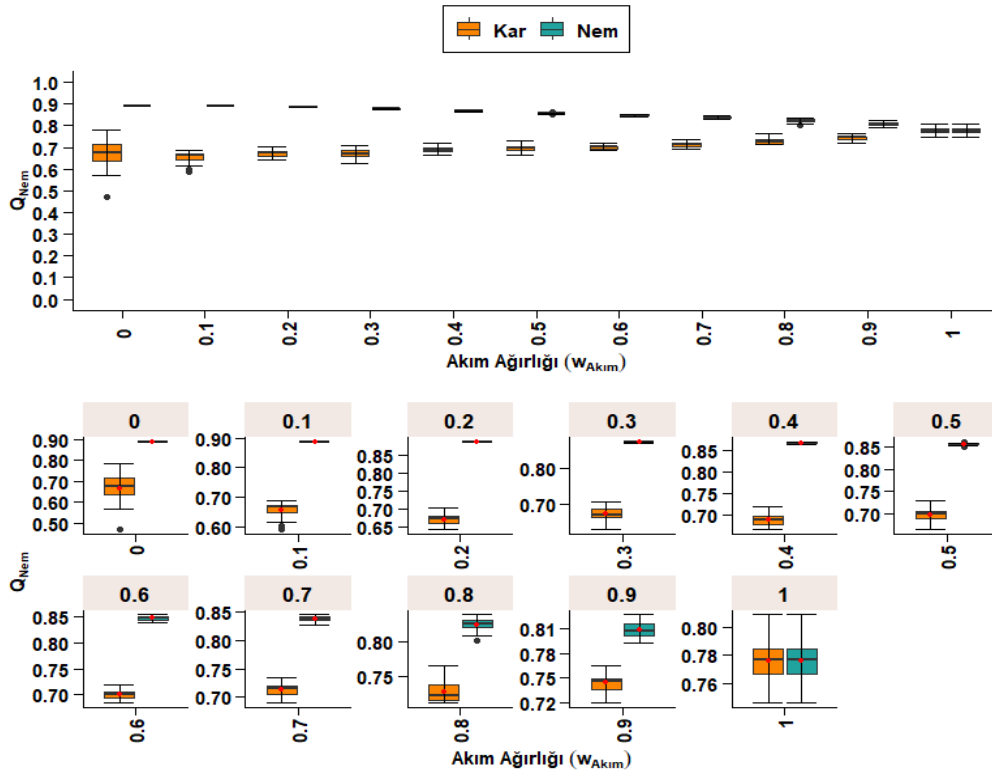
Kayabaşı havzasında akım ve kar ile akım ve toprak nemi modellenmesinde elde edilen sonuçlar, çok amaçlı kalibrasyonunun performansı ile kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişiklikler olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.



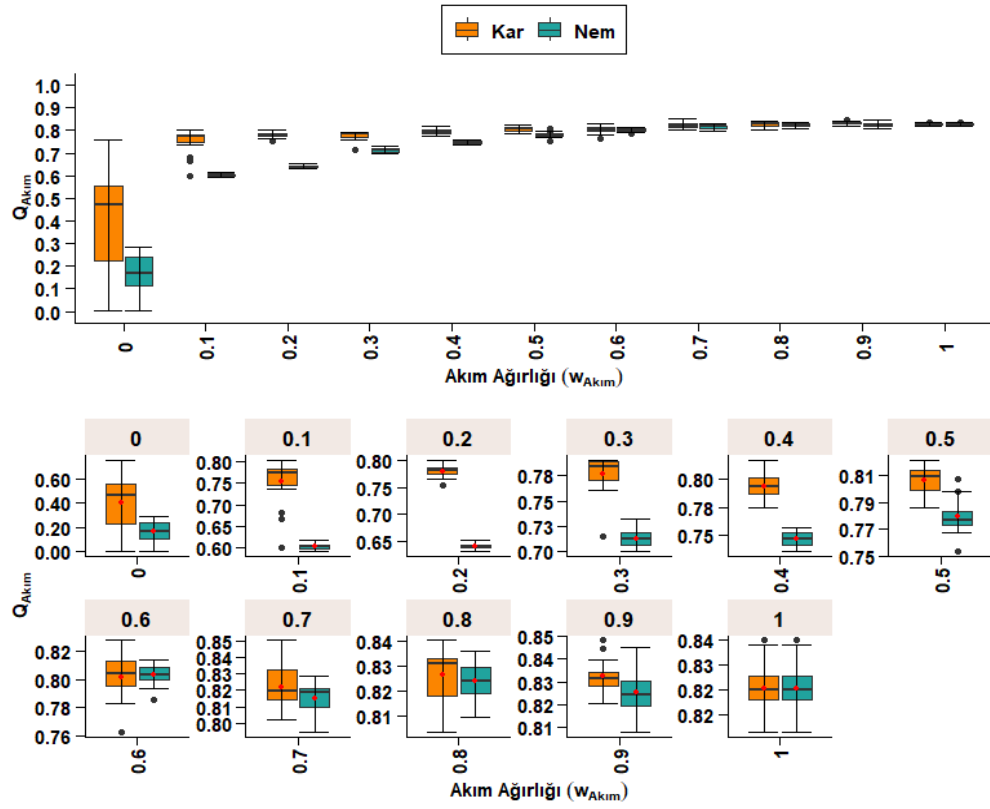
Şekil 3.71. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi akım performansı



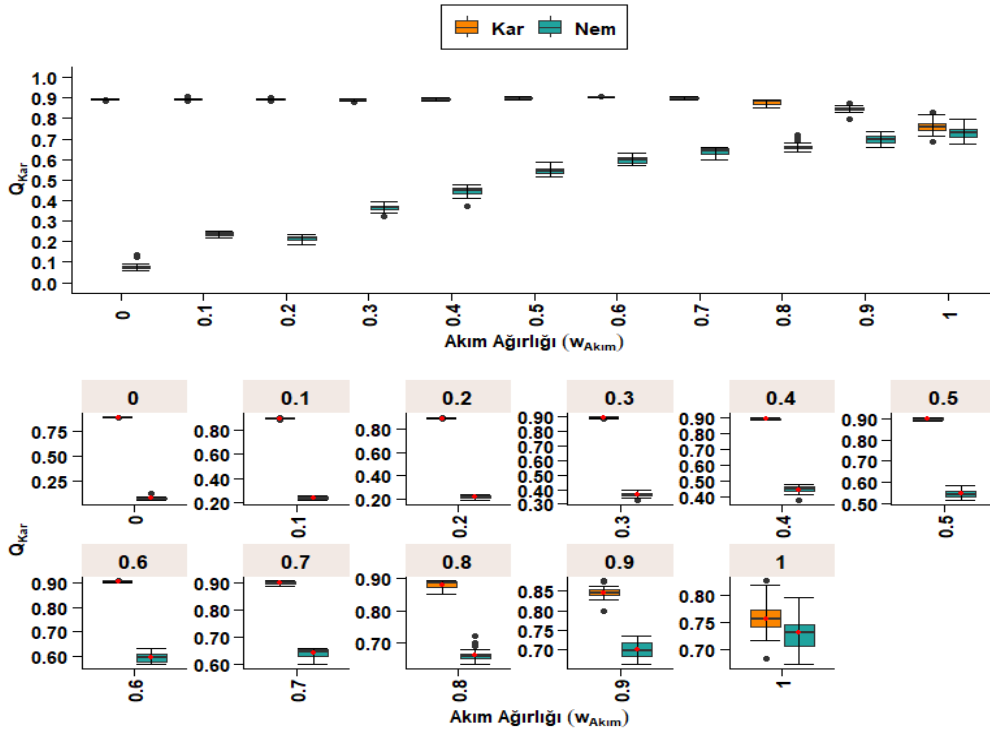
Şekil 3.72. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi kar performansı



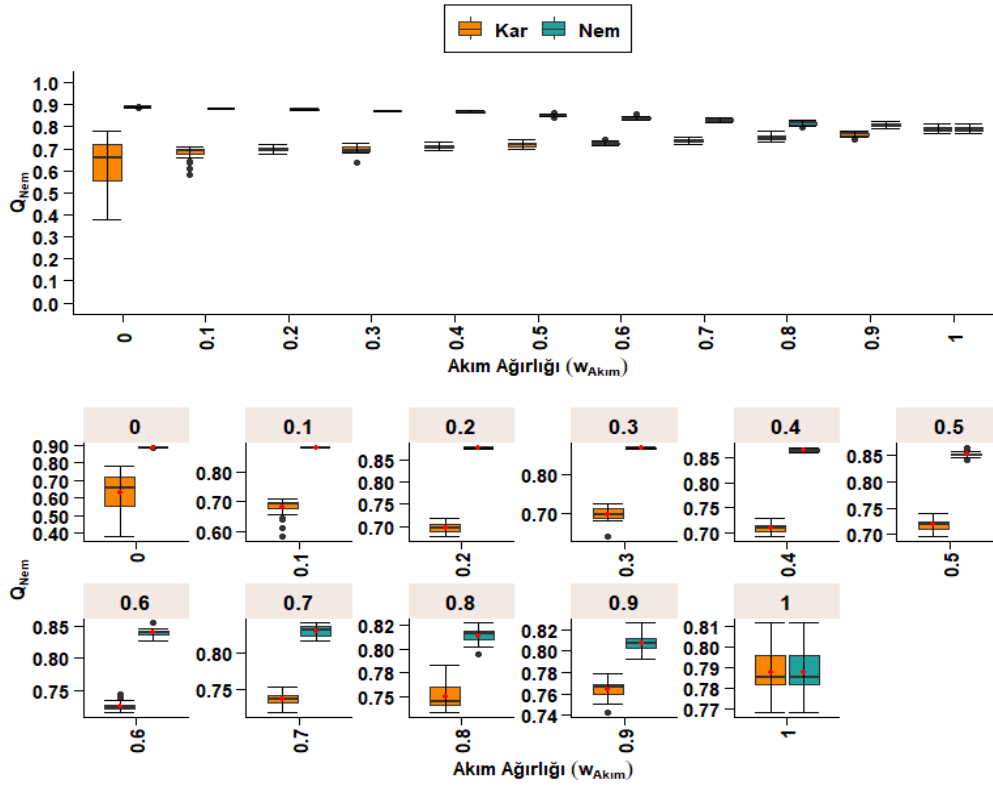
Şekil 3.73. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansı



Şekil 3.74. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi akım performansı



Şekil 3.75. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi kar performansı



Şekil 3.76. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansı

Kayabaşı havzasında yapılan kar ile toprak nemi modelleme sonuçları beraber incelendiğinde akım ağırlığının 0.1 ile 0.9 arasında değiştiği kalibrasyon periyodunda akım performansı birbirine yakındır. Validasyon döneminde ise akım ağırlığı 0.3 ve daha küçük olduğunda akım performansında farklılıklar görülmektedir. Ancak her iki periyot aralığı beraber düşünüldüğünde akımın olmadığı durumda kar modelinin akım üretme başarısı toprak nemine göre daha iyidir. Akım ağırlığı azaldıkça akım performansında düşmeler gözlenmektedir. Bu düşüşler özellikle validasyon döneminde toprak nemi modelinde daha fazla hissedilmektedir.

Kar performansları incelendiğinde, her iki periyot için akım ağırlığı azaldıkça kar modelinde kar performansı artarken, toprak nemi modelinde kar performansı azalmaktadır. Özellikle akım ağırlığının 0.4'den daha küçük olduğu durumlarda kar modelinde kar performansı neredeyse sabit kalırken (çok küçük artışlar), toprak nemi modelinde hızlı düşüşler görülmektedir.

Toprak nemi performansları incelendiğinde, her iki periyot için akım ağırlığı azaldıkça kar modelinde toprak nemi performansı azalırken, toprak nemi modelinde toprak nemi performansı artmaktadır. Ancak, bu artış ve azalışlar kar ve toprak nemi modelinin kar performansını etkilediği kadar fazla değildir. Yani karın varlığı ve yokluğu modeli toprak neminin varlığı ve yokluğuna göre daha çok etkilemektedir. Genel olarak içsel başarı durumları ağırlıklar ile doğru orantılıdır. Bu yüzden ağırlık seçimleri akım, kar ve toprak nemi bir arada incelenerek seçilmelidir.

Kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişikliklerin grafikleri ekler kısmında sunulmuştur (EK-2). Kayabaşı havzası için akım ve kar ile akım ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametreler üç kısımda incelenmiştir. Bunlar kar parametreleri, toprak nemi parametreleri ve akım parametreleridir.

➤ Kar parametrelerindeki değişimler

Kar parametreleri SCF, DDF, T_r , T_s , T_m ’den oluşmaktadır. SCF parametresi her iki model için belirli aralıklardadır. Ancak, toprak nemi modellemesine göre bu aralık her bir ağırlık için daha dardır. Akım ağırlığının 0.5’den daha küçük olduğu durumlarda, toprak nemi modellemesinde artış gözlenmektedir ($w_{akım} = 0$ hariç) İlginç bir şekilde karın olmadığı toprak nemi modellemesinde SCF önceki ağırlıklara göre düşüş göstermektedir. Bunun sebebinin Kayabaşı havzasında toprak nemi modellemesinde kar performansının neredeyse 0 olmasından kaynaklanmaktadır.

DDF parametresi, her iki model içinde genel olarak artış göstermektedir. Kar modelinde bu durum çok daha iyi hissedilirken, toprak neminde özellikle akım ağırlığının 0.3 ile 0.5 olduğu durumlarda küçük düşüşler söz konusudur. DDF kar erimesini sıcaklık değerlerine göre tahmin eden bir parametre olduğu için buradaki değişimler sıcaklık parametreleri ile ilişkilidir. T_r parametresi, kar modellemesinde geniş aralıklarda değerlere sahipken, toprak nemi modellemesinde genel olarak akım ağırlığının 0.8 ve daha küçük olduğu durumlarda giderek daralmaktadır. T_s parametresi, toprak nemi modellemesinde azalırken, kar modellemesinde akım ağırlığının 0.4 olduğu durum hariç sabit bir aralıktadır. Akım ağırlığı 0.3 ve daha küçük olduğu durumlarda iki modelde zıt bir eğilim göstermektedir. Son olarak, T_m parametresi her iki model için tamamen zıt bir eğilim göstermektedir. Akım ağırlığı 0.3 ve daha küçük olduğu durumlarda iki modeldeki değerler oldukça daralmaktadır.

Bu durumlar, kar modelinin hem kar yağıışı hem de kar erimesi süreçlerini toprak nemi modelinde ise yağıışın yağmur olarak düşmesi sürecini kapsamından kaynaklanabilir. Her iki model sonucu elde edilen kar parametrelerinin kar gözlemlerinden daha çok etkilendiğı söylenebilir.

➤ Toprak nemi parametrelerindeki değıışimler

Toprak nemi parametreleri, FC , β ve C_{perc} 'den oluşmaktadır. Ancak buharlaşmayı etkileyen LP da bu kısımda incelenmiştir. LP parametresi kar modellemesi ile sabit aralıklarda ilerlerken, toprak nemi modellemesinde akım ağırlığı azaldıkça artmaktadır (Akım ağırlığı 0.3 ve daha küçük olduğunda azalarak sabit kalmaktadır). FC parametresi her iki modelde de artış göstermektedir. Özellikle toprak nemi modellemesinde FC değıerleri belirli sınırlarda ve küçük artışlar gösterirken, kar modellemesinde bu sınırlar biraz daha geniştir. Akım ağırlığının 0 olduğ u kar modellemesinde FC değıeri diğ er ağırlıklara göre daha farklı davranmaktadır. β ise FC değıeri ile ters orantılıdır, C_{perc} ile benzer özellikler göstermektedir. β ve C_{perc} akım ağırlığının 0.1 ile 0.9 olduğ u tüm değıerlerde benzer değıer aralıklarına sahiptir ve toprak nemi modellemesinde bu değıerler daha dardır.

Her iki model sonucu elde edilen toprak nemi parametrelerinin toprak nemi gözlemlerinden daha çok etkilendiğı, karın ise daha çok FC parametresini etkilediğı söylenebilir.

➤ Akım parametrelerindeki değıışimler

Akım parametreleri, k_0 , k_1 , k_2 , L_{suz} , B_{max} ve C_{route} 'dan oluşmaktadır. Akım en son üretilen bir çıktı olduğ u için hem kar hem toprak nemi rutinlerinden etkilenmektedir. Bu yüzden direkt olarak akım ağırlığına bağılı değıildir. Genel olarak tüm parametreler her iki modelde benzer eğilimler göstermektedir.

3.4.4. Akım, kar ve toprak nemi modellemesi

Çukurkışla ve Kayabaşı havzaları için ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak yapılan akım, kar ve toprak nemi modellemesinde, kullanılan ağırlıkların değerleri 0.1 ve katları ve toplamı her zaman 1 olacak şekilde seçilmiştir. Çoklu amaç fonksiyonu $F(-) = w_{akım} * Q_{akım} + w_{kar} * Q_{kar} + w_{nem} * Q_{nem}$ şeklinde yazılmış olup model bu denklemin en iyi sonucunu yakalayama çalışmaktadır. Akım ve kar modellemesi ile akım ve toprak nemi modellemesi ağırlık olarak seçilmesi gereken değerler hakkında bir fikir verse de, kar ağırlığının toprak nemi ağırlığından fazla veya az olması durumunda performans metriklerini ve parametreleri değerlendirebilmek adına seçilen tüm ağırlıklarda model çok kez çalıştırılmıştır. Bu yüzden havzalar bazında model sonuçları iki kısımda incelenmiştir. İlk kısım, toprak nemi ağırlığının 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 olduğu durumlardır. Bu kısımda toprak nemi ağırlığı her zaman akım veya kar ağırlığından daha az veya eşittir. İkinci kısımda ise, toprak nemi ağırlığının 0.5, 0.6 ,0.7 ve 0.8 olduğu durumlar incelenmiştir. Bu kısımda toprak nemi ağırlığı her zaman akım veya kar ağırlığından fazladır.

3.4.4.1. Çukurkışla havzası

Çukurkışla havzası için akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kar ve toprak nemi girdileri %10'luk bir alana sahip yükseklik bölgeleri için oluşturulmuştur. Çoklu amaç fonksiyonu $F(-) = w_{akım} * Q_{akım} + w_{kar} * Q_{kar} + w_{nem} * Q_{nem}$ olacak şekilde yazılmış olup Q_{kar} ve Q_{nem} 10 eşit alana sahip yükseklik bölgelerinin ortalamasını temsil etmektedir.

➤ Toprak nemi ağırlığının 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 olduğu model sonuçları

Çukurkışla havzasında yapılan akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kullanılan ağırlıklar Tablo 3.8 ile 3.11'de verilmiştir. Toprak nemi ağırlığının 0.1 olduğu durumlarda 8 farklı ağırlıklandırma, 0.2 olduğu durumlarda 7 farklı ağırlıklandırma, 0.3 olduğu durumlarda 6 farklı ağırlıklandırma ve 0.4 olduğu durumlarda 5 farklı ağırlıklandırma yapılmıştır. Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha az veya eşit ağırlığa sahiptir. Böylece, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklenerek, bunun model parametrelerine olan etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmaktadır.

Tablo 3.8. *Toprak nemi ağırlığının 0.1 olduğu durumlar*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.8	0.1	0.1
2	0.7	0.2	0.1
3	0.6	0.3	0.1
4	0.5	0.4	0.1
5	0.4	0.5	0.1
6	0.3	0.6	0.1
7	0.2	0.7	0.1
8	0.1	0.8	0.1

Tablo 3.9. *Toprak nemi ağırlığının 0.2 olduğu durumlar*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.7	0.1	0.2
2	0.6	0.2	0.2
3	0.5	0.3	0.2
4	0.4	0.4	0.2
5	0.3	0.5	0.2
6	0.2	0.6	0.2
7	0.1	0.7	0.2

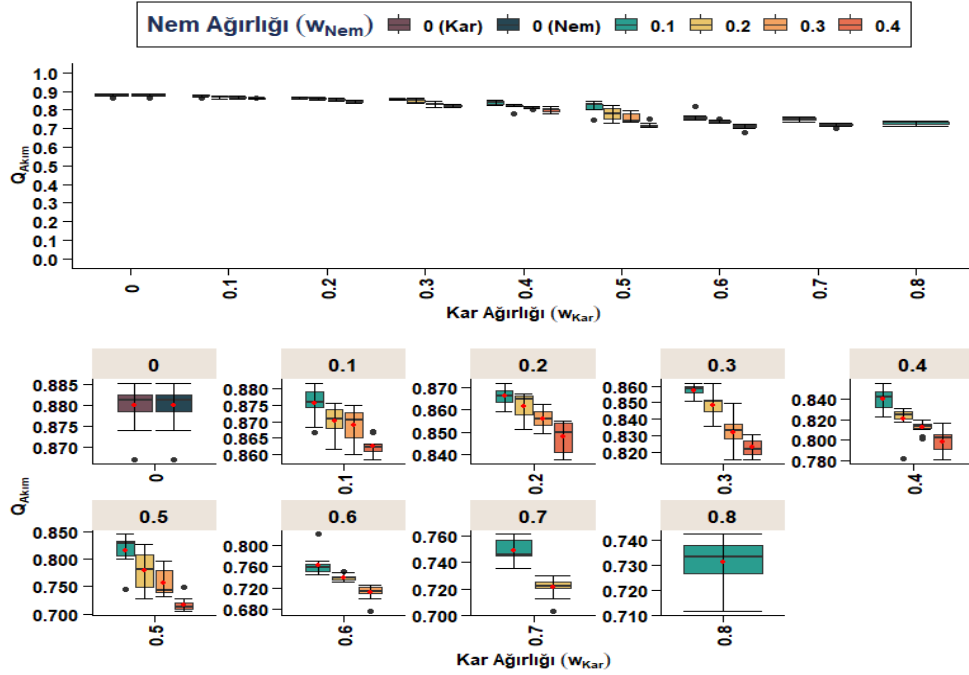
Tablo 3.10. *Toprak nemi ağırlığının 0.3 olduğu durumlar*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.6	0.1	0.3
2	0.5	0.2	0.3
3	0.4	0.3	0.3
4	0.3	0.4	0.3
5	0.2	0.5	0.3
6	0.1	0.6	0.3

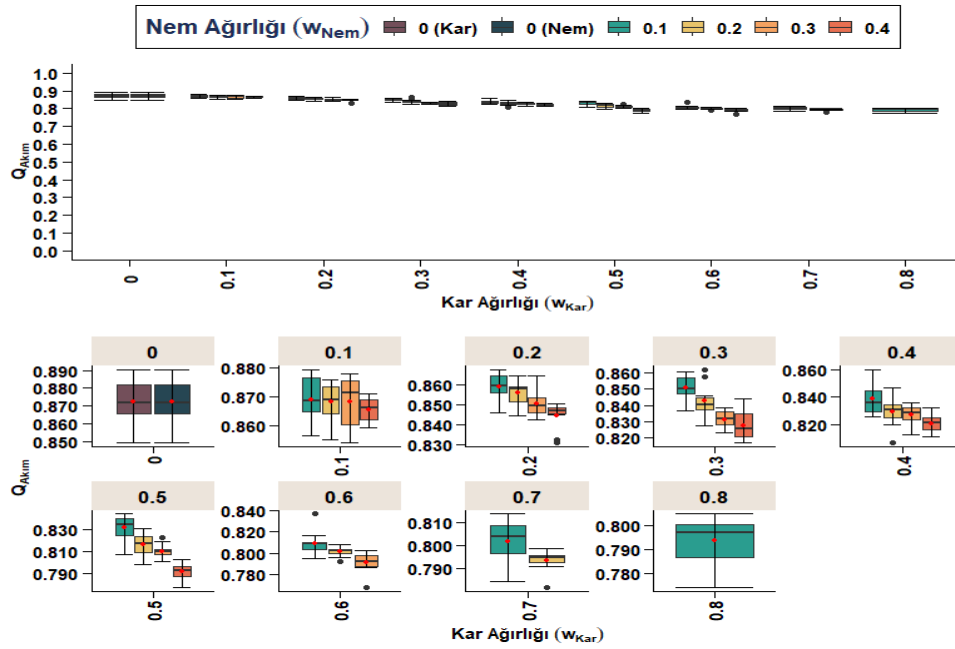
Tablo 3.11. *Toprak nemi ağırlığının 0.4 olduğu durumlar*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.5	0.1	0.4
2	0.4	0.2	0.4
3	0.3	0.3	0.4
4	0.2	0.4	0.4
5	0.1	0.5	0.4

Şekil 3.77 ile 3.78’de akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için akım performansları gösterilmektedir. Grafiklerde kar ağırlığını x eksenini temsil ederken, nem ağırlığını kutuların rengi temsil etmektedir.

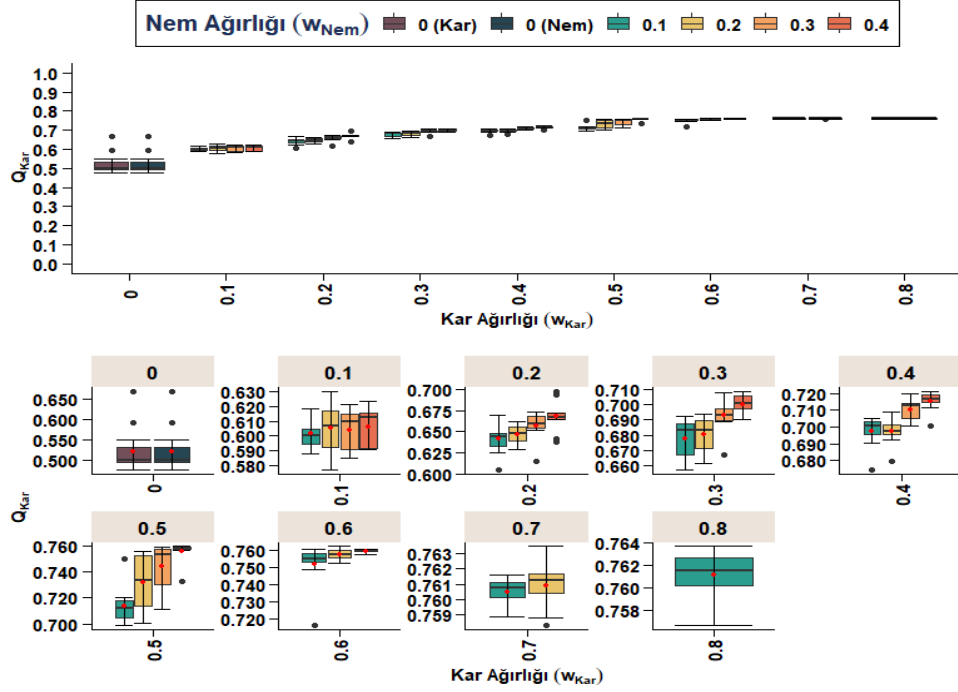


Şekil 3.77. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$

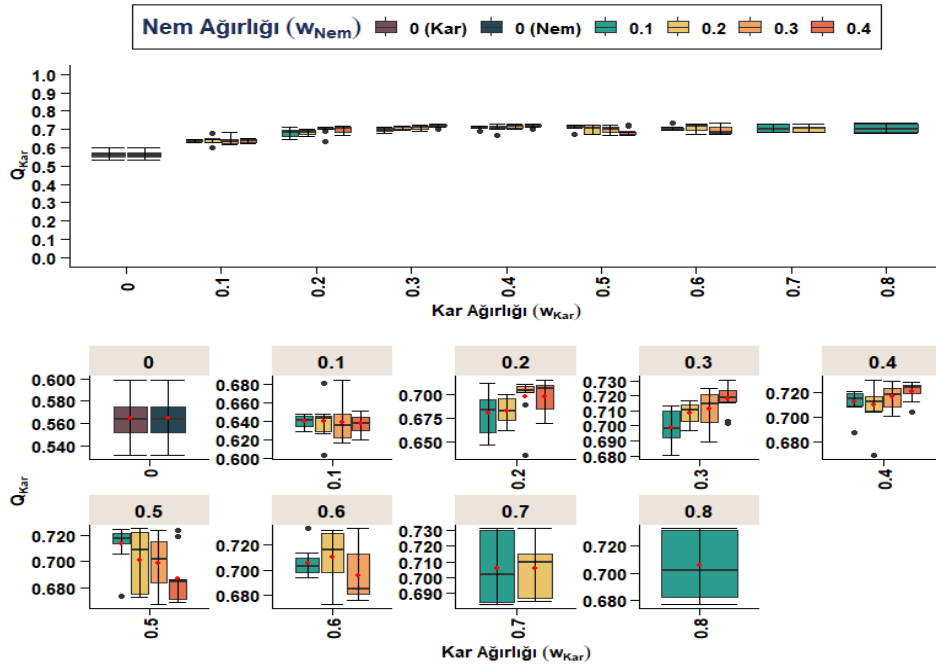


Şekil 3.78. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$

Şekil 3.79 ile 3.80’de akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için kar performansları gösterilmektedir.

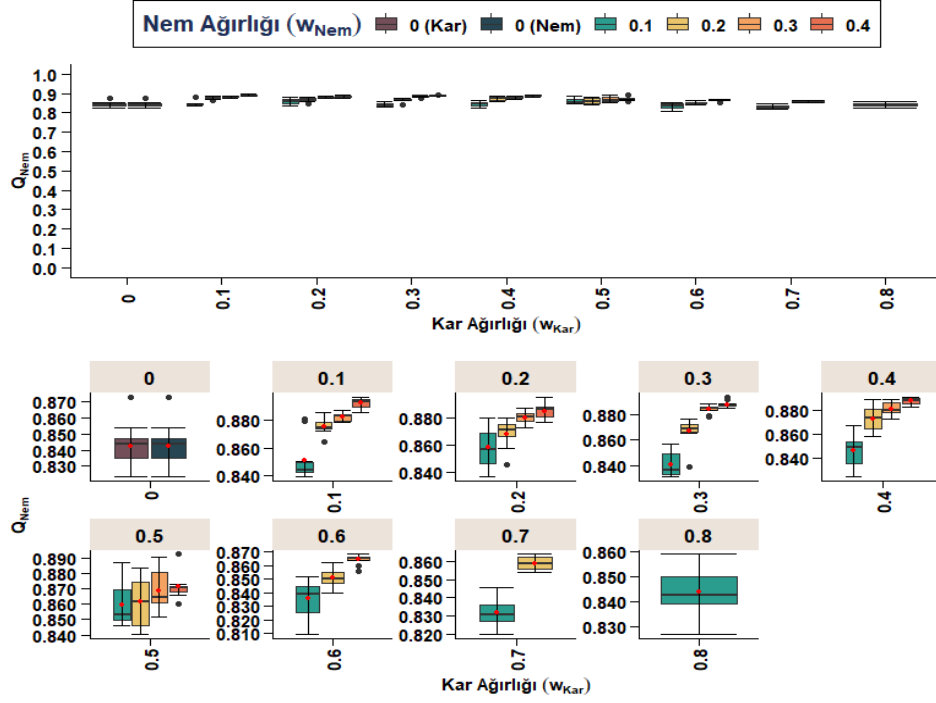


Şekil 3.79. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$

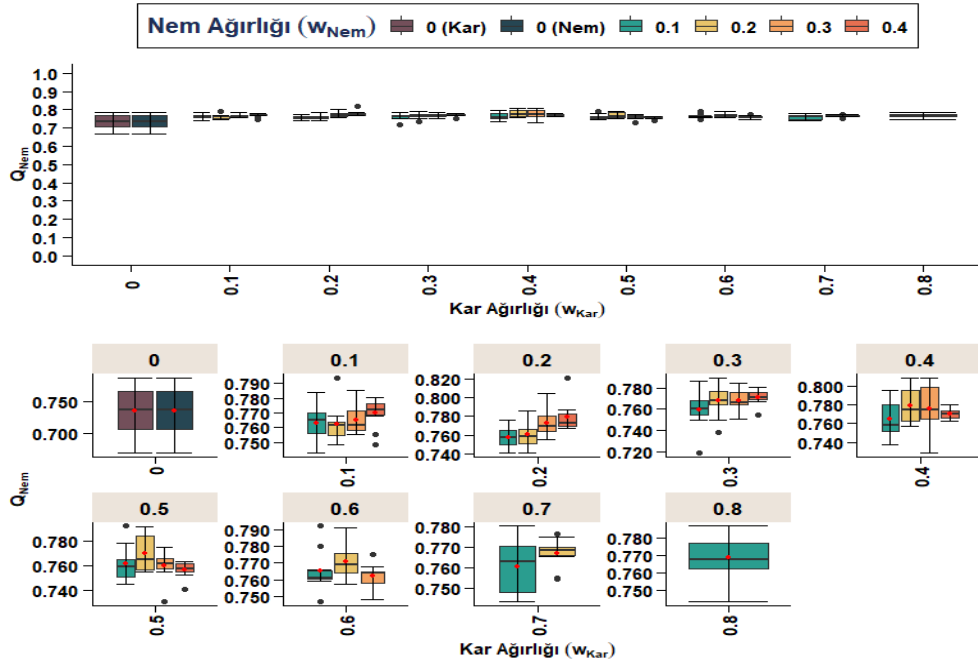


Şekil 3.80. Çukurkişla havzası validasyon dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$

Şekil 3.81 ile 3.82’de akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için toprak nemi performansları gösterilmektedir.



Şekil 3.81. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$



Şekil 3.82. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$

Tablo 3.12-3.15, şekil 3.77-3.82 arasında gösterilen performans sonuçlarının medyan değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.12. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.1$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.8$	0.876	0.600	0.844	0.869	0.640	0.765
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.7$	0.866	0.644	0.857	0.859	0.685	0.757
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.6$	0.859	0.683	0.836	0.850	0.698	0.761
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.5$	0.842	0.701	0.849	0.836	0.715	0.759
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.4$	0.829	0.712	0.853	0.835	0.717	0.759
$w_{kar} = 0.6, w_{akım} = 0.3$	0.759	0.755	0.839	0.809	0.703	0.761
$w_{kar} = 0.7, w_{akım} = 0.2$	0.746	0.761	0.830	0.804	0.702	0.763
$w_{kar} = 0.8, w_{akım} = 0.1$	0.733	0.762	0.843	0.797	0.702	0.768
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.13. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.2$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.7$	0.871	0.607	0.875	0.869	0.643	0.762
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.6$	0.864	0.648	0.871	0.858	0.683	0.759
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.5$	0.851	0.683	0.869	0.841	0.710	0.768
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.4$	0.825	0.697	0.873	0.831	0.713	0.774
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.3$	0.780	0.733	0.861	0.817	0.709	0.765
$w_{kar} = 0.6, w_{akım} = 0.2$	0.739	0.757	0.850	0.803	0.716	0.769
$w_{kar} = 0.7, w_{akım} = 0.1$	0.722	0.761	0.859	0.795	0.710	0.768
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.14. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.3$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.6$	0.870	0.610	0.883	0.871	0.635	0.762
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.5$	0.856	0.660	0.880	0.850	0.705	0.769
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.4$	0.833	0.693	0.885	0.831	0.715	0.766
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.3$	0.814	0.713	0.880	0.829	0.718	0.775
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.2$	0.743	0.753	0.865	0.810	0.702	0.762
$w_{kar} = 0.6, w_{akım} = 0.1$	0.714	0.760	0.865	0.792	0.685	0.764

Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu,
Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.

Tablo 3.15. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.4$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.5$	0.862	0.613	0.894	0.866	0.638	0.772
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.4$	0.850	0.667	0.886	0.847	0.708	0.772
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.3$	0.822	0.701	0.886	0.825	0.719	0.771
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.2$	0.802	0.717	0.888	0.821	0.724	0.770
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.1$	0.713	0.758	0.871	0.793	0.685	0.757

Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu,
Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.

Yukarıdaki tablo ve şekiller akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklenmesinin performans metriklerini nasıl etkilediğini göstermektedir. Her iki periyot için kar veya toprak nemi ağırlığının artması akım performansını düşürmüştür. En iyi akım performansı $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilmiştir ($Q_{Akım_{Kal}} = 0.881, Q_{Akım_{Val}} = 0.872$). Toprak neminin kademeli olarak eklendiği ve kar ağırlığının 0.1 aralıklarla artıldığı veya tam tersi tüm durumlarda akım performansı her zaman ilk durum için daha iyidir.

Toprak nemi ağırlığını sabit tutarak kar ağırlığını artırıldığında elde edilen akım performansı, kar ağırlığını sabit tutarak toprak nemi ağırlığını arttırıldığındaki duruma göre biraz daha düşük sonuçlar vermektedir. Bu durum göstermektedir ki, Çukurkişla havzası için karın akım üretiminde etkisi daha büyüktür çünkü ağırlık olarak kar daha baskındır.

Kar performansları incelendiğinde, kalibrasyon döneminde toprak nemi ağırlığı sabitken kar ağırlığı artıkça kar performansının arttığı gözlenirken, doğrulama döneminde bazı aralıklarda düşüşler de gözlenmiştir. Kalibrasyon dönemi ile validasyon dönemi arasında farklılıklar olsa da, $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilen kar performansı ($Q_{Kar_{Kal}} = 0.502$, $Q_{Kar_{Val}} = 0.564$) her iki dönem için de en küçük kar ağırlığında bile artış göstermiştir. En iyi kar performansını da kar ağırlığının en fazla, toprak nemi ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Kar(0.8)_{Kal}} = 0.762$). Sadece akıma göre yapılan modellemeye göre kar performansındaki artış %51.8'dir.

Kar ağırlığının sabitken toprak nemi ağırlığının artırıldığı durumlarda bile kalibrasyon döneminde kar performansı yükselmiştir. Doğrulama dönemindeki düşüşler ise kar ağırlığının 0.5 ve daha büyük olduğu durumlarda gözlenmiştir. Buradaki düşüş genel olarak modelin o aralıklara daha yakın değerler bulmasından kaynaklanmaktadır. Veri seti içerisinde bir önceki durumdan daha yüksek ve oldukça düşük kar performansına sahip verilerde bulunmaktadır. Medyan değerlerindeki düşüş aralıkları küçük ve doğrulama periyodunda gözlemlendiği için, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklenmesinin kar performansını etkilemediği, kar performansındaki artışların devam ettiği söylenebilir.

Toprak nemi performansları değerlendirildiğinde, çoğunlukla her iki dönem için kar ağırlığının artması toprak nemi performansını ne artırmış ne azaltmıştır. Genel olarak $w_{nem} = 0.1$, $w_{nem} = 0.2$, $w_{nem} = 0.3$ ve $w_{nem} = 0.4$ olduğu durumlarda kalibrasyon dönemi için toprak nemi performansı 0.83 ile 0.88 arasında, doğrulama dönemi için 0.76 ile 0.77 arasında değişmektedir. Ancak, kar ağırlığı sabitken toprak nemi ağırlığının artması toprak nemi performansını artırmaktadır.

En iyi toprak nemi performansını toprak nemi ağırlığının en fazla ve kar ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Nem(0.4)Kal} = 0.894$, $Q_{Nem(0.4)Val} = 0.772$). $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilen toprak nemi performansına ($Q_{NemKal} = 0.844$, $Q_{NemVal} = 0.737$) göre artış %5.9 ile %4.7'dir.

Kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişikliklerin grafikleri ekler kısmında sunulmuştur (EK-3). Çukurkışla havzası için akım, kar ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametreler üç kısımda incelenmiştir. Bunlar kar parametreleri, toprak nemi parametreleri ve akım parametreleridir.

➤ Kar parametrelerindeki değişimler

Kar parametreleri SCF, DDF, T_r , T_s , T_m 'den oluşmaktadır. SCF parametresi genel olarak belirli bir aralıktadır. Akım ve kar modellemesinde akım ağırlığının 0.1 ile 0.8 arasında değiştiği durumlarda SCF değerleri 0.92 ile 0.97 arası değerler almaktadır. Akım, kar ve toprak nemi modellemesinde de bu değerler oldukça yakın olup 0.91 ile 0.96 arasında değişmektedir. DDF parametresinde akım ve kar modellemesinde 0 ile 0.5 arası ve 0.5 ile 1.0 arası iki farklı eğilim vardı (Akım ağırlığı 0.4 iken DDF'in alabileceği değer aralığı oldukça genişti) Benzer bir eğilim akım, kar ve toprak nemi modellemesinde de gözlenmektedir. Kar ağırlığı 0.1 ile 0.4 arası ile 0.4 ile 0.8 arası iki farklı eğilim vardır. Bu eğilim, nem ağırlığının 0.1, akım ağırlığının 0.4 olduğu durumda hissedilmektedir. Nem ağırlığı artıkça akım ağırlığı düşeceğinden bu iki farklı eğilim 0.4'den daha küçük akım ağırlıklarında hissedilmektedir. Sıcaklık parametrelerinde de benzer bir durum söz konusudur. Akım ve kar modellemesinde T_r geniş aralıklarda değer alırken, T_s akım ağırlığı 0.4 iken pozitiften negatife doğru bir eğilim gösterirken, T_m tam tersi bir durumda hareket ediyordu. Tüm bu eğilimler aynı şekilde nem ağırlığının 0.1, akım ağırlığının 0.4 olduğu durumda hissedilmektedir.

Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha az veya eşit ağırlığa sahiptir. Böylece, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklendiğinde, toprak neminin kar parametrelerine etkisinin neredeyse hiç olmadığı görülmektedir.

➤ Toprak nemi parametrelerindeki değişimler

Toprak nemi parametreleri, FC, β ve C_{perc} 'den oluşmaktadır. Ancak buharlaşmayı etkileyen LP de bu kısımda incelenmiştir. LP parametresi kar modellemesi ile sabit aralıklarda ilerlerken, toprak nemi modellemesinde akım ağırlığı azaldıkça artmaktaydı. Akım, kar ve toprak nemi modellemesinde nem ağırlığı sabitken belirli bir aralıktayken, kar ağırlığı sabit tutulduğunda LP değerinin arttığı gözlenmektedir.

FC parametresi, toprak nemi modellemesinde belirli sınırlarda ve küçük artışlar gösterirken, kar modellemesinde bu sınırlar biraz daha genişti. Nem ağırlığının artması FC parametresini sınırlandırmaya, özellikle kar ağırlığının 0.3 ve daha büyük olduğu, nem ağırlığının ise kademeli olarak arttığı durumlarda FC düşüş göstermektedir. Akım ve toprak nemi modellemesinde akım ağırlığının 0.1 ile 0.8 arasında değiştiği durumlarda FC değeri 250 ile 280 arası değiştiği durumda; akım, kar ve toprak nemi modellemesinde bu değer 260 ile 390 arasında değişmektedir. Yani, toprak nemi ağırlığını artırmak FC değerini düşürse bile karın varlığı FC'nin değer aralığı artırmaktadır.

β ise C_{perc} ile benzer özellikler göstermektedir. Kar modellemesi ile sabit aralıklarda iken, toprak nemi modellemesinde akım ağırlığı azaldıkça hem c_{perc} hem beta artmaktaydı. Akım, kar ve toprak nemi modellemesinde de bu durum benzerdir.

Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha az veya eşit ağırlığa sahip olmasına rağmen, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklendiğinde, toprak neminin toprak nemi parametrelerini daha çok etkilediği görülmektedir.

➤ Akım parametrelerindeki değişimler

Akım parametreleri, k_0 , k_1 , k_2 , L_{suz} , B_{max} ve C_{route} 'dan oluşmaktadır. Akım en son üretilen bir çıktı olduğu için hem kar hem toprak nemi rutinlerinden etkilenmektedir. Genel olarak tüm parametreler hem kar hem toprak nemi hem de ikisinin bir arada kullanıldığı modellerde benzer eğilimler göstermektedir.

➤ Toprak nemi ağırlığının 0.5, 0.6, 0.7 ve 0.8 olduğu model sonuçları

Çukurkişla havzasında yapılan akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kullanılan ağırlıklar Tablo 3.16 ile 3.19’da verilmiştir. Toprak nemi ağırlığının 0.5 olduğu durumlarda 4 farklı ağırlıklandırma, 0.6 olduğu durumlarda 3 farklı ağırlıklandırma, 0.7 olduğu durumlarda 2 farklı ağırlıklandırma ve 0.8 olduğu durumlarda 1 tane ağırlıklandırma yapılmıştır. Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha fazladır. Böylece, akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklenerek, bunun model parametrelerine olan etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmaktadır.

Tablo 3.16. *Toprak nemi ağırlığının 0.5 olduğu durumlar*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.4	0.1	0.5
2	0.3	0.2	0.5
3	0.2	0.3	0.5
4	0.1	0.4	0.5

Tablo 3.17. *Toprak nemi ağırlığının 0.6 olduğu durumlar*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.3	0.1	0.6
2	0.2	0.2	0.6
3	0.1	0.3	0.6

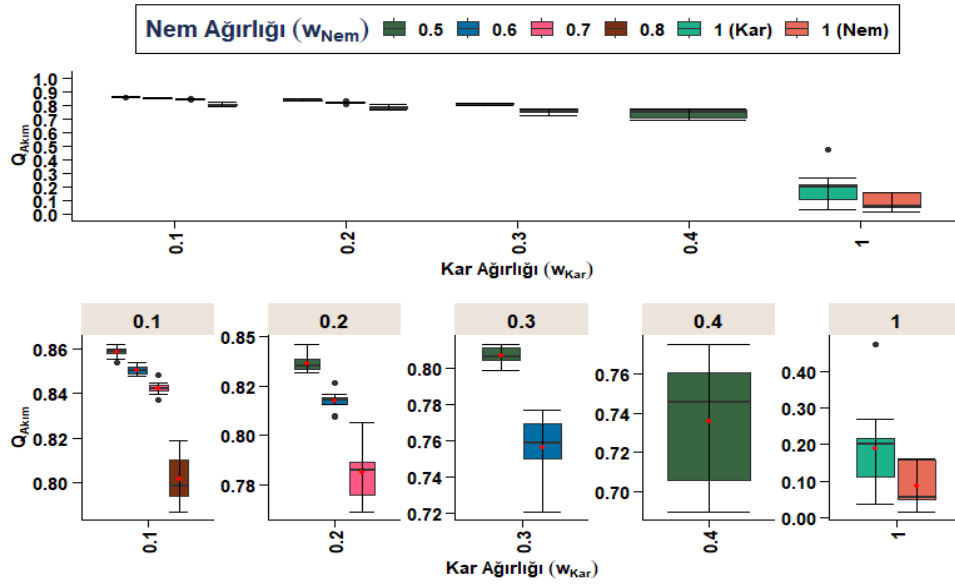
Tablo 3.18. *Toprak nemi ağırlığının 0.7 olduğu durumlar*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.2	0.1	0.7
2	0.1	0.2	0.7

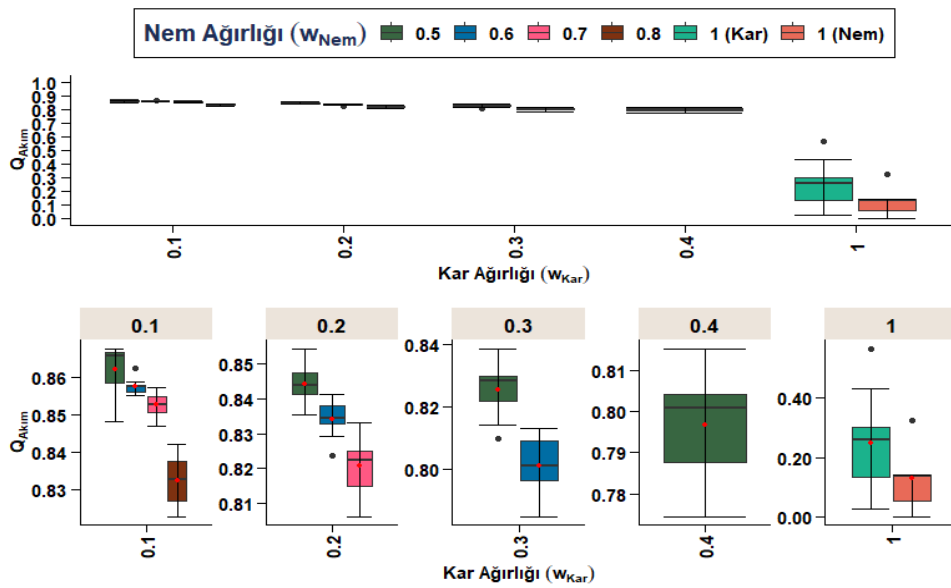
Tablo 3.19. *Toprak nemi ağırlığının 0.8 olduğu durum*

Model	Akım	Kar	Toprak Nemi
1	0.1	0.1	0.8

Şekil 3.83 ile 3.84’de akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için akım performansları gösterilmektedir. Grafiklerde kar ağırlığını x eksenini temsil ederken, nem ağırlığını kutuların rengi temsil etmektedir. 1 (Nem) olarak temsil edilen kutu, sadece toprak nemine göre yapılan modellemeyi temsil eder ve sadece kara göre yapılan modelleme ile farklılığını göstermek amacıyla konulmuştur.

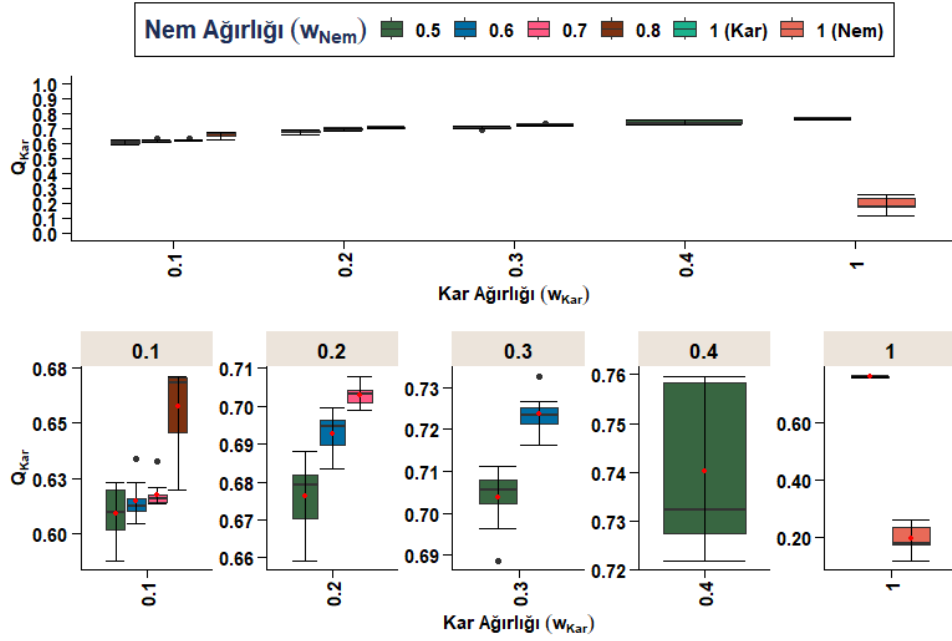


Şekil 3.83. Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$

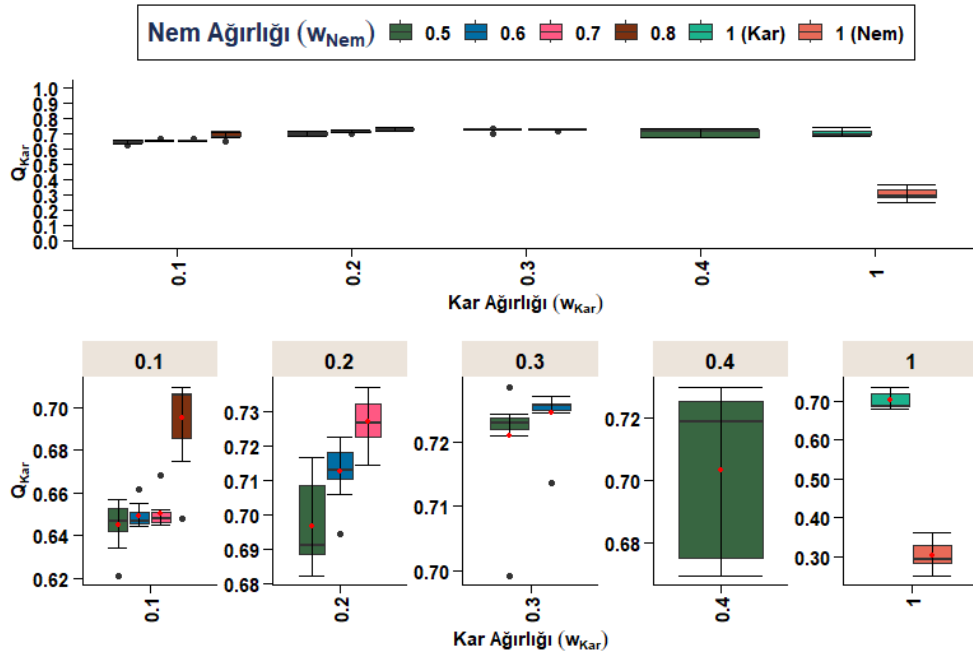


Şekil 3.84. Çukurkışla havzası doğrulama dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$

Şekil 3.85 ile 3.86’da akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için kar performansları gösterilmektedir.

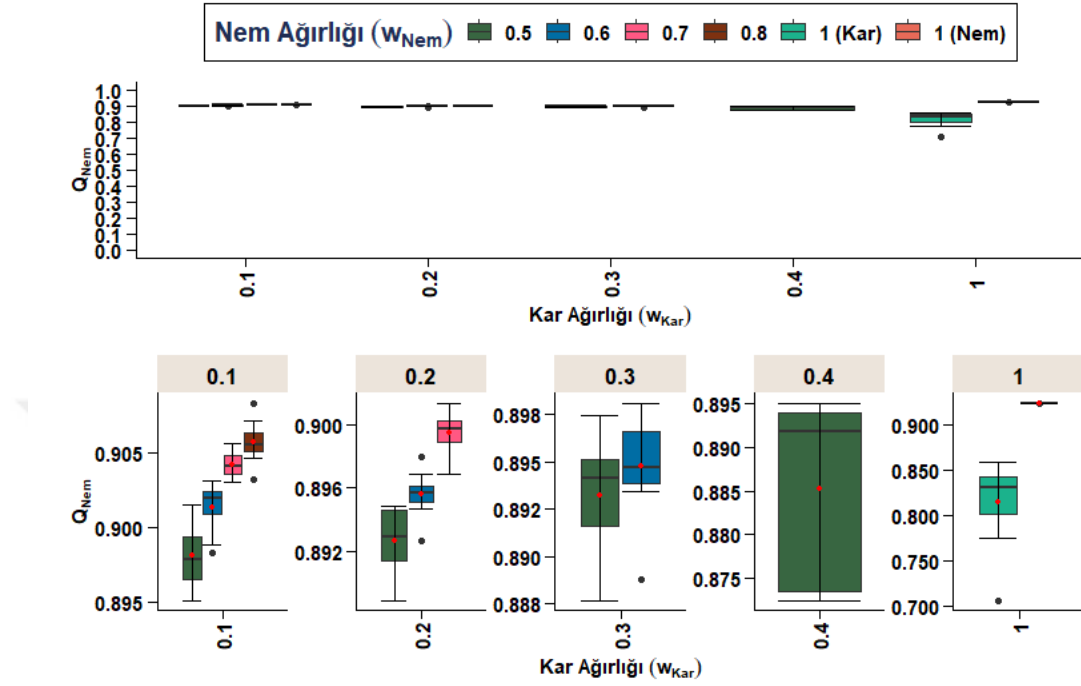


Şekil 3.85. Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$

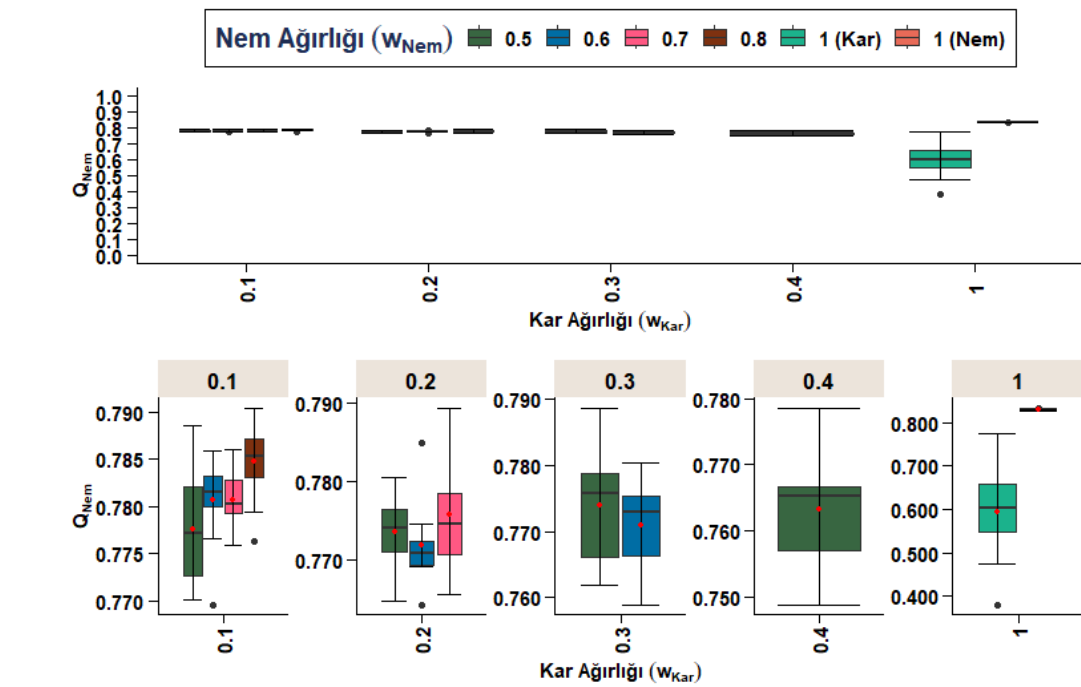


Şekil 3.86. Çukurkişla havzası doğrulama dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$

Şekil 3.87 ile 3.88’de akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için kar performansları gösterilmektedir.



Şekil 3.87. Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$



Şekil 3.88. Çukurkışla havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$

Tablo 3.20-3.23, Şekil 3.83-3.88 arasında gösterilen performans sonuçlarının medyan değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.20. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.5$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.4$	0.859	0.609	0.898	0.866	0.647	0.777
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.3$	0.835	0.679	0.893	0.844	0.691	0.774
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.2$	0.806	0.705	0.894	0.828	0.723	0.776
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.1$	0.746	0.732	0.892	0.801	0.719	0.765
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.21. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.6$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.3$	0.850	0.612	0.902	0.858	0.647	0.782
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.2$	0.818	0.695	0.896	0.834	0.713	0.771
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.1$	0.758	0.723	0.895	0.801	0.726	0.773
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.22. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.7$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.2$	0.842	0.616	0.904	0.853	0.648	0.780
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.1$	0.782	0.703	0.900	0.823	0.727	0.775
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.23. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.8$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.1$	0.799	0.668	0.906	0.833	0.706	0.785

Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu,
Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.

Yukarıdaki tablo ve şekiller akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklenmesinin performans metriklerini nasıl etkilediğini göstermektedir. Her iki periyot için kar veya toprak nemi ağırlığının artması akım performansını düşürmüştür. En kötü akım performansı $w_{kar} = 1$ veya $w_{nem} = 1$ olduğu sadece kara veya toprak nemine göre yapılan modellemede elde edilmiştir ($Q_{Kar_{Kal}} = 0.20, Q_{Kar_{Val}} = 0.26$, $Q_{Nem_{Kal}} = 0.06, Q_{Nem_{Val}} = 0.14$). Toprak neminin kademeli olarak eklendiği ve kar ağırlığının 0.1 aralıklarla artıldığı veya tam tersi tüm durumlarda akım performansı her zaman ilk durum için daha iyidir.

Toprak nemi ağırlığını sabit tutarak kar ağırlığını artırıldığında elde edilen akım performansı, kar ağırlığını sabit tutarak toprak nemi ağırlığını artırıldığında duruma göre biraz daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu durum göstermektedir ki, Çukurkişla havzası için toprak neminin akım üretiminde etkisi daha büyüktür çünkü ağırlık olarak toprak nemi daha baskındır. Yani, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$ iken akım daha çok kar etkisiyle oluşurken, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$ iken toprak nemi etkisi ile oluşmaktadır. Ancak, akım ağırlıklarının eşit olduğu ve kar veya toprak nemi ağırlığının akım ağırlığından fazla olduğu durumlarda, akım performansı her zaman kar ağırlığının daha fazla olduğu durumlara göre daha iyidir.

Kar performansları incelendiğinde, kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde toprak nemi ağırlığı sabitken kar ağırlığı artıkça kar performansının arttığı, kar ağırlığı sabitken toprak nemi ağırlığı artınca da gözlenmiştir. Ancak bu artış toprak nemi ağırlığının sabit olduğu durumlarda daha fazladır. En iyi kar performansını da kar ağırlığının en fazla, toprak nemi ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Kar(0.4)_{Kal}} = 0.732$, Sadece kara göre yapılan modelleme hariç). Sadece akıma göre yapılan modellemeye göre kar performansındaki artış %44.2'dir.

$w_{nem} = 0.1 - 0.4$ olduğu aralık ile $w_{nem} = 0.5 - 0.8$ olduğu aralık karşılaştırıldığında kar performansının ilk durumda daha iyi olmasına rağmen, akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklenmesinin kar performansını etkilediği ve kar performansındaki artışların devam ettiği söylenebilir.

Toprak nemi performansları değerlendirildiğinde, çoğunlukla her iki dönem için kar ağırlığının artması toprak nemi performansını ne artırmış ne azaltmıştır. Genel olarak $w_{nem} = 0.5$, $w_{nem} = 0.6$, $w_{nem} = 0.7$ ve $w_{nem} = 0.8$ olduğu durumlarda kalibrasyon dönemi için toprak nemi performansı 0.89 ile 0.91 arasında, doğrulama dönemi için 0.83 ile 0.87 arasında değişmektedir. Ancak, kar ağırlığı sabitken toprak nemi ağırlığının artması toprak nemi performansını artırmaktadır.

En iyi toprak nemi performansını toprak nemi ağırlığının en fazla ve kar ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Nem(0.8)Kal} = 0.906$, $Q_{Nem(0.8)Val} = 0.785$, sadece toprak nemine göre yapılan modelleme hariç). $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilen toprak nemi performansına ($Q_{NemKal} = 0.844$, $Q_{NemVal} = 0.737$) göre artış %7.3 ile %6.5'dir.

Sonuç olarak, toprak nemi ve kar ağırlığının 0.1 ile 0.8 arasında değiştiği durumlarda, değişkenlerin ağırlıkları artıkça içsel performansları artmıştır. Çukurkişla havzası en iyi verimi kar ağırlığı artıkça sağlamıştır çünkü akım, kar ve toprak nemi modellemesinde en iyi kar ve toprak nemi sonucunu veren ağırlıkların performansları, sadece akıma göre yapılan modelleme ile elde edilen performanslar ile karşılaştırıldığında kar başarısı, toprak nemi başarısından 6 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişikliklerin grafikleri ekler kısmında sunulmuştur (EK-4). Çukurkişla havzası için akım, kar ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametreler üç kısımda incelenmiştir. Bunlar kar parametreleri, toprak nemi parametreleri ve akım parametreleridir.

➤ Kar parametrelerindeki değişimler

Kar parametreleri SCF, DDF, T_r , T_s , T_m ’den oluşmaktadır. Toprak nemi ağırlığı, diğer iki değişkenden daha fazla olduğu için karşılaştırmalar toprak nemi modellemesi ile yapılmıştır. Akım ve toprak nemi modellemesinde SCF toprak nemi ağırlığının 0.5 ve daha büyük olduğu durumlarda artış göstermekteydi. Benzer durum akım, kar ve toprak nemi modellemesinde de görülmektedir. DDF parametresinde akım ve kar modellemesinde 0 ile 0.5 arası ve 0.5 ile 1.0 arası iki farklı eğilim vardı (Akım ağırlığı 0.4 iken DDF’in alabileceği değer aralığı oldukça geniştir) Benzer bir eğilim akım, kar ve toprak nemi modellemesinde de gözlenmektedir. Özellikle bu kısımda kar ağırlığının alabileceği maksimum değer 0.4 olduğunda DDF de zıplama görülmektedir. Diğer durumlarda, toprak nemi modellemesinde olduğu gibi, toprak nemi ağırlığı arttıkça DDF değeri artmaktadır. T_r parametresi toprak nemi ağırlığı arttıkça küçük artışlar göstermekte ve alabileceği değer aralığı daralırken, aynı durum T_s parametresinde de görülmektedir. T_m ise kar ağırlığının alabileceği maksimum değer 0.4 olduğunda yaptığı zıplama dışında -3 değerinde sabit kalmaktadır.

Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha fazla ağırlığa sahiptir. Böylece, akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklenildiğinde, toprak neminin kar parametrelerine etkisinin neredeyse hiç olmadığı görülmektedir. Ancak, kar ve toprak nemi ağırlıklarının birbirine yakın olduğu durumda parametreler kar modellemesine benzemektedir.

➤ Toprak nemi parametrelerindeki değişimler

Toprak nemi parametreleri, FC, β ve C_{perc} ’den oluşmaktadır. Ancak buharlaşmayı etkileyen LP de bu kısımda incelenmiştir. LP parametresi kar modellemesi ile sabit aralıklarda ilerlerken, toprak nemi modellemesinde akım ağırlığı azaldıkça artmaktaydı. Akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kar ağırlığı sabit tutulduğunda LP değerinin arttığı gözlenmektedir.

FC parametresi, toprak nemi modellemesinde belirli sınırlarda ve küçük artışlar gösterirken, kar modellemesinde bu sınırlar biraz daha geniştir. Toprak nemi ağırlığının artması FC parametresini benzer bir değerde sabit tutmaya çalıştığı görülmektedir.

β ise C_{perc} ile benzer özellikler göstermektedir. Kar modellemesi ile sabit aralıklarda iken, toprak nemi modellemesinde akım ağırlığı azaldıkça hem c_{perc} hem β artmaktaydı. Akım, kar ve toprak nemi modellemesinde de bu durum benzerdir.

Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha fazla ağırlığa sahiptir. Akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklendiğinde, toprak neminin toprak nemi parametrelerini etkilediği özellikle bu parametrelerin alabileceği değerleri oldukça sınırlandırdığı görülmektedir.

➤ Akım parametrelerindeki değişimler

Akım parametreleri, k_0 , k_1 , k_2 , L_{suz} , B_{max} ve C_{route} 'dan oluşmaktadır. Akım en son üretilen bir çıktı olduğu için hem kar hem toprak nemi rutinlerinden etkilenmektedir. Genel olarak tüm parametreler hem kar hem toprak nemi hem de ikisinin bir arada kullanıldığı modellerde benzer eğilimler göstermektedir.

Kar ve toprak nemi parametreleri incelendiğinde, model kalibrasyonuna toprak nemi uydu verilerinin eklenmesinin toprak nemi ile ilgili parametreleri etkilediğini ve kar ile toprak nemi uydu verilerinin eklenmesinin, hem kar hem de toprak nemiyle ilgili parametreleri etkilediği görülmektedir. Özellikle ağırlıkların fazla olması parametreleri ciddi bir şekilde sınırlandırdığı ancak akım ve diğer değişkenlerin performanslarını da hem olumlu hem olumsuz etkilediği görülmektedir.

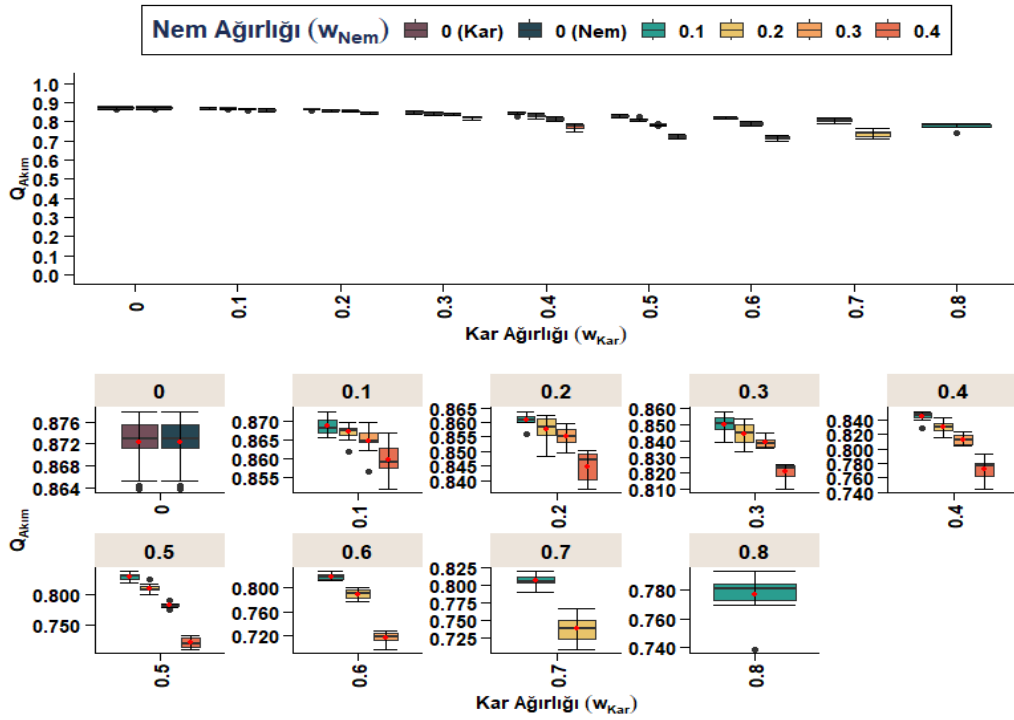
3.4.4.2. Kayabaşı havzası

Kayabaşı havzası için akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kar ve toprak nemi girdileri %10'luk bir alana sahip yükseklik bölgeleri için oluşturulmuştur. Çoklu amaç fonksiyonu $F(-) = w_{akım} * Q_{akım} + w_{kar} * Q_{kar} + w_{nem} * Q_{nem}$ olacak şekilde yazılmış olup Q_{kar} ve Q_{nem} 10 eşit alana sahip yükseklik bölgelerinin ortalamasını temsil etmektedir.

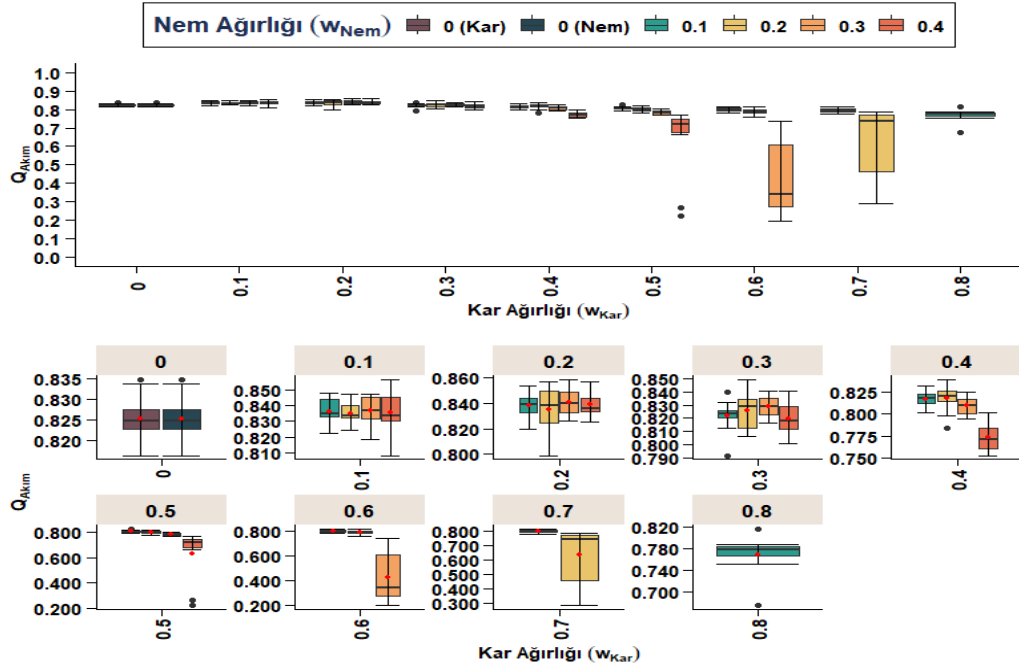
➤ Toprak nemi ağırlığının 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 olduğu model sonuçları

Kayabaşı havzasında yapılan akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kullanılan ağırlıklar, Çukurkişla havzası ile aynı olup Tablo 3.8 ile 3.11’de verilmiştir. Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha az veya eşit ağırlığa sahiptir. Böylece, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklenerek, bunun model parametrelerine olan etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmaktadır.

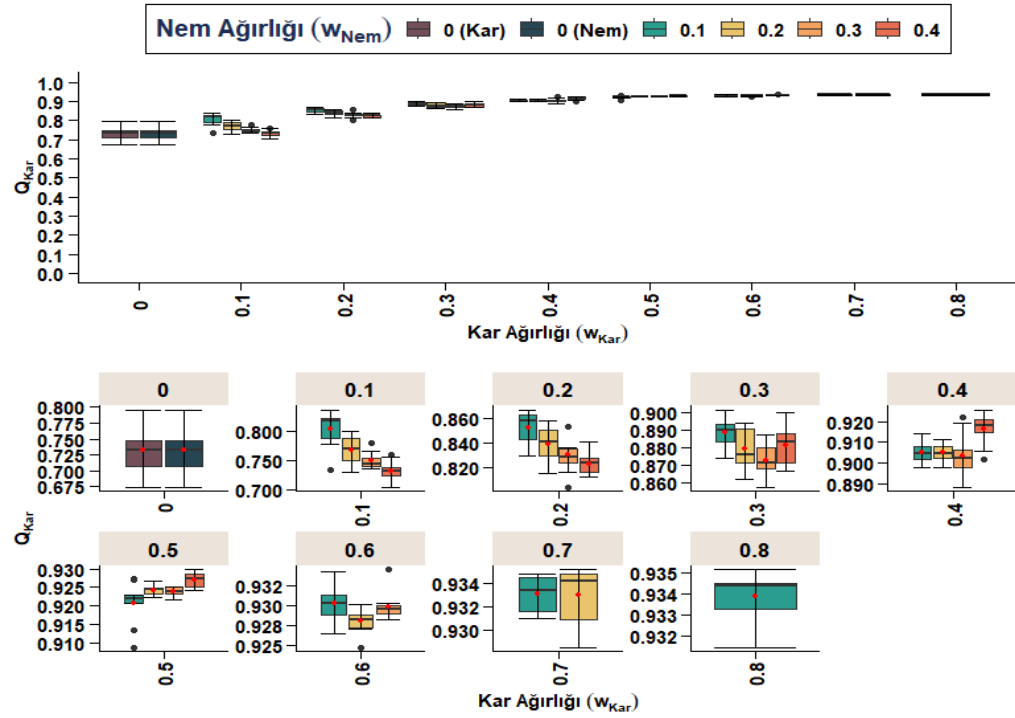
Şekil 3.89-3.94’de akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için akım, kar ve toprak nemi performansları gösterilmektedir. Grafiklerde kar ağırlığını x eksenini temsil ederken, nem ağırlığını kutuların rengi temsil etmektedir.



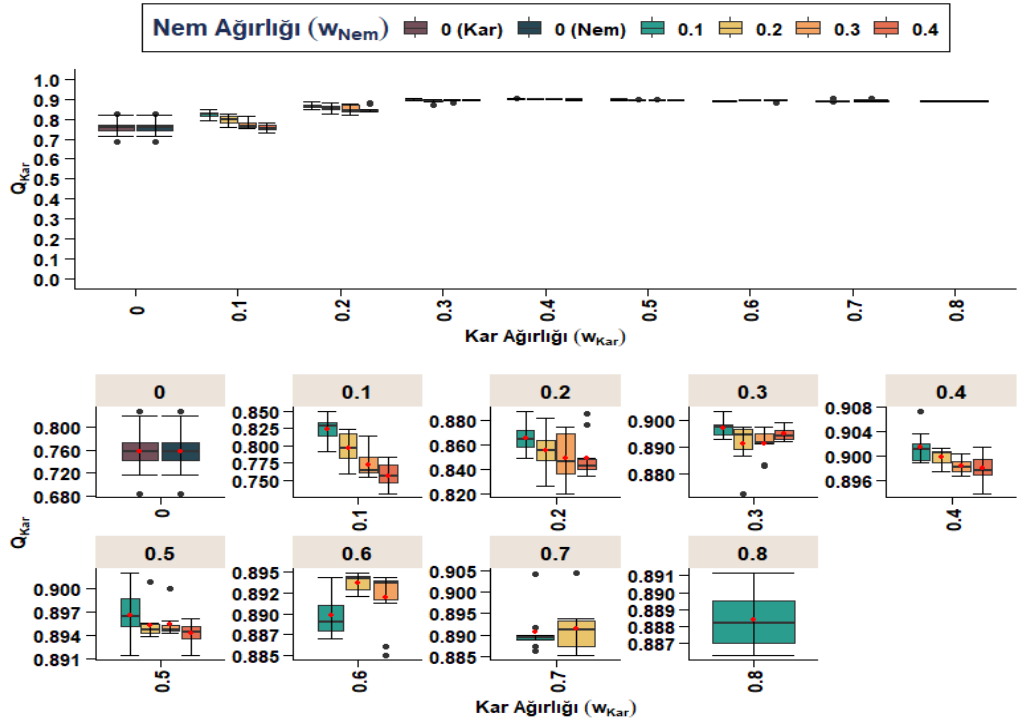
Şekil 3.89. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$



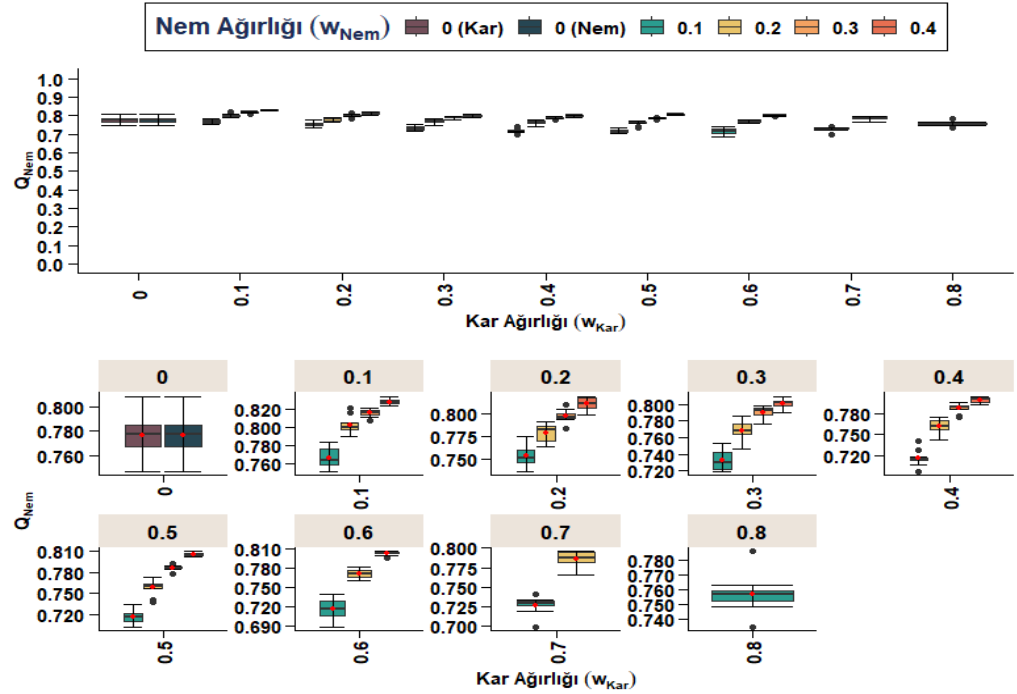
Şekil 3.90. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$



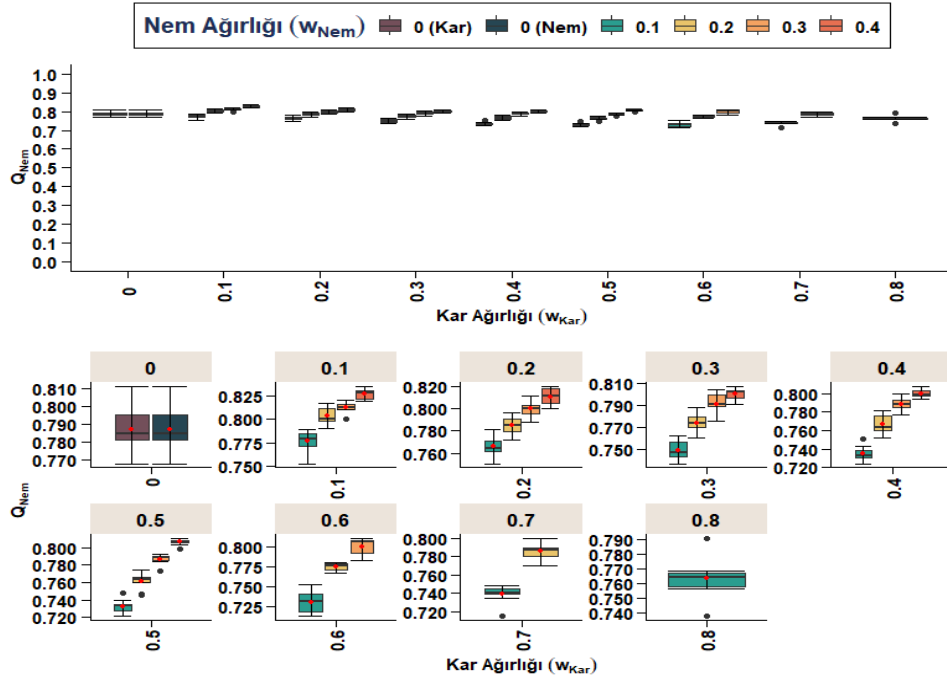
Şekil 3.91. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$



Şekil 3.92. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$



Şekil 3.93. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$



Şekil 3.94. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$

Tablo 3.24-3.27, Şekil 3.89-3.94 arasında gösterilen performans sonuçlarının medyan değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.24. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.1$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.8$	0.868	0.820	0.763	0.835	0.828	0.779
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.7$	0.861	0.858	0.752	0.839	0.864	0.764
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.6$	0.851	0.890	0.731	0.823	0.897	0.747
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.5$	0.846	0.904	0.716	0.817	0.901	0.732
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.4$	0.831	0.922	0.716	0.808	0.896	0.733
$w_{kar} = 0.6, w_{akım} = 0.3$	0.819	0.930	0.716	0.801	0.889	0.731
$w_{kar} = 0.7, w_{akım} = 0.2$	0.806	0.933	0.729	0.794	0.889	0.741
$w_{kar} = 0.8, w_{akım} = 0.1$	0.781	0.934	0.756	0.778	0.888	0.765

Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu,

Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.

Tablo 3.25. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.2$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.7$	0.868	0.771	0.800	0.834	0.797	0.800
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.6$	0.859	0.842	0.782	0.839	0.856	0.785
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.5$	0.845	0.876	0.768	0.829	0.895	0.774
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.4$	0.831	0.905	0.763	0.819	0.901	0.763
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.3$	0.809	0.924	0.760	0.801	0.895	0.764
$w_{kar} = 0.6, w_{akım} = 0.2$	0.791	0.928	0.770	0.789	0.894	0.776
$w_{kar} = 0.7, w_{akım} = 0.1$	0.739	0.934	0.788	0.738	0.891	0.787
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.26. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.3$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.6$	0.865	0.744	0.817	0.837	0.764	0.813
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.5$	0.855	0.829	0.797	0.840	0.846	0.800
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.4$	0.838	0.872	0.792	0.829	0.892	0.791
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.3$	0.812	0.903	0.789	0.809	0.898	0.788
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.2$	0.782	0.924	0.786	0.781	0.895	0.789
$w_{kar} = 0.6, w_{akım} = 0.1$	0.718	0.929	0.803	0.341	0.894	0.806
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.27. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.4$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.5$	0.859	0.732	0.828	0.834	0.756	0.829
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.4$	0.847	0.824	0.812	0.836	0.843	0.811
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.3$	0.823	0.883	0.802	0.818	0.894	0.802
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.2$	0.776	0.918	0.799	0.771	0.898	0.798
$w_{kar} = 0.5, w_{akım} = 0.1$	0.719	0.927	0.805	0.723	0.894	0.807

Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu,
Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.

Yukarıdaki tablo ve şekiller akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklenmesinin performans metriklerini nasıl etkilediğini göstermektedir. Her iki periyot için kar veya toprak nemi ağırlığının artması akım performansını düşürmüştür. En iyi akım performansı $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilmiştir ($Q_{Akım_{Kal}} = 0.873, Q_{Akım_{Val}} = 0.825$). Toprak neminin kademeli olarak eklendiği ve kar ağırlığının 0.1 aralıklarla artıldığı veya tam tersi tüm durumlarda akım performansı her zaman ilk durum için daha iyidir. Toprak nemi ağırlığını sabit tutarak kar ağırlığını artırıldığında elde edilen akım performansı, kar ağırlığını sabit tutarak toprak nemi ağırlığını arttırıldığındaki duruma göre biraz daha düşük sonuçlar vermektedir. Bu durum göstermektedir ki, Kayabaşı havzası için karın akım üretiminde etkisi daha büyüktür çünkü ağırlık olarak kar daha baskındır. Kar performansları incelendiğinde, toprak nemi ağırlığı sabitken kar ağırlığı artıkça kar performansının arttığı gözlenirken, kar ağırlığı sabitken toprak nemi ağırlığı artıkça kar performansında düşüşler gözlenmiştir. Genel olarak bu azalma, kar ağırlığının 0.1 ile 0.4 arasında değiştiği durumlarda net bir şekilde hissedilirken, kar ağırlığının 0.5 ve daha büyük olduğu durumlarda çok küçük aralıklarda artış göstermektedir.

Toprak nemi ağırlığı artıkça düşen kar performansı, $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilen kar performansına ($Q_{Kar_{Kal}} = 0.732, Q_{Kar_{Val}} = 0.757$) her iki dönem için de en küçük kar ağırlığında bile artış göstermiştir. En iyi kar performansını da kar ağırlığının en fazla, toprak nemi ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Kar(0.8)_{Kal}} = 0.934$). Sadece akıma göre yapılan modellemeye göre kar performansındaki artış %27.6'dır. Kayabaşı havzası için, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklenmesinin kar performansını özellikle kar ağırlığının 0.4 ve daha küçük olduğu durumlarda olumsuz yönde etkilediği ancak karın baskın olduğu her ağırlıklandırma da kar performansını etkilemediği söylenebilir. Toprak nemi performansları değerlendirildiğinde, çoğunlukla her iki dönem için kar ağırlığının 0.5 ve daha küçük olduğu durumlarda azalmış, daha büyük olduğu durumlarda artmıştır. Bu durum ilginç olsa da, bu aralıkta değişen FC parametresi toprak nemi performansını etkilemiştir. Genel olarak $w_{nem} = 0.1, w_{nem} = 0.2, w_{nem} = 0.3$ ve $w_{nem} = 0.4$ olduğu durumlarda kalibrasyon dönemi için toprak nemi performansı 0.72 ile 0.83 arasında, doğrulama dönemi için 0.73 ile 0.83 arasında değişmektedir. Ancak, kar ağırlığı sabitken toprak nemi ağırlığının artması toprak nemi performansını artırmaktadır. En iyi toprak nemi performansını toprak nemi ağırlığının en fazla ve kar ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Nem(0.4)_{Kal}} = 0.828, Q_{Nem(0.4)_{Val}} = 0.829$). $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilen toprak nemi performansına ($Q_{Nem_{Kal}} = 0.777, Q_{Nem_{Val}} = 0.785$) göre artış her iki dönem için %6.6'dır.

Kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişikliklerin grafikleri ekler kısmında sunulmuştur (EK-5). Kayabaşı havzası için akım, kar ve toprak nemi modellemesinde elde edilen parametreler üç kısımda incelenmiştir. Bunlar kar parametreleri, toprak nemi parametreleri ve akım parametreleridir.

➤ Kar parametrelerindeki değişimler

Kar parametreleri SCF, DDF, T_r , T_s , T_m 'den oluşmaktadır. SCF parametresi her iki model için belirli aralıklardadır. Toprak nemi ağırlığının artması SCF parametresini etkilememektedir. DDF parametresi genel olarak artış göstermektedir. Akım ve kar modellemesinde akım ağırlığını 0.5 ve daha küçük olduğu durumlarda DDF neredeyse sabit kalmaktaydı.

Benzer bir durum kar ağırlığının 0.4 olduğu durumlarda da hissedilmektedir. T_r parametresi, kar modellemesinde geniş aralıklarda değerlere sahip ve akım ağırlığı azalırken daralma eğilimindeydi. Kar ağırlığının 0.6'dan küçük olduğu durumlarda toprak nemi artması yağmur sıcaklığı hakkında net bir etki göstermezken, 0.6'dan büyük olduğu durumlarda yağmur sıcaklıkları birbirine yakındır. T_s parametresi, toprak nemi modellemesinde azalırken, kar modellemesinde akım ağırlığının 0.4 olduğu durum hariç sabit bir aralıktadır. Akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kar ağırlığının 0.4 olduğu durumda pozitiften negatife giden bir eğilim vardır. Son olarak, T_m parametresi akım ve kar modellemesinde olduğu gibi kar ağırlığı artıkça artış göstermektedir.

Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha az veya eşit ağırlığa sahiptir. Böylece, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklendiğinde, toprak neminin kar parametrelerine etkisinin olmadığı görülmektedir.

➤ Toprak nemi parametrelerindeki değişimler

Toprak nemi parametreleri, FC, β ve C_{perc} 'den oluşmaktadır. Ancak buharlaşmayı etkileyen LPrat da bu kısımda incelenmiştir. LPrat parametresi kar modellemesi ile sabit aralıklarda ilerlerken, toprak nemi modellemesinde akım ağırlığı azaldıkça artmaktaydı. Aynı durum toprak nemi ve karın beraber kullanıldığı model sonucunda da oluşmaktadır.

FC parametresi, kar ağırlığı sabit ve toprak nemi ağırlığı artıkça azalma göstermektedir. Özellikle en yüksek FC değerleri, toprak neminin en az olduğu durumda gözlenmektedir. β ise FC değeri ile ters orantılıdır, C_{perc} ile benzer özellikler göstermektedir. Toprak nemi ağırlığı artıkça artış gösteren bu iki parametre, özellikle akım ağırlığının 0.1 olduğu durumlarda çok geniş değerler alabilmektedir.

Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha az veya eşit ağırlığa sahip olmasına rağmen, akım ve kar modellemesine kademeli olarak toprak nemi eklendiğinde, toprak neminin toprak nemi parametrelerini daha çok etkilediği görülmektedir.

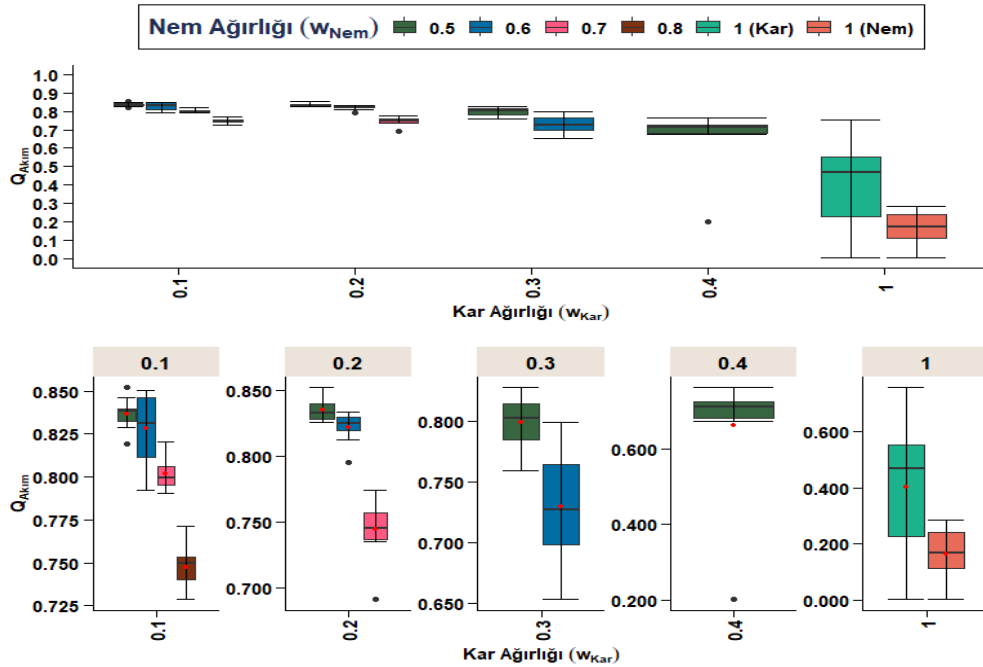
➤ Akım parametrelerindeki değişimler

Akım parametreleri, k_0 , k_1 , k_2 , L_{suz} , B_{max} ve C_{route} 'dan oluşmaktadır. Akım en son üretilen bir çıktı olduğu için hem kar hem toprak nemi rutinlerinden etkilenmektedir. Genel olarak tüm parametreler hem kar hem toprak nemi hem de ikisinin bir arada kullanıldığı modellerde benzer eğilimler göstermektedir.

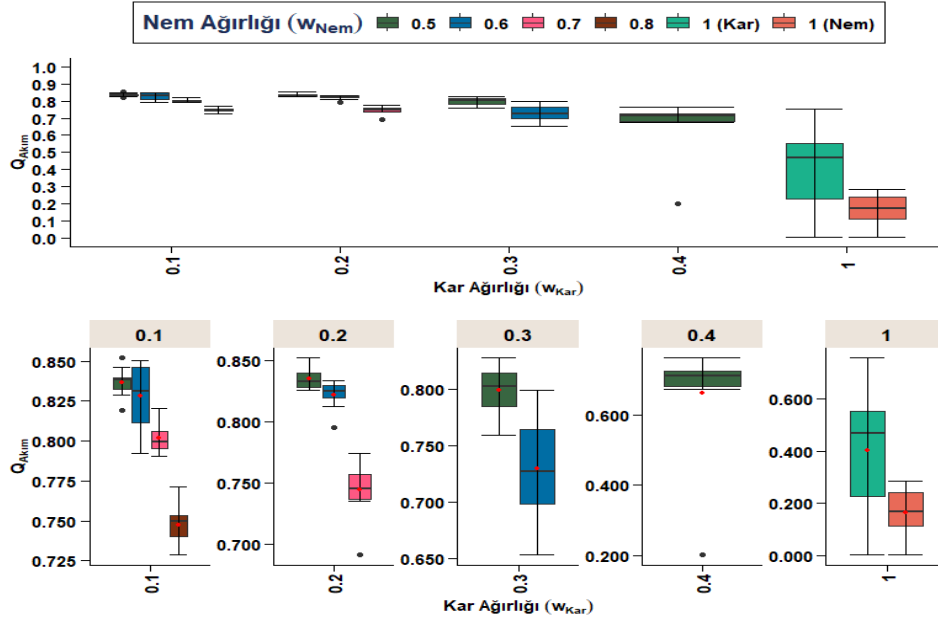
➤ Toprak nemi ağırlığının 0.5, 0.6, 0.7 ve 0.8 olduğu model sonuçları

Kayabaşı havzasında yapılan akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kullanılan ağırlıklar Tablo 3.16 ile 3.19'da verilmiştir. Tüm durumlarda toprak nemi ağırlığı akım veya kar ağırlığından daha fazladır. Böylece, akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklenerek, bunun model parametrelerine olan etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmaktadır.

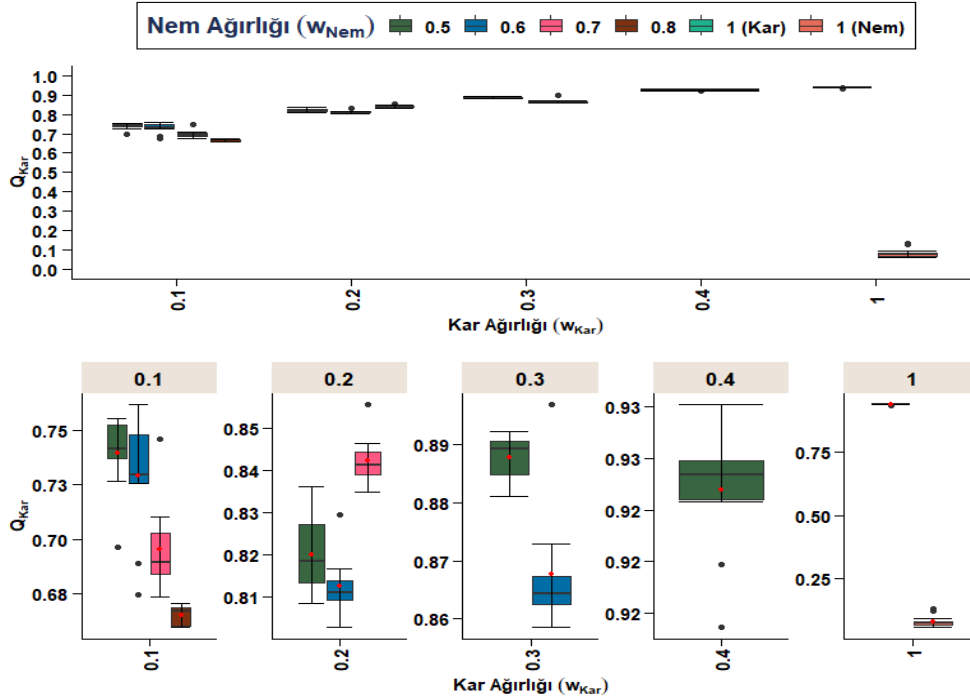
Şekil 3.95 ile 3.100'de akım, kar ve toprak nemi modellemesinde kalibrasyon ve doğrulama periyotları için akım, kar ve toprak nemi performansları gösterilmektedir. Grafiklerde kar ağırlığını x eksenini temsil ederken, nem ağırlığını kutuların rengi temsil etmektedir.



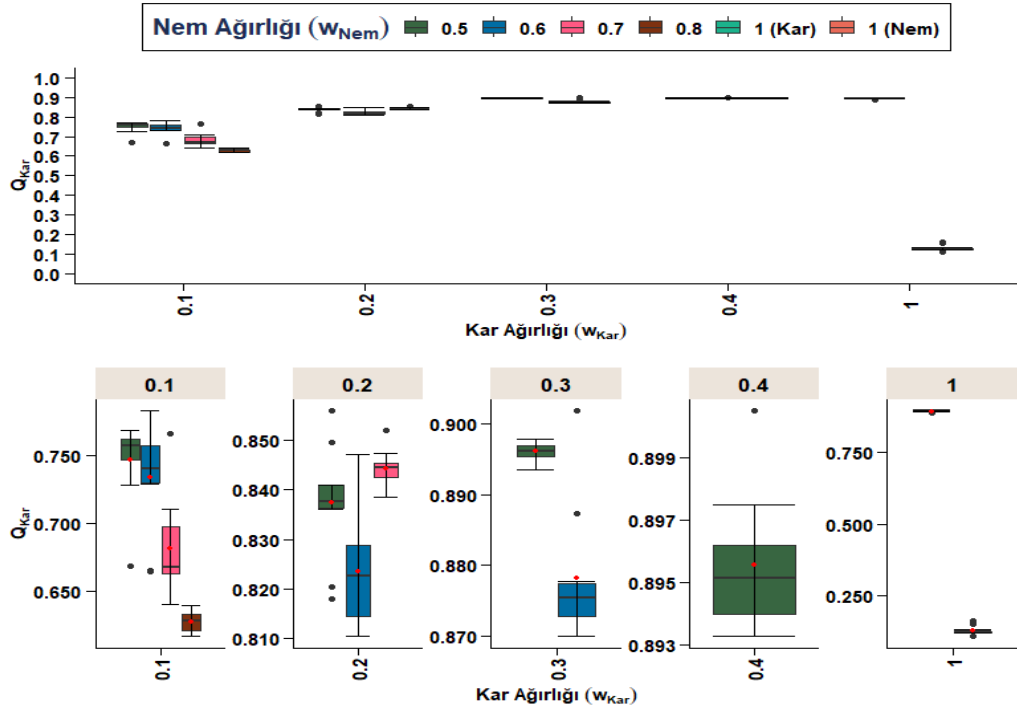
Şekil 3.95. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$



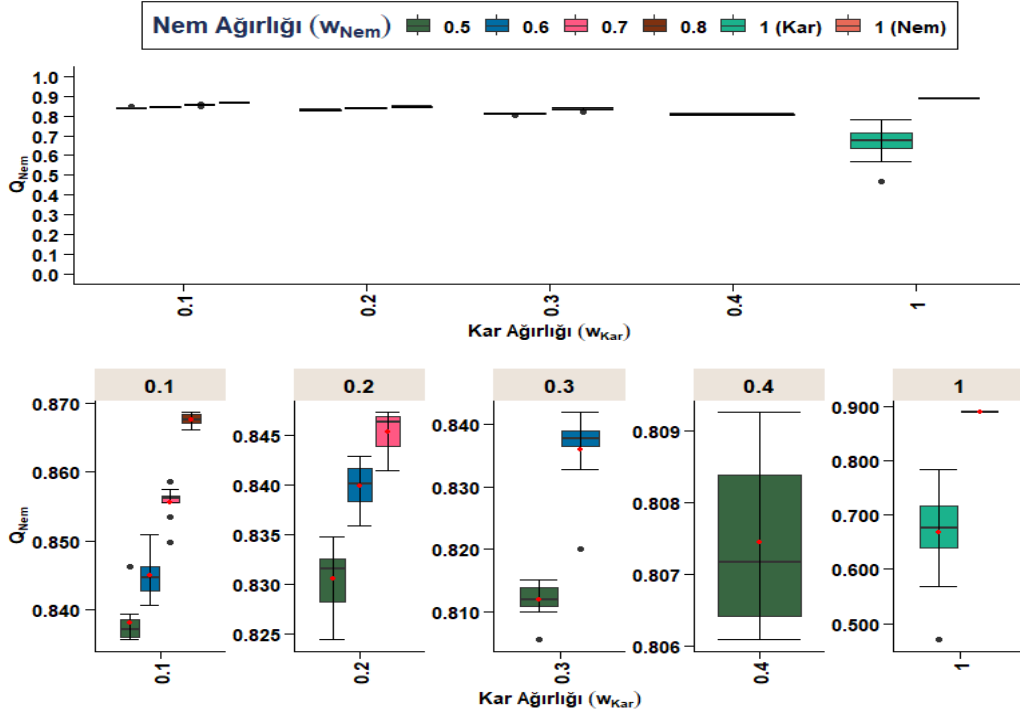
Şekil 3.96. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi akım performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$



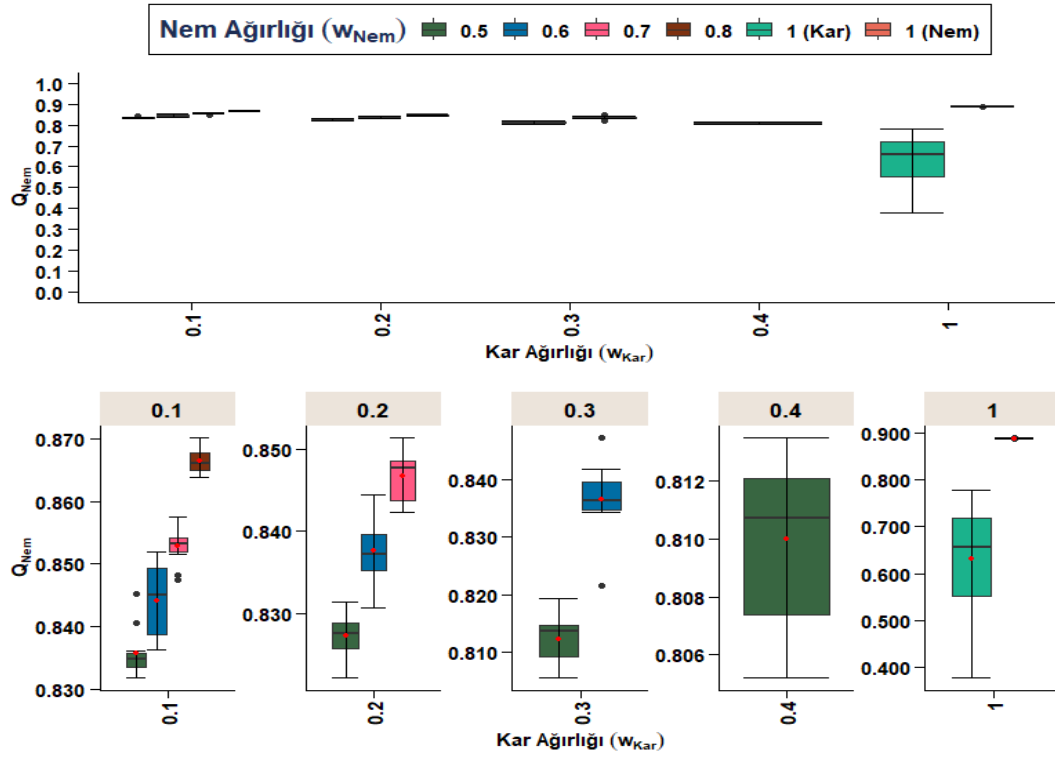
Şekil 3.97. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$



Şekil 3.98. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi kar performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$



Şekil 3.99. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$



Şekil 3.100. Kayabaşı havzası doğrulama dönemi toprak nemi performansları, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$

Tablo 3.28-3.31, Şekil 3.95-3.100 arasında gösterilen performans sonuçlarının medyan değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.28. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.5$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.4$	0.848	0.741	0.837	0.838	0.758	0.835
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.3$	0.826	0.818	0.832	0.832	0.838	0.828
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.2$	0.792	0.889	0.812	0.802	0.896	0.814
$w_{kar} = 0.4, w_{akım} = 0.1$	0.720	0.925	0.807	0.713	0.895	0.811

Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu,

Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.

Tablo 3.29. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.6$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.3$	0.842	0.730	0.845	0.831	0.741	0.845
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.2$	0.812	0.811	0.840	0.825	0.823	0.837
$w_{kar} = 0.3, w_{akım} = 0.1$	0.735	0.864	0.838	0.727	0.875	0.836
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.30. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.7$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.2$	0.828	0.690	0.856	0.800	0.668	0.853
$w_{kar} = 0.2, w_{akım} = 0.1$	0.741	0.841	0.846	0.746	0.844	0.848
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Tablo 3.31. Performans sonuçlarının medyan değerleri ($w_{nem} = 0.8$)

Model	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}	$Q_{Akım}$	Q_{Kar}	Q_{Nem}
$w_{kar} = 0.1, w_{akım} = 0.1$	0.790	0.667	0.868	0.750	0.628	0.866
Siyah ile gösterilen performans sonuçları kalibrasyon periyodunu, Kırmızı ile gösterilen performans sonuçları doğrulama periyodunu temsil etmektedir.						

Yukarıdaki tablo ve şekiller akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklenmesinin performans metriklerini nasıl etkilediğini göstermektedir. Her iki periyot için kar veya toprak nemi ağırlığının artması akım performansını düşürmüştür. En kötü akım performansı $w_{kar} = 1$ veya $w_{nem} = 1$ olduğu sadece kara veya toprak nemine göre yapılan modellemede elde edilmiştir ($Q_{Kar_{Kal}} = 0.39, Q_{Kar_{Val}} = 0.261, Q_{Nem_{Kal}} = 0.29, Q_{Nem_{Val}} = 0.03$). Toprak neminin kademeli olarak eklendiği ve kar ağırlığının 0.1 aralıklarla artıldığı veya tam tersi tüm durumlarda akım performansı her zaman ilk durum için daha iyidir.

Toprak nemi ağırlığını sabit tutarak kar ağırlığını artırıldığında elde edilen akım performansı, kar ağırlığını sabit tutarak toprak nemi ağırlığını artırıldığındaki duruma göre biraz daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu durum göstermektedir ki, Kayabaşı havzası için toprak neminin akım üretiminde etkisi daha büyüktür çünkü ağırlık olarak toprak nemi daha baskındır. Yani, $w_{nem} = 0.1 - 0.4$ iken akım daha çok kar etkisiyle oluşurken, $w_{nem} = 0.5 - 0.8$ iken toprak nemi etkisi ile oluşmaktadır. Ancak, akım ağırlıklarının eşit olduğu ve kar veya toprak nemi ağırlığının akım ağırlığından fazla olduğu durumlarda, akım performansı her zaman kar ağırlığının daha fazla olduğu durumlara göre daha iyidir.

Kar performansları incelendiğinde, kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde toprak nemi ağırlığı sabitken kar ağırlığı arttıkça kar performansının arttığı, kar ağırlığı sabitken toprak nemi ağırlığı artınca da kar performansının azaldığı gözlenmiştir. Ancak bu düşüş oldukça düşüktür. En iyi kar performansını da kar ağırlığının en fazla, toprak nemi ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Kar(0.4)Kal} = 0.925$, Sadece kara göre yapılan modelleme hariç). Sadece akıma göre yapılan modellemeye göre kar performansındaki artış %26.3'dür. $w_{nem} = 0.1 - 0.4$ olduğu aralık ile $w_{nem} = 0.5 - 0.8$ olduğu aralık karşılaştırıldığında, akım ve toprak nemi modellemesine kademeli olarak kar eklenmesinin kar performansını etkilediği ve kar performansındaki artışların devam ettiği söylenebilir, ancak kar ağırlığının hem akım hem toprak nemiden daha az olduğu durumlarda da azalmalar olduğu görülmektedir.

Toprak nemi performansları değerlendirildiğinde, çoğunlukla her iki dönem için kar ağırlığının artması toprak nemi performansını ne artırmış ne azaltmıştır. Genel olarak $w_{nem} = 0.5$, $w_{nem} = 0.6$, $w_{nem} = 0.7$ ve $w_{nem} = 0.8$ olduğu durumlarda kalibrasyon ve doğrulama dönemi için toprak nemi performansı 0.81 ile 0.87 arasında değişmektedir. Ancak, kar ağırlığı sabitken toprak nemi ağırlığının artması toprak nemi performansını artırmaktadır. En iyi toprak nemi performansını toprak nemi ağırlığının en fazla ve kar ağırlığının en az olduğu durumda elde edilmiştir ($Q_{Nem(0.8)Kal} = 0.868$, $Q_{Nem(0.8)Val} = 0.866$, sadece toprak nemine göre yapılan modelleme hariç). $w_{nem} = 0$ ve $w_{kar} = 0$ olduğu sadece yüzey akışına göre yapılan modellemede elde edilen toprak nemi performansına ($Q_{NemKal} = 0.777$, $Q_{NemVal} = 0.785$) göre artış %11.7 ile %11.5'dir.

Sonuç olarak, toprak nemi ve kar ağırlığının 0.1 ile 0.8 arasında değiştiği durumlarda, değişkenlerin ağırlıkları artıkça içsel performansları artmıştır. Kayabaşı havzası en iyi verimi kar ağırlığı artıkça sağlamıştır çünkü akım, kar ve toprak nemi modellenmesinde en iyi kar ve toprak nemi sonucunu veren ağırlıkların performansları, sadece akıma göre yapılan modelleme ile elde edilen performanslar ile karşılaştırıldığında kar başarısı, toprak nemi başarısından 2 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Kalibre edilmiş model parametrelerindeki değişikliklerin grafikleri ekler kısmında sunulmuştur (EK-6). Kayabaşı havzası için akım, kar ve toprak nemi modellenmesinde elde edilen parametreler üç kısımda incelenmiştir. Bunlar kar parametreleri, toprak nemi parametreleri ve akım parametreleridir.

➤ Kar parametrelerindeki değişimler

Kar parametreleri SCF, DDF, T_r , T_s , T_m ’den oluşmaktadır. SCF parametresi her iki model için belirli aralıklardadır. Ancak, toprak nemi modellenmesine göre akım ağırlığının 0.5’den daha küçük olduğu durumlarda, toprak nemi modellenmesinde artış gözlenmekteydi. Akım, kar ve toprak nemi modellenmesinde de toprak nemi ağırlığı artıkça artış gözlenmektedir.

DDF parametresi, akım ve toprak nemi modelinde olduğu gibi akım ağırlığının düşük olduğu durumlarda üst sınıra daha da yaklaşmaya çalışmaktadır. T_r parametresi, genellikle belirli bir aralıktadır. T_s parametresi toprak nemi ağırlığı artıkça negatife gitme eğilimindedir. Akım ağırlığı 0.3 ve daha küçük olduğu durumlarda iki modelde zıt bir eğilim göstermektedir. Son olarak, T_m parametresi toprak neminin fazla veya az olduğu durumlar için tamamen zıt bir eğilim göstermektedir. Özellikle toprak nemi ağırlığının fazla olduğu durumlarda daha da soğukmaktadır.

Bu durumlar, kar modelinin hem kar yağışı hem de kar erimesi süreçlerini toprak nemi modelinde ise yağışın yağmur olarak düşmesi sürecini kapsamasından kaynaklanabilir. Her iki model sonucu elde edilen kar parametrelerinin kar gözlemlerinden daha çok etkilendiği söylenebilir.

➤ Toprak nemi parametrelerindeki değişimler

Toprak nemi parametreleri, FC, β ve C_{perc} 'den oluşmaktadır. Ancak buharlaşmayı etkileyen LP da bu kısımda incelenmiştir. LP parametresi kar ağırlığı artıkça sabit aralıklarda ilerlerken, toprak nemi ağırlığı artıkça artmaktadır. FC parametresi toprak nemi ağırlığı artıkça iyice daralmaktadır. β ise FC değeri ile ters orantılıdır, C_{perc} ile benzer özellikler göstermektedir.

Her iki model sonucu elde edilen toprak nemi parametrelerinin toprak nemi gözlemlerinden daha çok etkilendiği söylenebilir.

➤ Akım parametrelerindeki değişimler

Akım parametreleri, $k_0, k_1, k_2, L_{suz}, B_{max}$ ve C_{route} 'dan oluşmaktadır. Akım en son üretilen bir çıktı olduğu için hem kar hem toprak nemi rutinlerinden etkilenmektedir. Genel olarak tüm parametreler hem kar hem toprak nemi hem de ikisin bir arada kullanıldığı modellerde benzer eğilimler göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hidrolojik modellerin uydu görüntüleri ile desteklenmesi, modellerin daha gerçekçi bir yaklaşım sunmasını sağlar. Uydu görüntülerinin günden güne iyileştirilmesi, yeni uydu görüntülerinin geliştirilmesi, yer gözlemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda hidrolojik modellerin gelişmesini de sağlamıştır. Özellikle Türkiye'nin doğusunda yer alan havzalarda akımın çoğunluğu kar erimesinden meydana gelmektedir ve bu bölgelerde kar yer gözlemleri yeterli değildir. Kar ile ilgili akla ilk gelen uydu görüntüsü olan MODIS, yıllardır hidrolojik modelleme çalışmalarında kullanılmış ve başarılı sonuçlar vermiştir. MODIS uydu görüntüleriyle ilgili en büyük sorun olan bulut problemi, yeni çıkan ürün sayesinde çözülmüş ve görüntüler bulutsuz hale getirilmiştir. Bu yenilik, kullanıcıları bulut ayrıştırma işlemiyle uğraşmaktan kurtarmıştır.

Bu çalışmada, ilk olarak bulutsuz MODIS Terra kar örtüsü ürününün Türkiye ve bölgeleri bazında analizleri yapılmış ve bir başka uydu görüntüsü olan IMS ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise şu şekildedir:

- Ortalama yüksekliği düşük olan bölgelerde kar daha kısa sürede, ortalama yüksekliği fazla olan bölgelerde kar daha uzun sürede kalmaktadır. Türkiye ve bölgelerinin kar birikme zamanının aralık, ocak, şubat aylarında kar erime zamanının ise mart, nisan, mayıs ve haziran aylarında olduğu görülmektedir.
- Bulutsuz MODIS Terra kar örtüsü ürününün en büyük problemi, son açık günün kar örtüsü sonucunu kullanmasıdır. Yani, bir kar yağışı meydana gelmişse ve bulutlar dağılmadan önce yerdeki kar erimişse bu kar örtüsünün yakalanabilmesi imkansızdır. Bu sebepten bu görüntüler, buluttan etkilenmeyen IMS görüntüleri ile karşılaştırılmıştır. 2001-2023 su yılları arasında iki uydu görüntüsü için hesaplanan performans metrikleri şu şekildedir: mKGE: 0.862, VE:-0.005, NSE: 0.931 ve R^2 : 0.937.
- IMS ve MODIS ürünleri arasındaki farklı performans metrikleri ile yakalanan yüksek uyum, yeni bulutsuz MODIS ürünlerinin, orijinal ürünlerdeki bulut ayırma işlemlerine gerek duyulmadan literatürde kullanılabileceğini göstermiştir.

MODIS uydu görüntüsünde yer alan bulut örtüsü ile ilgili de analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Kar birikme zamanının aralık, ocak ve şubat aylarında olduğu ve kar erimesinin de mart ayında başladığı Türkiye ve bölgelerinde bu aylarda bulut oranının en az % 50 olduğu sonucuna varılmıştır.
- Bulut örtüsündeki en belirgin farklılıklar yaz aylarında ve sonbahar başında ortaya çıkmaktadır. Haziran eylül arasını incelendiği zaman, en yoğun bulut örtüsü Karadeniz Bölgesinde, en seyrek bulut örtüsü ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde görülmektedir.
- Bu durum, orijinal (bulut içeren) MODIS ürünlerinin kesinlikle bir bulut filtrelemesine ihtiyaç duyduğu bulut kalıcılığı ürünlerinde açıkça ortaya konulmuştur.

Kar ile ilgili uydu görüntülerindeki gelişimin yanısıra daha yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip toprak nemi uydu veri setlerinde de ilerlemeler gözlenmiştir. Hem aktif (radar) hem de pasif (radyometre) sensörler kullanarak, diğer toprak nemi uydu görüntülerine göre yüksek doğrulukta veri sağlayan SMAP kök toprak nemi uydu görüntüsünün Türkiye analizleri incelendiğinde,

- Kış aylarında havaların soğuması ile azalan sıcaklıklar ve artan yağışların etkisi ile ülke genelinde toprak nemi değerlerini yükseldiği gözlenmiştir.
- 2015-2023 su yılları mevsimsel toprak nemi haritası incelendiğinde Doğu Karadeniz bölgesinin tüm mevsim en ıslak bölge olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmanın asıl amacı, dağlık havzalarda akım ve kar modellemesinin yanı sıra toprak nemi uzaktan algılama ürünlerinin de eklenmesiyle birden fazla gözlemin eş zamanlı olarak dikkate alındığı model sonuçlarını değerlendirmektir. Bu sebeple, Yukarı Seyhan (Çukurkışla) havzası ile Yukarı Aras (Kayabaşı) havzalarında akım verilerine ek olarak SMAP toprak nemi ve MODIS kar örtüsü verileri dahil edilerek ağırlıklandırma yöntemi ile üç farklı modelleme çalışması yapılmıştır. Kullanılan model, HBV tipi bir hidrolojik model olan TUWmodel'dir.

Bu modelleme çalışması ile elde edilmeye çalışılan hedefler doğrultusunda birinci hedef olan hidrolojik modelleme çalışmalarında oldukça kullanılan ve başarılı sonuçlar veren MODIS kar örtüsünün yeni bulutsuz ürününün hidrolojik modelleme çalışmalarında nasıl bir katkı sunacağını sorusu akım ve kar modellemesi sonuçları ile değerlendirilebilir. Akım ve kar modellemesinde, akım performansı NSE ve LogNSE kombinasyonundan oluşan ve $0.5 * NSE + 0.5 * LogNSE$ olarak tanımlanırken, kar performansı için modifiye edilmiş Kling-Gupta verimliliği kullanılmıştır. Akım ve kar modellemesi ile elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Performans metrikleri incelendiğinde kar ağırlığı arttığında kar performansının yükseldiği, kar ağırlığı artarken akım ağırlığı düştüğü için de akım performansında azalmalar görülmüştür. Buna ek olarak toprak nemi gözlemlerinin kullanılmamasına rağmen Çukurkışla havzası için her iki dönemde de düzenli bir artış ya da azalma görülmemektedir. Kayabaşı havzası için ise kar ağırlığı arttıkça toprak nemi performansında azalmalar gözlenmiştir.
- Beklenildiği üzere en iyi akım performansı her iki dönem için kar ağırlığının 0 olduğu durumdadır. Ancak, yüzey akışının kullanılmadığı kalibrasyonda her iki periyot aralığı için üretilen akımın yeterli bir performans göstermediği görülmektedir. (Sadece kar kullanılarak yapılan modelleme sonucu elde edilen medyan akım performansı Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi için 0.20, doğrulama dönemi için 0.26'dır. Kayabaşı havzası ise kalibrasyon dönemi için 0.36, doğrulama dönemi için 0.47'dir.)
- Yine, en iyi kar performansı her iki dönem için akım ağırlığının 0 olduğu durumdadır. Kar performansları incelendiğinde, Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi için artış %52 iken, validasyon döneminde %21.9'dur. Artışlar arası farklılıklar olsa da, maksimum kar performansı kalibrasyon döneminde 0.76 iken, validasyon döneminde 0.74'dür. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için artış %27.9 iken, validasyon döneminde %17.9'dur. Kayabaşı havzası için maksimum kar performansı kalibrasyon döneminde 0.94 iken, validasyon döneminde 0.89'dur.

- Toprak nemi performansları incelendiğinde, Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi için %1.5 düşüş gözlenirken, validasyon dönemi için %18.4 düşüş gözlenmiştir. Ancak, karın varlığı ve yokluğu durumlarını saymazsak, kar ağırlığının artması, toprak nemi için olumlu yada olumsuz bir durum göstermemiştir. Kayabaşı havzasında ise kalibrasyon dönemi için %13.1 düşüş gözlenirken, validasyon dönemi için %16.4 düşüş gözlenmiştir. Kar ağırlığının artmasının toprak nemi performansını düşürmüştür.
- Her iki havza için kar ağırlığının artması ile belirgin bir ilişki gösteren parametrelerin, kar rutinini etkileyen ana parametreler olduğu ancak toprak nemi rutinini etkileyen parametrelerinde küçük de olsa etkilendiği gözlenmektedir.

İkinci hedef olan, kar örtüsünün yanısıra toprak nemi uydu görüntüsü olan SMAP ürününün dağlık havzalarda kullanılmasının model içsel başarısında iyileştirme sağlayıp sağlamayacağını sorusu ise akım ve toprak nemi modellemesi ile değerlendirilebilir. Akım ve toprak nemi modellemesinde, akım performansı NSE ve LogNSE kombinasyonundan oluşan ve $0.5 * NSE + 0.5 * LogNSE$ olarak tanımlanırken, toprak nemi performansı için pearson korelasyon verimliliği kullanılmıştır. Akım ve toprak nemi modellemesi ile elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Performans metrikleri incelendiğinde toprak nemi ağırlığı arttığında toprak nemi performansının yükseldiği, toprak nemi ağırlığı artarken akım ağırlığı düştüğü için de akım performansında azalmalar görülmüştür. Buna ek olarak kar gözlemlerinin kullanılmamasına rağmen kar performansında düşüşler görülmektedir.
- Beklenildiği üzere en iyi akım performansı her iki dönem için toprak nemi ağırlığının 0 olduğu durumdadır. Ancak, yüzey akışının kullanılmadığı kalibrasyonda her iki periyot aralığı için üretilen akımın yeterli bir performans göstermediği görülmektedir.

(Sadece toprak nemi kullanılarak yapılan modelleme sonucu elde edilen medyan akım performansı Çukurkişla havzası kalibrasyon dönemi için 0.06, doğrulama dönemi için 0.14'dür. Kayabaşı havzası ise kalibrasyon dönemi için 0.39, doğrulama dönemi için 0.17'dir.)

- En iyi kar performansı her iki dönem için akım ağırlığının 1 olduğu durumdadır. Kar performansları incelendiğinde, Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi için düşüş %65 iken, validasyon döneminde %48'dir. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için düşüş %89 iken, validasyon döneminde %83'dür.
- Toprak nemi performansları incelendiğinde, Çukurkışla havzası kalibrasyon dönemi için %9.5 artış gözlenirken, validasyon dönemi için %12.4 artış gözlenmiştir. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için %14.4 artış gözlenirken, validasyon dönemi için %13.2 artış gözlenmiştir.
- Her iki havza için toprak nemi ağırlığının artması ile belirgin bir ilişki gösteren parametrelerin, toprak nemi rutinini etkileyen ana parametreler olduğu gözlenmektedir.

Son hedef olan, bu iki ürünün kavramsal bir hidrolojik modelin çok amaçlı kalibrasyon ve doğrulamasında kullanılma potansiyelinin test edilmesi ise akım, kar ve toprak neminin bir arada kullanıldığı model ile değerlendirilebilir. Akım, kar ve toprak nemi modellemesi ile elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Kar veya nem ağırlığı ne olursa olsun, her zaman bu ağırlıkların artması akım performansını düşürmüştür. En iyi akım performansı akım ağırlığının 0.8, kar ve nem ağırlığının 0.1 olduğu durumda gözlenmiştir. Medyan akım performansları Çukurkışla Havzası kalibrasyon dönemi için 0.876, validasyon dönemi için 0.869'dur. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için 0.868, validasyon dönemi için 0.835'dir. En düşük akım performansı ise akım ağırlığının 0.1 olduğu durumdadır. Bu durum için iki farklı ağırlıklandırma vardır. Birincisi akım ve kar ağırlığının 0.1, toprak nemi ağırlığının 0.8 olduğu, ikincisi akım ve toprak nemi ağırlığının 0.1, kar ağırlığının 0.8 olduğu durumdur. Birinci durumda, Çukurkışla Havzası kalibrasyon dönemi için 0.799, validasyon dönemi için 0.833'dür. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için 0.79, validasyon dönemi için 0.75'dir. İkinci durumda, Çukurkışla Havzası kalibrasyon dönemi için 0.733, validasyon dönemi için 0.797'dir. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için 0.781, validasyon dönemi için 0.778'dir.

- En iyi kar performansı, kar ağırlığının en fazla olduğu durumdadır (Yani, kar ağırlığı 0.8 iken). Medyan kar performansları Çukurkışla Havzası kalibrasyon dönemi için 0.762, validasyon dönemi için 0.702'dir. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için 0.934, validasyon dönemi için 0.888'dir.
- En iyi toprak nemi performansı, toprak nemi ağırlığının en fazla olduğu durumdadır (Yani, toprak nemi ağırlığı 0.8 iken). Medyan toprak nemi performansları Çukurkışla Havzası kalibrasyon dönemi için 0.906, validasyon dönemi için 0.785'dir. Kayabaşı havzası kalibrasyon dönemi için 0.868, validasyon dönemi için 0.866'dır.
- Genel olarak, hem toprak nemi hem de kar örtüsü verilerinin dahil edilmesi, her iki simülasyonu da neredeyse ayrı ayrı dahil edildiklerinde olduğu kadar iyileştirmektedir.
- Kalibre edilmiş kar ile ilgili parametreler, kar verilerinin dahil edilmesinden ve toprak nemi ile ilgili parametreler de toprak nemi verilerinden etkilenmektedir.

Tüm bunlar değerlendirildiğinde, bulutsuz MODIS Terra uydu görüntüsünün hidrolojik çalışmalarda kullanılması, kar simülasyonlarını büyük ölçüde iyileştirmektedir. MODIS kar örtüsü verilerini model parametrelerini sınırlandırmak için kullanmak, modelin kar birikme ve erime süreçlerini temsil etme doğruluğunu artırma konusunda yardımcı olabilir. SMAP toprak nemi uydu görüntüsünün hidrolojik çalışmalarda kullanılması, toprak nemi simülasyonlarını iyileştirmektedir ve toprak nemi parametrelerini sınırlandırmaktadır. Özellikle, kar erimesi doğrudan toprak nemini değiştirdiği için, toprak nemi verileri kar erimesini kontrol eden parametreler üzerinde de ek kısıtlamalar sağlar. Bu yüzden hidrolojik modellerde toprak nemi verilerinin kullanılması, kar su eşdeğerindeki değişiklikler için hidrolojik süreçleri anlamada yardımcı olabilir. Ancak, özellikle her iki havzada da kar verisi kullanılmadan yapılan toprak nemi modellemesinde, kar performansında toprak nemi artışına oranla 6-7 kat düşüş gözlenmiştir. Akım üretme performansları karşılaştırıldığında, MODIS kar örtüsünün akım üretme başarısı, SMAP toprak nemine göre daha iyidir. Bunun bir nedeni, dağlık bölgelerde toprak nemi haritalamasında yaşanan sorunlar, çözünürlük farklılıkları ve test edilen havzaların kar baskın olmasından olabilir.

Bu çalışmada, bulutsuz kar örtüsü ile kök bölgesi toprak neminin hidrolojik model kalibrasyonuna dahil edilme potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu çalışma, yüzey toprak nemi tahminlerini kullanarak çift toprak nemi kavramsal hidrolojik modeli ile diğer değişkenlerinde dahil edilmesi yönünde geliştirilebilir. Toprak nemi ve kar verilerinin mekansal çözünürlüğünü aynı tutarak, farklı çözünürlükteki uydu görüntülerinin model performansına etkisi araştırılabilir. Aynı zamanda sadece kar veya toprak neminin akım üretme başarısı dikkate alındığında, akım verisi olmayan havzalarda bir modelleme çalışması yapılabilir.



KAYNAKÇA

- Akyürek, Z., Hall, D.K., Riggs, G.A. and Şensoy, A. (2010). Evaluating the utility of the ANSA blended snow cover product in the mountains of eastern Turkey. *International journal of remote sensing*, 31(14), 3727-3744, doi:10.1080/01431161.2010.483484.
- Ardia, D., Boudt, K., Carl, P., Mullen, K.M. and Peterson, B.G. (2011). Differential Evolution with DEoptim. An Application to Non-Convex Portfolio Optimization. *R Journal*, 3(1), 27-34. doi:10.32614/RJ2011005.
- Astagneau, P.C., Thirel, G., Delaigue, O., Guillaume, J.H., Parajka, J., Brauer, C.C., Viglione, A., Buytaert, W. and Beven, K.J. (2021). Hydrology modelling R packages—a unified analysis of models and practicalities from a user perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(7), 3937-3973, doi:10.5194/hess-25-3937-2021.
- Babaeian, E., Sadeghi, M., Jones, S. B., Montzka, C., Vereecken, H., ve Tuller, M. (2019). Ground, Proximal, and Satellite Remote Sensing of Soil Moisture, *Reviews of Geophysics*, 57, 530-616, doi: 10.1029/2018RG000618.
- Barnes, W.L., Salomonson, V.V. (1992). MODIS: A global imaging spectroradiometer for the Earth Observing System. In *Optical Technologies for Aerospace Sensing: A Critical Review* (Vol. 10269, 280-302). SPIE, doi:10.1117/12.161578.
- Bergström, S. (1976). Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. A: Bulletin series. Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, University of Lund.
- Bergström, S., Lindström, G. (2015). Interpretation of runoff processes in hydrological modelling-experience from the HBV approach. *Hydrological Processes*, 29(16), 3535–3545. doi:10.1002/hyp.10510.
- Bergström, S., Lindström, G., and Pettersson, A. (2002). Multi-variable parameter estimation to increase confidence in hydrological modelling. *Hydrological processes*, 16(2), 413-421, doi: 10.1002/hyp.332.
- Brocca, L., Moramarco, T., Melone, F., Wagner, W., Hasenauer, S., and Hahn, S. (2011). Assimilation of surface-and root-zone ASCAT soil moisture products into rainfall-runoff modeling. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(7), 2542-2555, doi: 10.1109/TGRS.2011.2177468.
- Brziak, A., Kohnová, S. and Kubáň, M. (2020). Comparison of measured and simulated snow cover occurrence using two versions of the TUW hydrological model. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 609, No. 1, 012032). IOP Publishing, doi: 10.1088/1755-1315/609/1/012032.
- Brziak, A., Kubáň, M., Kohnová, S. and Szolgay, J. (2020). Comparison of the variances of a lumped and semi-distributed model parameters. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. 21, No. 2, 172-177, doi: 10.31577/ahs-2020-0021.02.0021
- Burgin, M.S., Colliander, A., Njoku, E.G., Chan, S.K., Cabot, F., Kerr, Y.H., Bindlish, R., Jackson, T.J., Entekhabi, D. and Yueh, S.H., (2017). A comparative study of the SMAP passive soil moisture product with existing satellite-based soil moisture products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(5), 2959-2971, doi: 10.1109/TGRS.2017.2656859.

- Chiu, J., Paredes-Mesa, S., Lakhankar, T., Romanov, P., Krakauer, N., Khanbilvardi, R., and Ferraro, R. (2020). Intercomparison and validation of MIRS, MSPPS, and IMS snow cover products. *Advances in Meteorology*, 2020, 1-10, doi: 10.1155/2020/4532478.
- Corradini, C. (2014). Soil moisture in the development of hydrological processes and its determination at different spatial scales. *Journal of Hydrology*, 516, 1-5, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.02.051.
- Dariane, A.B., Khoramian, A., and Santi, E. (2017). Investigating spatiotemporal snow cover variability via cloud-free MODIS snow cover product in Central Alborz Region. *Remote sensing of environment*, 202, 152-165, doi: 10.1016/j.rse.2017.05.042.
- Dembélé, M., Hrachowitz, M., Savenije, H. H. G., Mariéthoz, G., & Schaefli, B. (2020). Improving the predictive skill of a distributed hydrological model by calibration on spatial patterns with multiple satellite data sets. *Water Resources Research*, 56, e2019WR026085, doi: 10.1029/2019WR026085
- Demirel, M.C., Özen, A., Orta, S., Toker, E., Demir, H.K., Ekmekcioğlu, Ö., Tayşi, H., Eruçar, S., Sağ, A.B., and Sarı, Ö. (2019). Additional value of using satellite-based soil moisture and two sources of groundwater data for hydrological model calibration, *Water-Sui.*, 11, 2083, doi: 10.3390/w11102083.
- Deng, J., Huang, X., Feng, Q., Ma, X., and Liang, T. (2015). Toward improved daily cloud-free fractional snow cover mapping with multi-source remote sensing data in China. *Remote Sensing*, 7(6), 6986-7006, doi: 10.3390/rs70606986.
- Di Marco, N., Avesani, D., Righetti, M., Zaramella, M., Majone, B., and Borga, M. (2021). Reducing hydrological modelling uncertainty by using MODIS snow cover data and a topography-based distribution function snowmelt model. *Journal of Hydrology*, 599, 126020, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126020.
- Dietz, A. J., Kuenzer, C., Gessner, U., and Dech, S. (2012). Remote sensing of snow—a review of available methods. *International Journal of Remote Sensing*, 33(13), 4094-4134, doi: 10.1080/01431161.2011.640964.
- Dong, C., and Menzel, L. (2016). Producing cloud-free MODIS snow cover products with conditional probability interpolation and meteorological data. *Remote Sensing of Environment*, 186, 439–451. doi:10.1016/j.rse.2016.09.019.
- Duethmann, D., J. Peters, T. Blume, S. Vorogushyn, and A. Guntner (2014). The value of satellite-derived snow cover images for calibrating a hydrological model in snow-dominated catchments in Central Asia, *Water Resour. Res.*, 50, 2002–2021, doi:10.1002/2013WR014382.
- Duygu, M.B., ve Akyürek Z. (2022). Kozmik Işın Nötron Sayacı ile Ölçülen Toprak Neminin Hidrolojik Modellerde Kullanımı. *Teknik Dergi*, 33(6), 12987-13012, doi: 10.18400/tekderg.986949.
- Entekhabi, D., Njoku, E.G., O'Neill, P.E., Kellogg, K.H., Crow, W.T., Edelstein, W.N., Entin, J.K., Goodman, S.D., Jackson, T.J., Johnson, J. and Kimball, J., (2010). The soil moisture active passive (SMAP) mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 704-716, doi: 10.1109/JPROC.2010.2043918.

- Ertaş, M.C. (2020). Yukarı Frat Havzası'nda Kar Bileşenlerinin Ölçülmesi, Doğrulanması ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Escorihuela, M.J., and Quintana-Seguı, P. (2016). Comparison of remote sensing and simulated soil moisture datasets in Mediterranean landscapes. *Remote sensing of environment*, 180, 99-114, doi: 10.1016/j.rse.2016.02.046.
- Gafurov, A., Vorogushyn, S., Farinotti, D., Duethmann, D., Merkushkin, A. and Merz, B. (2015). Snow-cover reconstruction methodology for mountainous regions based on historic in situ observations and recent remote sensing data. *The Cryosphere*, 9(2), 451-463, doi: 10.5194/tc-9-451-2015.
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K., and Martinez, G.F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of hydrology*, 377(1-2), 80-91, doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.003.
- Hafizi, H. and Şorman, A.A. (2021). Assessment of satellite and reanalysis precipitation products for rainfall-runoff modelling in a mountainous basin. *Environmental Sciences Proceedings*, 8(1), 25, doi: 10.3390/ecas2021-10345.
- Hall, D. K., and Riggs, G. A. (2020). MODIS/Terra CGF Snow Cover Daily L3 Global 500m SIN Grid, Version 6.1. Boulder, Colorado USA. *NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center*. doi: 10.5067/MODIS/MOD10A1F.61.
- Hall, D.K., Key, J.R., Casey, K.A., Riggs, G.A. and Cavalieri, D.J. (2004). Sea ice surface temperature product from MODIS. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 42(5), 1076-1087, doi: 10.1109/TGRS.2004.825587.
- Hall, D.K., Riggs, G.A., DiGirolamo, N.E. and Román, M.O. (2019). Evaluation of MODIS and VIIRS cloud-gap-filled snow-cover products for production of an Earth science data record. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(12), 5227-5241, doi: 10.5194/hess-23-5227-2019.
- Hall, D.K., Riggs, G.A., DiGirolamo, N.E., and Román, M.O. (2019). MODIS cloud-gap filled snow-cover products: Advantages and uncertainties. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 123, 1-23, , doi: 10.5194/hess-2019-123
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., Barton, J., Casey, K., Chien, J., DiGirolamo, N.E., Klein, A.G., Powell, H.W. and Tait, A.B. (2001). Algorithm theoretical basis document (ATBD) for the MODIS snow and sea ice-mapping algorithms, Online: https://eospso.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/atbd/atbd_mod10.pdf
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., Di Girolamo, N.E. and Bayr, K.J. (2002). MODIS snow-cover products. *Remote sensing of Environment*, 83(1-2), 181-194, doi: 10.1016/S0034-4257(02)00095-0.
- Hall, D.K., and Riggs, G.A. (2007). Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(12), 1534-1547, doi: 10.1002/hyp.6715.

- Hao, X., Huang, G., Zheng, Z., Sun, X., Ji, W., Zhao, H., Wang, J., Li, H. and Wang, X., (2022) Development and validation of a new MODIS snow-cover-extent product over China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(8), 1937-1952, doi: 10.5194/hess-26-1937-2022.
- Hao, X., Luo, S., Che, T., Wang, J., Li, H., Dai, L., Huang, X. and Feng, Q., (2019). Accuracy assessment of four cloud-free snow cover products over the Qinghai-Tibetan Plateau. *International Journal of Digital Earth*, 12(4), 375-393, doi: 10.1080/17538947.2017.1421721.
- Helfrich, S. R., McNamara, D., Ramsay, B. H., Baldwin, T. and Kasheta, T. (2007). Enhancements to, and forthcoming developments in the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS). *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(12), 1576-1586, doi: 10.1002/hyp.6720.
- Hu, F., Wei, Z., Yang, X., Xie, W., Li, Y., Cui, C., Yang, B., Tao, C., Zhang, W. and Meng, L., (2022). Assessment of SMAP and SMOS soil moisture products using triple collocation method over Inner Mongolia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 40, 101027, doi: 10.1016/j.ejrh.2022.101027.
- Jadidoleslam, N., Mantilla, R., and Krajewski, W. F. (2021). Data assimilation of satellite-based soil moisture into a distributed hydrological model for streamflow predictions. *Hydrology*, 8(1), 52, doi: 10.3390/hydrology8010052
- Karthikeyan, L., Pan, M., Wanders, N., Kumar, D. N., and Wood, E. F. (2017). Four decades of microwave satellite soil moisture observations: Part 1. A review of retrieval algorithms. *Advances in Water Resources*, 109, 106-120, doi: 10.1016/j.advwatres.2017.09.006.
- Kim, H., Wigneron, J.P., Kumar, S., Dong, J., Wagner, W., Cosh, M.H., Bosch, D.D., Collins, C.H., Starks, P.J., Seyfried, M. and Lakshmi, V. (2020). Global scale error assessments of soil moisture estimates from microwave-based active and passive satellites and land surface models over forest and mixed irrigated/dryland agriculture regions. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112052, doi: 10.1016/j.rse.2020.112052.
- Kling, H., Fuchs, M. and Paulin, M. (2012). Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of hydrology*, 424, 264-277, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.01.011.
- Kubáň, M. and Brziak, A. (2020). Soil Moisture Simulation in Selected Austrian Catchments With Use of the Tuw Conceptual Semi-Distributed Rainfall Runoff Model. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 609, No. 1, 012031). IOP Publishing, doi: 10.1088/1755-1315/609/1/012031
- Kubáň, M., Brziak, A. and Kohnová, S. (2021). The role of land use and morphology representation in the setup and calibration of the conceptual TUW model. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 906, No. 1, 012050). IOP Publishing, doi: 10.1088/1755-1315/906/1/012050
- Kubáň, M., Parajka, J., Tong, R., Greimeister-Pfeil, I., Vreugdenhil, M., Szolgay, J., Kohnova, S., Hlavcova, K., Sleziak, P. and Brziak, A. (2022). The effects of satellite soil moisture data on the parametrization of topsoil and root zone soil moisture in a conceptual hydrological model. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 70, 3, 295–307.

- Kubáň, M., Parajka, J., Tong, R., Pfeil, I., Vreugdenhil, M., Sleziak, P., Adam, B., Szolgay, J., Kohnová, S. and Hlavčová, K. (2021). Incorporating Advanced Scatterometer Surface and Root Zone Soil Moisture Products into the Calibration of a Conceptual Semi-Distributed Hydrological Model. *Water*, 13, 3366. doi: 10.3390/w13233366.
- Largerion C., Dumont M., Morin S., Boone A., Lafaysse M., Metref S., Cosme E., Jonas T., Winstral A. and Margulis SA (2020). Toward Snow Cover Estimation in Mountainous Areas Using Modern Data Assimilation Methods: A Review. *Frontiers in Earth Science* 8:325, 1-21, doi: 10.3389/feart.2020.00325.
- Lee, H., McIntyre, N., Wheeler, H., and Young, A. (2005). Selection of conceptual models for regionalisation of the rainfall-runoff relationship. *Journal of Hydrology*, 312(1-4), 125-147, doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.016.
- Li, D., Liang, Z., Li, B., Lei, X., and Zhou, Y. (2019). Multi-objective calibration of MIKE SHE with SMAP soil moisture datasets. *Hydrology Research*, 50(2), 644-654, doi: 10.2166/nh.2018.110.
- Li, X., Jing, Y., Shen, H., and Zhang, L. (2019). The recent developments in cloud removal approaches of MODIS snow cover product. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(5), 2401-2416, doi: 10.5194/hess-23-2401-2019.
- Li, Y., Chen, Y., and Li, Z. (2019). Developing daily cloud-free snow composite products from MODIS and IMS for the Tianshan Mountains. *Earth and Space Science*, 6, 266–275doi: 10.1029/2018EA000460.
- Li, Y., Cong, Z., and Yang, D. (2023). Remotely sensed soil moisture assimilation in the distributed hydrological model based on the error subspace transform Kalman filter. *Remote Sensing*, 15(7), 1852, doi: 10.3390/rs15071852
- Li, Y., Grimaldi, S., Pauwels, V.R.N. and Walker, J.P. (2018) Hydrologic model calibration using remotely sensed soil moisture and discharge measurements: the impact on predictions at gauged and ungauged locations, *Journal of Hydrology*,doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.01.013
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of hydrology*, 201(1-4), 272-288, doi: 10.1016/S0022-1694(97)00041-3.
- Madsen, H. (2003). Parameter estimation in distributed hydrological catchment modelling using automatic calibration with multiple objectives. *Advances in water resources*, 26(2), 205-216, doi: 10.1016/S0309-1708(02)00092-1.
- Mattar, C., Fuster, R. and Perez, T. (2022). Application of a cloud removal algorithm for snow-covered areas from daily MODIS imagery over Andes Mountains. *Atmosphere*, 13(3), 392, doi: 10.3390/atmos13030392.
- Moges, E., Demissie, Y., Larsen, L., and Yassin, F. (2021). Sources of hydrological model uncertainties and advances in their analysis. *Water*, 13(1), 28, doi: <https://doi.org/10.3390/w13010028>
- Mohanty, B. P., Cosh, M. H., Lakshmi, V. and Montzka, C. (2017). Soil moisture remote sensing: State-of-the-science. *Vadose Zone Journal*, 16(1), 1-9, doi:10.2136/vzj2016.10.0105

- Mousa, B. G. and Shu, H. (2020). Spatial evaluation and assimilation of SMAP, SMOS, and ASCAT satellite soil moisture products over Africa using statistical techniques. *Earth and Space Science*, 7, doi: 10.1029/2019EA000841
- Mullen, K.M, Ardia, D., Gil, D., Windover, D. and Cline,J. (2011). DEoptim: An R Package for Global Optimization by Differential Evolution. *Journal of Statistical Software*, 40(6), 1-26. doi:10.18637/jss.v040.i06
- Nayak, A. K., Biswal, B., and Sudheer, K. P. (2021). Role of hydrological model structure in the assimilation of soil moisture for streamflow prediction. *Journal of Hydrology*, 598, 126465, doi:10.1016/j.jhydrol.2021.126465
- Nemri, S. and Kinnard, C. (2020). Comparing calibration strategies of a conceptual snow hydrology model and their impact on model performance and parameter identifiability. *Journal of hydrology*, 582, 124474, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124474.
- Neri, M., Parajka, J. and Toth, E. (2020). Importance of the informative content in the study area when regionalising rainfall-runoff model parameters: the role of nested catchments and gauging station density. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(11), 5149-5171, doi: 10.5194/hess-24-5149-2020.
- Nijzink, R.C., Almeida, S., Pechlivanidis, I.G., Capell, R., Gustafssons, D., Arheimer, B., Parajka, J., Freer, J., Han, D., Wagener, T., van Nooijen, R.R.P., Savenije, H.H.G. and Hrachowitz, M. (2018). Constraining Conceptual Hydrological Models With Multiple Information Sources. *Water Resources Research*, 54(10), 8332-8362, doi: 10.1029/2017WR021895
- Nolin, A. W. (2010). Recent advances in remote sensing of seasonal snow. *Journal of Glaciology*, 56(200), 1141-1150, doi: 10.3189/002214311796406077.
- Parajka, J. and Blöschl, G. (2008). Spatio-temporal combination of MODIS images—potential for snow cover mapping. *Water resources research*, 44(3), doi: 10.1029/2007WR006204.
- Parajka, J., Merz, R., and Blöschl, G. (2007). Uncertainty and multiple objective calibration in regional water balance modelling: case study in 320 Austrian catchments. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(4), 435-446, doi: 10.1002/hyp.6253.
- Parajka, J., Naeimi, V., Blöschl, G., and Komma, J. (2009). Matching ERS scatterometer based soil moisture patterns with simulations of a conceptual dual layer hydrologic model over Austria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(2), 259-271, doi: 10.5194/hess-13-259-2009.
- Parajka, J., Naeimi, V., Blöschl, G., Wagner, W., Merz, R., and Scipal, K. (2006). Assimilating scatterometer soil moisture data into conceptual hydrologic models at the regional scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3), 353-368, doi: 10.5194/hess-10-353-2006.
- Parajka, J., and Blöschl, G. (2008). The value of MODIS snow cover data in validating and calibrating conceptual hydrologic models. *Journal of hydrology*, 358(3-4), 240-258, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.06.006.

- Parajka, J. and Blöschl, G. (2006). Validation of MODIS snow cover images over Austria, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 679–689, doi: 10.5194/hess-10-679-2006.
- Peker, İ.B., and Şorman, 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, doi: 10.3390/w13141982.
- Peng, J., Albergel, C., Balenzano, A., Brocca, L., Cartus, O., Cosh, M.H., Crow, W.T., Dabrowska-Zielinska, K., Dadson, S., Davidson, M.W. and deRosnay, P.(2021). A roadmap for high-resolution satellite soil moisture applications–confronting product characteristics with user requirements. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112162, doi: 10.1016/j.rse.2020.112162.
- Price, K.V., Storn, R.M. and Lampinen J.A. (2006) Differential Evolution - A Practical Approach to Global Optimization. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 3540209506.
- Rajib, M. A., Merwade, V., & Yu, Z. (2016). Multi-objective calibration of a hydrologic model using spatially distributed remotely sensed/in-situ soil moisture. *Journal of hydrology*, 536, 192-207, doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.02.037.
- Reichle, R. H., Ardizzone, J. V., Kim, G. K., Lucchesi, R. A., Smith, E. B. and Weiss, B. H. (2022). Soil Moisture Active Passive (SMAP) mission level 4 surface and root zone soil moisture (L4_SM) product specification document.
- Reichle, R. H., Liu, Q., Koster, R. D., Crow, W. T., De Lannoy, G. J. M., Kimball, J. S., Ardizzone, J.V., Bosch D., Colliander A., Cosh M., Kolassa J., Mahanama S.P., Prueger J., Starks P. and Walker J.P. (2019). Version 4 of the SMAP Level-4 Soil Moisture algorithm and data product. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11, 3106–3130. doi: 10.1029/ 2019MS001729
- Reichle, R.H., De Lannoy, G.J., Liu, Q., Ardizzone, J.V., Colliander, A., Conaty, A., Crow, W., Jackson, T.J., Jones, L.A., Kimball, J.S. and Koster, R.D., (2017). Assessment of the SMAP level-4 surface and root-zone soil moisture product using in situ measurements. *Journal of hydrometeorology*, 18(10),2621-2645, doi: 10.1175/JHM-D-17-0063.1.
- Riboust, P., Thirel, G., Le Moine, N., and Ribstein, P. (2019). Revisiting a simple degree-day model for integrating satellite data: implementation of SWE-SCA hystereses. *Journal of hydrology and hydromechanics*, 67(1), 70-81, DOI : 10.2478/johh-2018-0004.
- Riggs, G. A., Hall, D. K., and Román, M. O. (2019). MODIS snow products collection 6 user guide. National Snow and Ice Data Center: Boulder, CO, USA, 66. Online: https://nsidc.org/sites/default/files/c61_modis_snow_user_guide.pdf
- Scott, C. A., Bastiaanssen, W. G., and Ahmad, M. U. D. (2003). Mapping root zone soil moisture using remotely sensed optical imagery. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(5), 326-335, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:5(326).
- Seibert, J. (2000). Multi-criteria calibration of a conceptual runoff model using a genetic algorithm. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4(2), 215-224, doi: 10.5194/hess-4-215-2000.

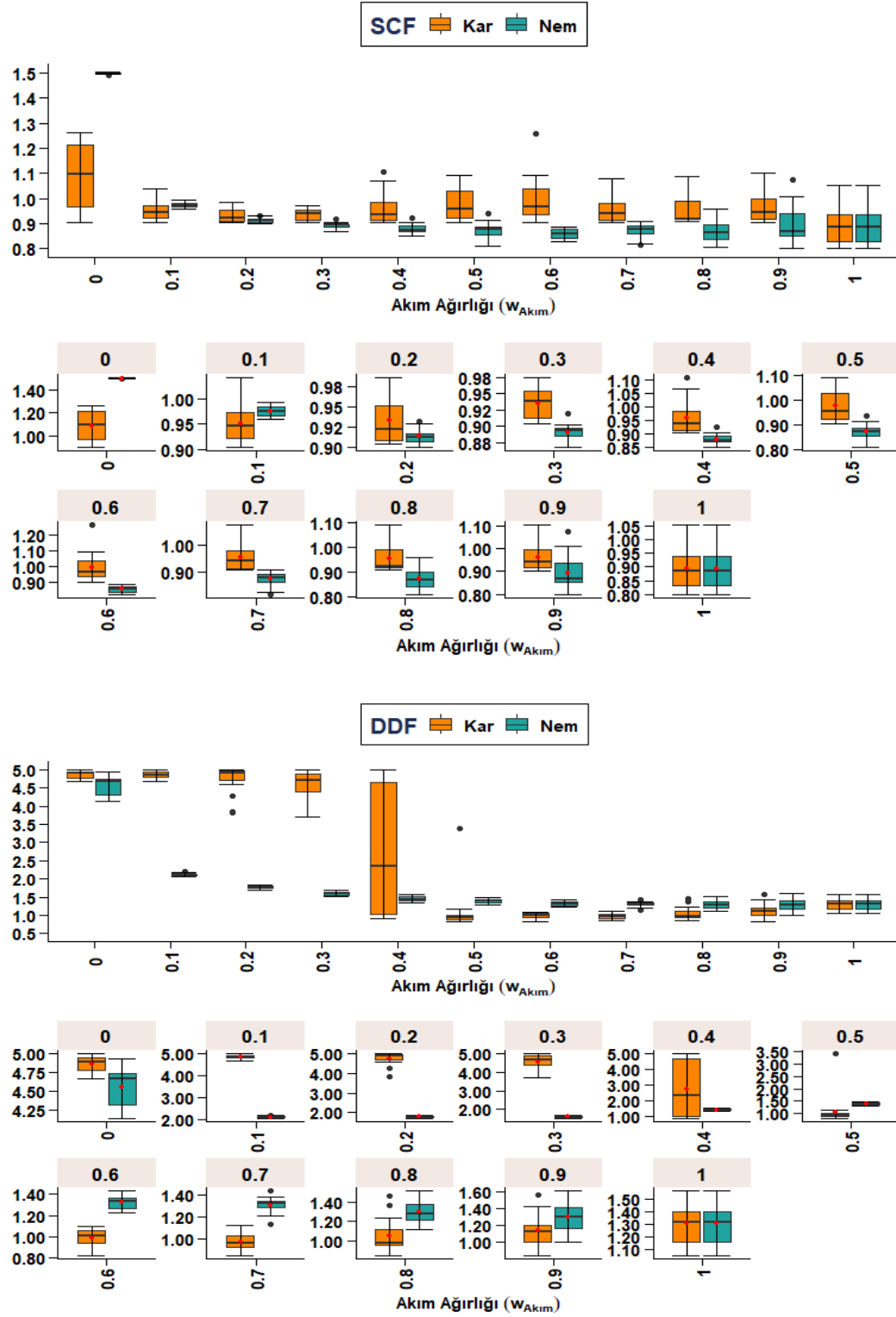
- Slater, L.J., Thirel, G., Harrigan, S., Delaigue, O., Hurley, A., Khouakhi, A., Prosdocimi, I., Vitolo, C. and Smith, K. (2019). Using R in hydrology: a review of recent developments and future directions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(7), 2939-2963, doi: 10.5194/hess-23-2939-2019.
- Sleziak, P., Holko, L., Danko, M., and Parajka, J. (2020). Uncertainty in the number of calibration repetitions of a hydrologic model in varying climatic conditions. *Water*, 12(9), 2362, doi: 10.3390/w12092362.
- Sleziak, P., Szolgay, J., Hlavčová, K., Danko, M., and Parajka, J. (2020). The effect of the snow weighting on the temporal stability of hydrologic model efficiency and parameters. *Journal of hydrology*, 583, 124639, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124639.
- Sleziak, P., Szolgay, J., Hlavčová, K., Duethmann, D., Parajka, J. and Danko, M. (2018). Factors controlling alterations in the performance of a runoff model in changing climate conditions. *Journal of hydrology and hydromechanics*, 66(4), 381-392, doi: 10.2478/johh-2018-0031.
- Şorman, A.A., Şensoy, A., Tekeli, A. E., Şorman, A.Ü. and Akyürek, Z. (2009). Modelling and forecasting snowmelt runoff process using the HBV model in the eastern part of Turkey. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(7), 1031-1040, doi: 10.1002/hyp.7204
- Şorman, A.A., Uysal, G. and Şensoy, A. (2019) Probabilistic Snow Cover and Ensemble Streamflow Estimations in the Upper Euphrates Basin. *Journal of hydrology and hydromechanics* 2019, 67, 82–92, doi: 10.2478/johh-2018-0025.
- Şorman, A.Ü., Akyürek, Z., Şensoy, A., Şorman, A.A., and 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, doi: 10.5194/hess-11-1353-2007, 2007.
- Storn, R. and Price, K. (1997) Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, *Journal of Global Optimization*, 11:4, 341–359, doi: 10.1023/A:1008202821328.
- Széles, B., Parajka, J., Hogan, P., Silasari, R., Pavlin, L., Strauss, P. and Blöschl, G. (2020). The added value of different data types for calibrating and testing a hydrologic model in a small catchment. *Water resources research*, 56(10), e2019WR026153. doi: 10.1029/2019WR026153.
- Széles, B., Parajka, J., Hogan, P., Silasari, R., Pavlin, L., Strauss, P. and Blöschl, G. (2021). Stepwise prediction of runoff using proxy data in a small agricultural catchment. *Journal of hydrology and hydromechanics*, 69(1), 65-75. doi: 10.2478/johh-2020-0029
- Taheri, M., Anboohi, M. S., Mousavi, R. and Nasserli, M. (2023). Hybrid global gridded snow products and conceptual simulations of distributed snow budget: evaluation of different scenarios in a mountainous watershed. *Frontiers of Earth Science*, 17(2), 391-406, doi: 10.1007/s11707-022-1005-2.

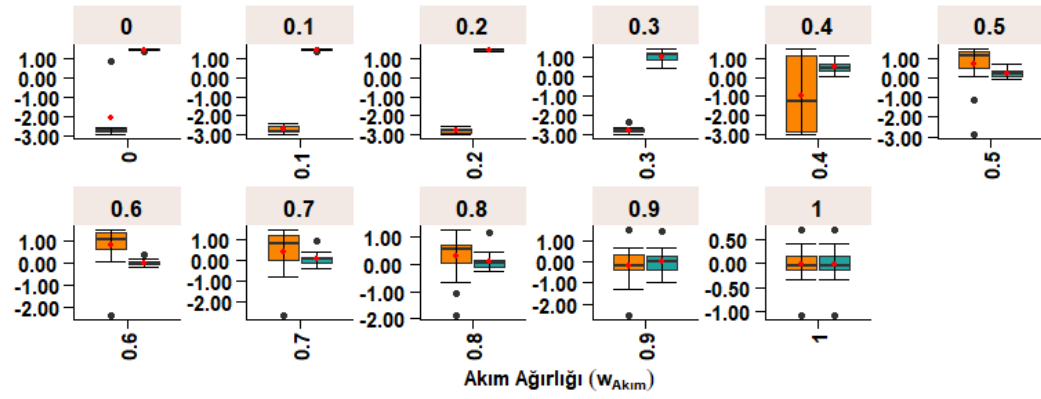
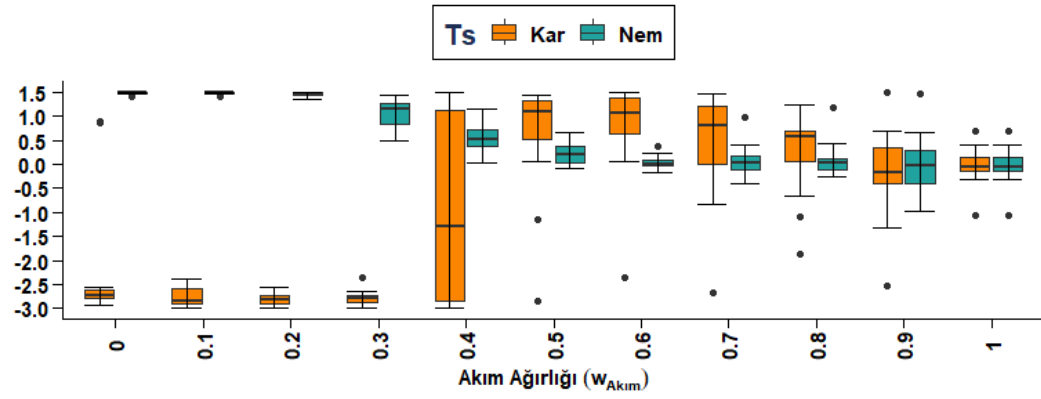
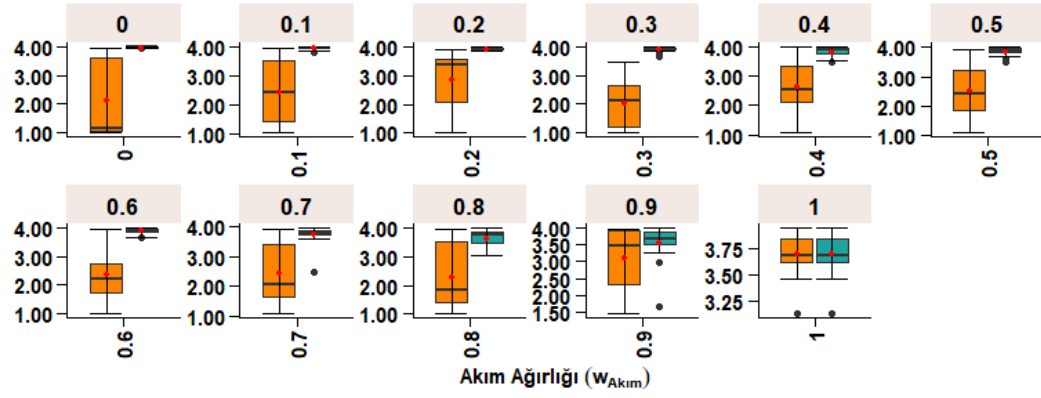
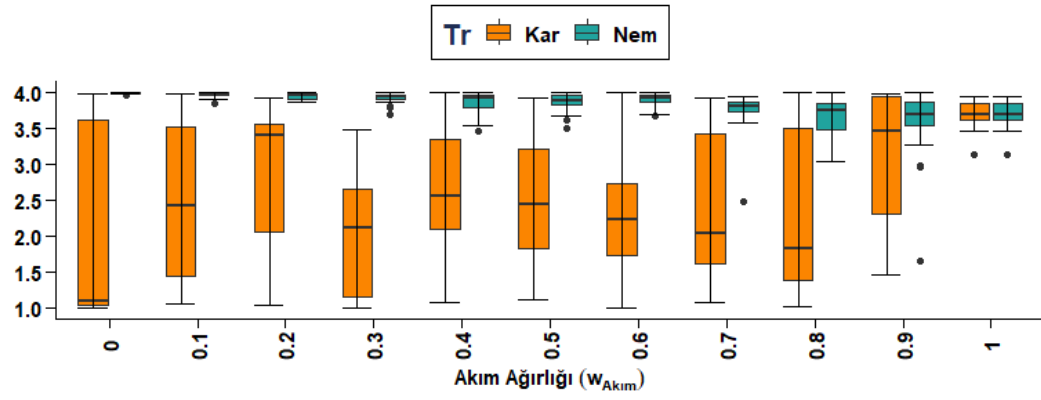
- Taia, S., Erraioui, L., Arjdal, Y., Chao, J., El Mansouri, B. and Scozzari, A. (2023). The Application of SWAT Model and Remotely Sensed Products to Characterize the Dynamic of Streamflow and Snow in a Mountainous Watershed in the High Atlas. *Sensors*, 23, 1246, doi: 10.3390/s23031246
- Tekeli, Y. and Tekeli, A. E. (2012). A technique for improving MODIS standard snow products for snow cover monitoring over Eastern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(2), 353-363, doi: 10.1007/s12517-010-0274-3.
- Thornton, J. M., Brauchli, T., Mariethoz, G., and Brunner, P. (2021). Efficient multi-objective calibration and uncertainty analysis of distributed snow simulations in rugged alpine terrain. *Journal of hydrology*, 598, 126241, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126241.
- Tong, R., Parajka, J., Salentinig, A., Pfeil, I., Komma, J., Széles, B., Kubáň, M., Valent, P., Vreugdenhil, M., Wagner, W. and Blöschl, G. (2021). The value of ASCAT soil moisture and MODIS snow cover data for calibrating a conceptual hydrologic model, *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 1389–1410, doi: 10.5194/hess-25-1389-2021.
- Tong, R., Parajka, J., Széles, B., Greimeister-Pfeil, I., Vreugdenhil, M., Komma, J., Valent, P., and Blöschl, G. (2022). The value of satellite soil moisture and snow cover data for the transfer of hydrological model parameters to ungauged sites, *Hydrology and Earth System Sciences* 26, 1779–1799, doi: 10.5194/hess-26-1779-2022.
- Tsang, L., Durand, M., Derksen, C., Barros, A., Kang, D., Hans, L., Marshall, H., Zhu, J., Johnson, J., King, J., Lemmetyinen, J., Sandells, M., Rutter, N., Siqueira, P., Nolin, A., Osmanoglu, B., Vuyovich, C., Kim, E., Taylor, D. and Xu, X. (2022). Review Article: Global Monitoring of Snow Water Equivalent using High Frequency Radar Remote Sensing, *The Cryosphere*, 16, 3531-3573, doi: 10.5194/tc-16-3531-2022.
- Tuo, Y., Marcolini, G., Disse, M. and Chiogna, G., (2018) A Multi-Objective Approach to Improve SWAT Model Calibration in Alpine Catchments, *Journal of hydrology* (2018), doi:10.1016/j.jhydrol.2018.02.055.
- Tuttu, U. ve Kuter, S. (2020). 2017-2018 Türkiye Kar Sezonu İçin MODIS Etkili Kar Örtüsü Ürününün Sentinel 2 Görüntüleriyle Doğrulaması, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* , 22 (2) , 556-570, doi: 10.24011/barofd.694267
- U.S. National Ice Center. (2008). Ims daily northern hemisphere snow and ice analysis at 1 km, 4 km, and 24 km resolutions, version 1. Boulder, Colorado USA. National Snow and Ice Data Center, doi:https://doi.org/10.7265/n52r3pmc.
- Viglione, A. and Parajka, J. (2020) TUWmodel: Lumped Hydrological Model for Education Purposes, available at: <https://CRAN.R-project.org/package=TUWmodel>
- Wanders, N., Karssenbergh, D., de Roo, A., de Jong, S. M., and Bierkens, M. F. P. (2014). The suitability of remotely sensed soil moisture for improving operational flood forecasting, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 2343–2357, doi: 10.5194/hess-18-2343-2014.

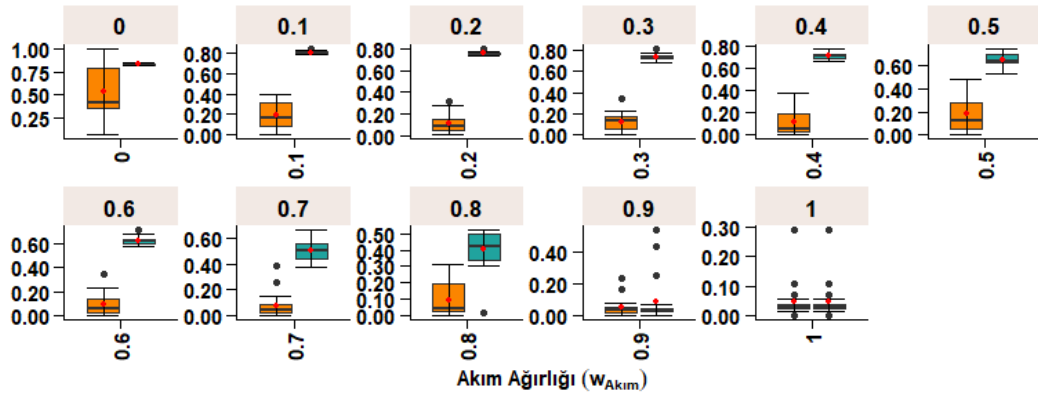
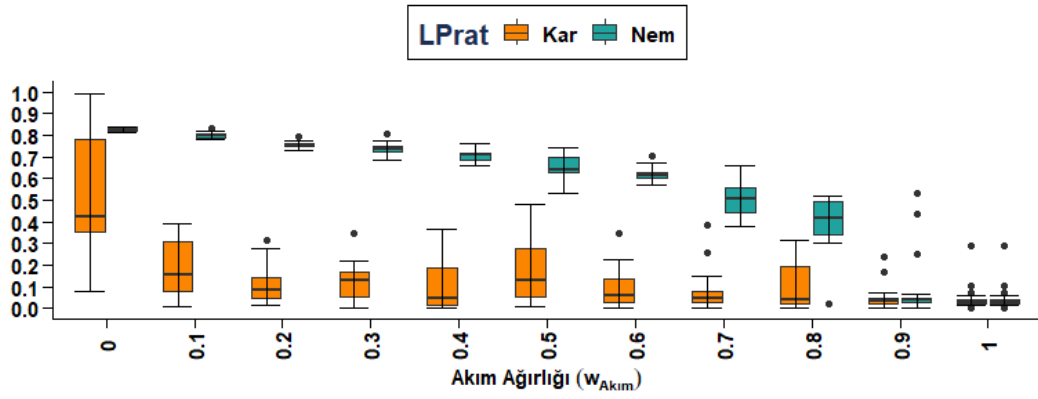
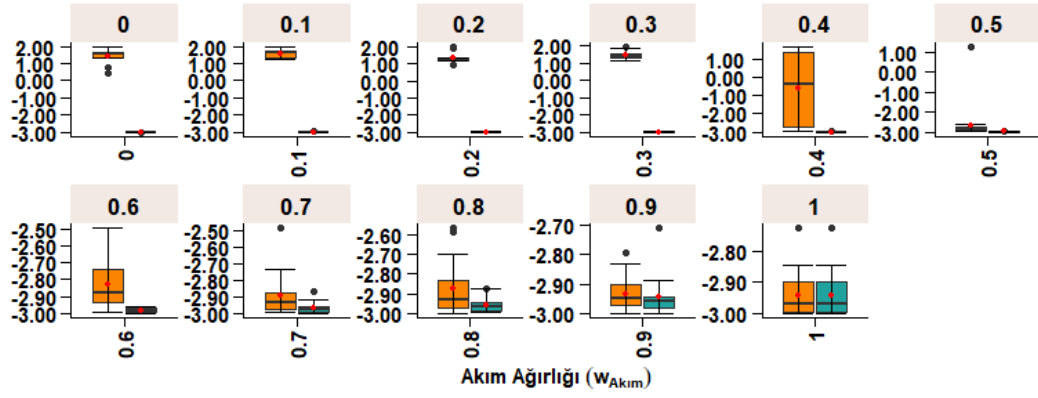
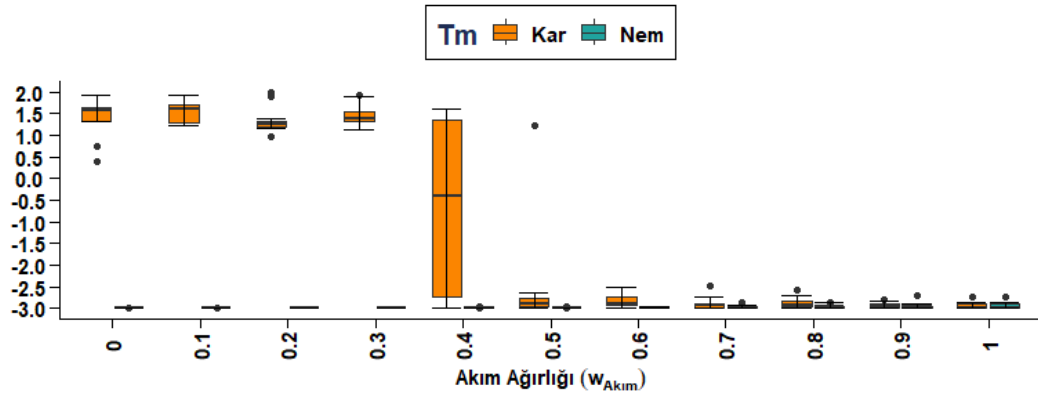
- Wang, L. and Qu, J.J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3, 237-247, doi: 10.1007/s11707-009-0023-7.
- Wrzesien, M. L., Durand, M. T., Pavelsky, T. M., Howat, I. M., Margulis, S. A., Huning, L. S. (2017). Comparison of methods to estimate snow water equivalent at the mountain range scale: A case study of the California Sierra Nevada. *Journal of Hydrometeorology*, 18(4), 1101-1119, doi: 10.1175/JHM-D-16-0246.1.
- Xiong, L. and Zeng, L. (2019). Impacts of introducing remote sensing soil moisture in calibrating a distributed hydrological model for streamflow simulation. *Water*, 11(4), 666, doi: 10.3390/w11040666.
- Yang, H., Xiong, L., Liu, D., Cheng, L., & Chen, J. (2021). High spatial resolution simulation of profile soil moisture by assimilating multi-source remote-sensed information into a distributed hydrological model. *Journal of Hydrology*, 597, 126311, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126311
- Yu, J., Zhang, G., Yao, T., Xie, H., Zhang, H., Ke, C. and Yao, R. (2015). Developing daily cloud-free snow composite products from MODIS Terra–Aqua and IMS for the Tibetan Plateau. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(4), 2171-2180, doi: 10.1109/TGRS.2015.2496950.
- Yuan, Y., Li, B., Gao, X., Liu, W., Li, Y. and Li, R. (2022). Validation of Cloud-Gap-Filled Snow Cover of MODIS Daily Cloud-Free Snow Cover Products on the Qinghai–Tibetan Plateau, *Remote Sensing*, 14, 5642, doi: 10.3390/rs14225642

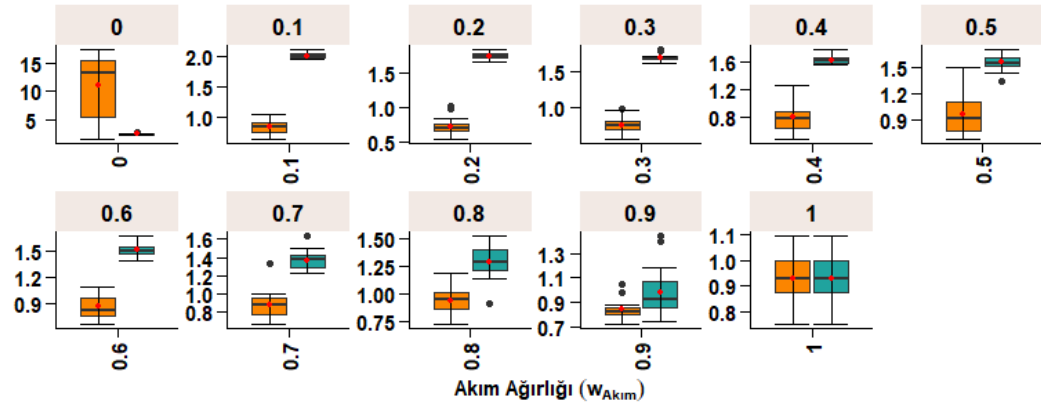
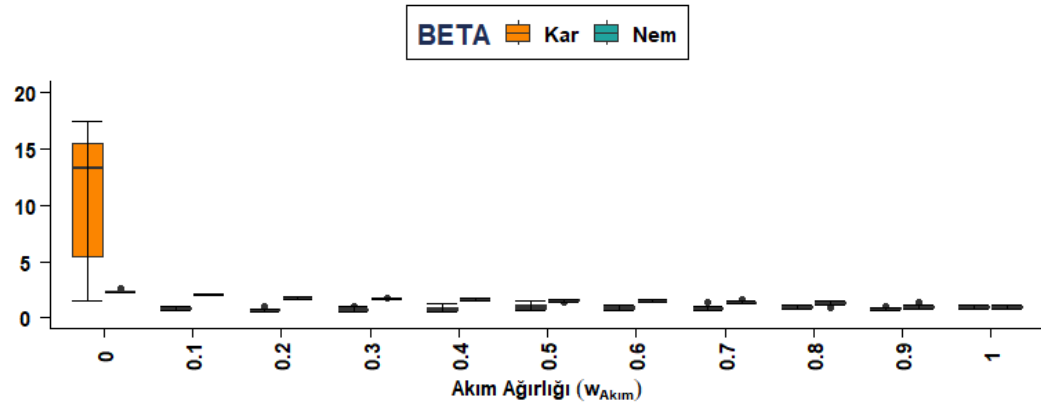
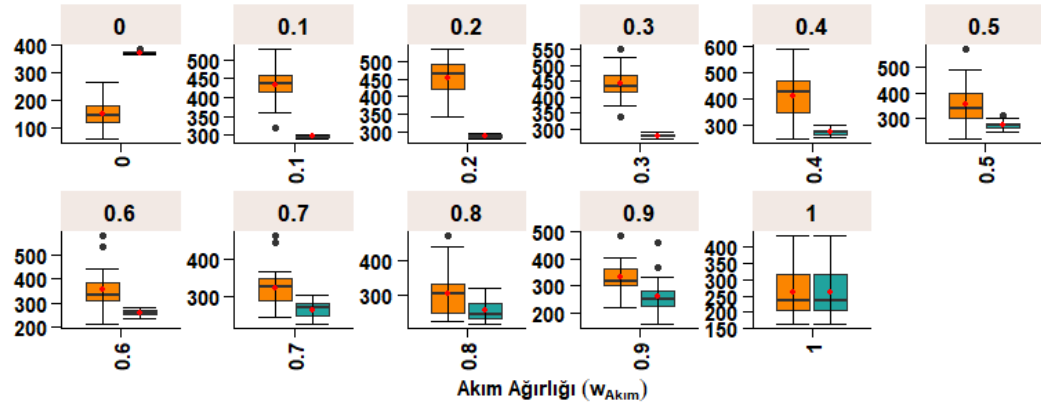
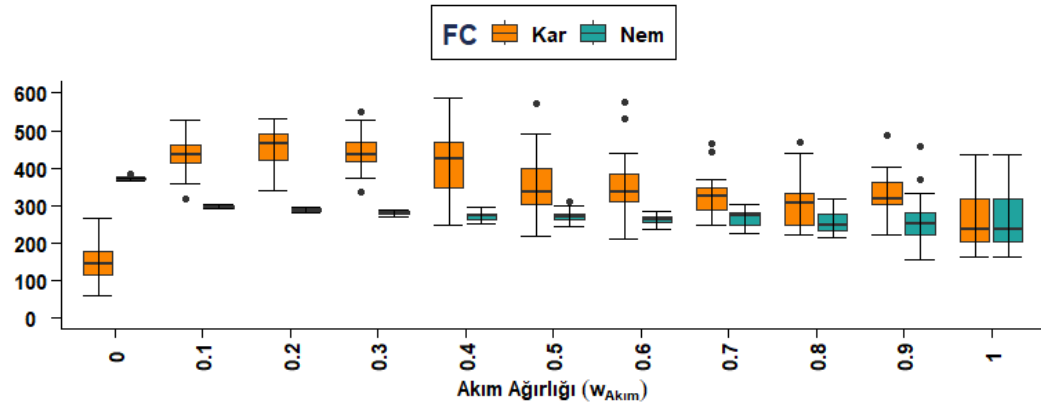
EKLER

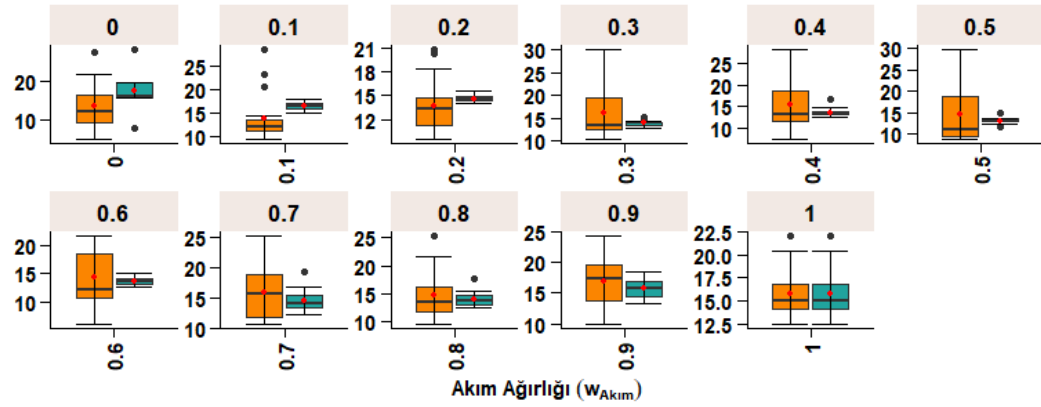
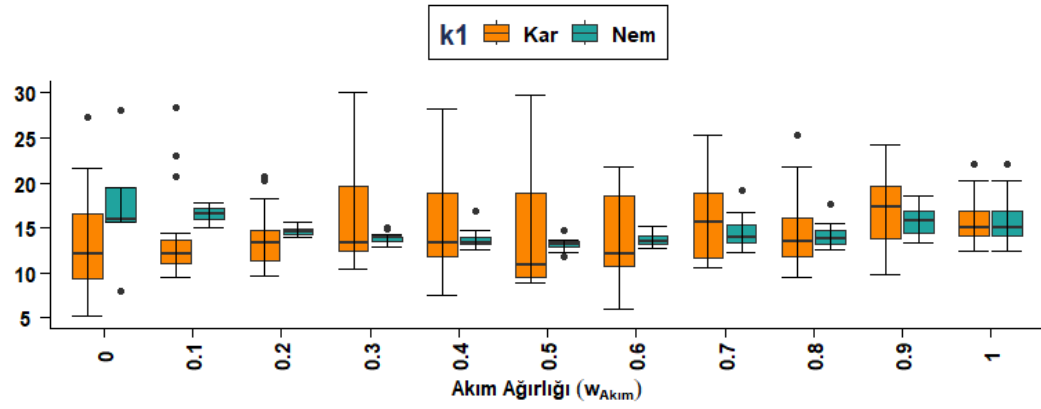
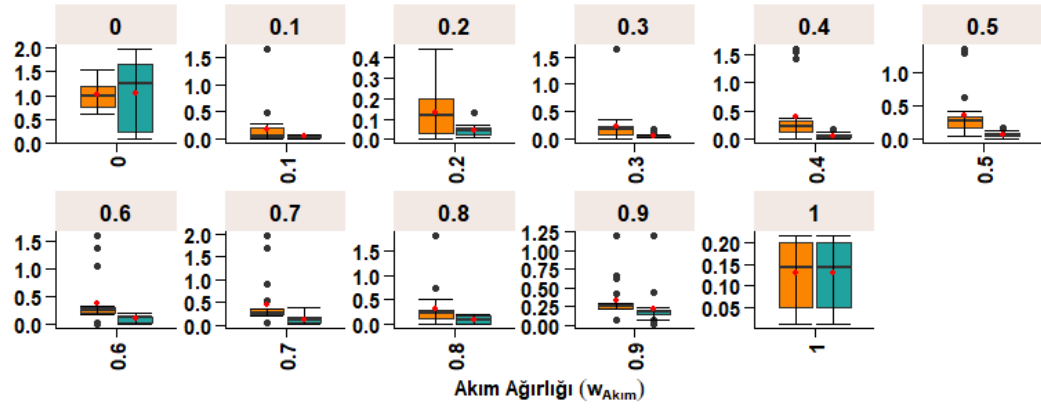
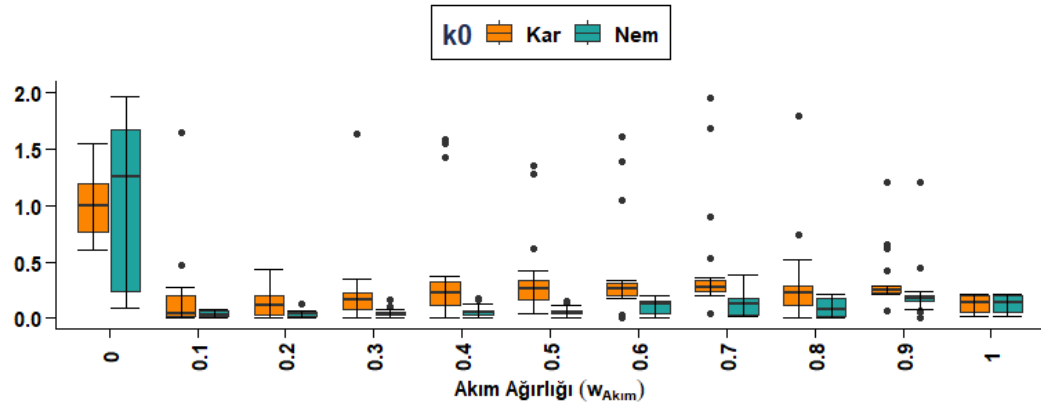
EK-1. Çukurkişla Havzası Akım ve Kar ile Akım ve Toprak Nemi Model Parametre Setleri

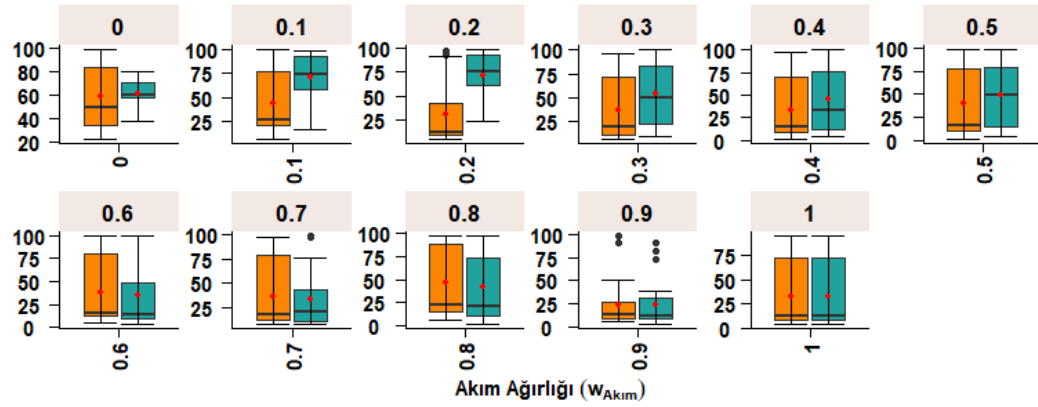
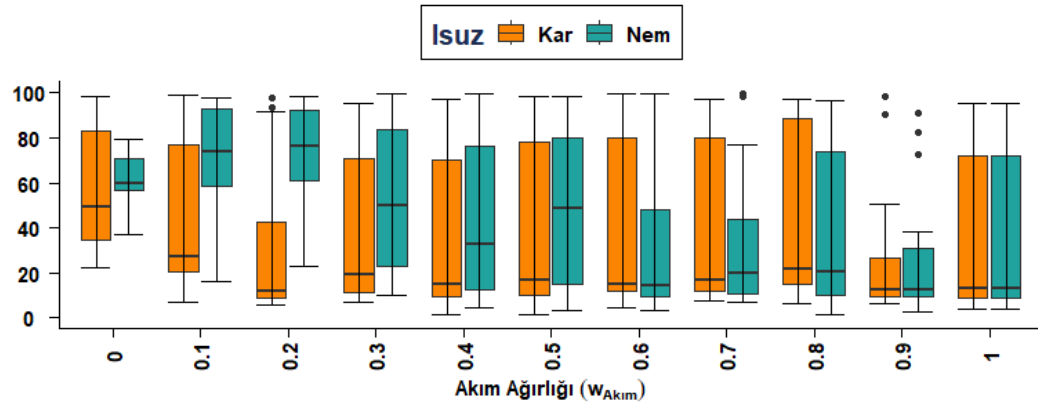
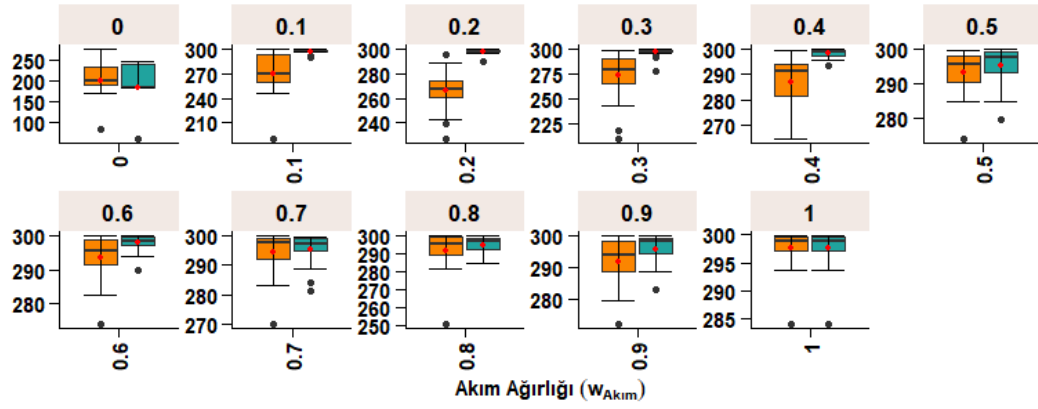
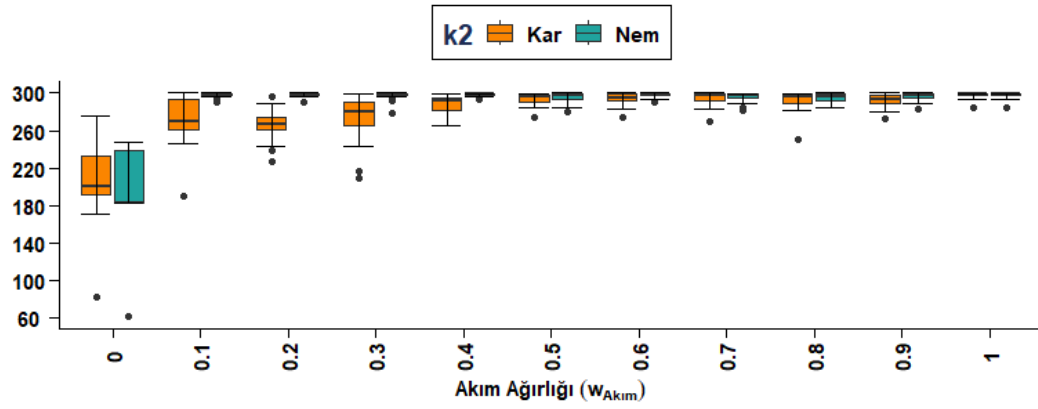


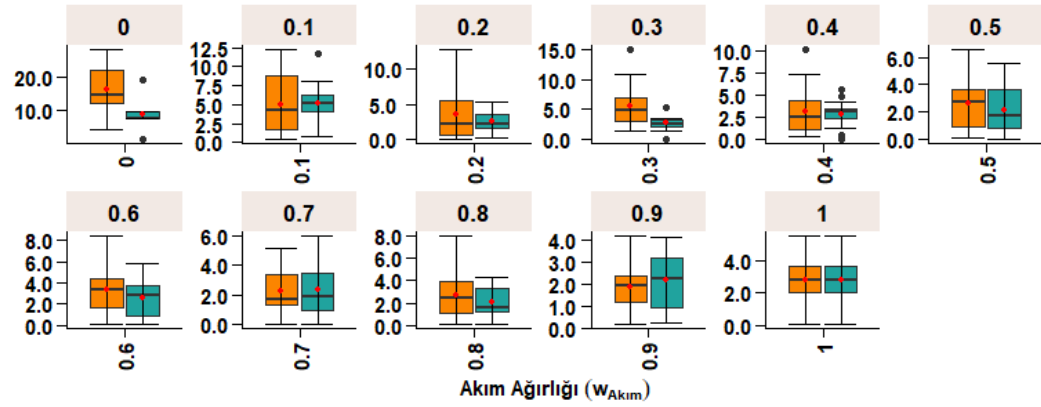
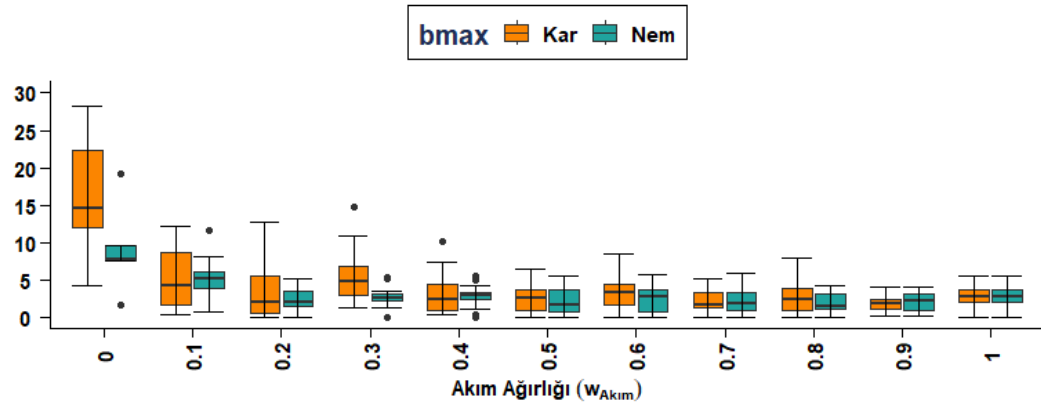
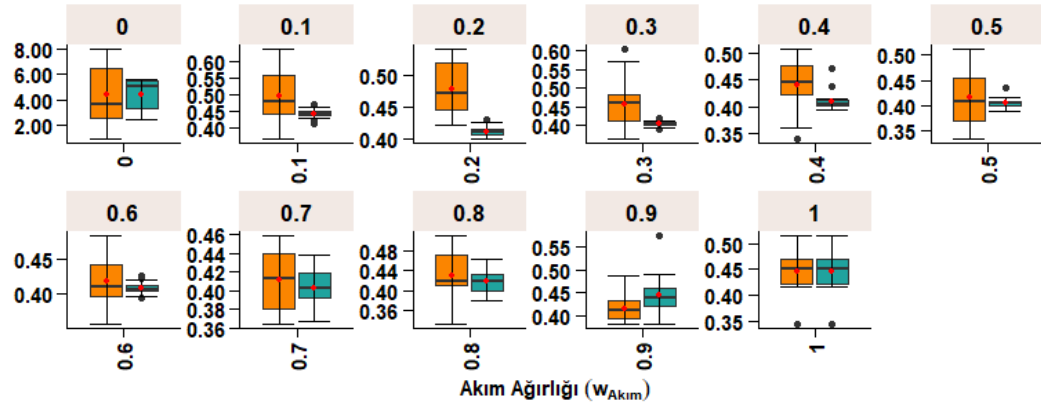
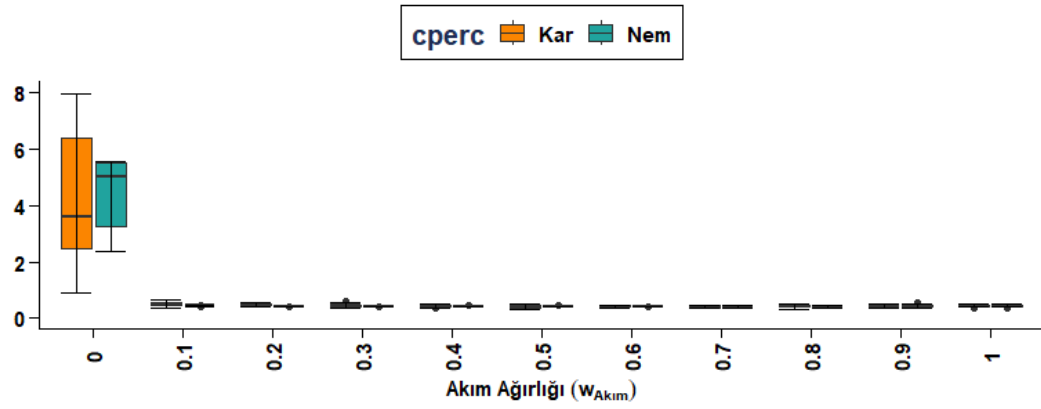


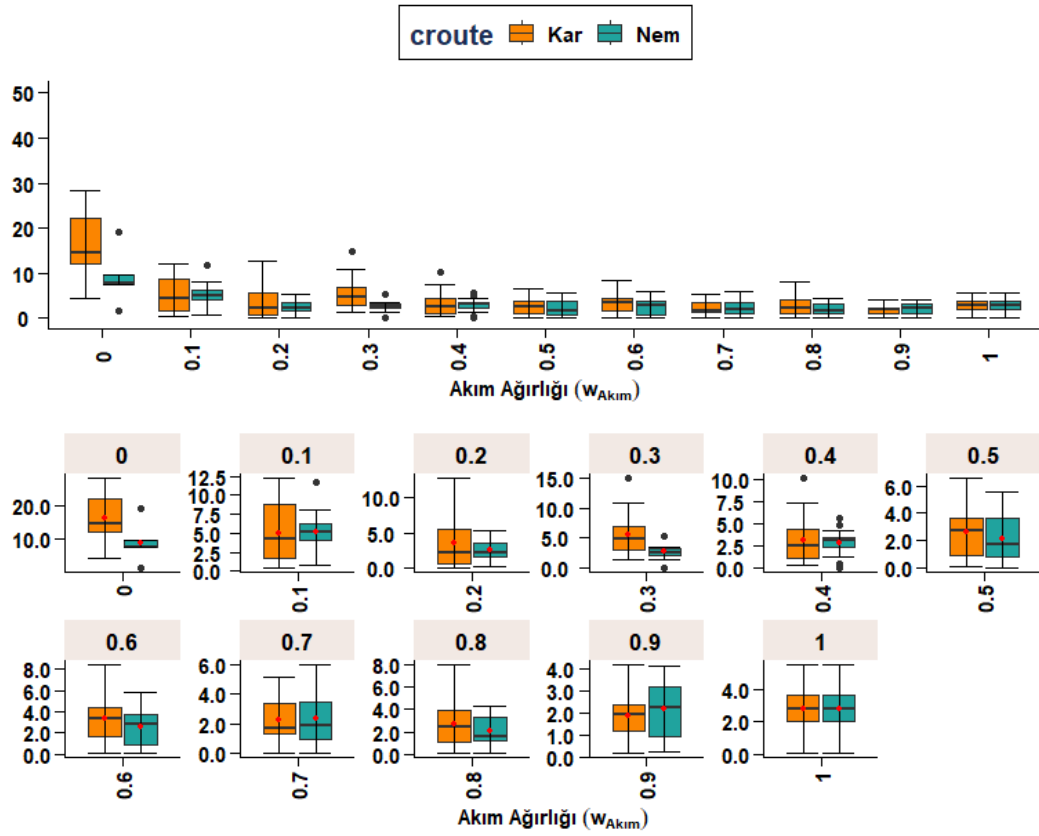




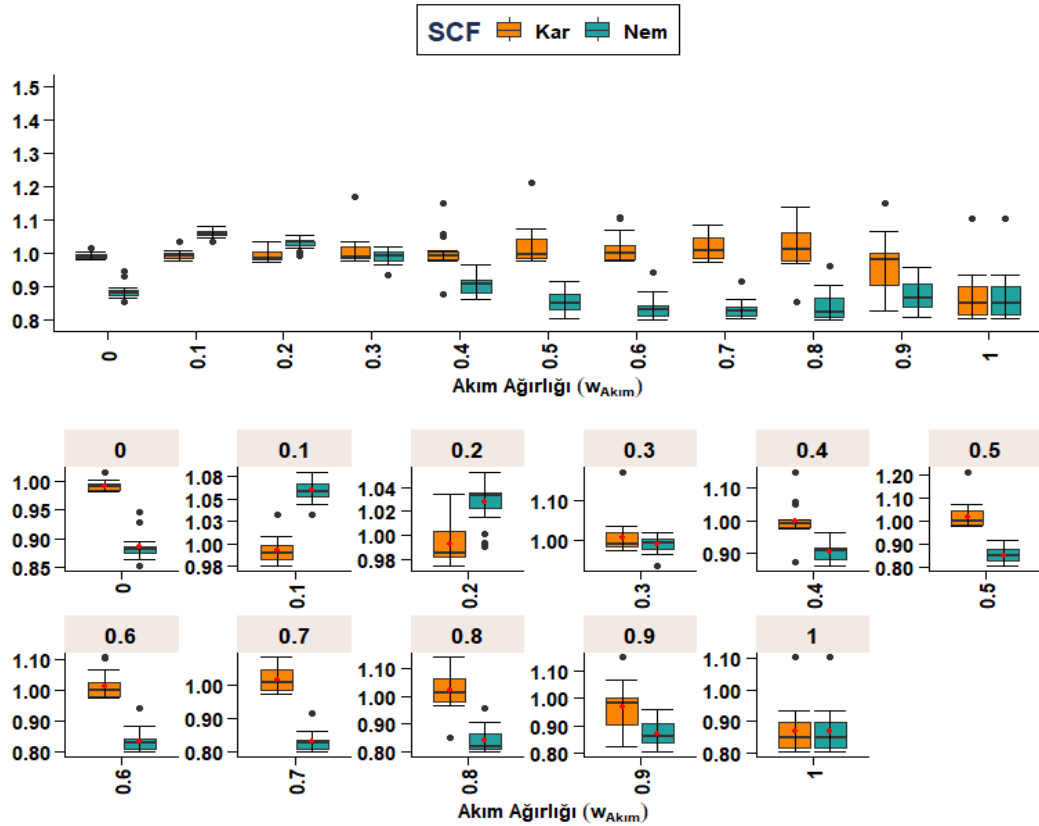


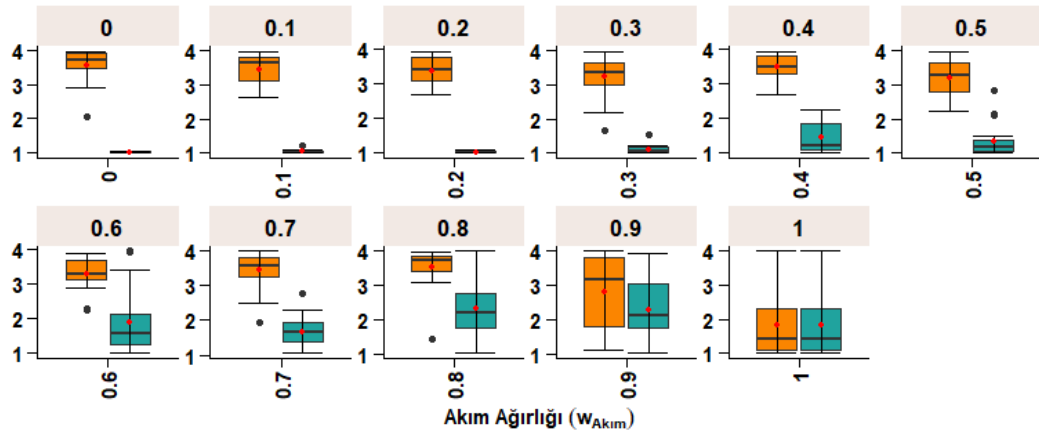
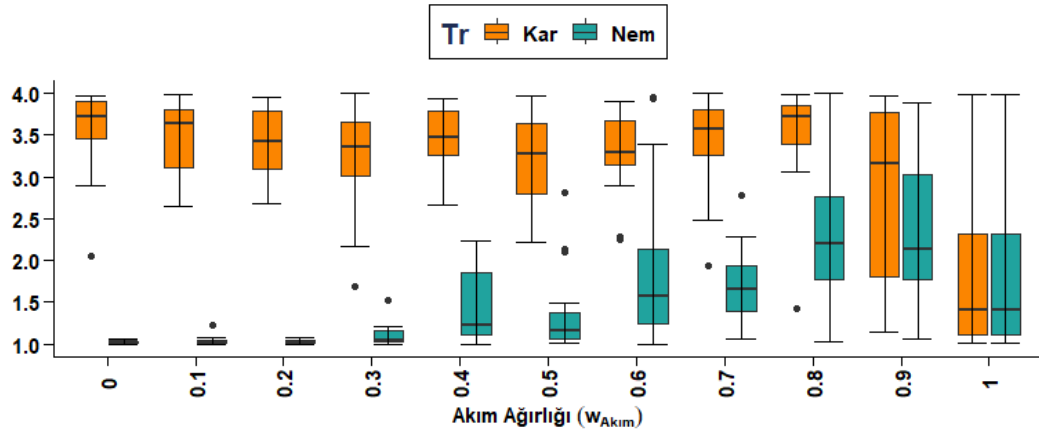
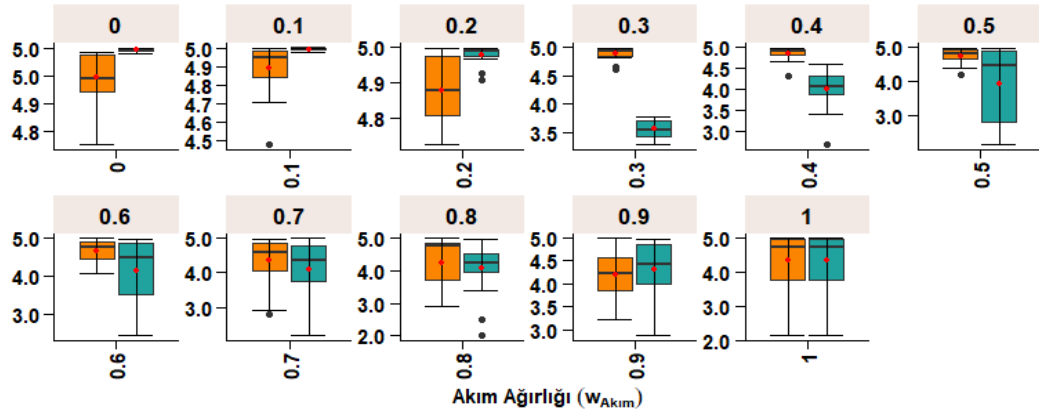
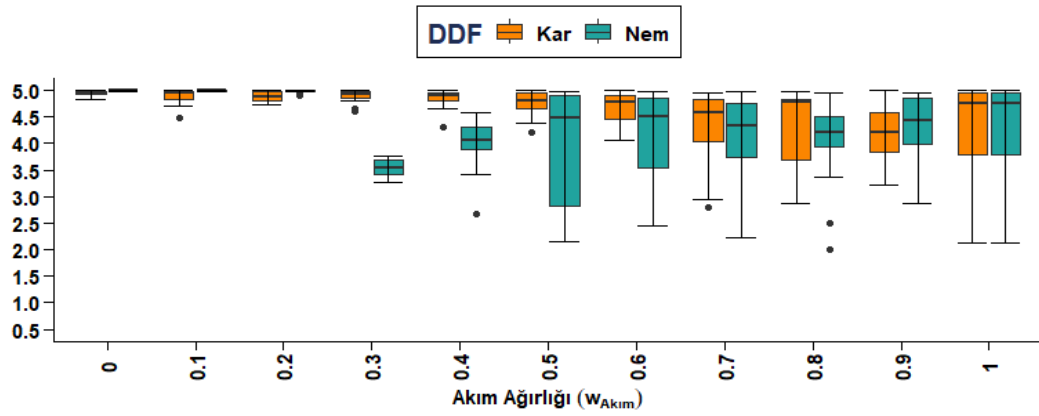


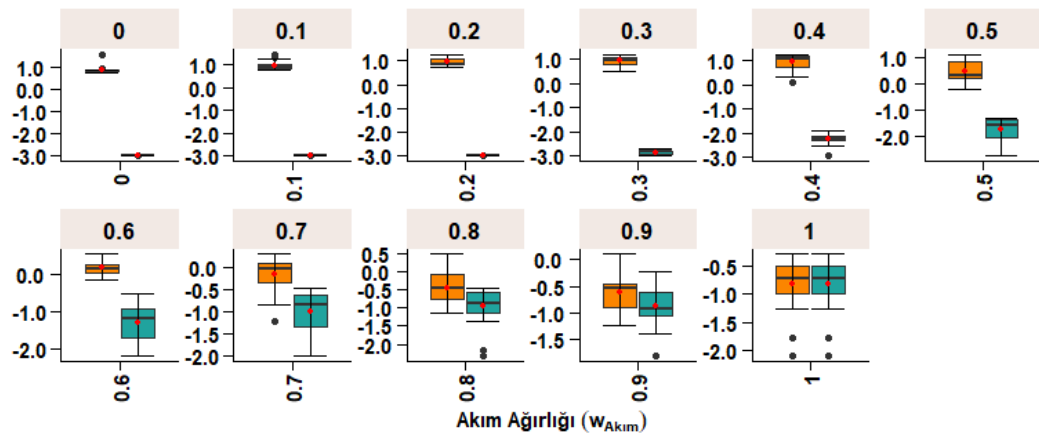
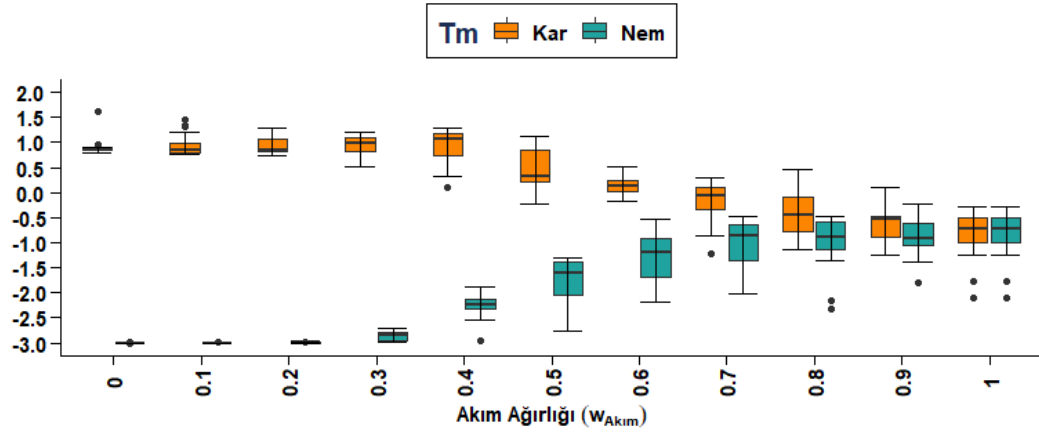
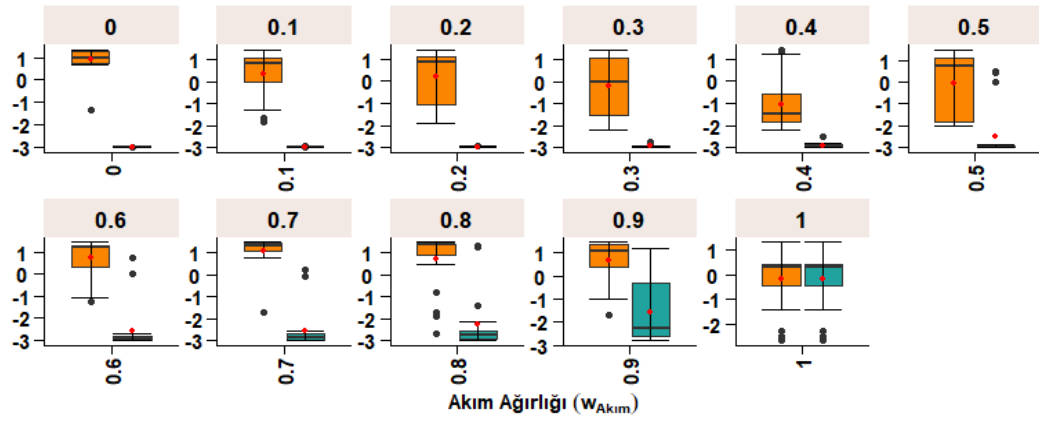
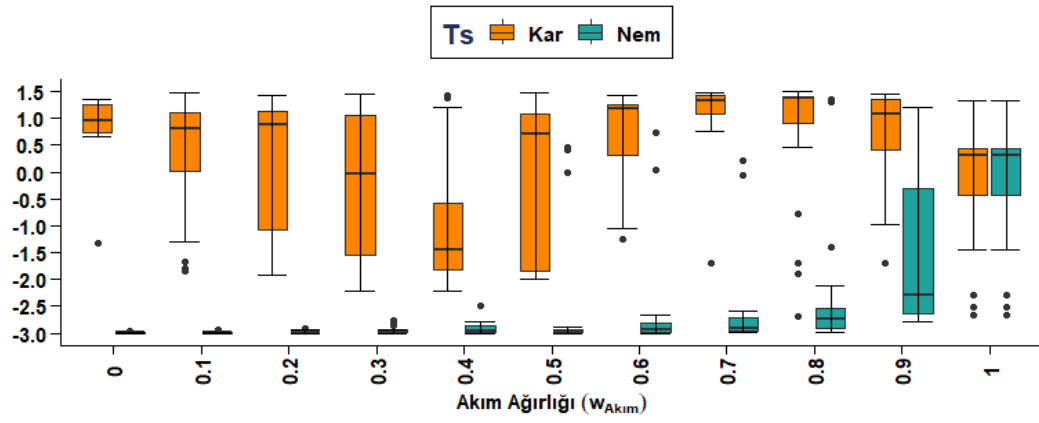


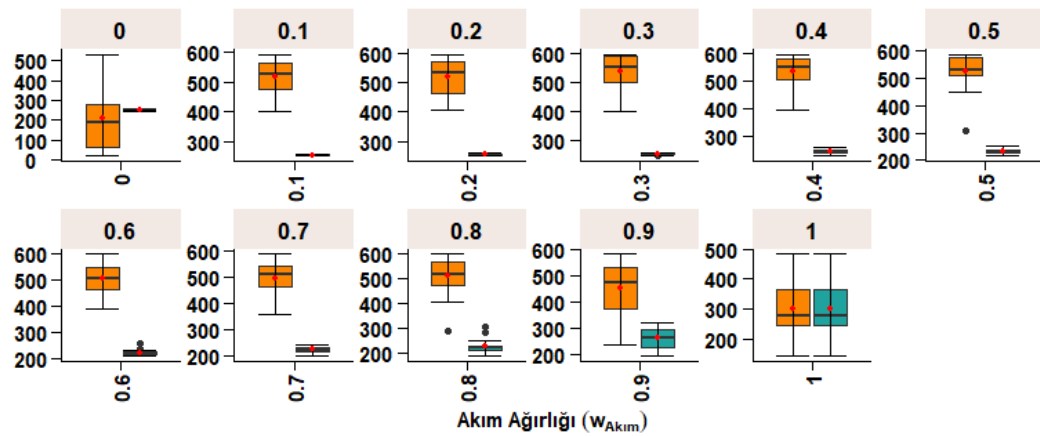
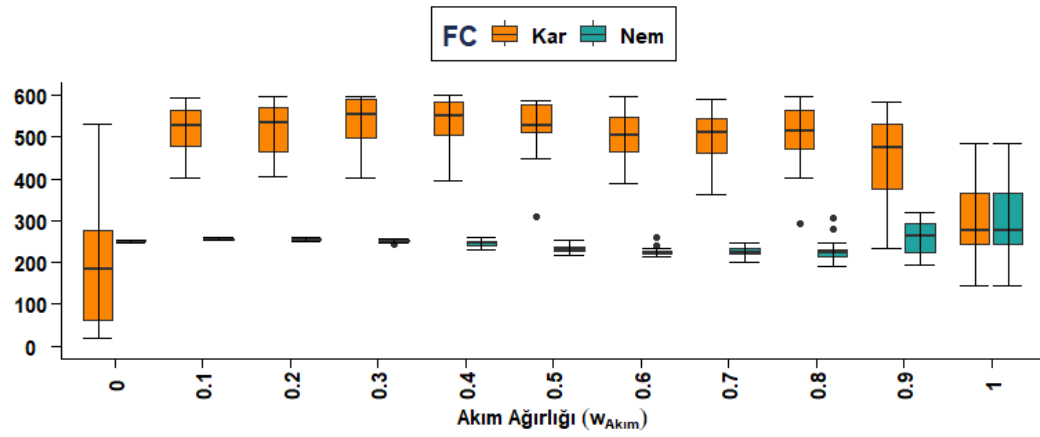
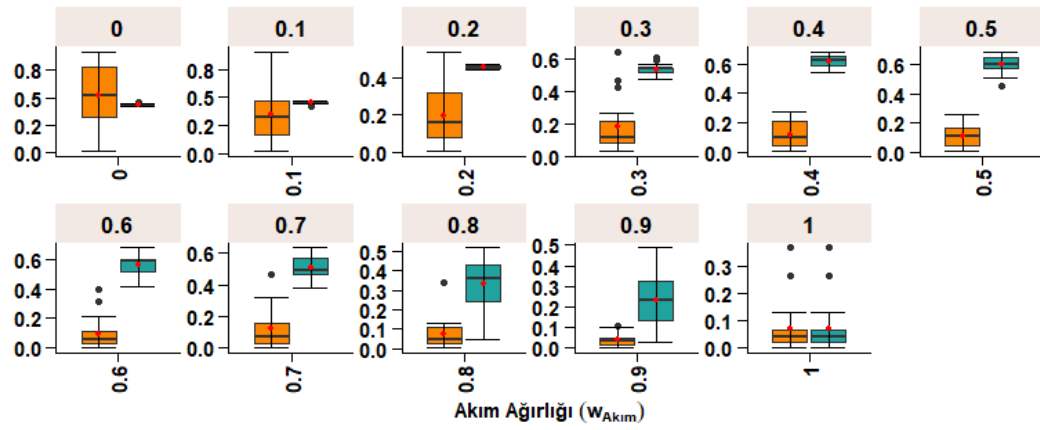
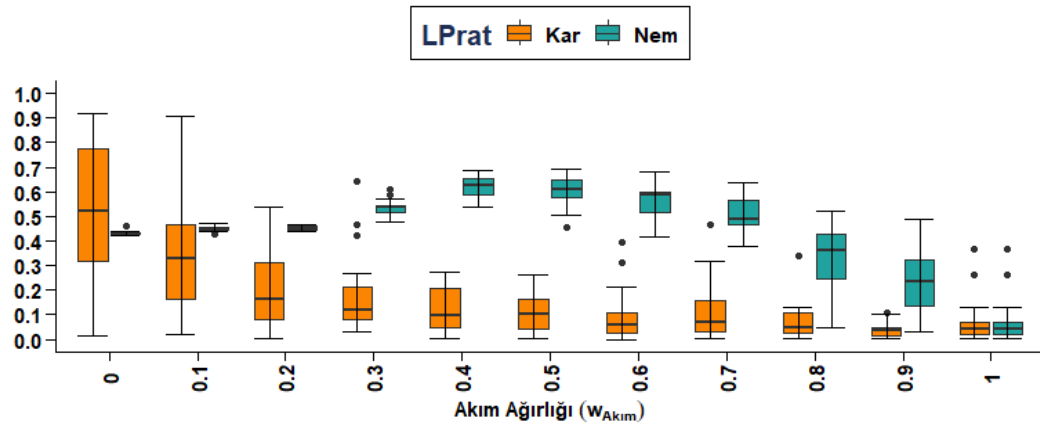


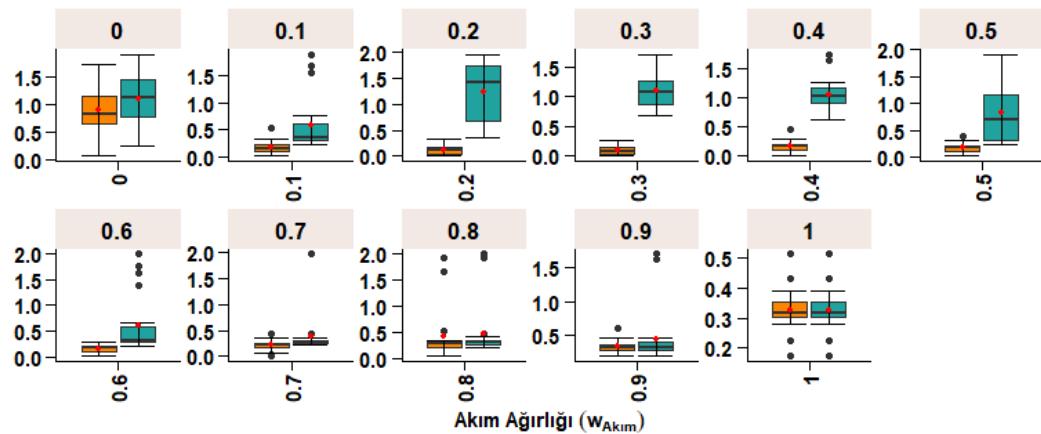
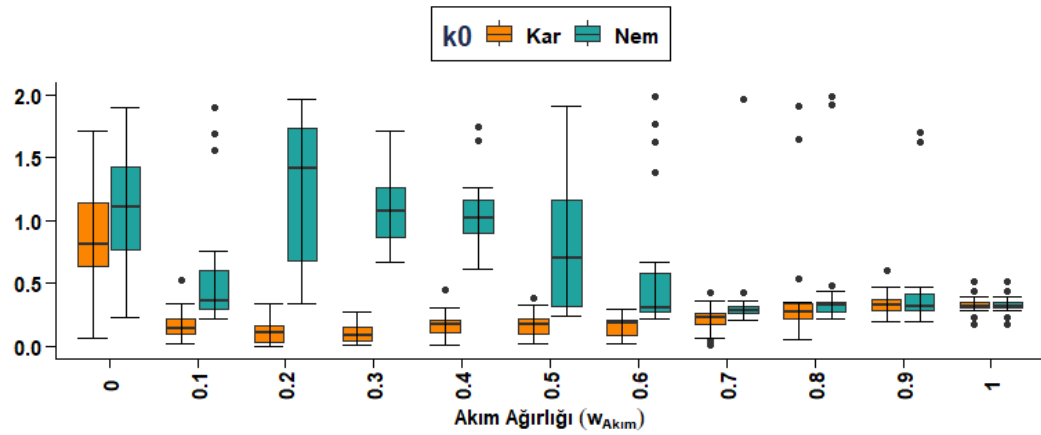
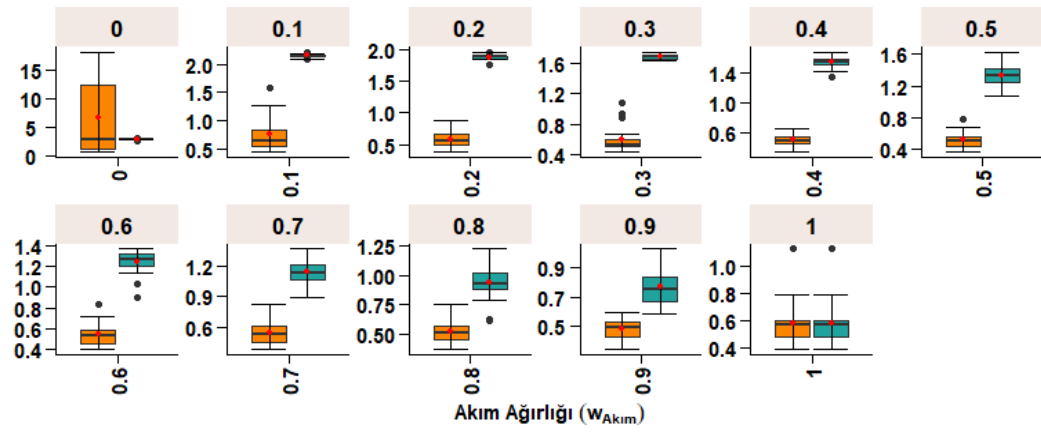
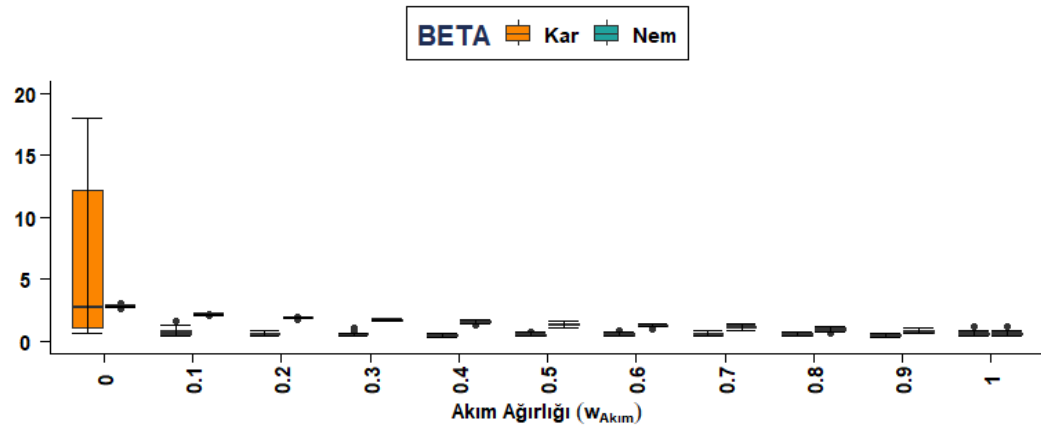
EK-2. Kayabaşı Havzası Akım ve Kar ile Akım ve Toprak Nemi Model Parametre Setleri

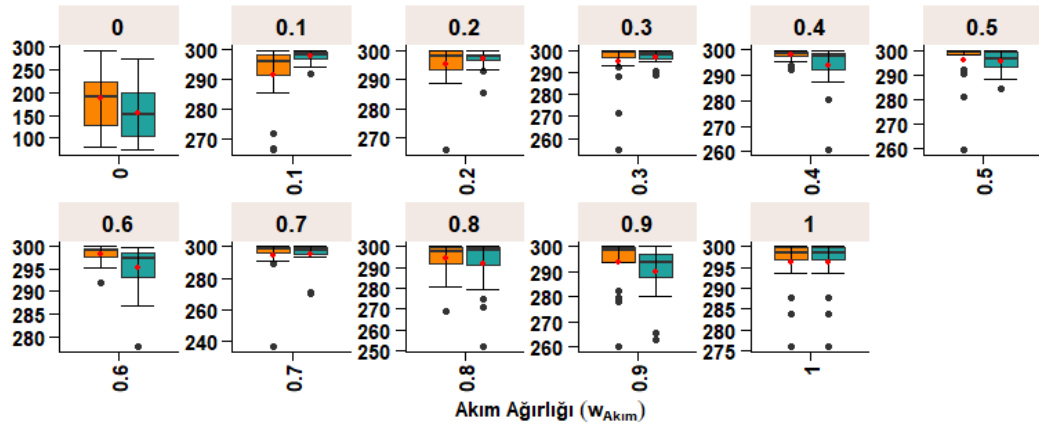
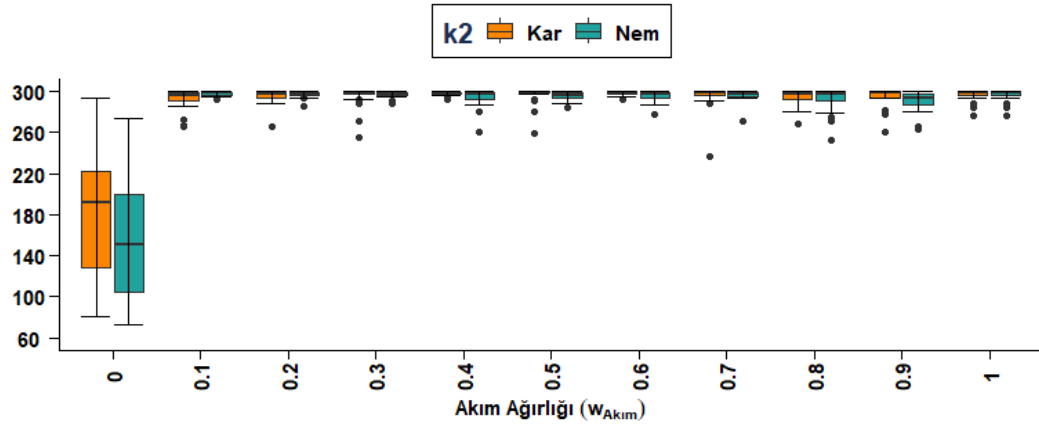
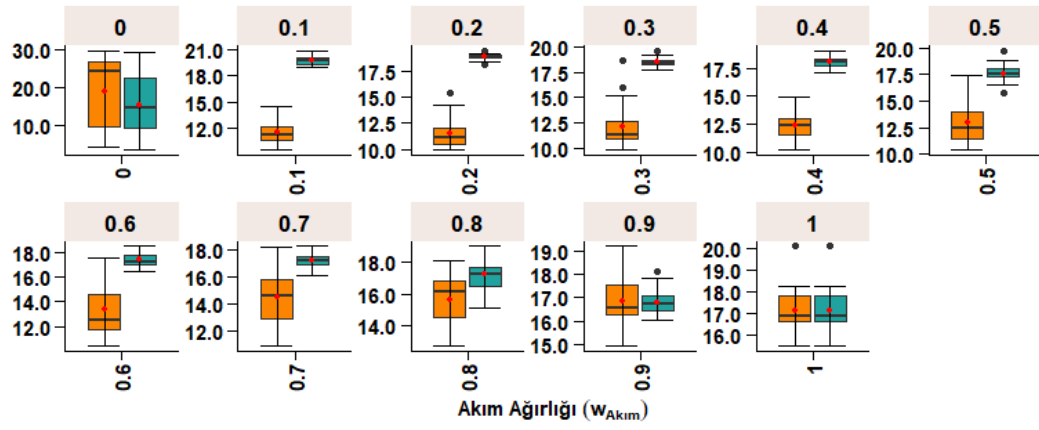
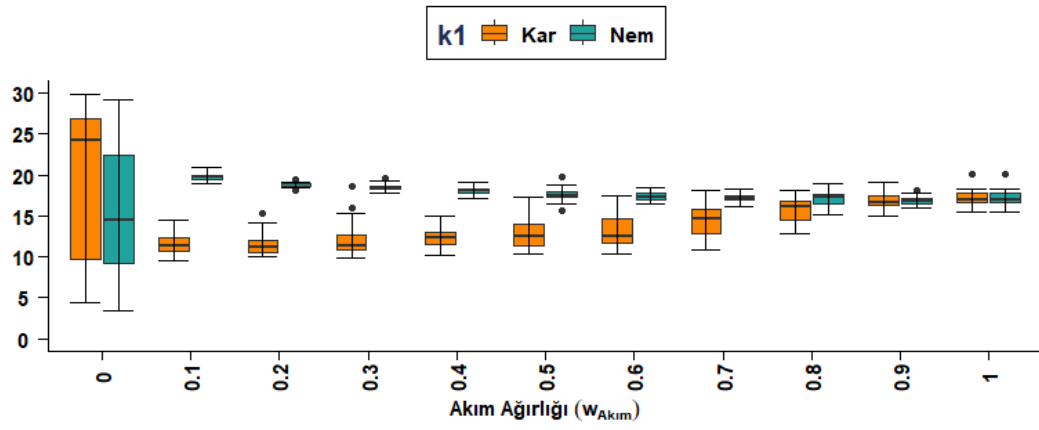


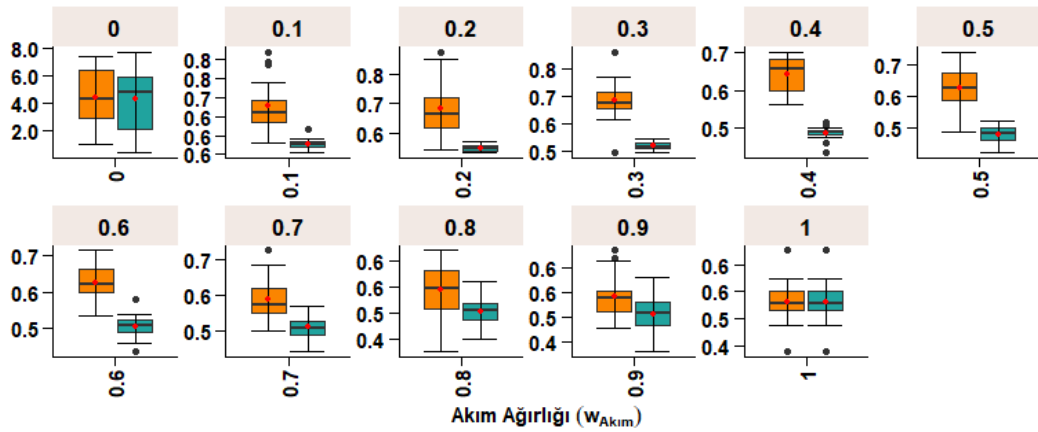
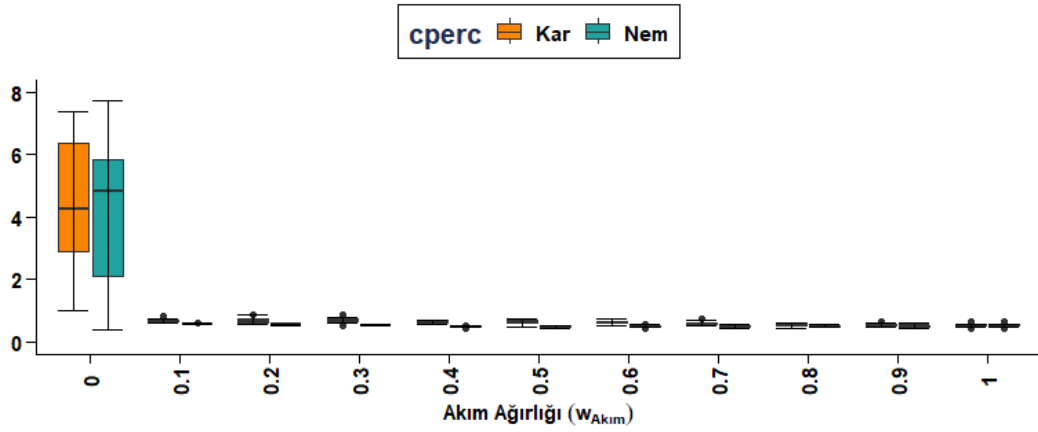
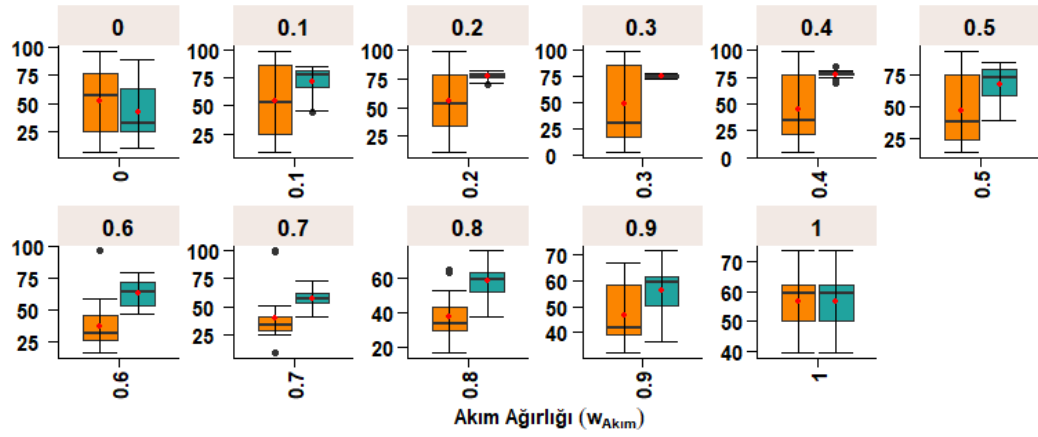
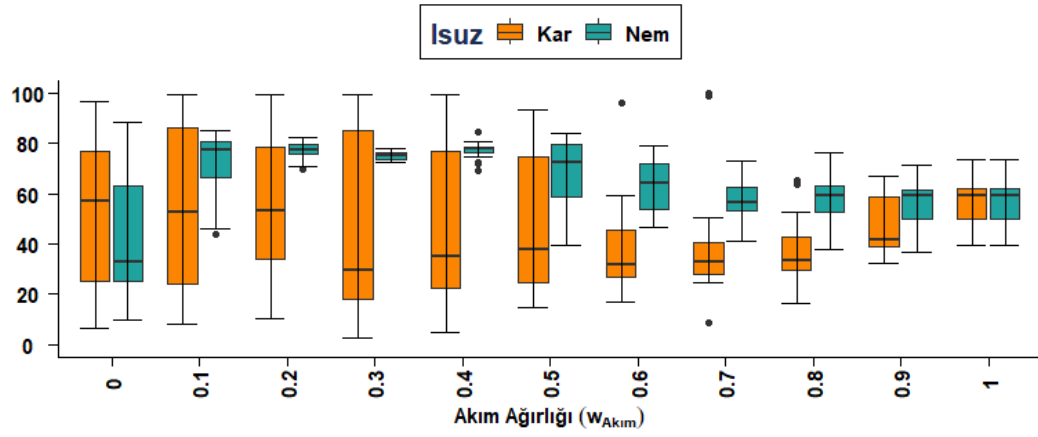


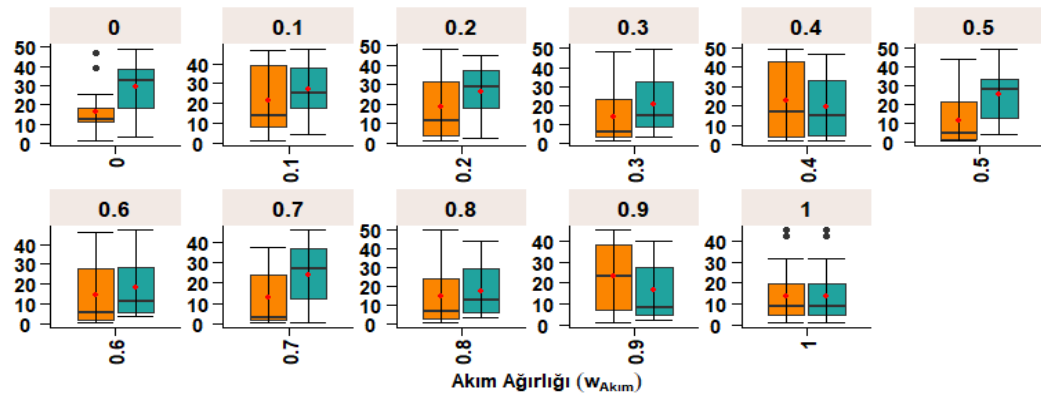
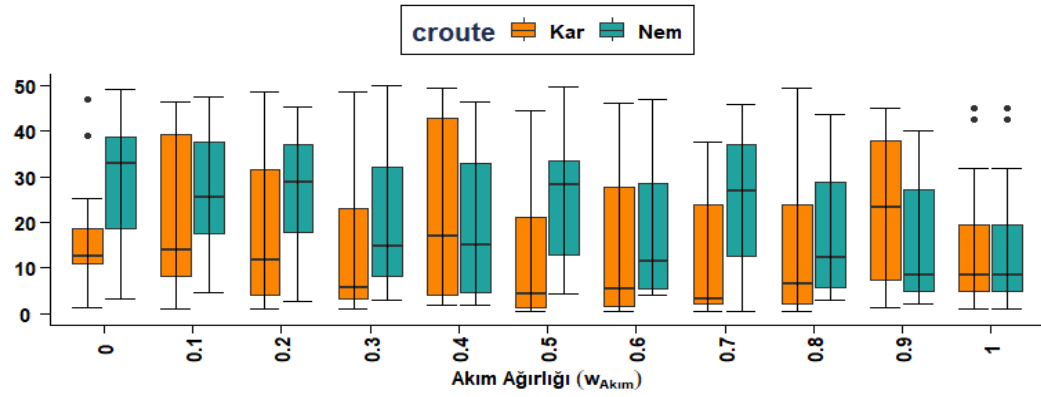
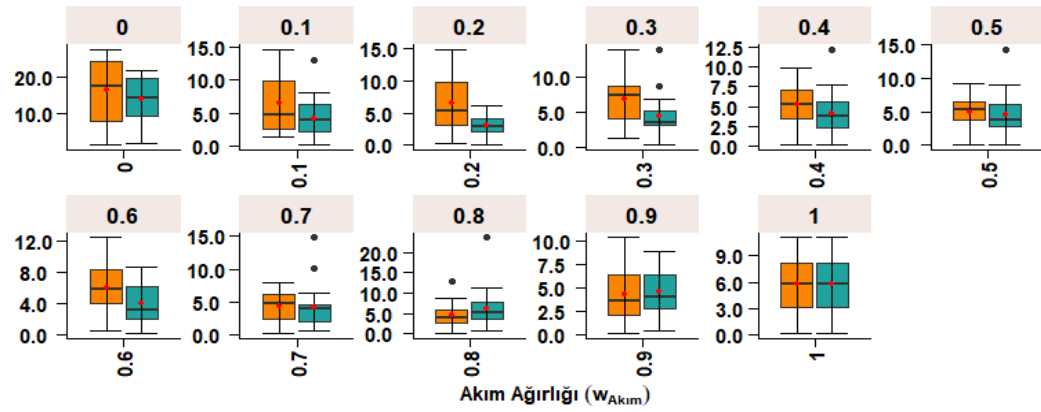
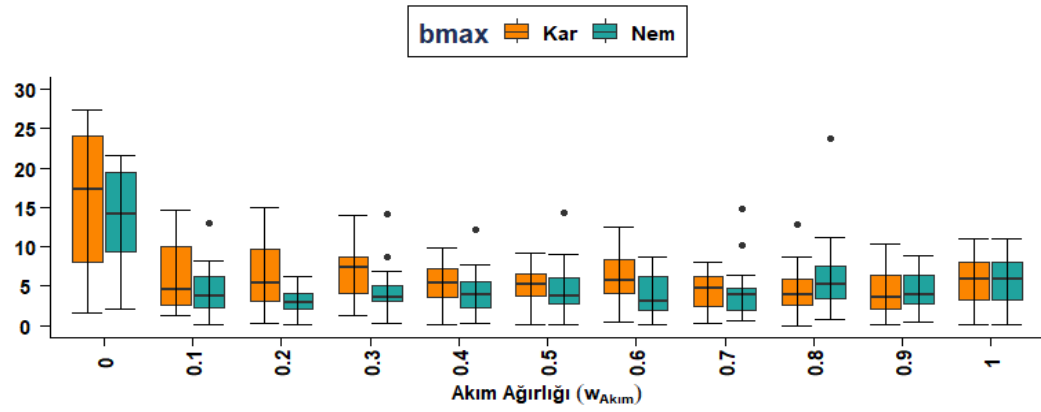




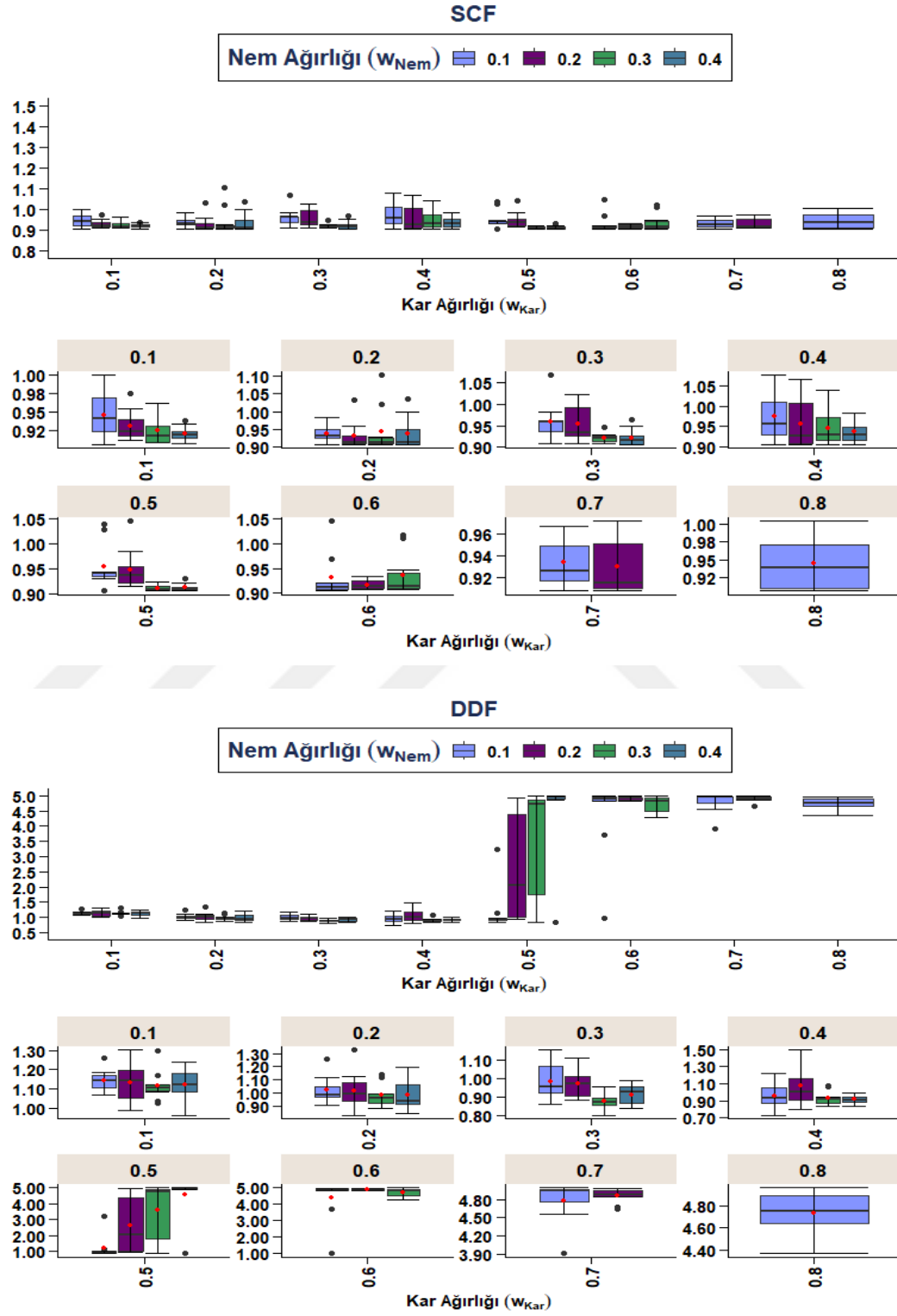






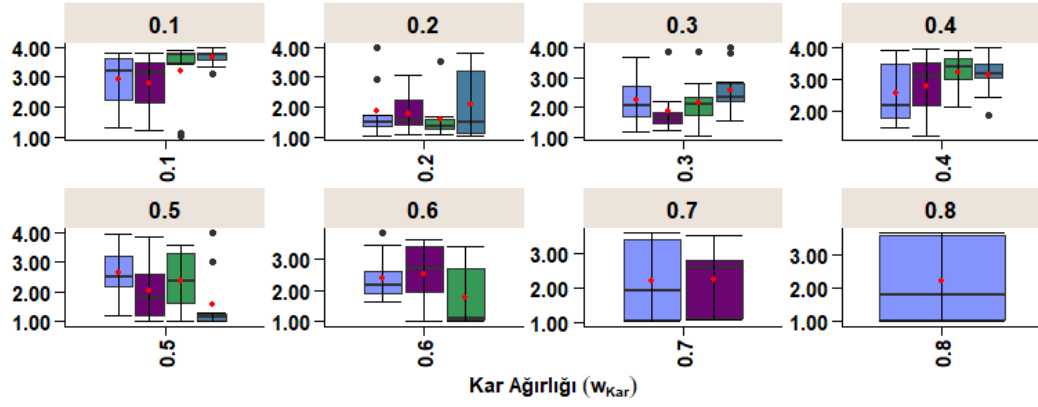
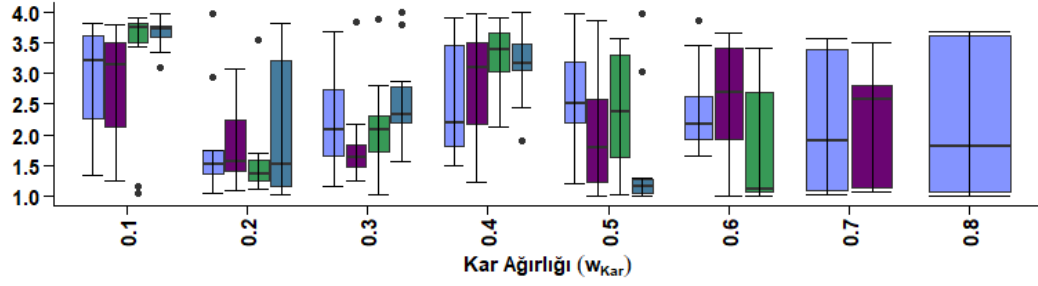


EK-3. Çukurkışla Havzası Akım, Kar ve Toprak Nemi Model Parametre Setleri ($w_{nem} = 0.1 - 0.4$)



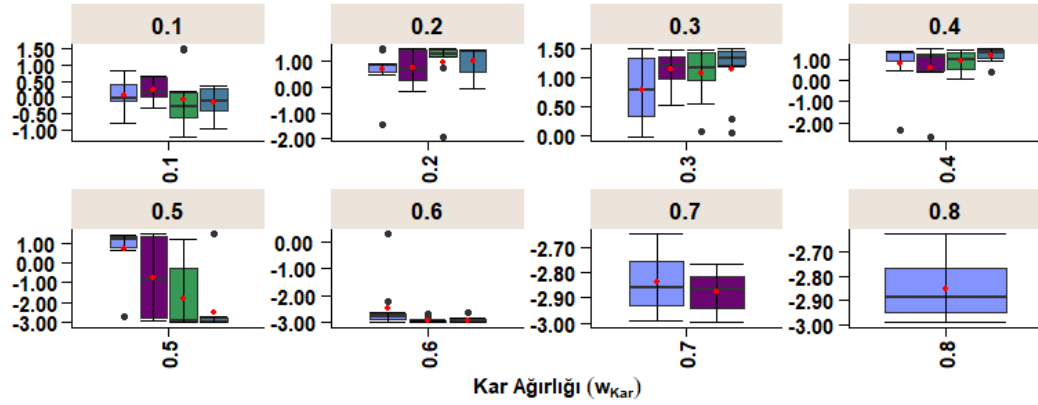
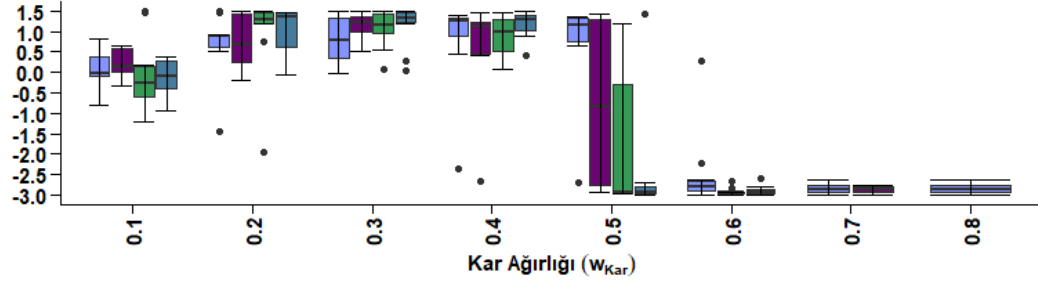
Tr

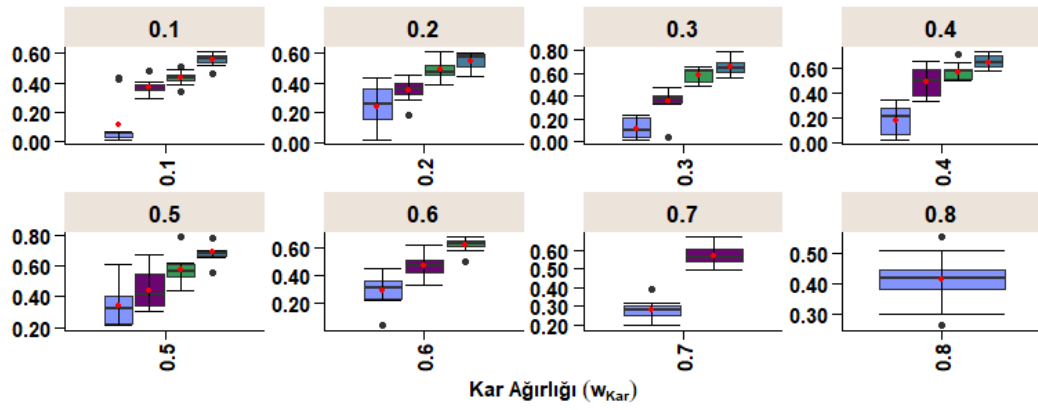
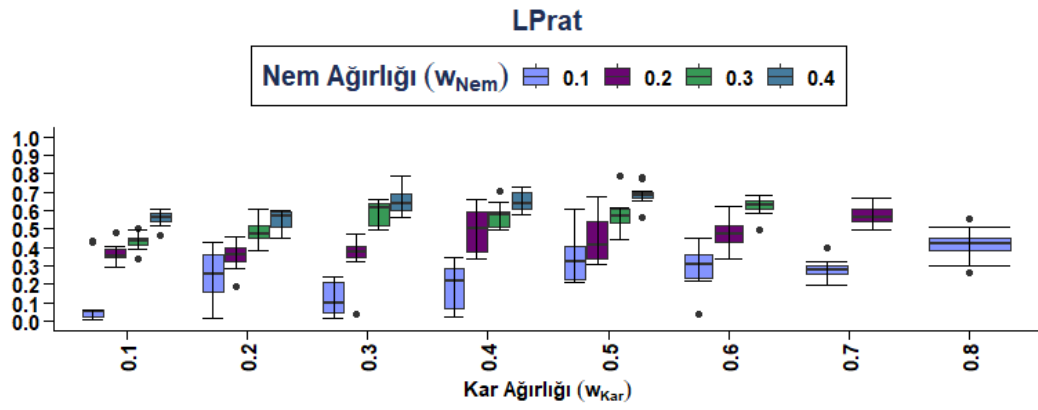
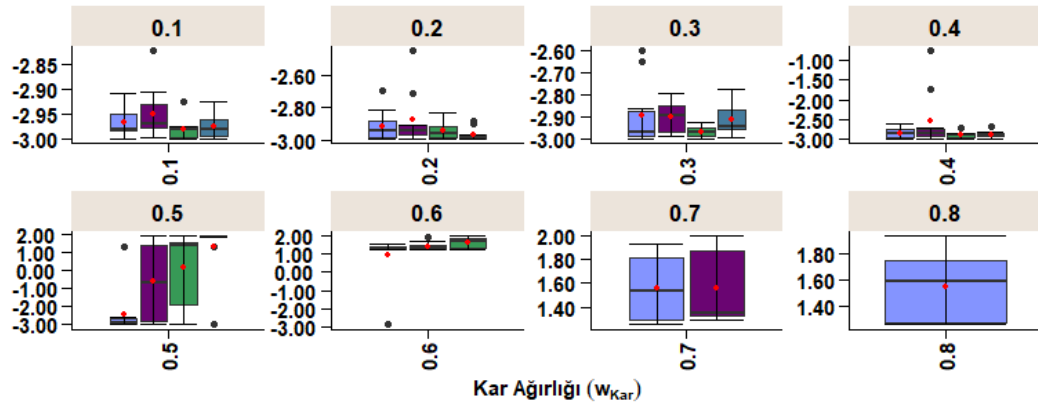
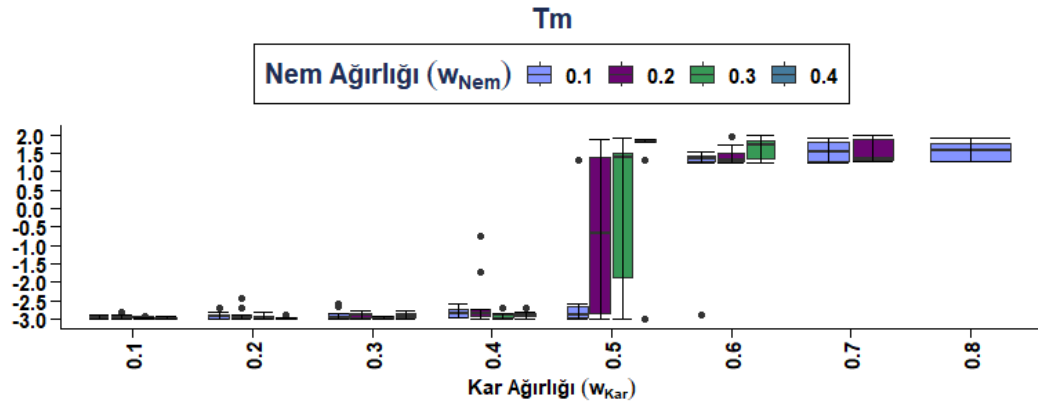
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4



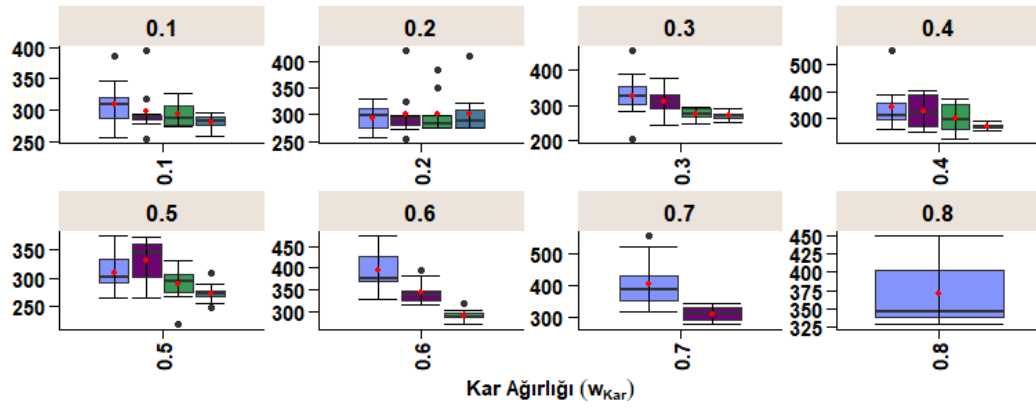
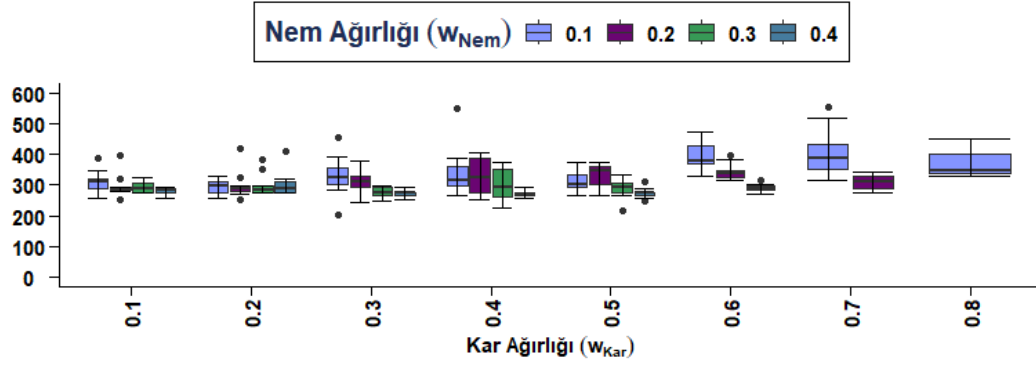
Ts

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4

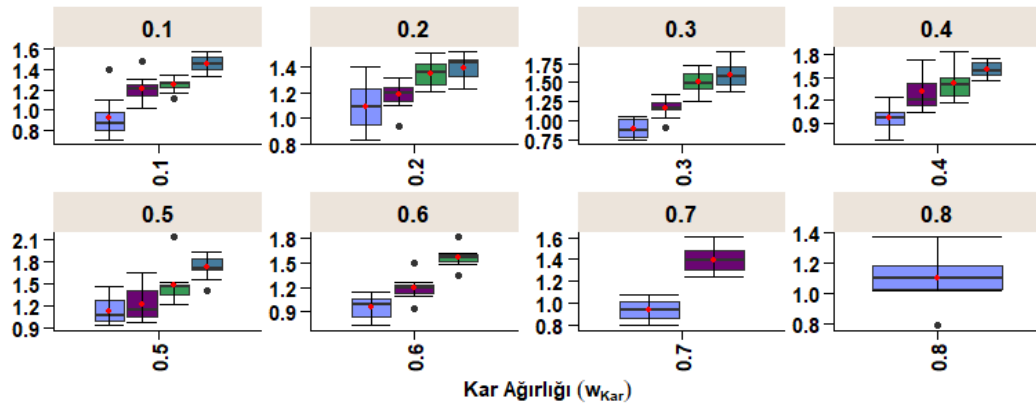
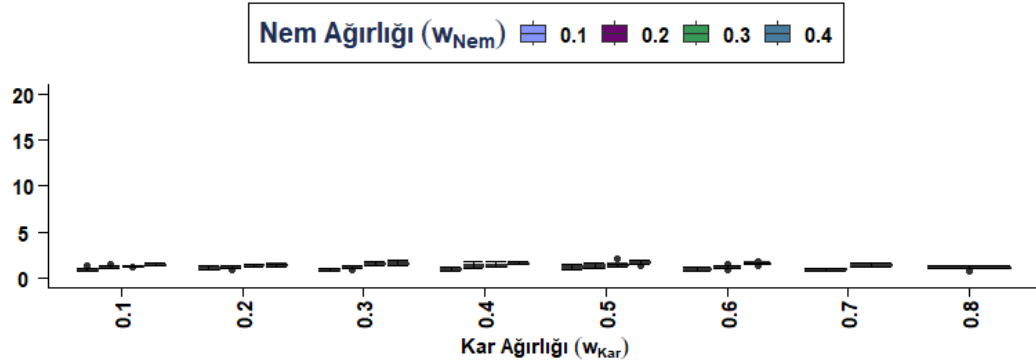




FC



BETA



k0

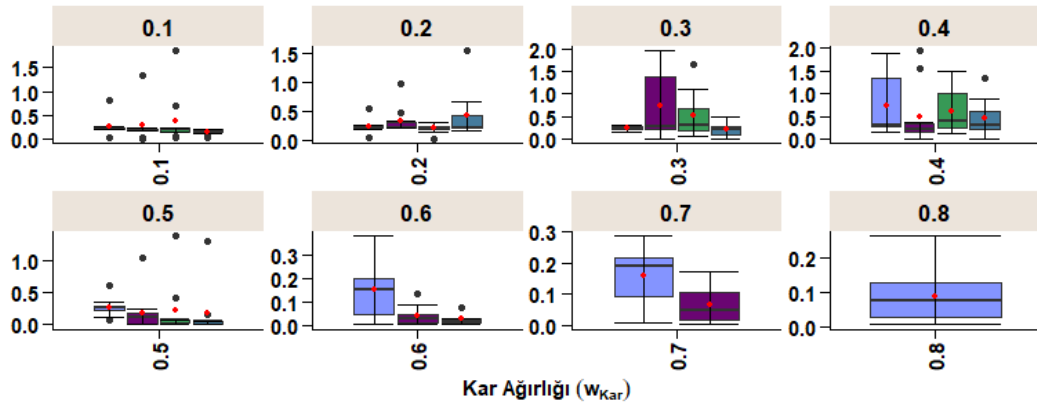
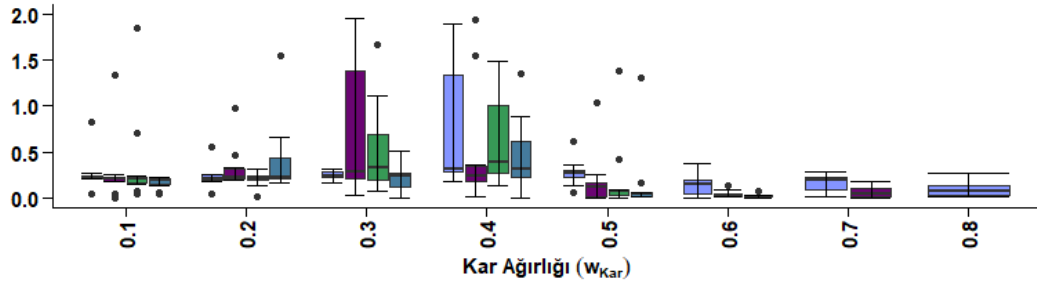
Nem Ağırlığı (w_{Nem})

0.1

0.2

0.3

0.4



k1

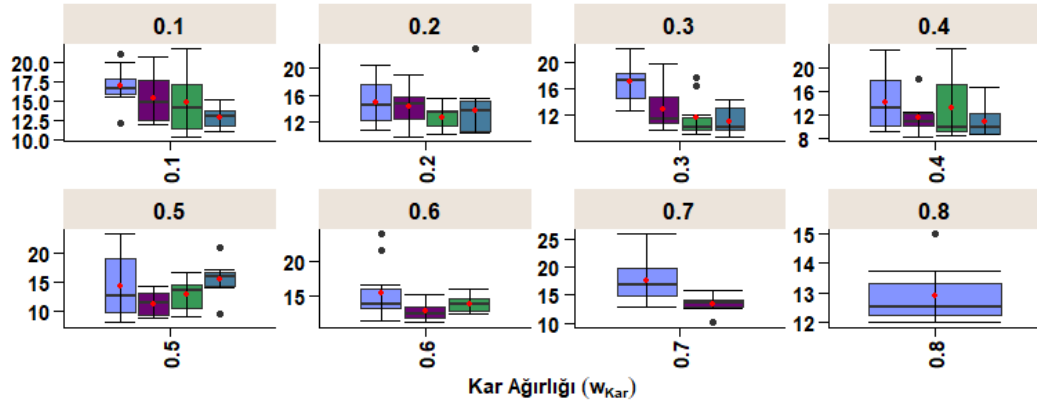
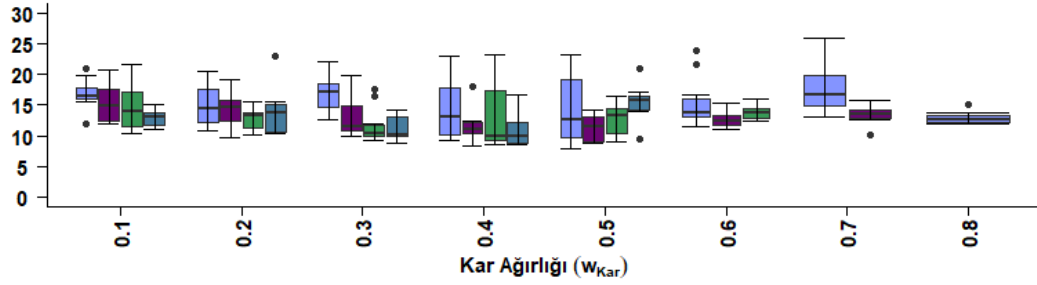
Nem Ağırlığı (w_{Nem})

0.1

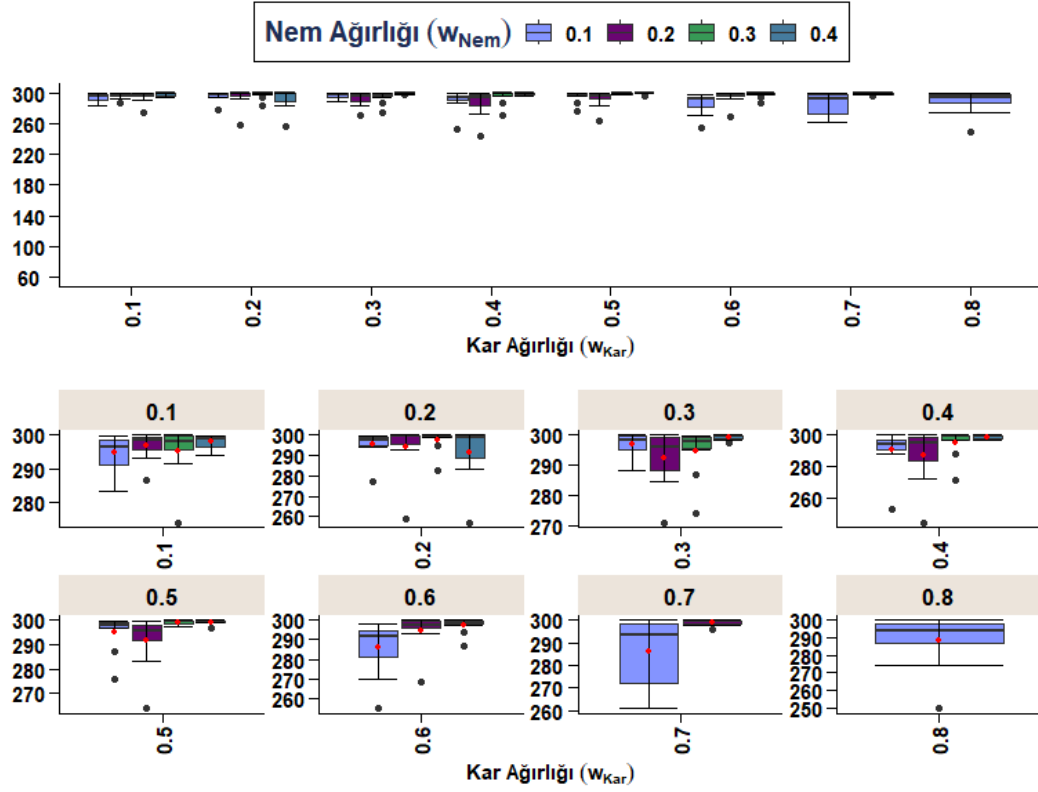
0.2

0.3

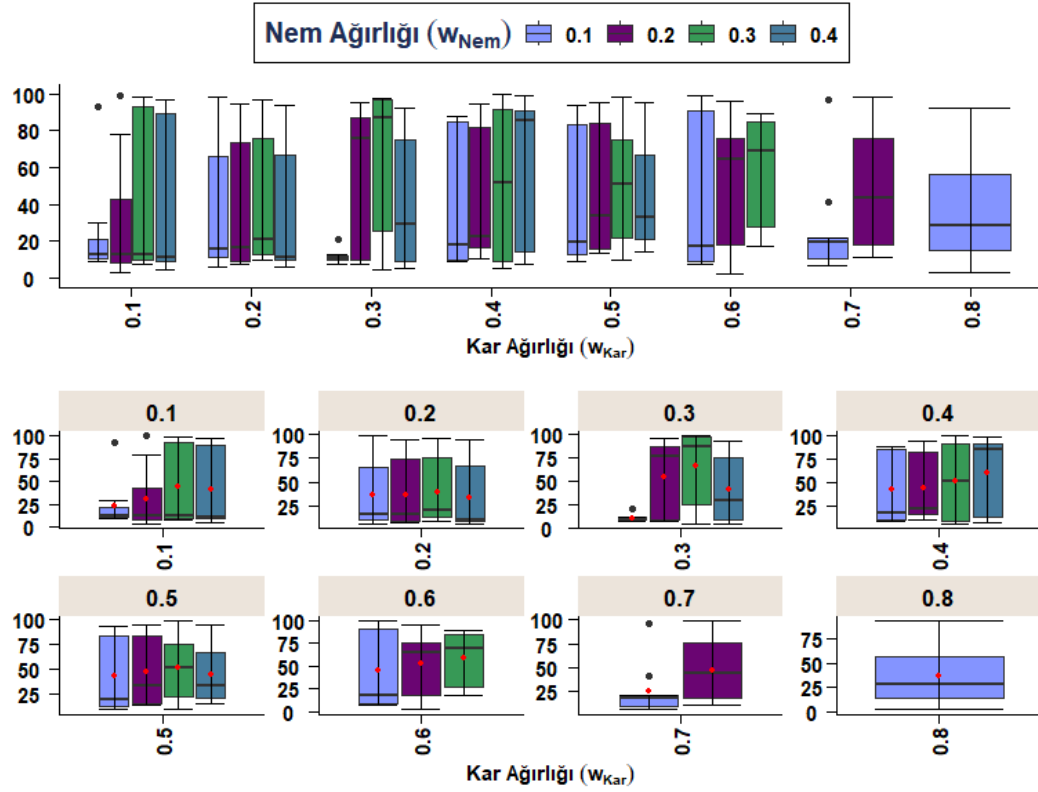
0.4



k2

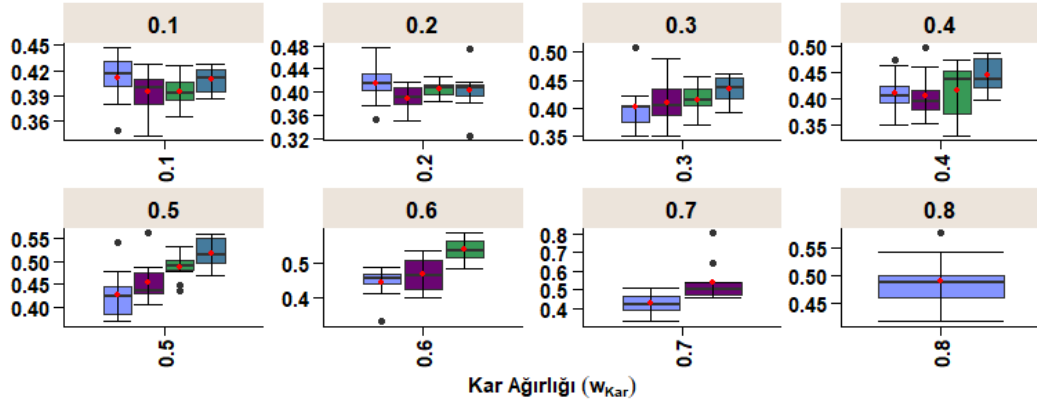
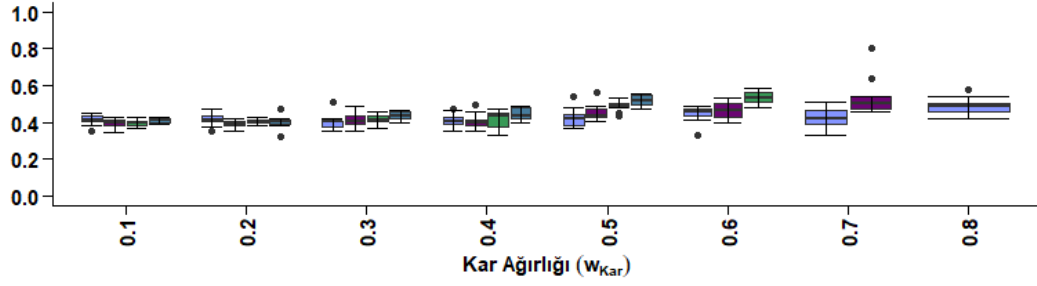


Isuz



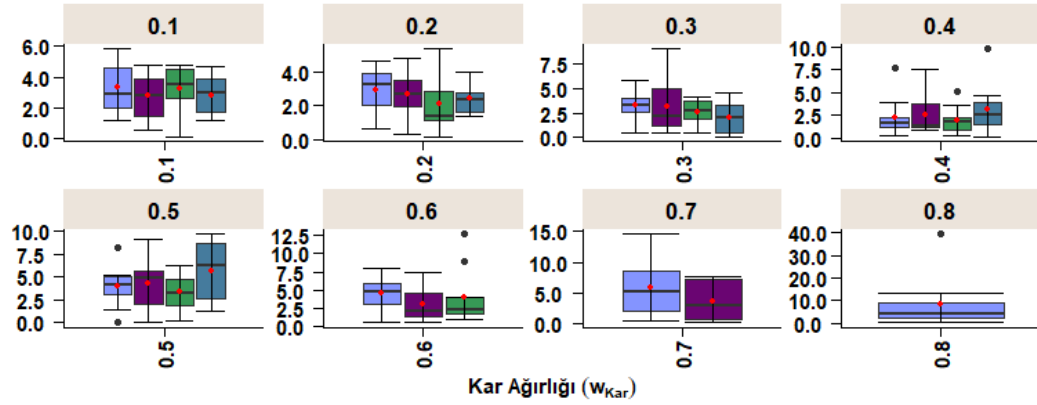
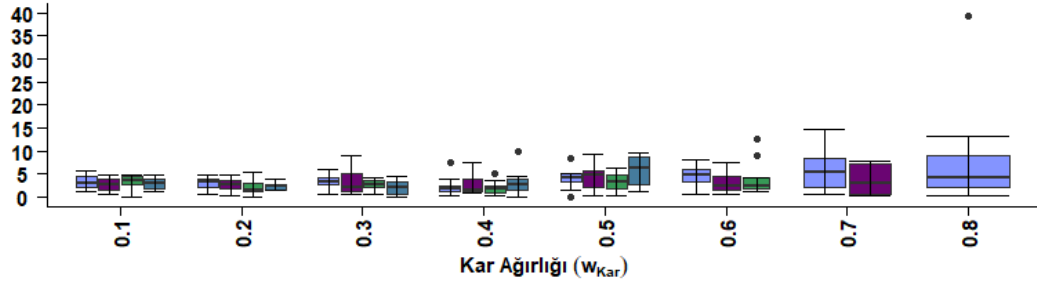
cperc

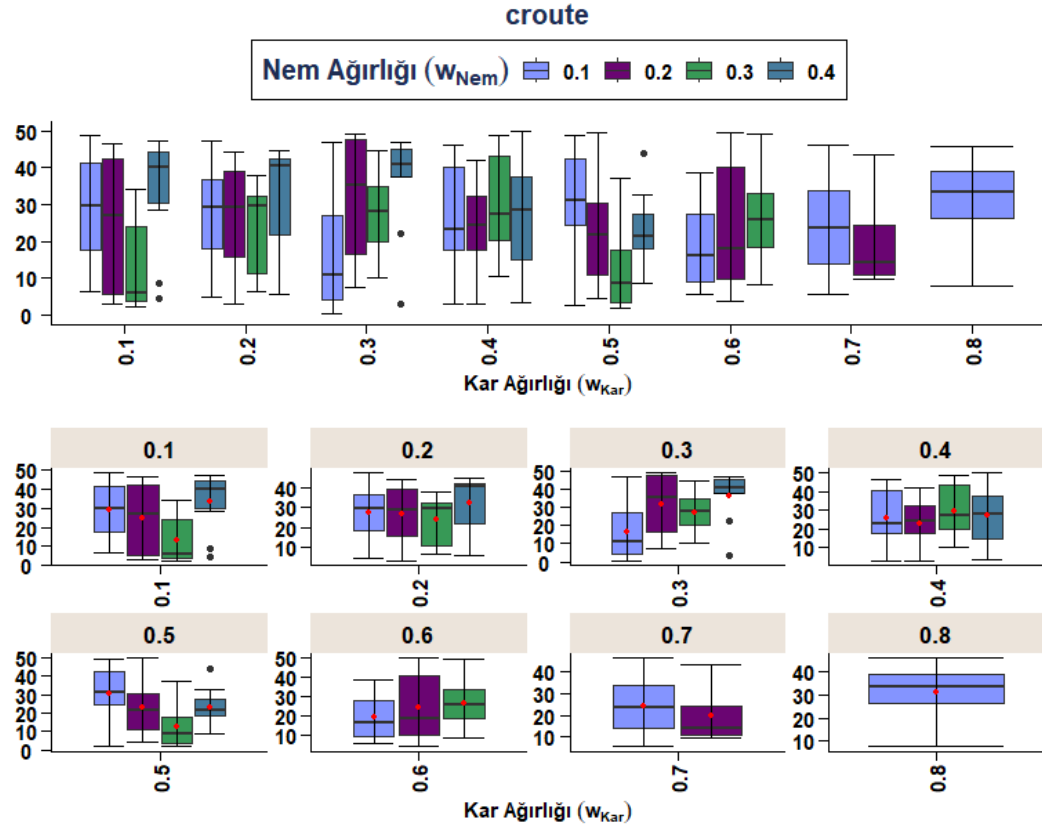
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4



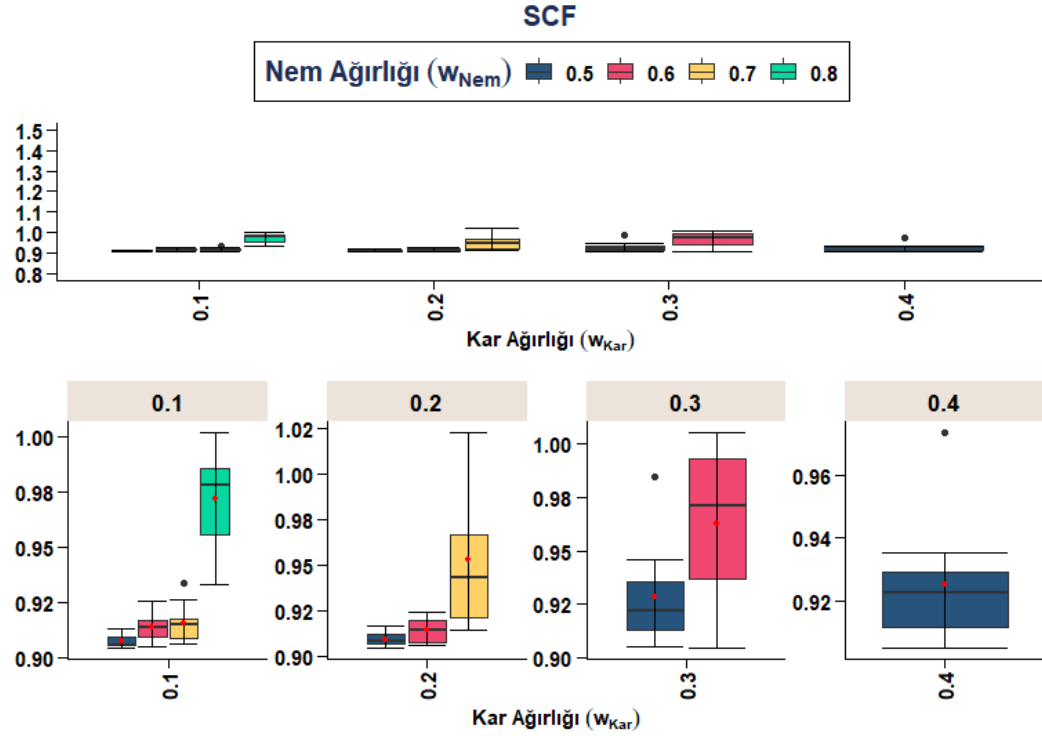
bmax

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4





EK-4. Çukurkışla Havzası Akım, Kar ve Toprak Nemi Model Parametre Setleri ($w_{nem} = 0.5 - 0.8$)



DDF

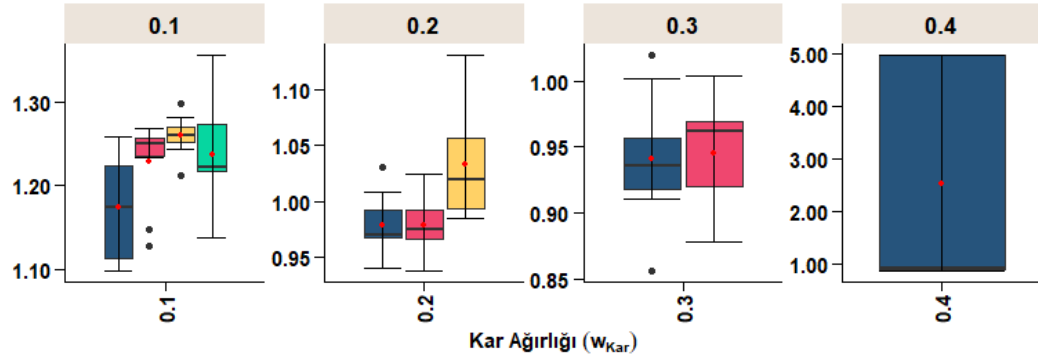
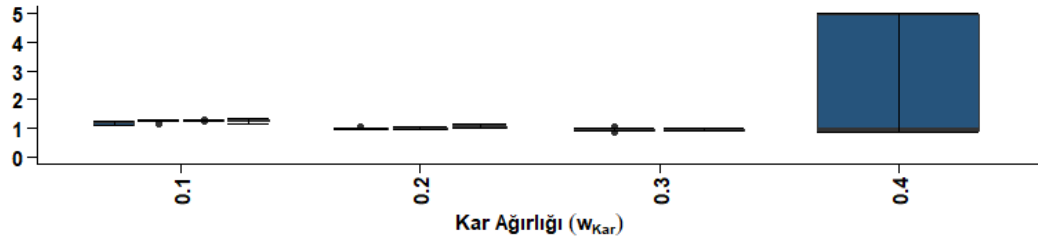
Nem Ağırlığı (w_{Nem})

0.5

0.6

0.7

0.8



Tr

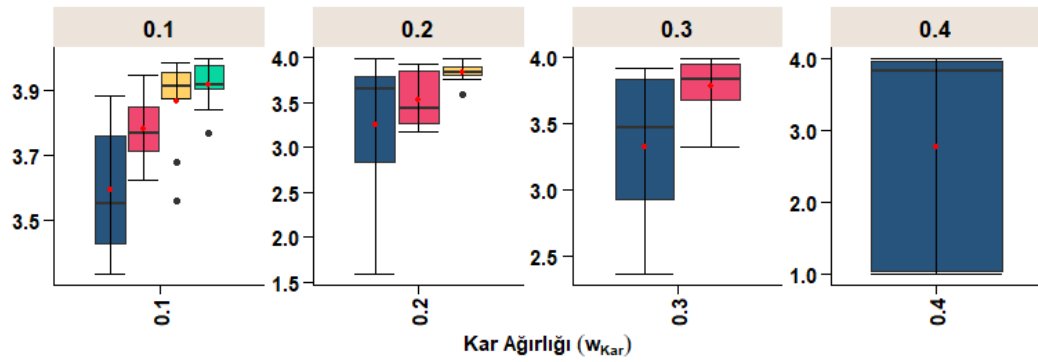
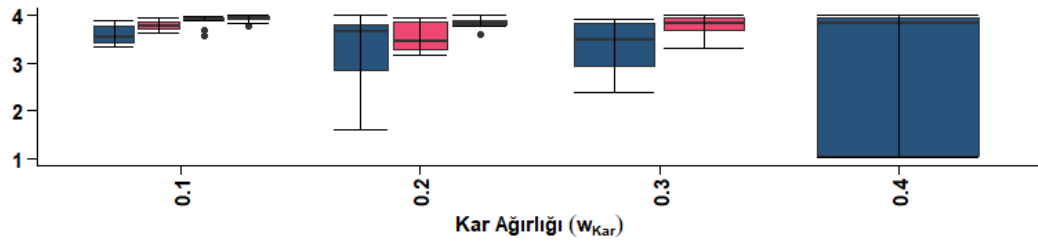
Nem Ağırlığı (w_{Nem})

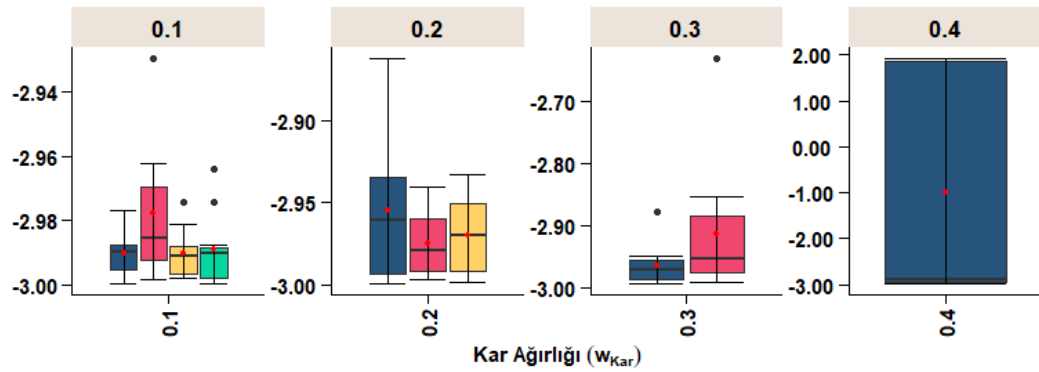
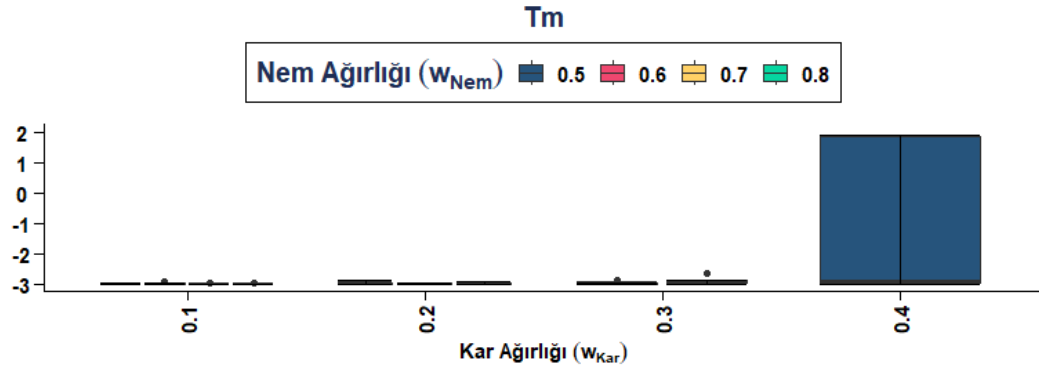
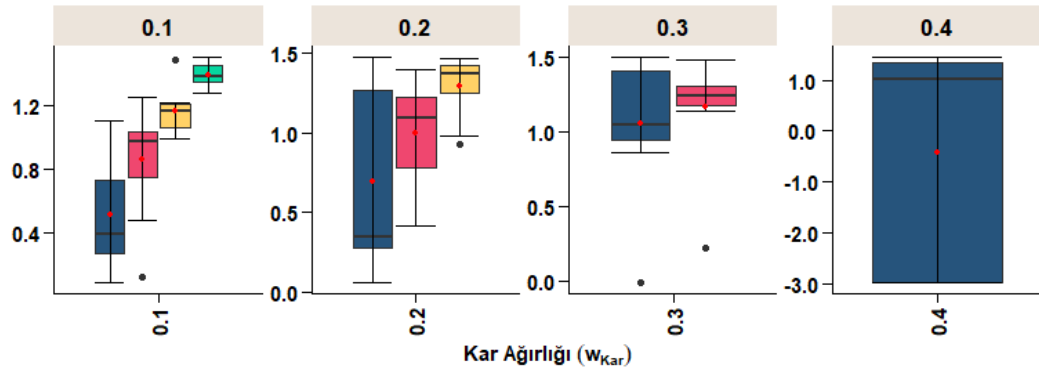
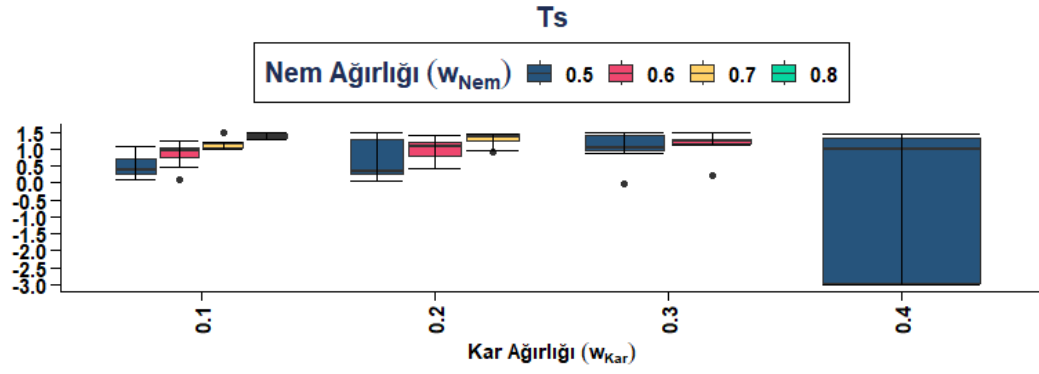
0.5

0.6

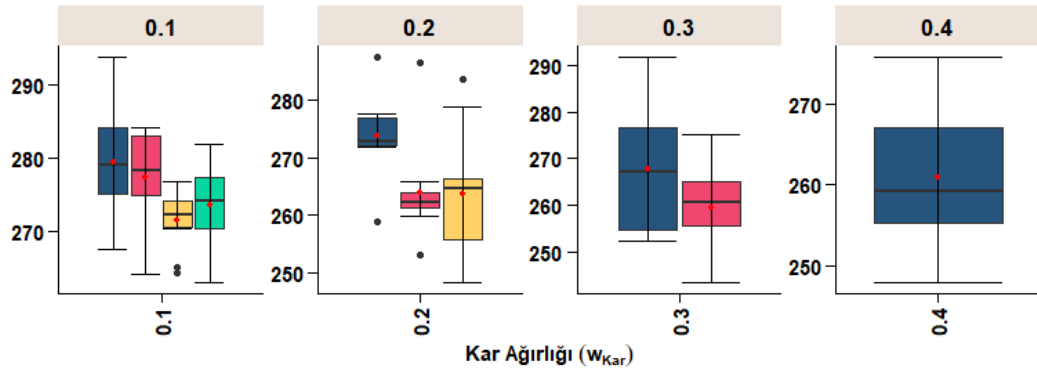
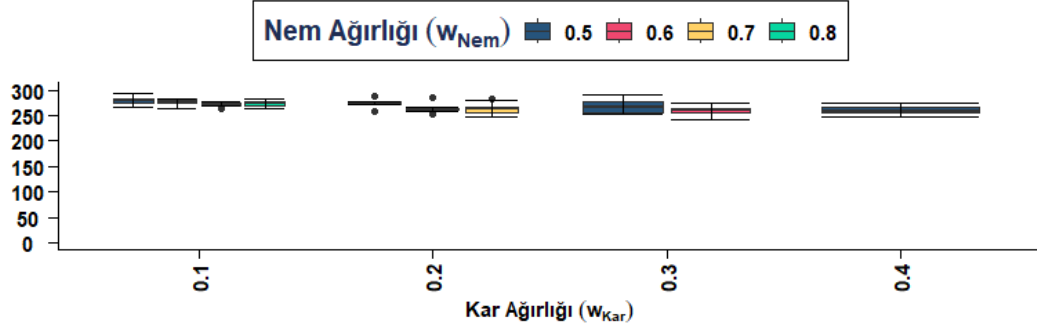
0.7

0.8

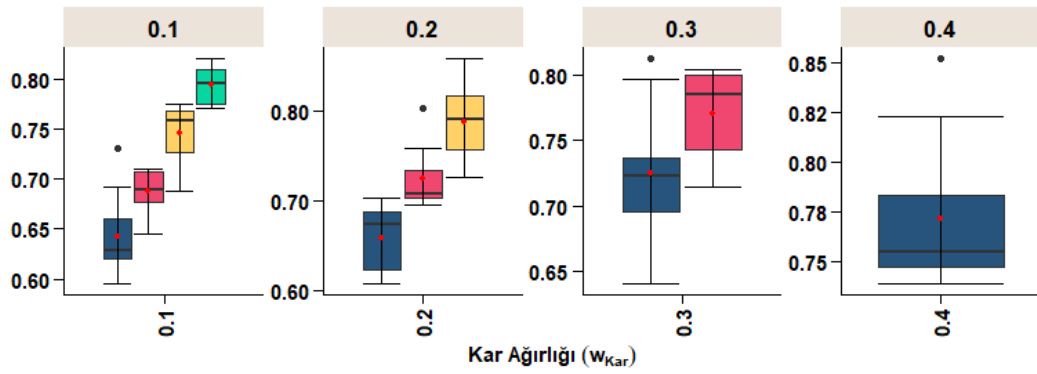
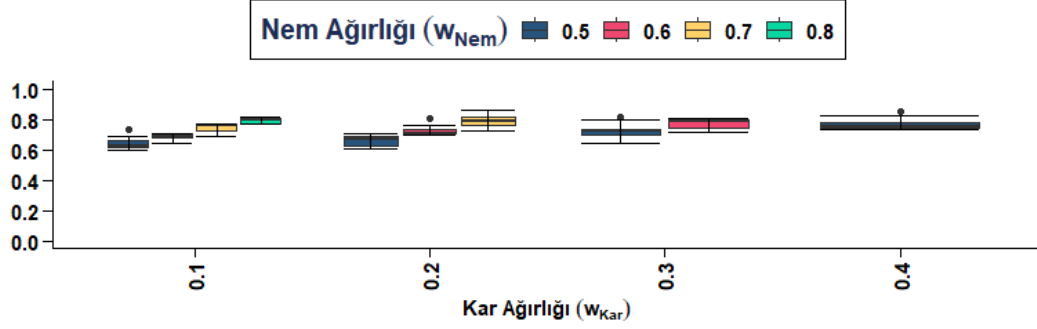




FC

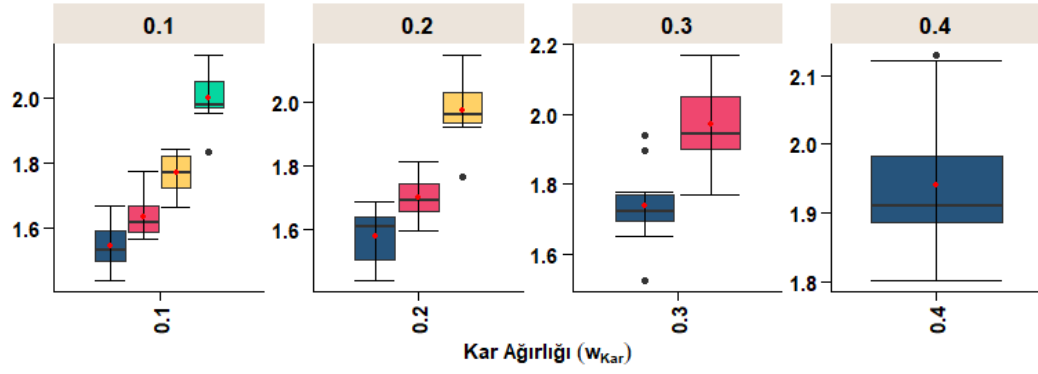
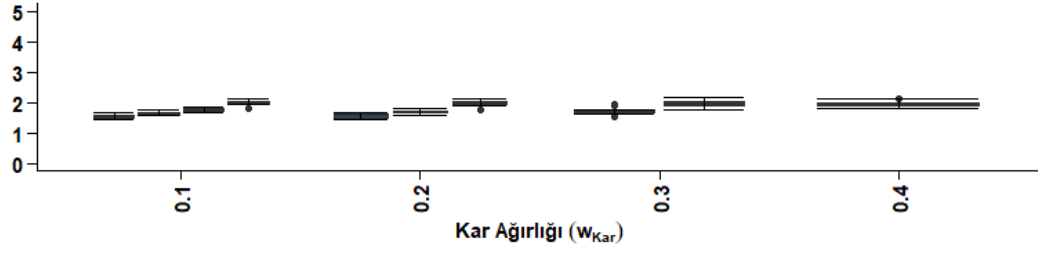


LPrat



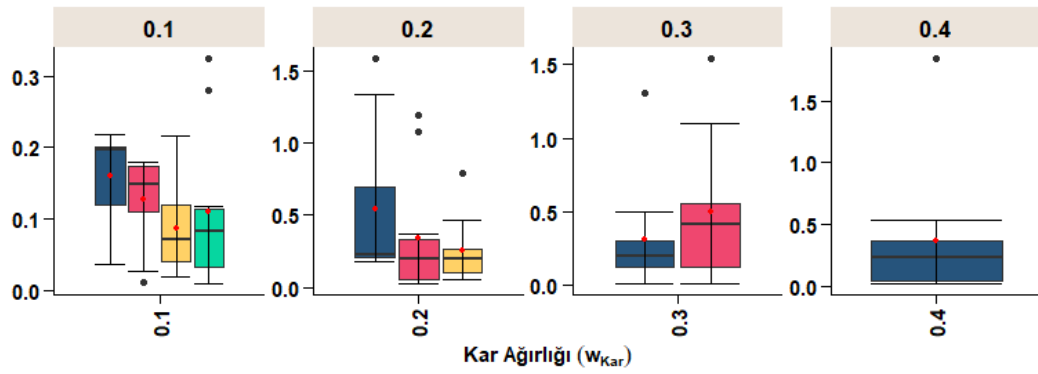
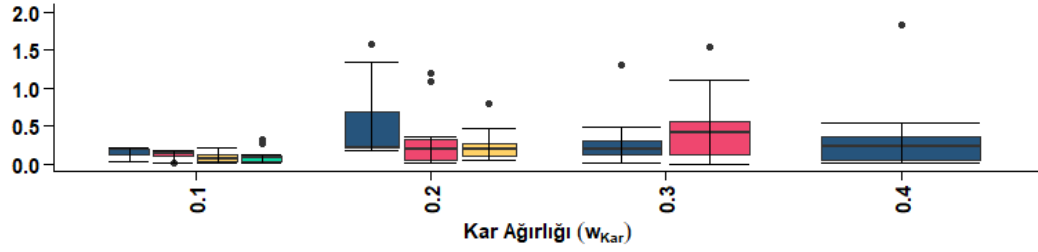
BETA

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8



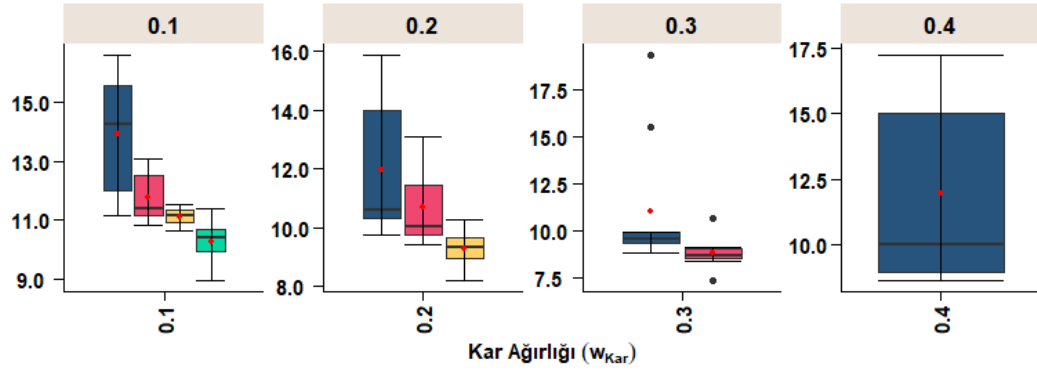
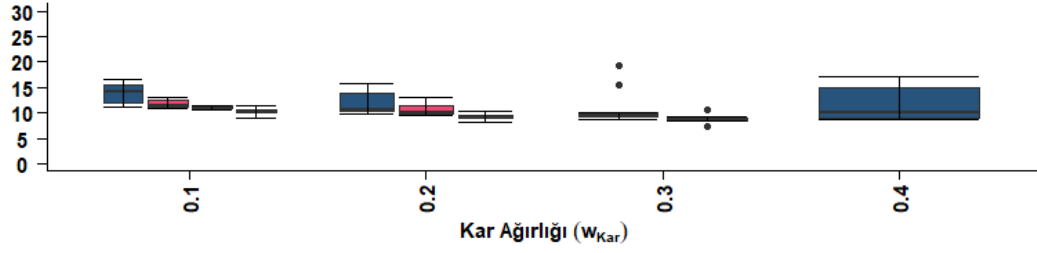
k0

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8



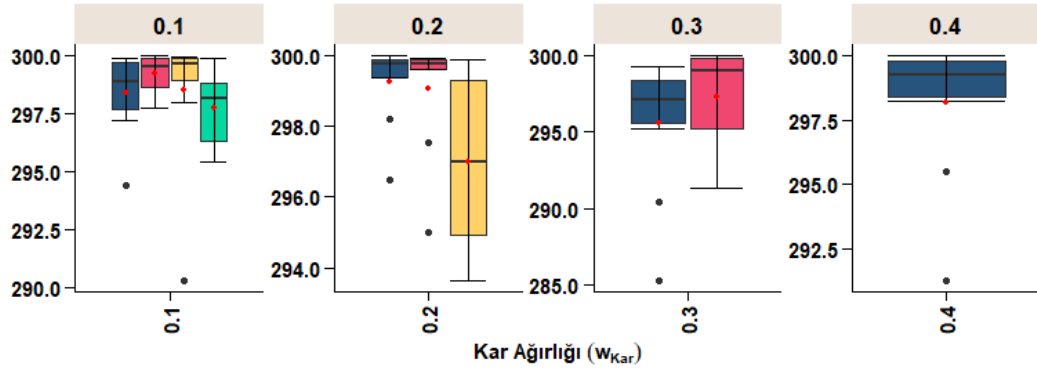
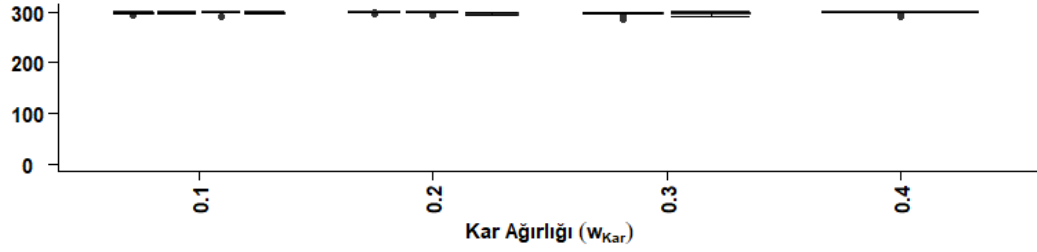
k1

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.5 0.6 0.7 0.8

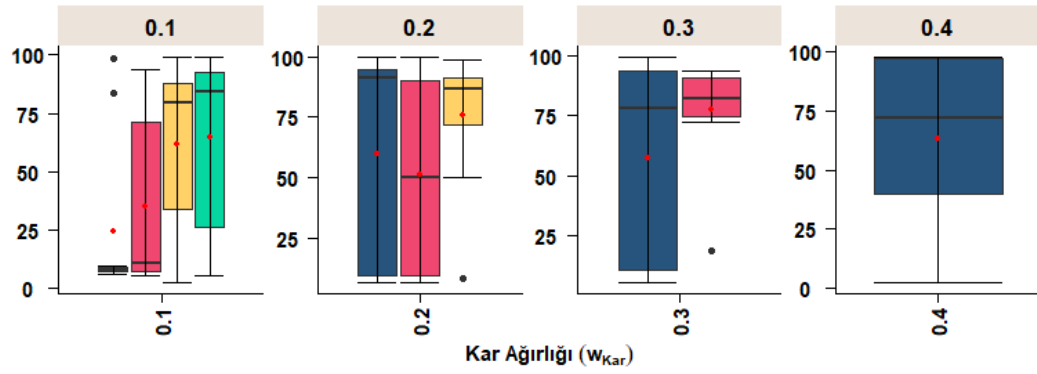
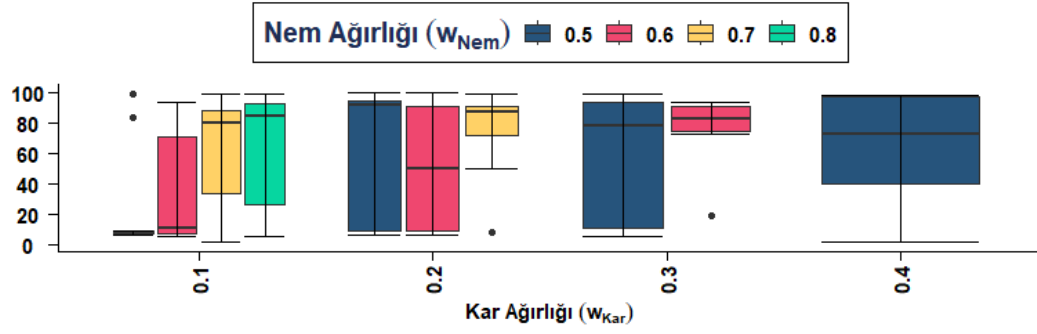


k2

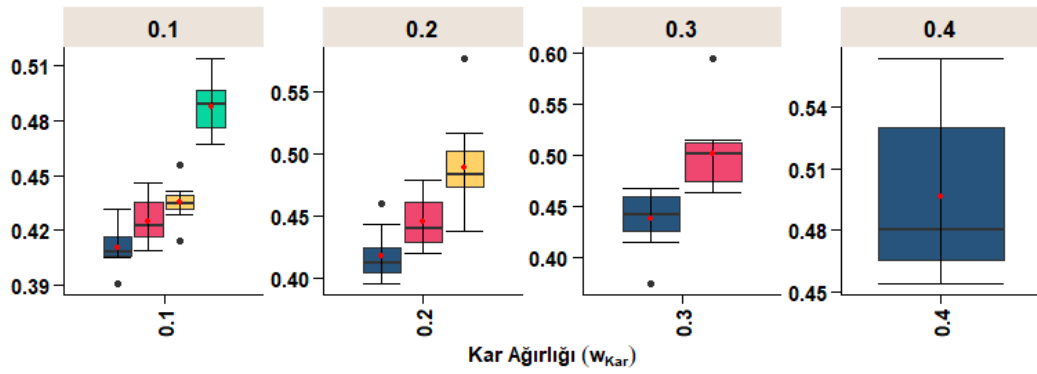
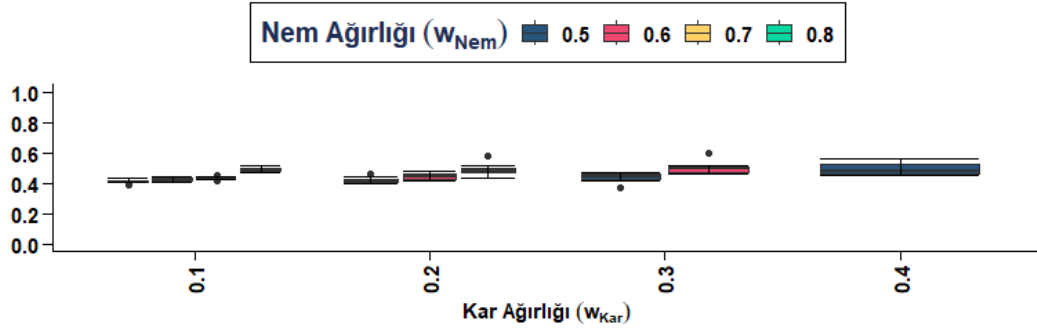
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.5 0.6 0.7 0.8



Isuz

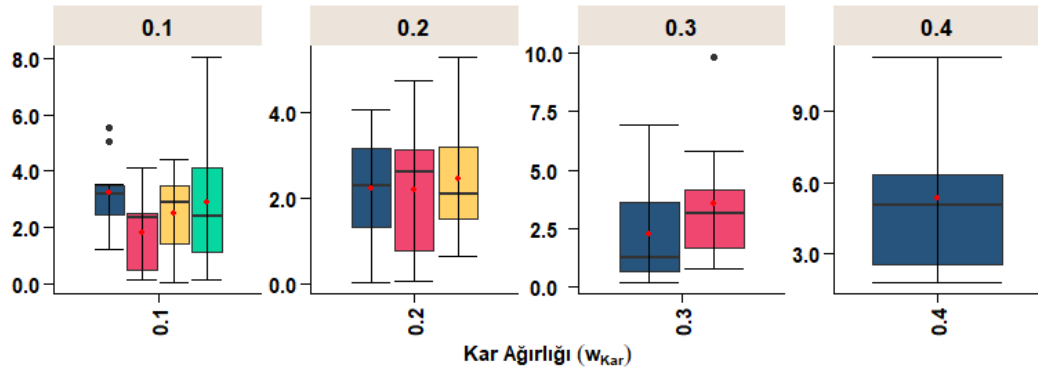


cperc



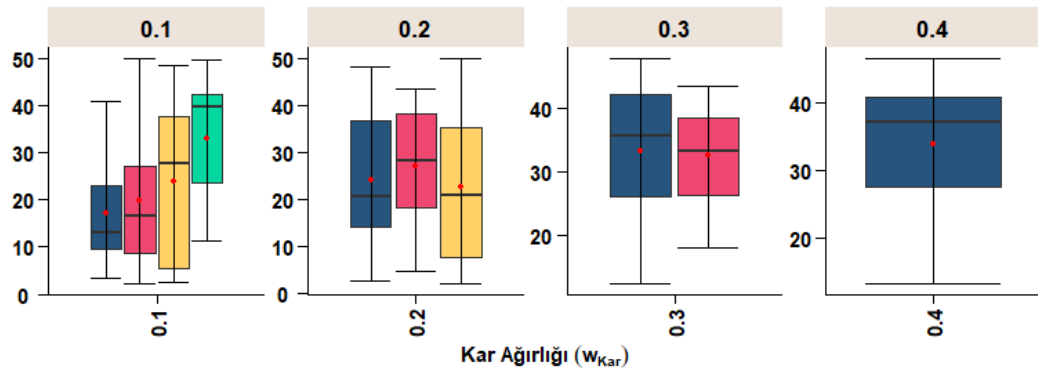
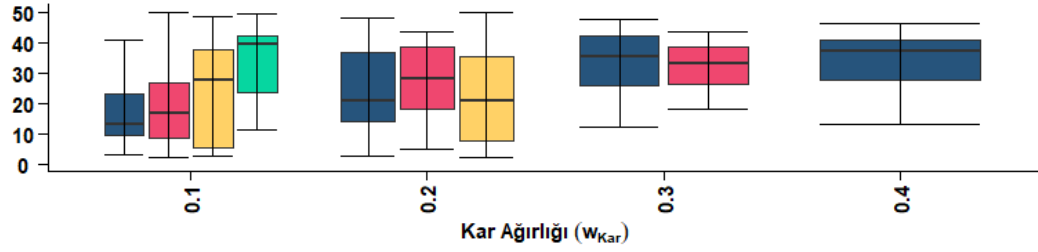
bmax

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8

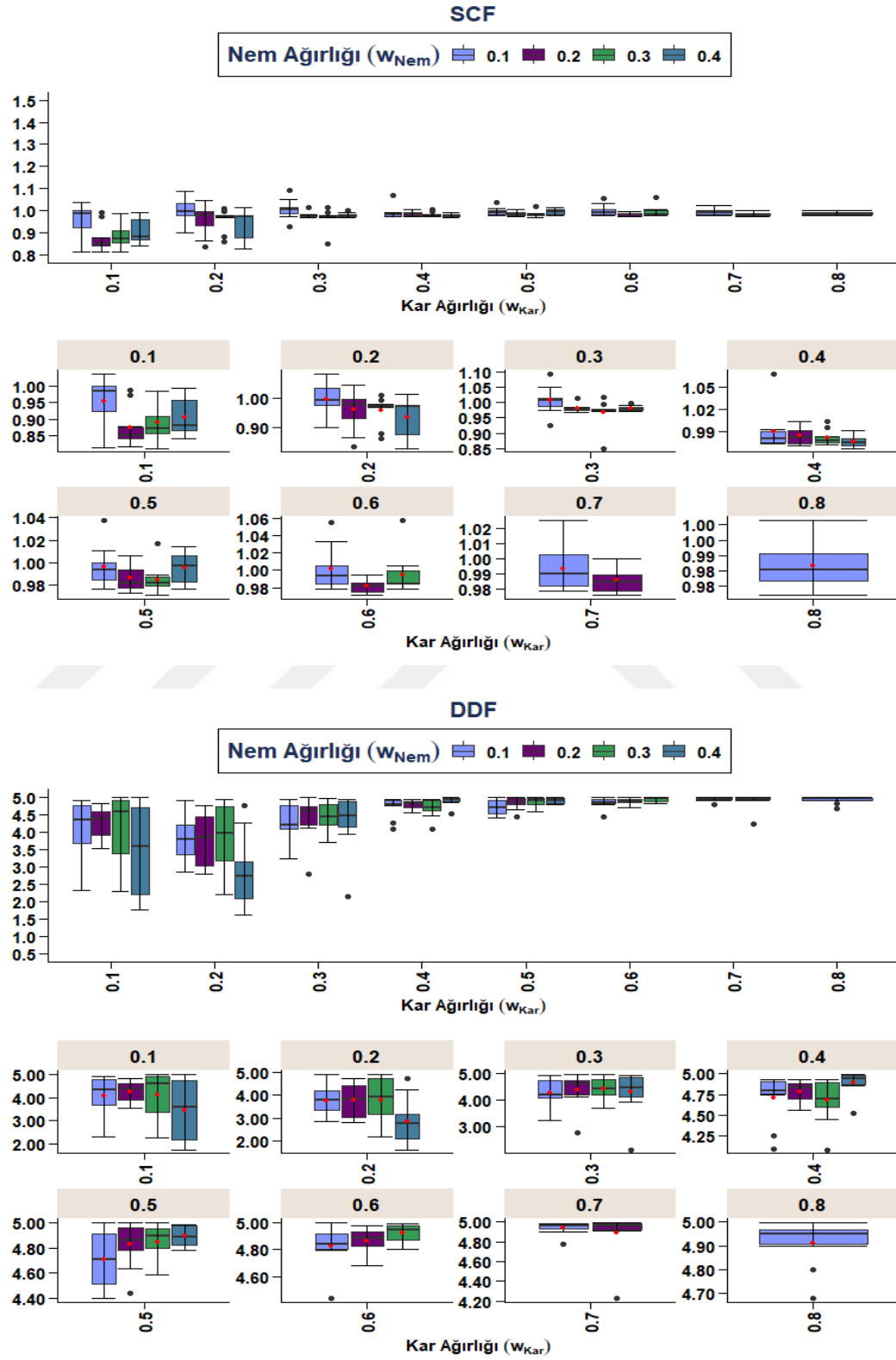


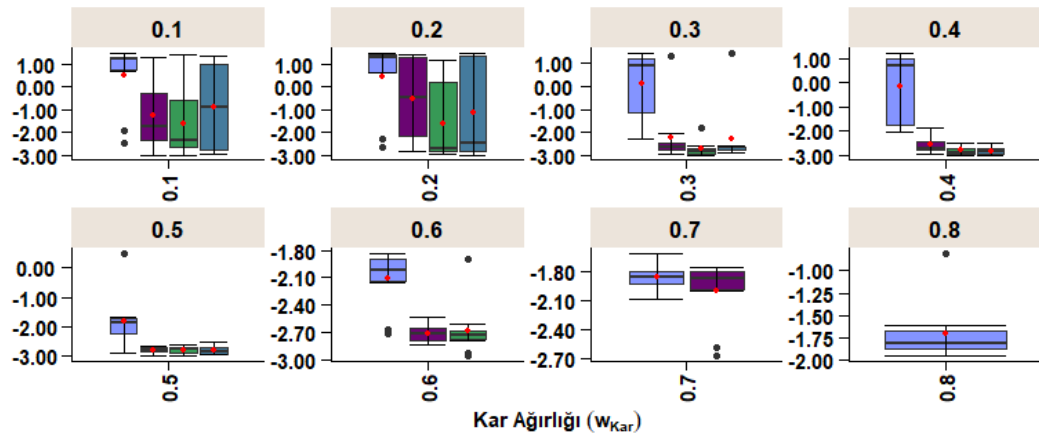
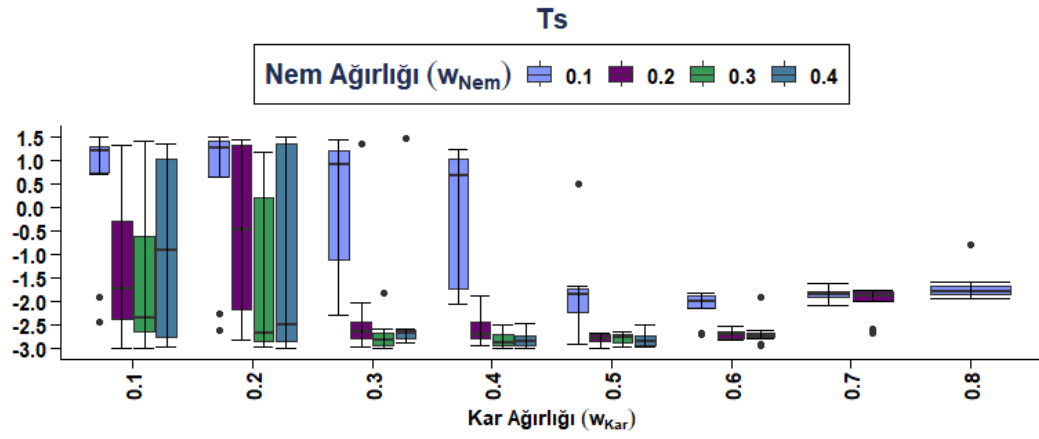
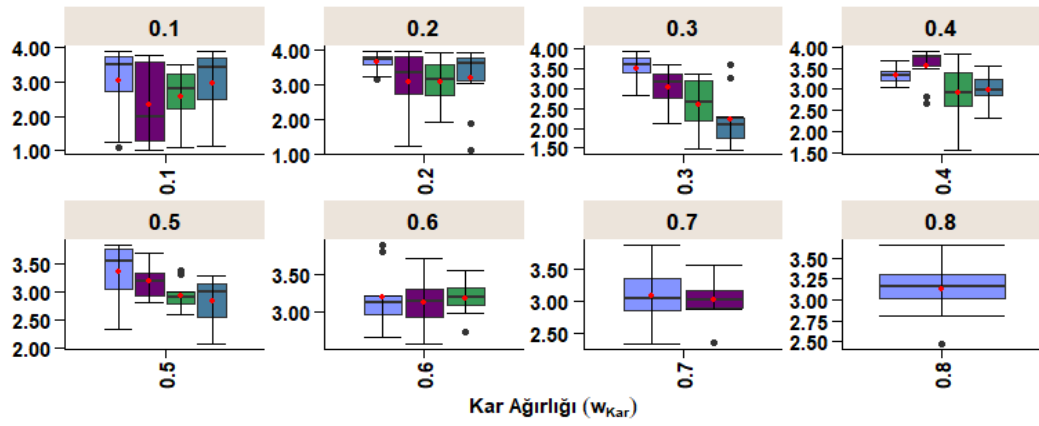
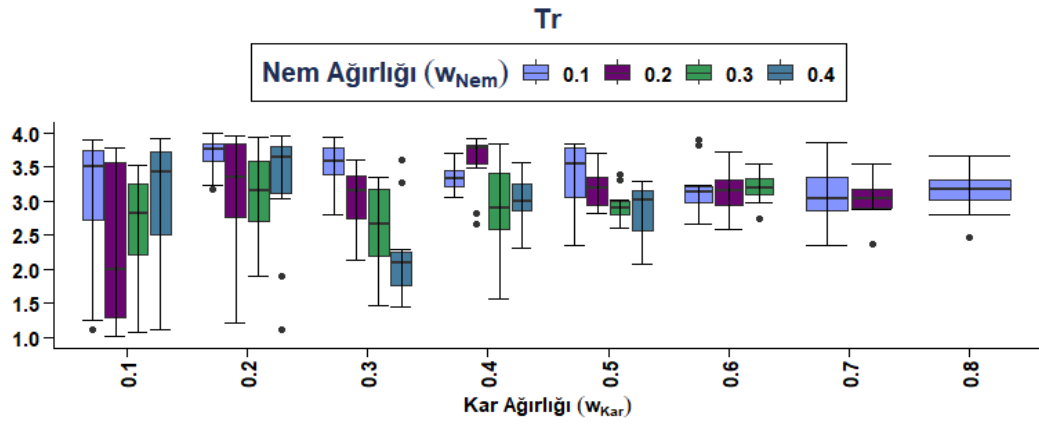
croute

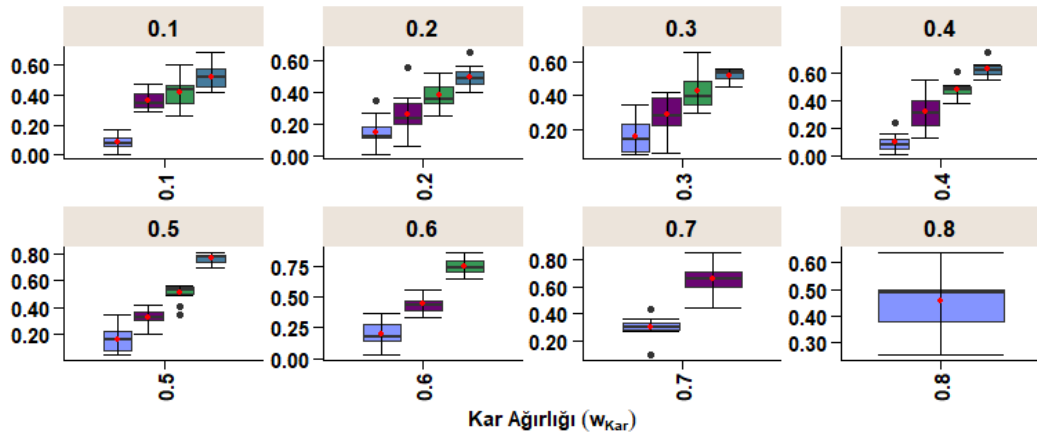
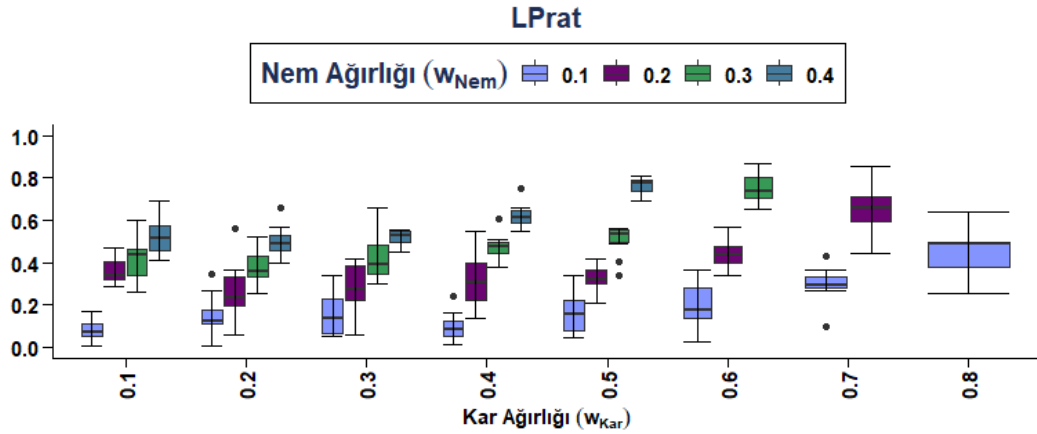
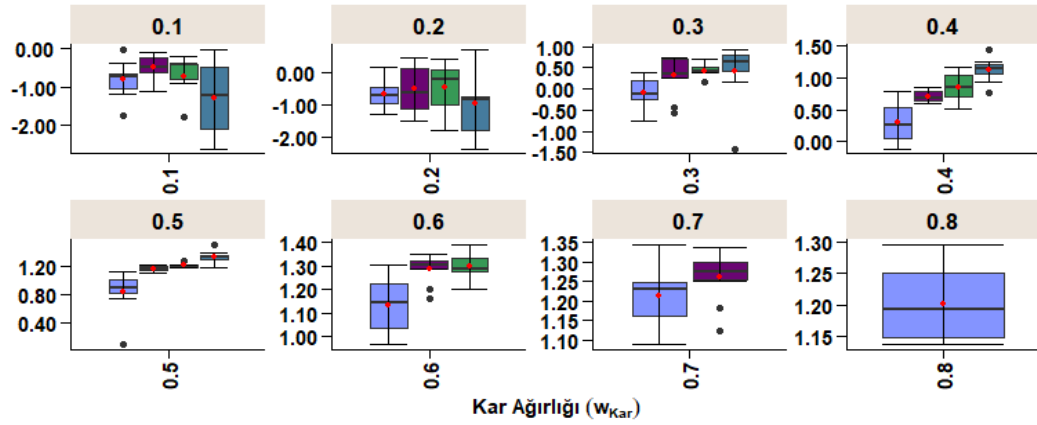
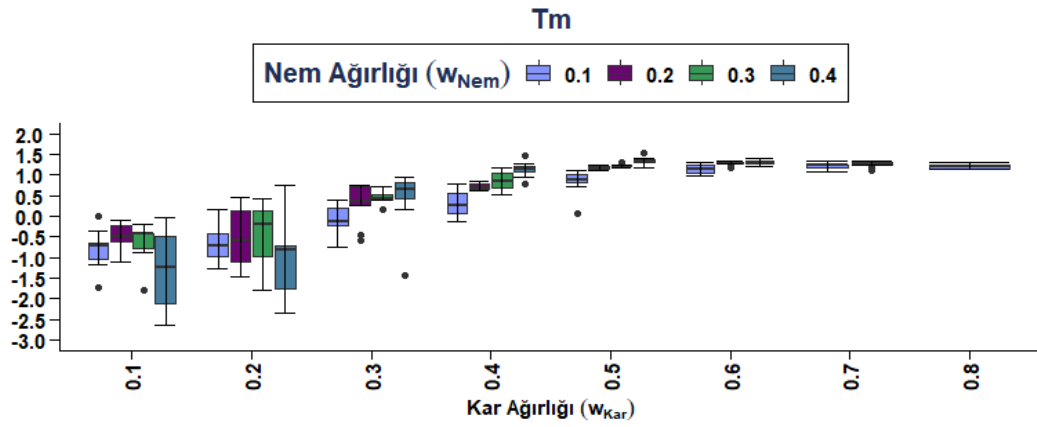
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8



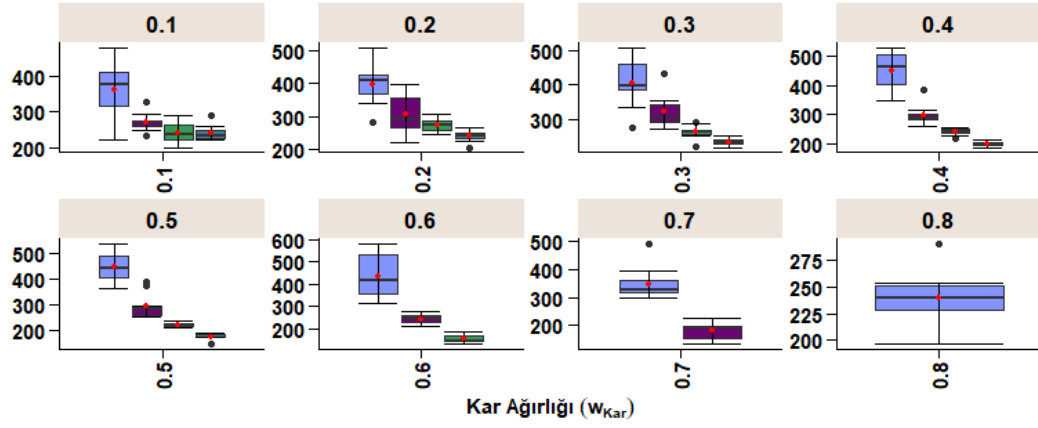
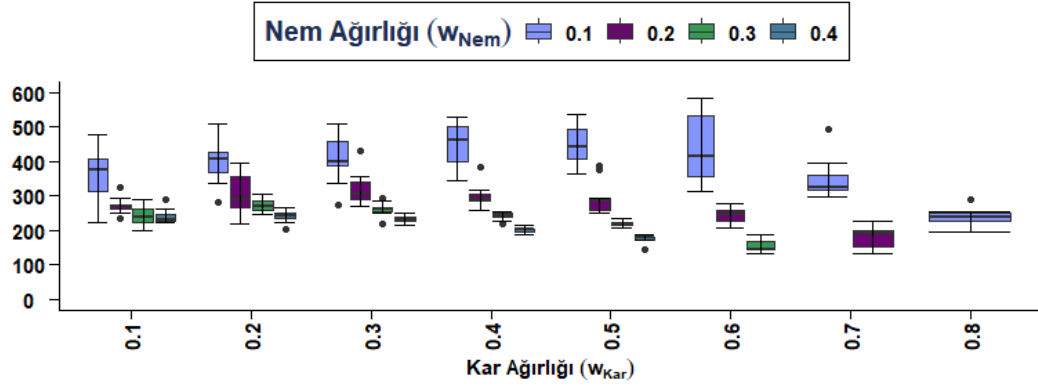
EK-5. Kayabaşı Havzası Akım, Kar ve Toprak Nemi Model Parametre Setleri
($w_{nem} = 0.1 - 0.4$)



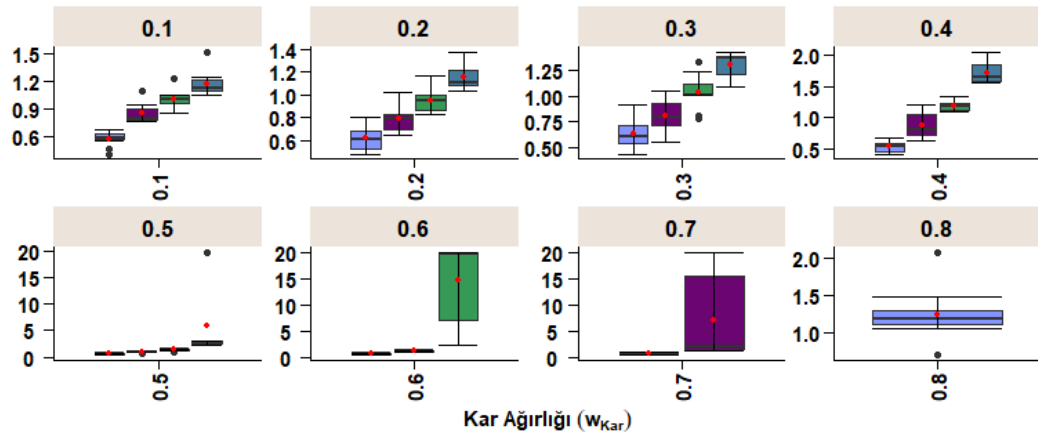
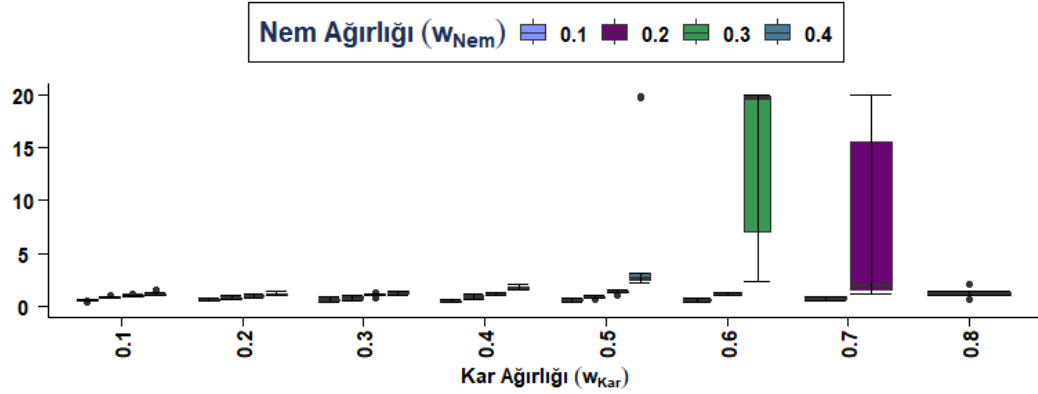




FC

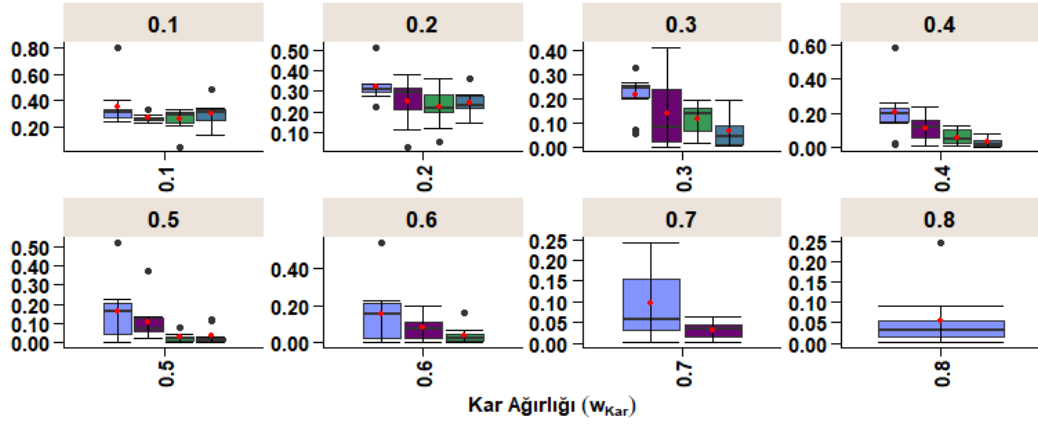
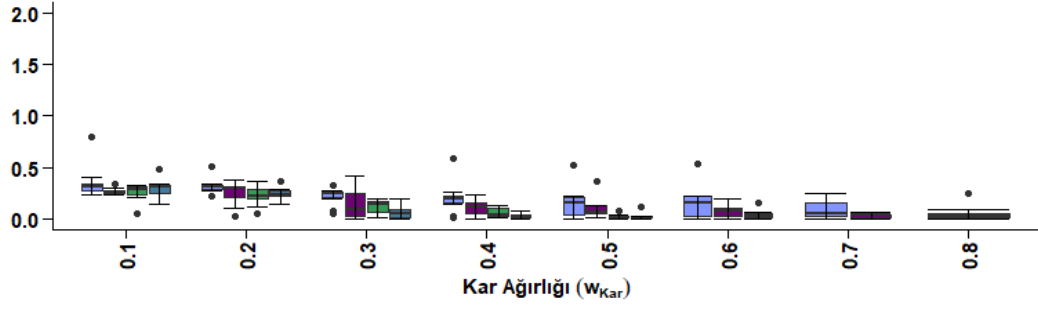


BETA



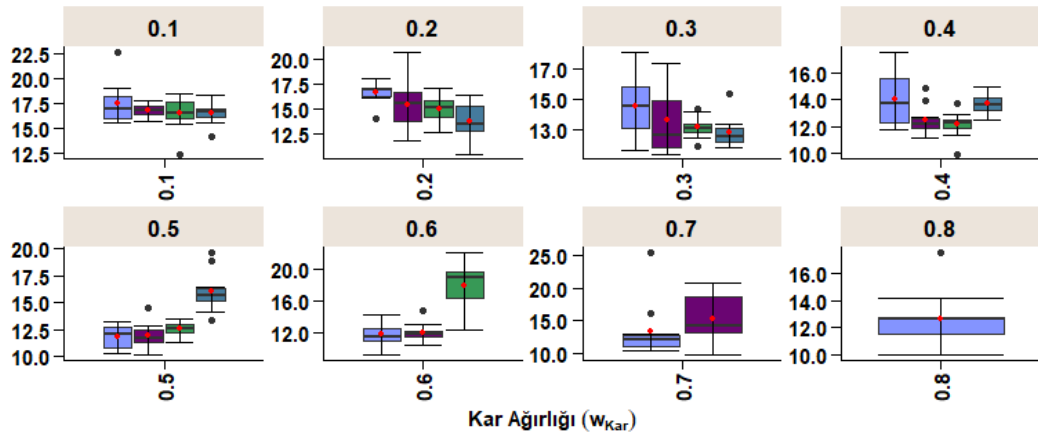
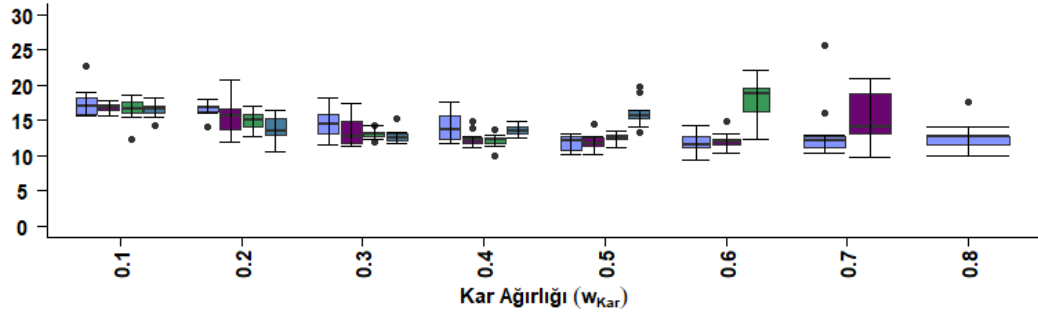
k0

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4

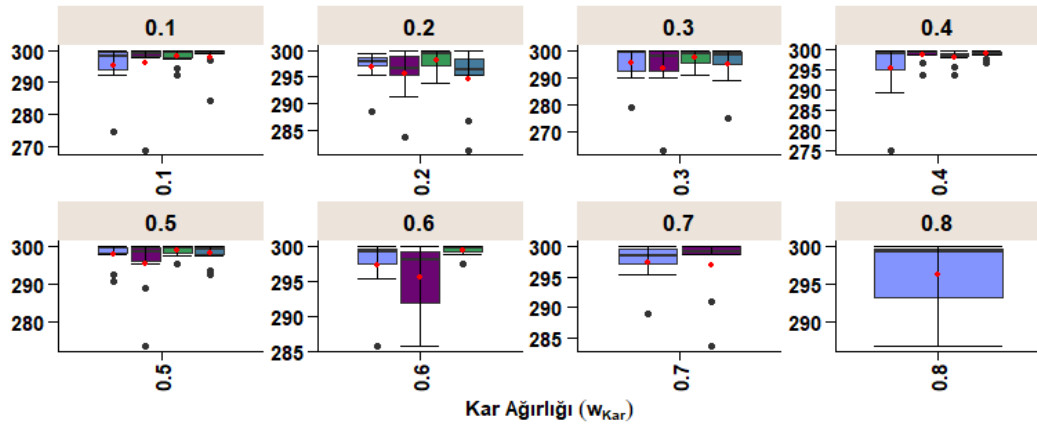
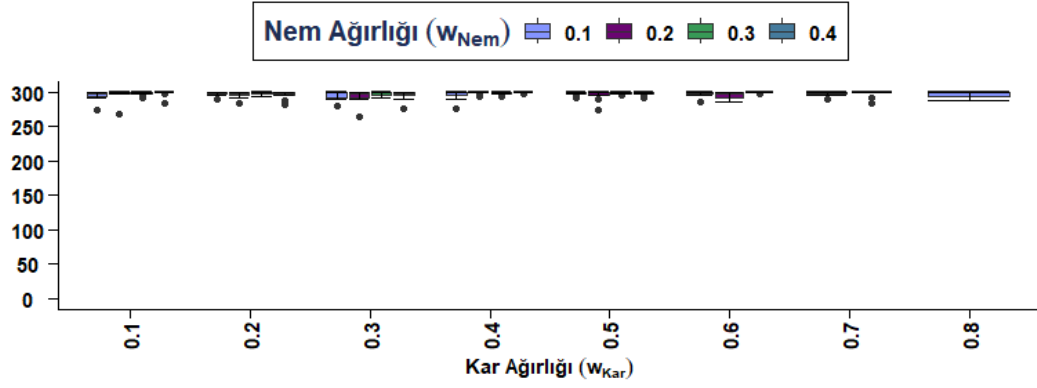


k1

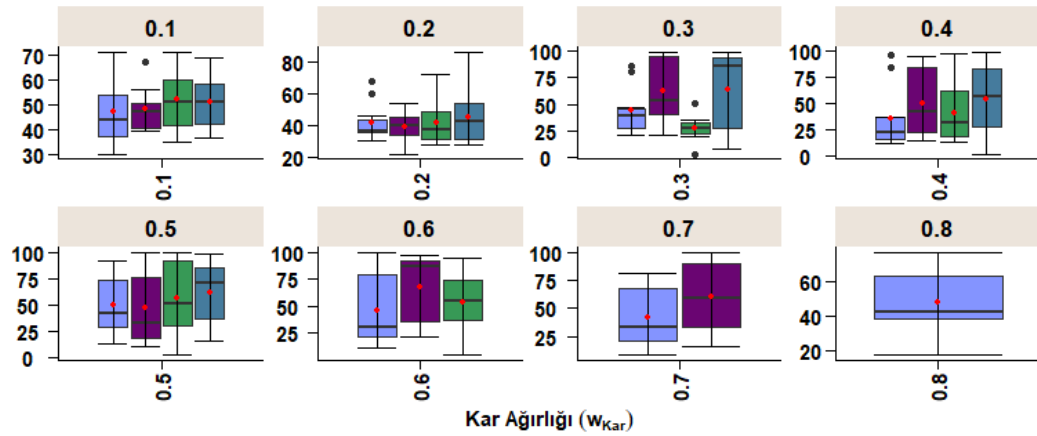
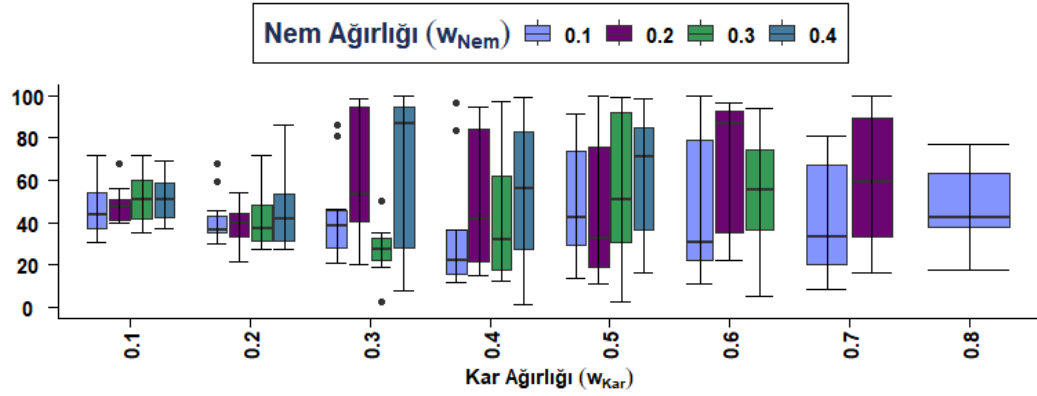
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4



k2

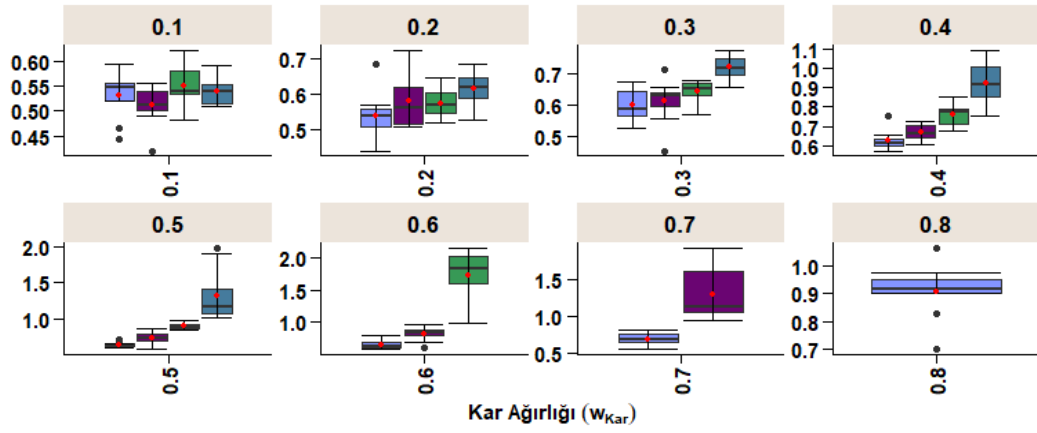
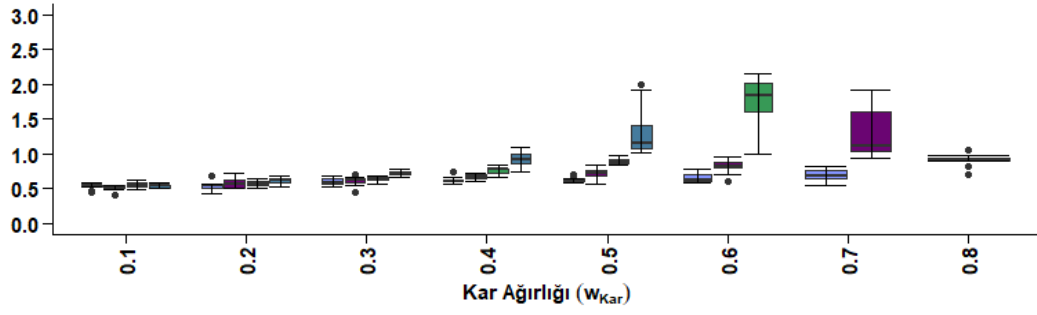


Isuz



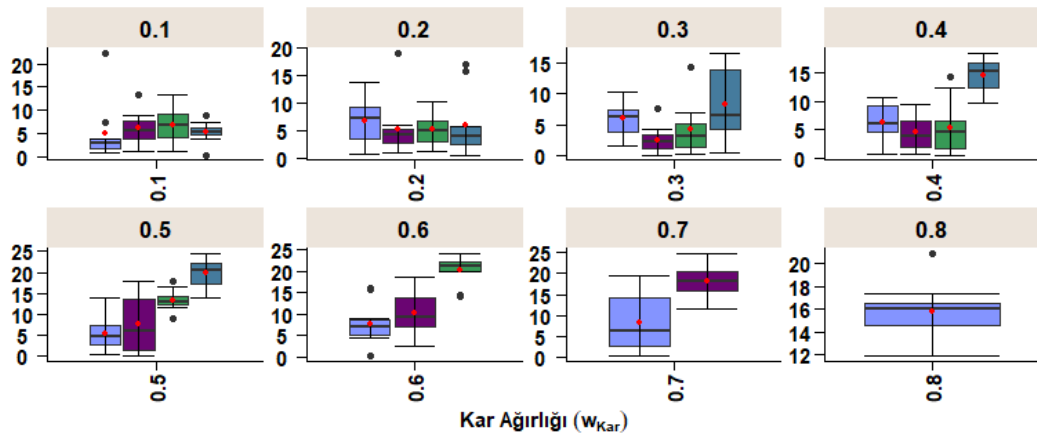
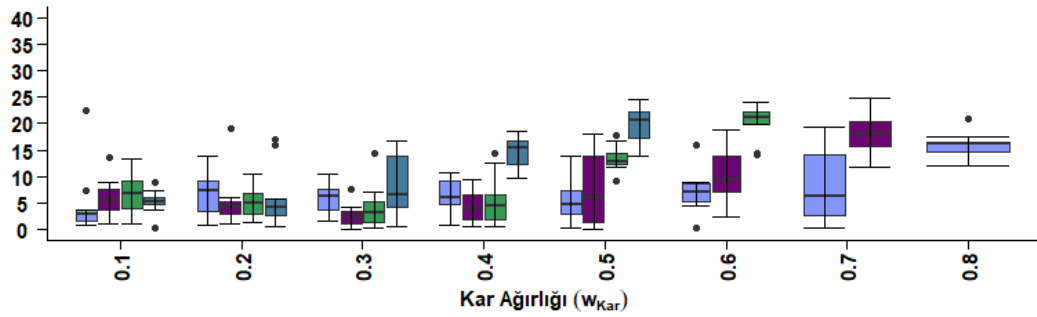
cperc

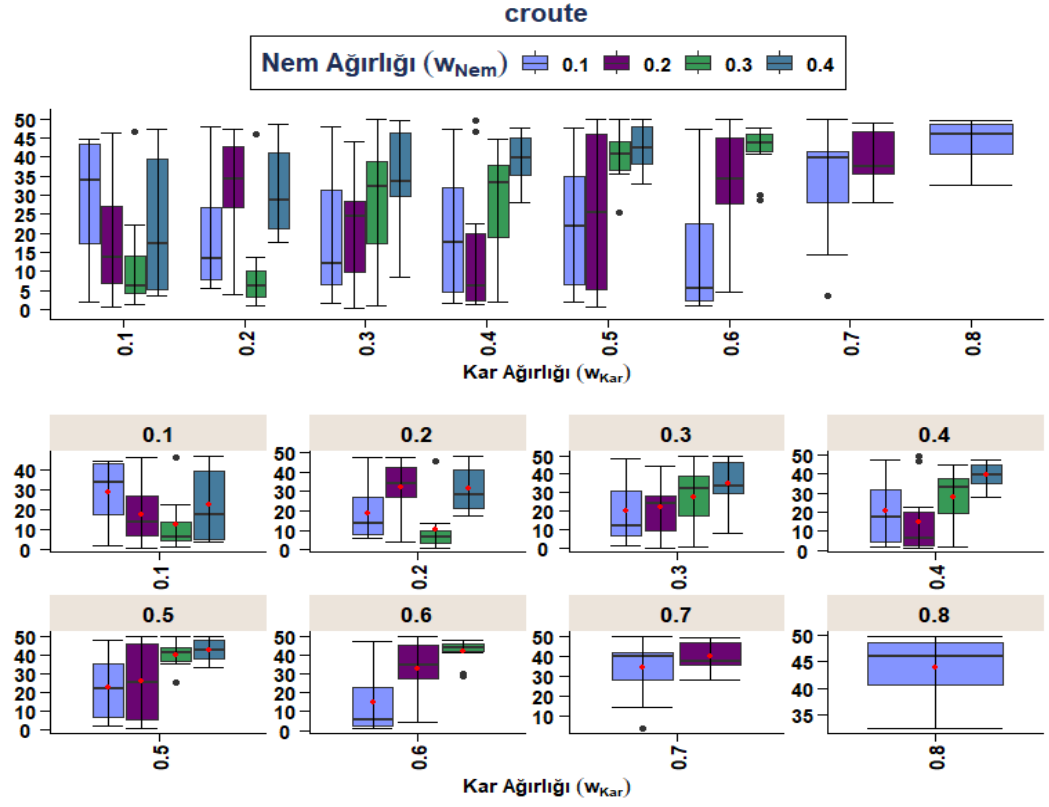
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4



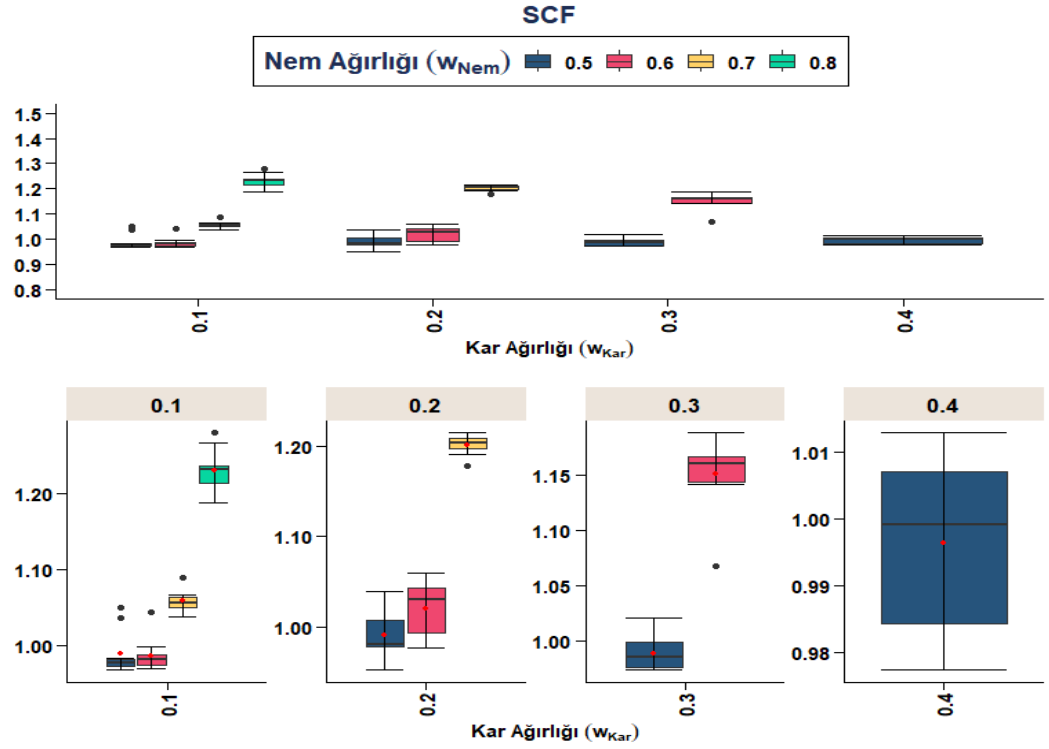
bmax

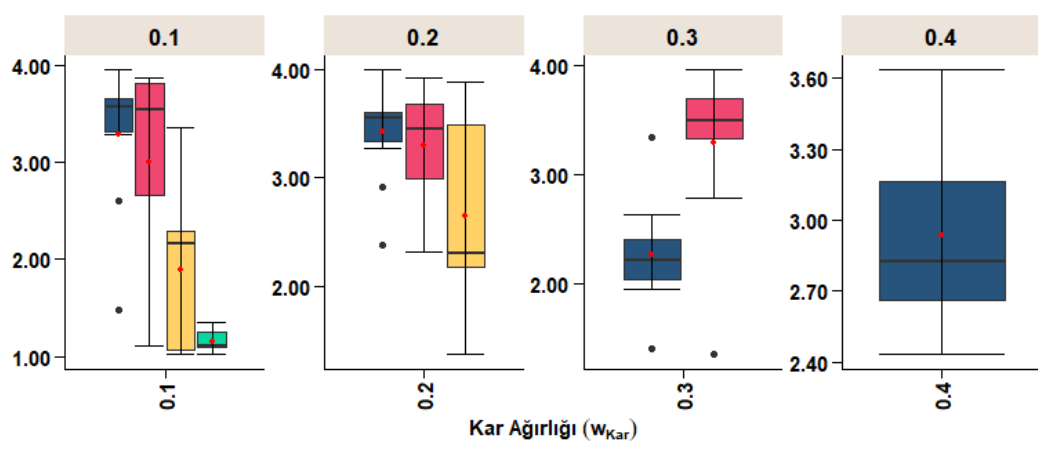
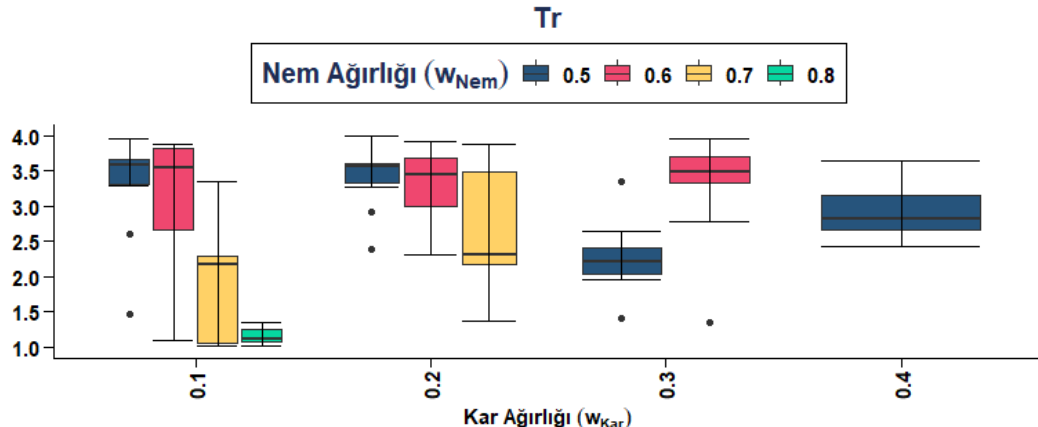
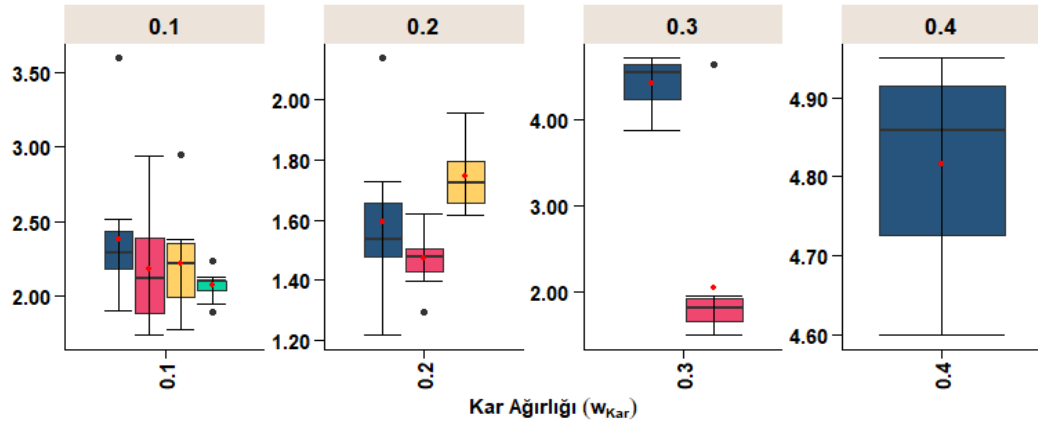
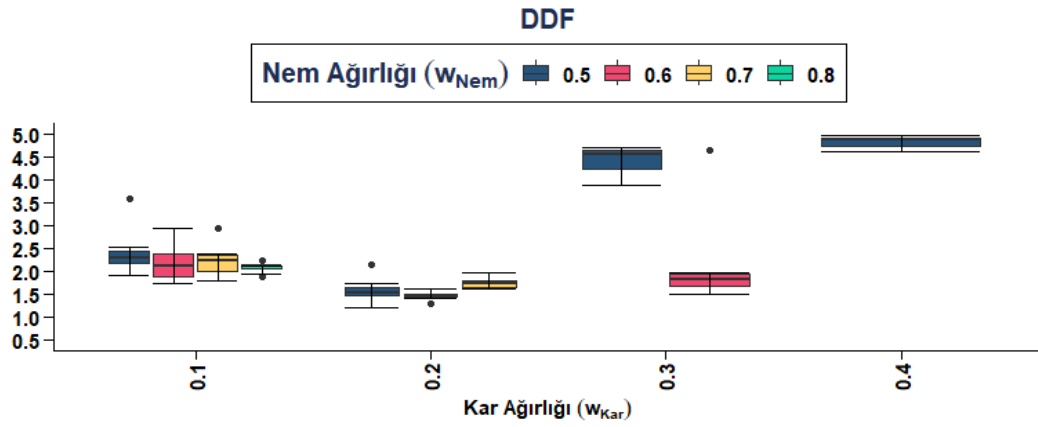
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) 0.1 0.2 0.3 0.4





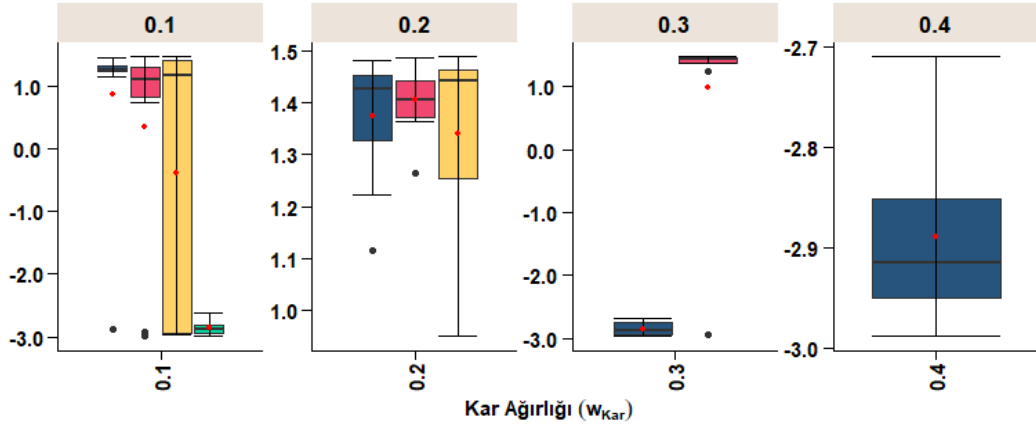
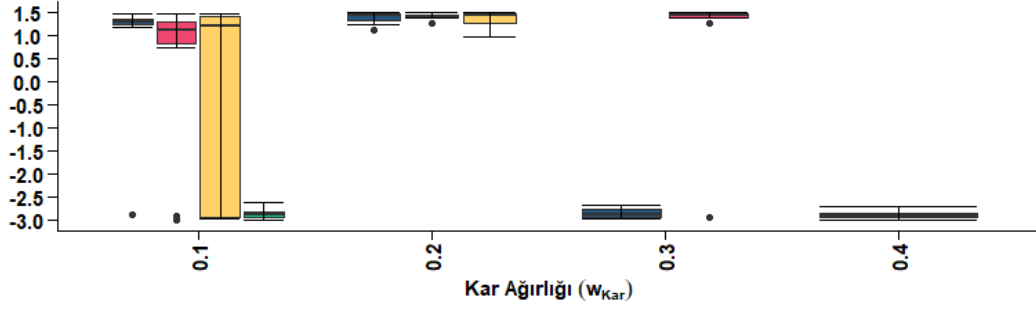
EK-6. Kayabaşı Havzası Akım, Kar ve Toprak Nemi Model Parametre Setleri
($w_{nem} = 0.5 - 0.8$)





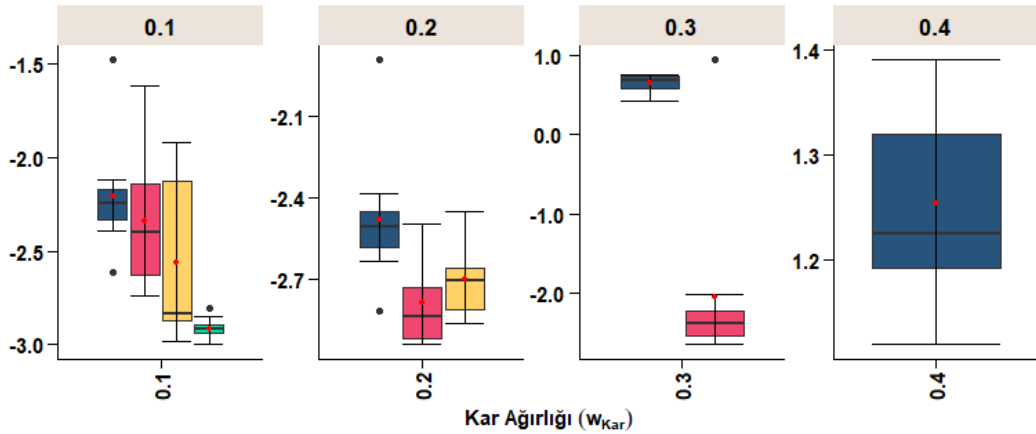
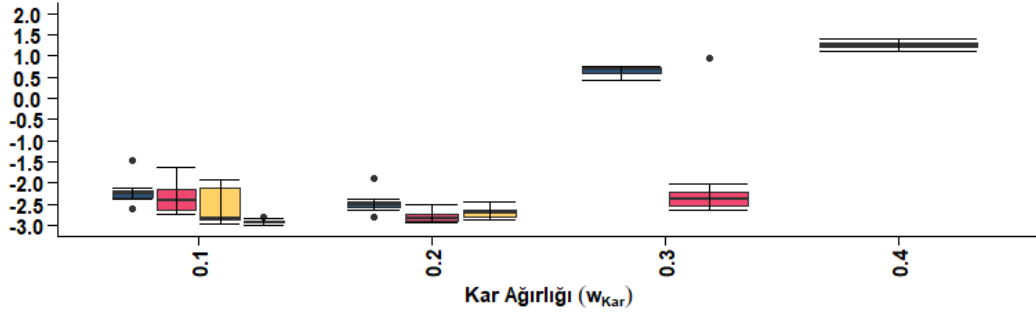
Ts

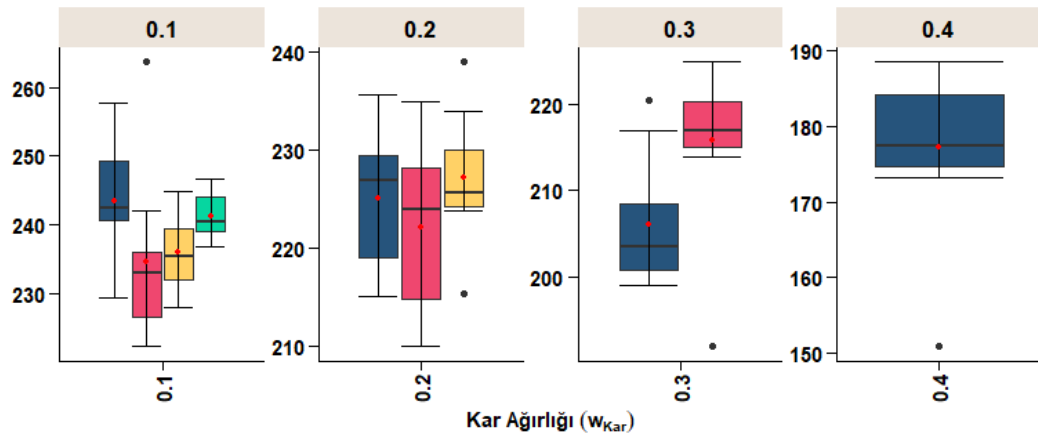
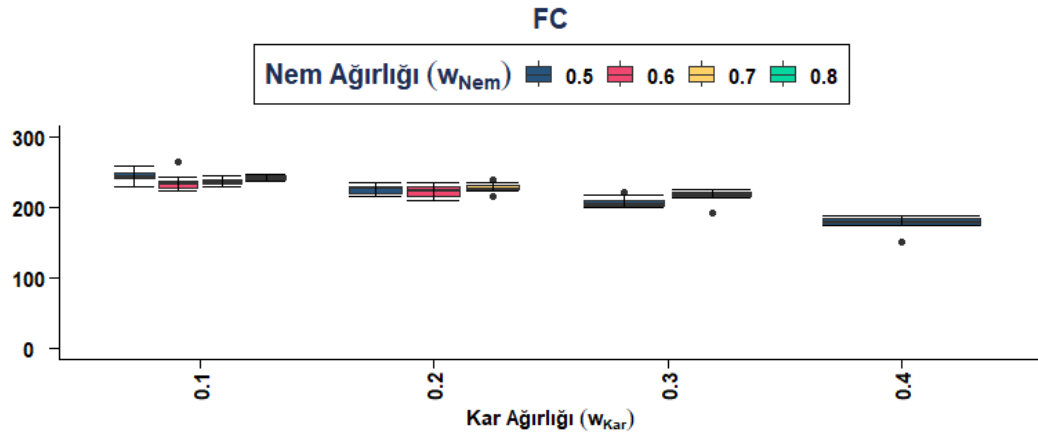
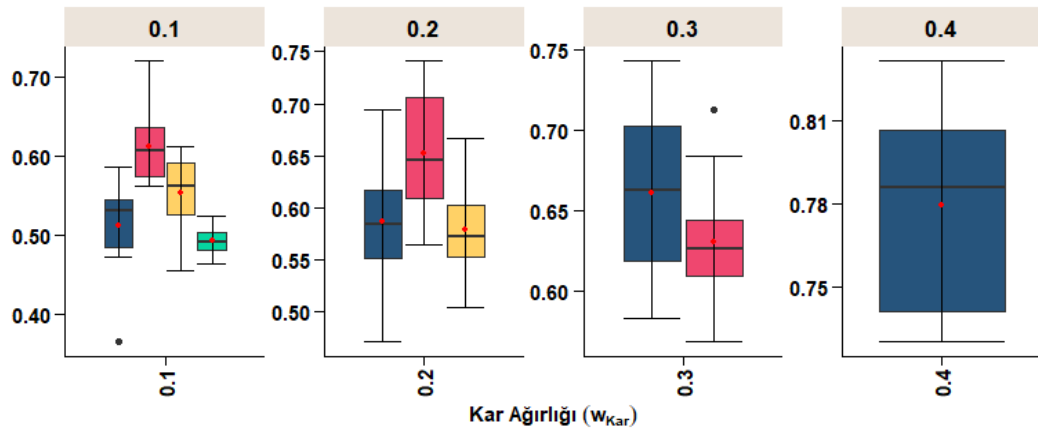
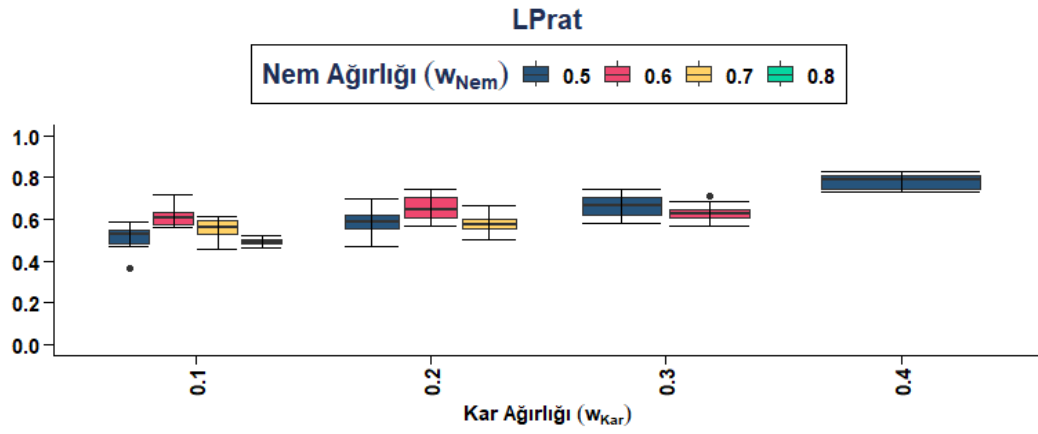
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8



Tm

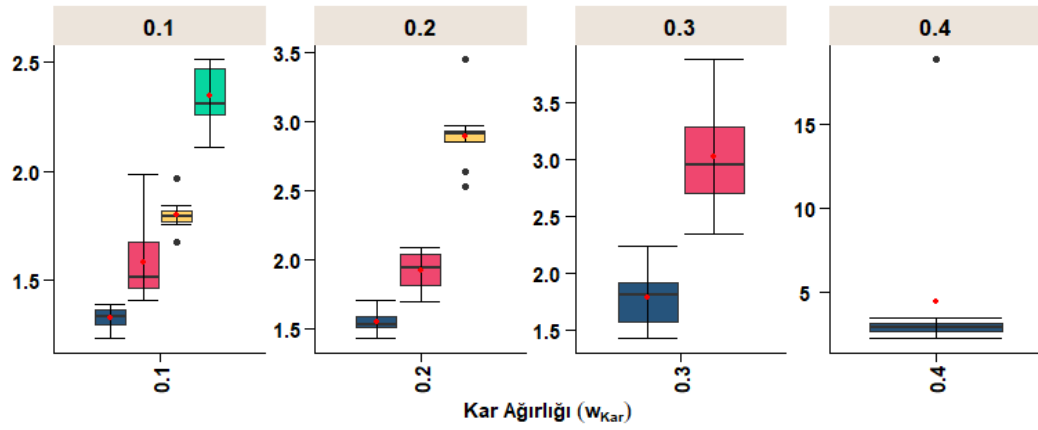
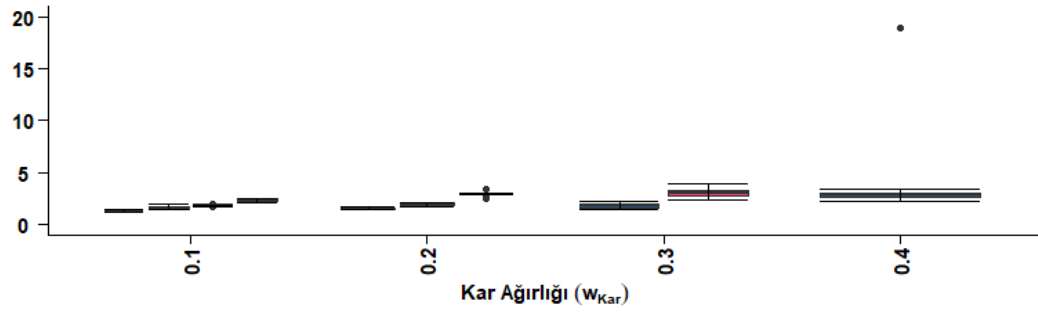
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8





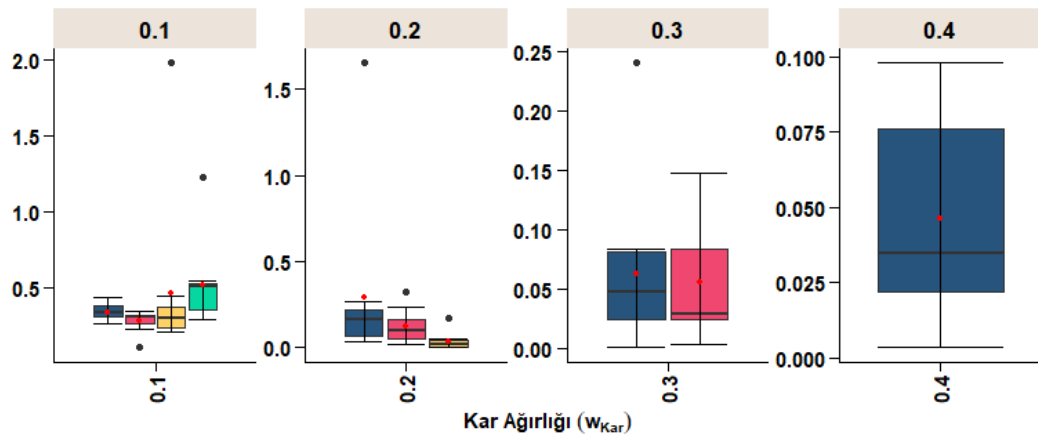
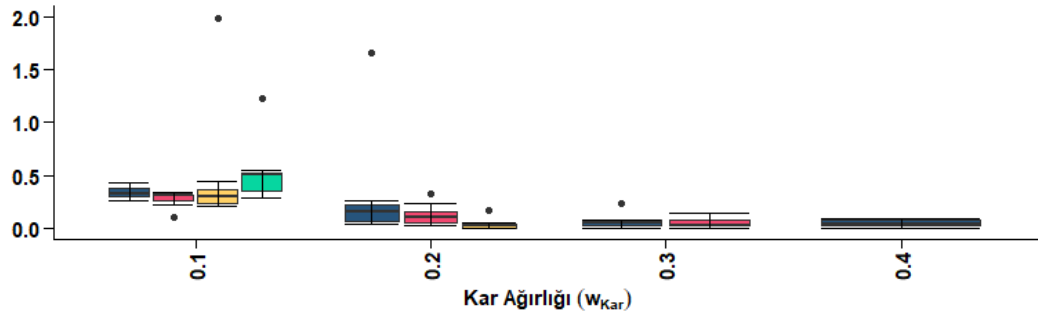
BETA

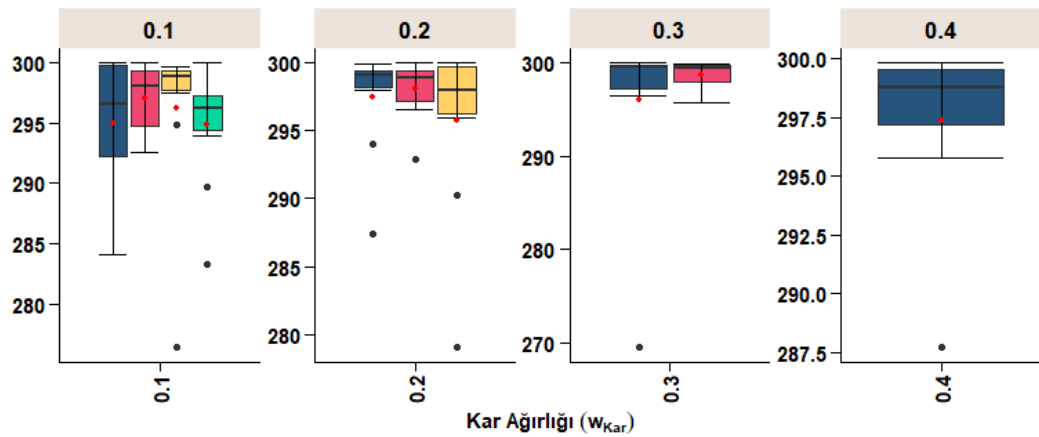
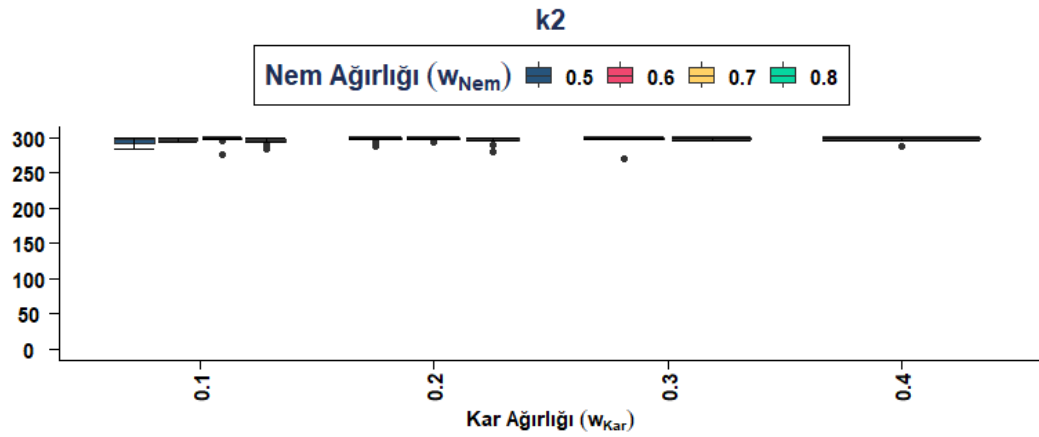
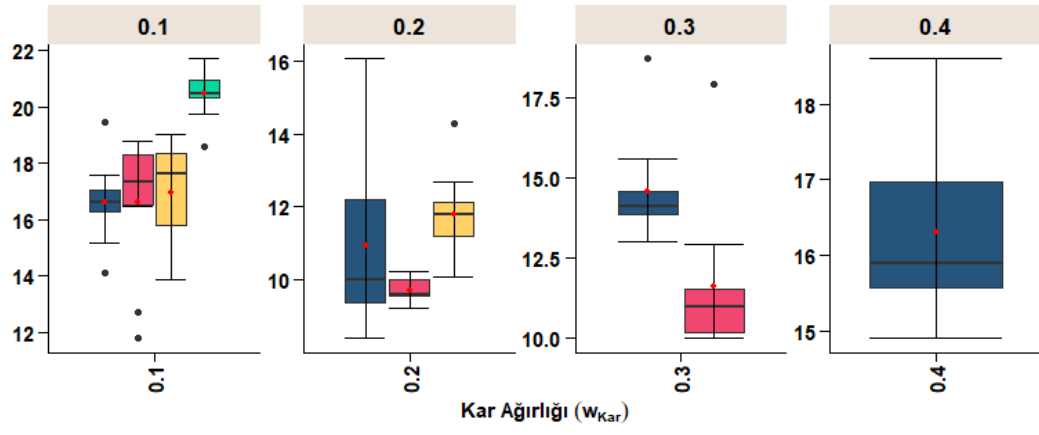
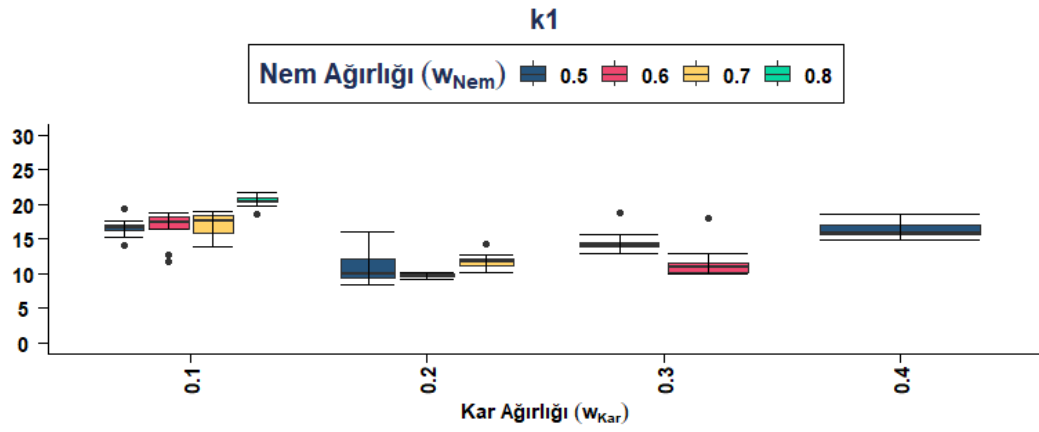
Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8

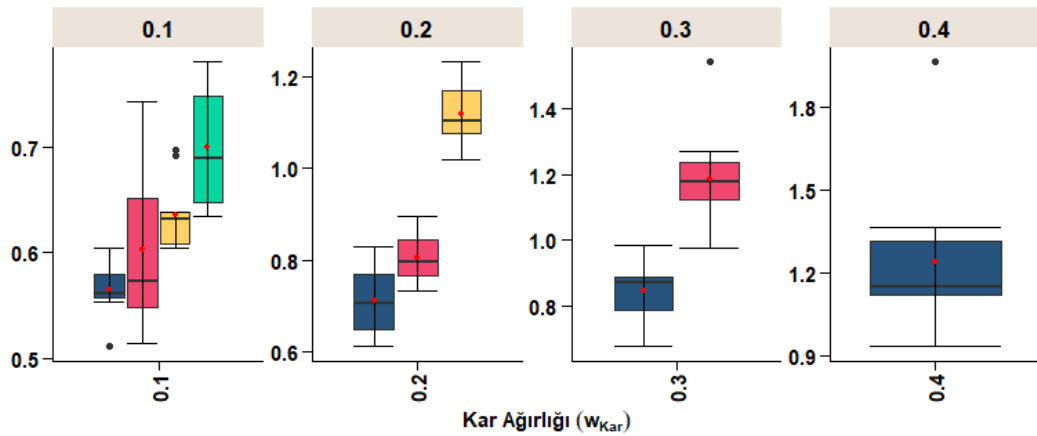
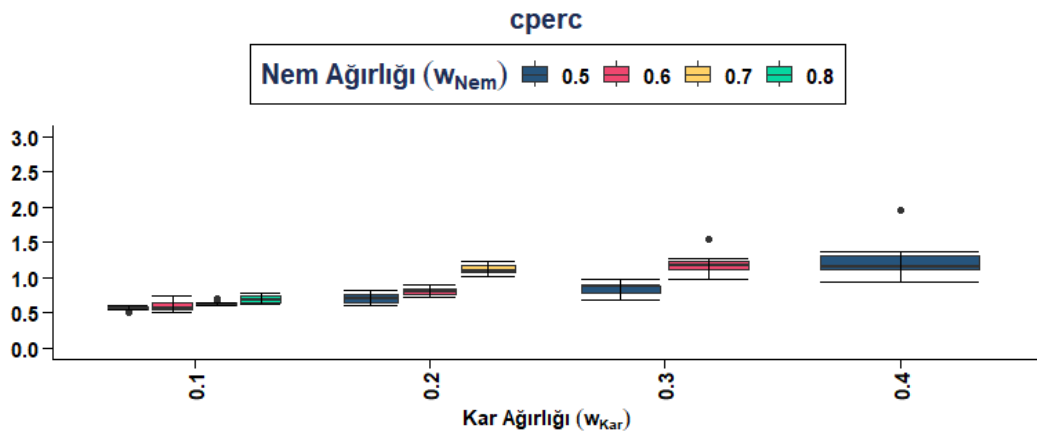
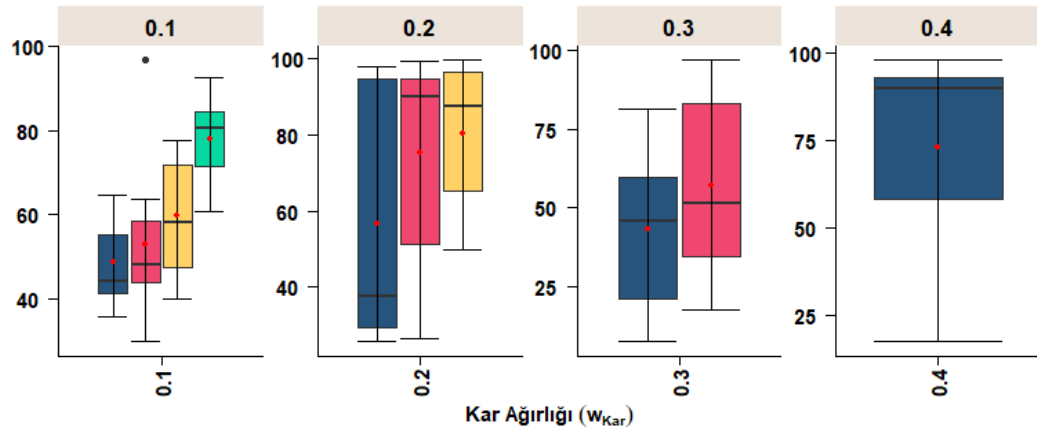
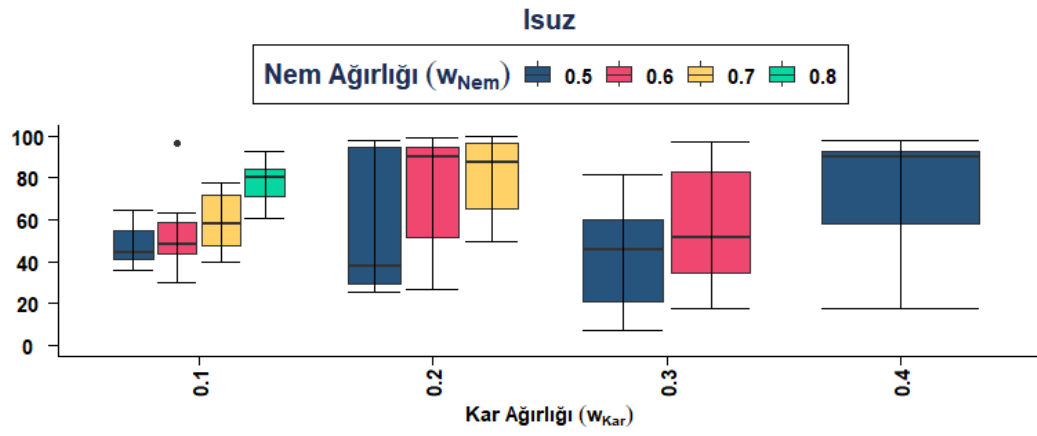


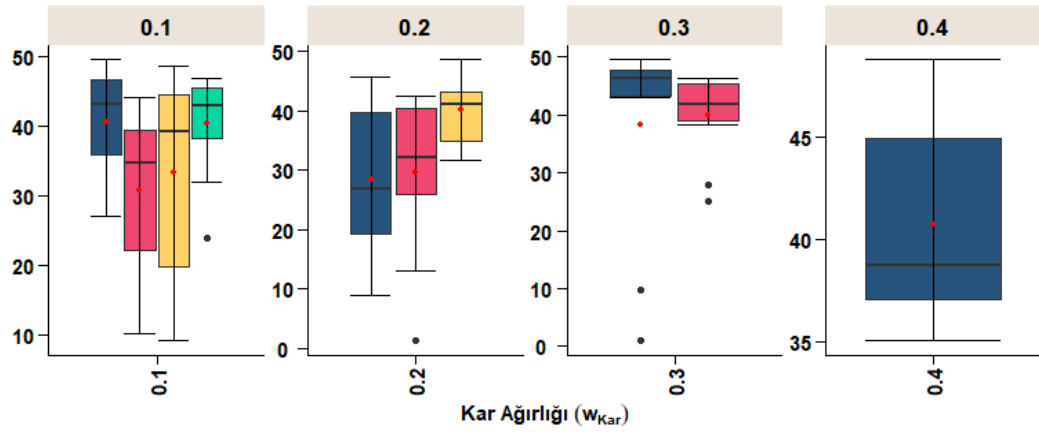
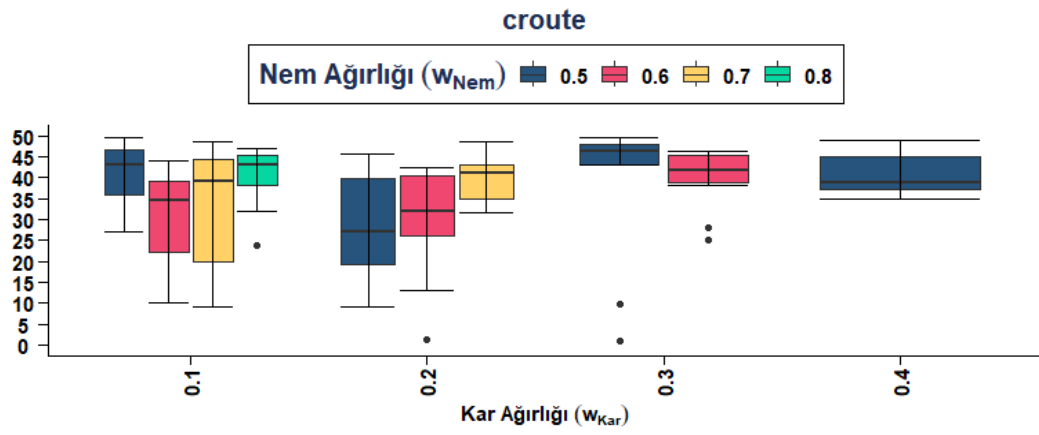
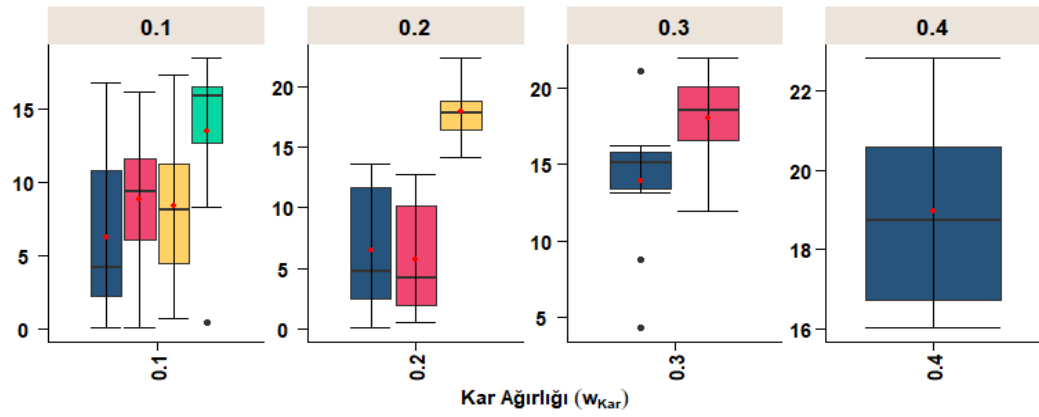
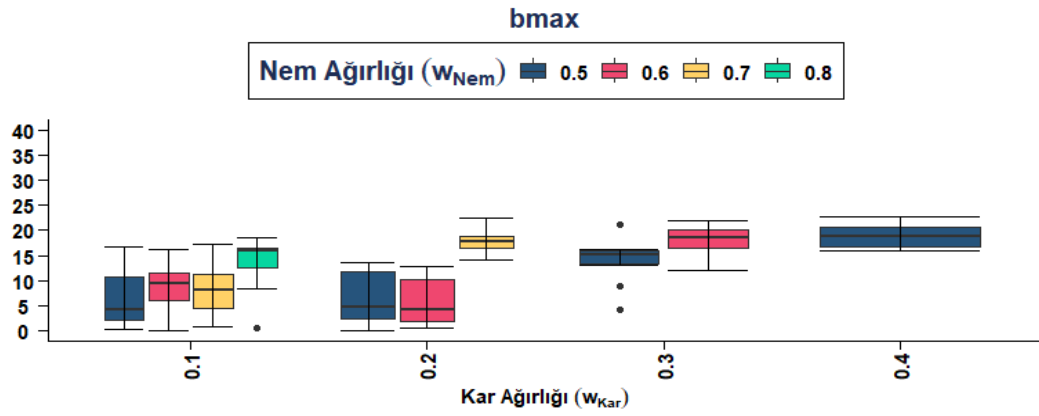
k0

Nem Ağırlığı (w_{Nem}) ■ 0.5 ■ 0.6 ■ 0.7 ■ 0.8









ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0001-9671-3555

Ad Soyad : Ayça Eylen

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2021, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (Lisans)

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Hafizi H., Eylen A. ve Şorman A.A. (2022). Dağlık bir havzada dört ayrı hücrel veri setinin akım modellenmesinde değerlendirilmesi, 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, s.606-613, Gaziantep, Türkiye.
- Şorman A.A, Eylen A., Traore M., Taşçı E. ve Rahimi A. (2022). Yukarı Seyhan Havzasında farklı hidrolojik modellerin karşılaştırılması, 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, s.618-626, Gaziantep, Türkiye.
- Eylen A. ve Şorman A.A. (2021). Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri destekli hidrolojik modelleme, 5. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu, s.401-406, Zonguldak, Türkiye